

елементом На основі моделі отримано залежності активної та реактивної складової повного опору від індукції магнітного поля та аналітичний вираз функції перетворення.

Література

1. Новицкий П.В. Цифровые приборы с частотными датчиками / П. В. Новицкий, В. Г. Кнорринг, В. С. Гутников // Л.: Энергия, 1970. – 424 с.
2. Осадчук О.В. Мікроелектронні частотні перетворювачі на основі транзисторних структур з від'ємним опором / О. В. Осадчук –Вінниця: «Універсум-Вінниця», 2000. – 303 с.
3. Осадчук В. С. Оптичний мікроелектронний перетворювач з фототранзистором для контролю плазмохімічних процесів / В. С. Осадчук, Ю. С. Кравченко, О. О. Селецька // Вісник ХНУ. – №5. – 2009. – С.226-231.
4. Викулин И. М. Двухколлекторные магнитотранзисторы / И. М. Викулин, М. А. Глауберман, Г. А. Егизарян // ПиСУ. – 1981. – №10. – С. 34 – 35.
5. Каяцкас А. А. Основы радиоэлектроники / А. А.Каяцкас –М.: Высшая школа, 1988. – 464 с.

Literature

1. Novitsky P. V. Digital devices with frequency sensors/ P. V. Novitsky, V. G. Knorring, V. S. Gutnikov // Leningrad: Energiya, 1970. – 424 p.
2. Osadchuk A.V. microelectronic frequency converters on the basis of transistor structures with negative resistance / A. V. Osadchuk, Vinnitsa, "Universum-Vinnytsya", 2000. – 303 p.
3. Osadchuk V. S. microelectronic Optical transducer with a phototransistor for the control of plasma-chemical processes / V. S. Osadchuk, Yu. P. Kravchenko, A. Seletsky, A. // Bulletin of KhNU. – No. 5. – 2009. – P. 226-231.
4. Vikulin S. M. Dvukhkoridornye magnetotransistor / S. M. Vikulin, N. A. Glauberman. // The Record. – 1981. – No. 10. – S. 34 – 35.
5. Kajackas, A. A. Basics of electronics / A. Kajackas, A. –M.: Higher school, 1988. – 464 p.

Рецензія/Peer review : 26.9.2015 р.

Надрукована/Printed :20.10.2015 р.

УДК 681.325

Г.Г. БОРТНИК, О.Г. БОРТНИК, Н.О. ПУНЧЕНКО

Вінницький національний технічний університет, Україна

ШВИДКОДІЙНИЙ АНАЛОГО-ЦИФРОВИЙ ПЕРЕТВОРЮВАЧ З РОЗШИРЕНИМ ДИНАМІЧНИМ ДІАПАЗОНОМ

У роботі представлено швидкодійний аналого-цифровий перетворювач високочастотних сигналів з розширеним динамічним діапазоном, який побудовано на базі принципу паралельного перетворення. Доведено згідно запровадженого критерію ефективності, що цей перетворювач характеризується широким динамічним діапазоном при збереженні високої швидкодії та незначному ускладненні схемотехнічної реалізації.

Ключові слова: аналого-цифровий перетворювач, високочастотні сигнали, динамічний діапазон.

G.G. BORTNYK, O.G. BORTNYK, N.O. PUNCHENKO

Vinnitsa National Technical University, Ukraine

FAST-ACTING ANALOG-TO-DIGITAL CONVERTER IS WITH THE EXTENDED DYNAMIC RANGE

Fast-acting analog-to-digital converter (ADC) of high-frequency signals is in-process presented with the extended dynamic range which is built on the base of principle of parallel transformation.

The generalized criterion of efficiency of base ADC is offered, which takes into account a dynamic range, fast-acting and structural complication of transformer.

It is in-process developed parallel ADC, in which due to adaptation of levels of supporting tension to the value of entrance signal, expansion of dynamic range (increase of number of initial digits), does not result in sharp apparatus complication.

The analysis of efficiency of developed fast-acting ADC allowed to assert that an improvement of the inculcated generalized criterion is at the increase of number of digits, at the same time apparatus complication of transformer remains at acceptable enough level.

Key words: analog-digital converter, high-frequency signals, dynamic range.

Вступ

Швидкодійні аналого-цифрові перетворювачі (АЦП) високочастотних сигналів є обов'язковими компонентами сучасної комп'ютерної та телекомунікаційної техніки [1, 2]. Проблема розробки та виготовлення швидкодійних АЦП з розширеним динамічним діапазоном є однією з найактуальніших проблем комп'ютерної техніки, від вирішення якої безпосередньо залежить ефективність інформаційно-вимірвальних систем швидкоплинних технологічних процесів, комп'ютерних систем цифрового оброблення високочастотних сигналів у складі радіотехнічних комплексів та широкосмугових телекомунікаційних мереж [3,4].

Незважаючи на ряд вже вирішених питань, при застосуванні швидкодійних АЦП високочастотних сигналів з покращеними параметрами існує ще багато проблем, які стримують широке використання АЦП в

комп'ютерних системах. А саме: обмежений динамічний діапазон у смузі високих частот вхідних сигналів (від 10 МГц і вище), недостатньо розроблені принципи побудови швидкодійних АЦП, що спричиняє обмеження ефективної розрядності перетворювачів [5, 6].

На основі вищевикладеного актуальною задачею є розвиток принципів побудови високоефективних структур швидкодійних АЦП високочастотних сигналів, які дозволяють виконувати перетворення сигналів у смузі високих частот і характеризуються широким динамічним діапазоном.

Метою роботи є розробка швидкодійного аналого-цифрового перетворювача ВЧ-сигналів, що характеризується широким динамічним діапазоном.

Для досягнення заданої мети необхідно розв'язати такі задачі:

- розробити критерій ефективності швидкодійного аналого-цифрового перетворювача;
- розробити структуру швидкодійного АЦП ВЧ-сигналів з розширеним динамічним діапазоном;
- виконати комп'ютерне моделювання розробленого АЦП;
- здійснити аналіз ефективності швидкодійного АЦП ВЧ-сигналів з розширеним динамічним

діапазоном.

Критерій ефективності швидкодійного аналого-цифрового перетворювача

Ефективність швидкодійного АЦП з розширеним динамічним діапазоном можна оцінити за допомогою узагальненого критерія, який би враховував основні чинники при побудові перетворювача.

Найпоширенішими узагальненими критеріями у цьому випадку є критерії виду $Q = \frac{E_{\text{ефект}}}{\text{Витрати}}$ [4]. З

точки зору врахування на алгоритмічному рівні основних параметрів АЦП: динамічного діапазону, швидкодії та структурної складності, пропонується критерій такого виду:

$$Q = \frac{D_n}{m_e \cdot t_{cn}}, \quad (1)$$

де D_n – нормований динамічний діапазон АЦП; m_e – кількість умовних типових елементів АЦП;

$t_{cn} = \frac{t_c}{T_s}$ – нормований безрозмірний час перетворення АЦП; t_c – час перетворення одного

ступеня

АЦП; T_s – період дискретизації паралельного АЦП.

Нормований динамічний діапазон АЦП з урахуванням шумів квантування дорівнює:

$$D_n = 10^{\frac{6n+1,8}{20}}. \quad (2)$$

Значення m_e визначається кількістю нормованих структурних одиниць АЦП, що еквівалентно кількості елементів, структурна складність яких прийнято за одиницю. Такими елементами в паралельних АЦП є аналогові компаратори. Значення m_e може слугувати також частинним критерієм складності АЦП. Для розробленого АЦП цей критерій дорівнює:

$$m_e = 2^{n_1} + 2^{n_2} - 2. \quad (3)$$

де n_1, n_2 – кількість компараторів відповідно старших і молодших розрядів АЦП.

Для класичного АЦП зчитування $t_{cn} = 1$, а для розроблюваного паралельного АЦП з урахуванням двоступеневого перетворення сигналу $t_{cn} = 2$.

З урахуванням (2) та (3) узагальнений критерій ефективності АЦП набуває вигляду

$$Q_{BADC} = \frac{10^{\frac{6n+1,8}{20}}}{(2^{n_1} + 2^{n_2} - 2) \cdot \frac{t_c}{T_s}}. \quad (4)$$

Цей вираз є справедливим для вихідної розрядності АЦП від 4 бітів і вище.

Структура швидкодійного АЦП паралельного типу

Для розширення динамічного діапазону АЦП пропонується використовувати багатоступеневу структуру, у якій перетворення аналогового сигналу у цифровий здійснюється за декілька етапів. Основою побудови таких АЦП є базові АЦП зчитування. В серійних високочастотних АЦП використовується від 3 до 7 базових АЦП, що ґрунтуються на паралельному принципі побудови [1]. Базові АЦП паралельного типу набули широкого поширення в конвеєрних перетворювачах завдяки таким перевагам: максимальна швидкодія при мінімальній динамічній похибці, відсутність аналогових лінійних вузлів та регулярність структури. Водночас, паралельні АЦП мають суттєвий недолік, а саме: збільшення розрядності АЦП (розширення динамічного діапазону) супроводжується різким ускладненням схеми, тобто число

компараторів у таких n -розрядних АЦП пропорційна 2^n [4].

У роботі пропонується паралельний АЦП, у якому за рахунок комутації шин джерела опорної напруги, розширення динамічного діапазону (збільшення числа вихідних розрядів), не призводить до різкого апаратного ускладнення.

На рис. 1 наведено структурну схему швидкодіючого АЦП паралельного типу. Пристрій містить: шину напруги E_{in} , вхід стробуючого сигналу E_c , $2^{n-n_1} - 1$ компараторів (К) старших розрядів з прямими (+), інверсними (-) і стробуючими (С) входами, малорозрядний паралельний аналого-цифровий перетворювач (МАЦП), елементи пам'яті (П), зокрема D-тригери, виходи Q_{n1} молодших розрядів, перетворювач коду (ПК), аналоговий комутатор (АК), джерело опорної напруги ДОН, джерело стробуючого сигналу (ДСЕ), елемент І-АБО, шина джерела стробуючого сигналу, дві шини джерела опорної напруги малорозрядного паралельного аналого-цифрового перетворювача.

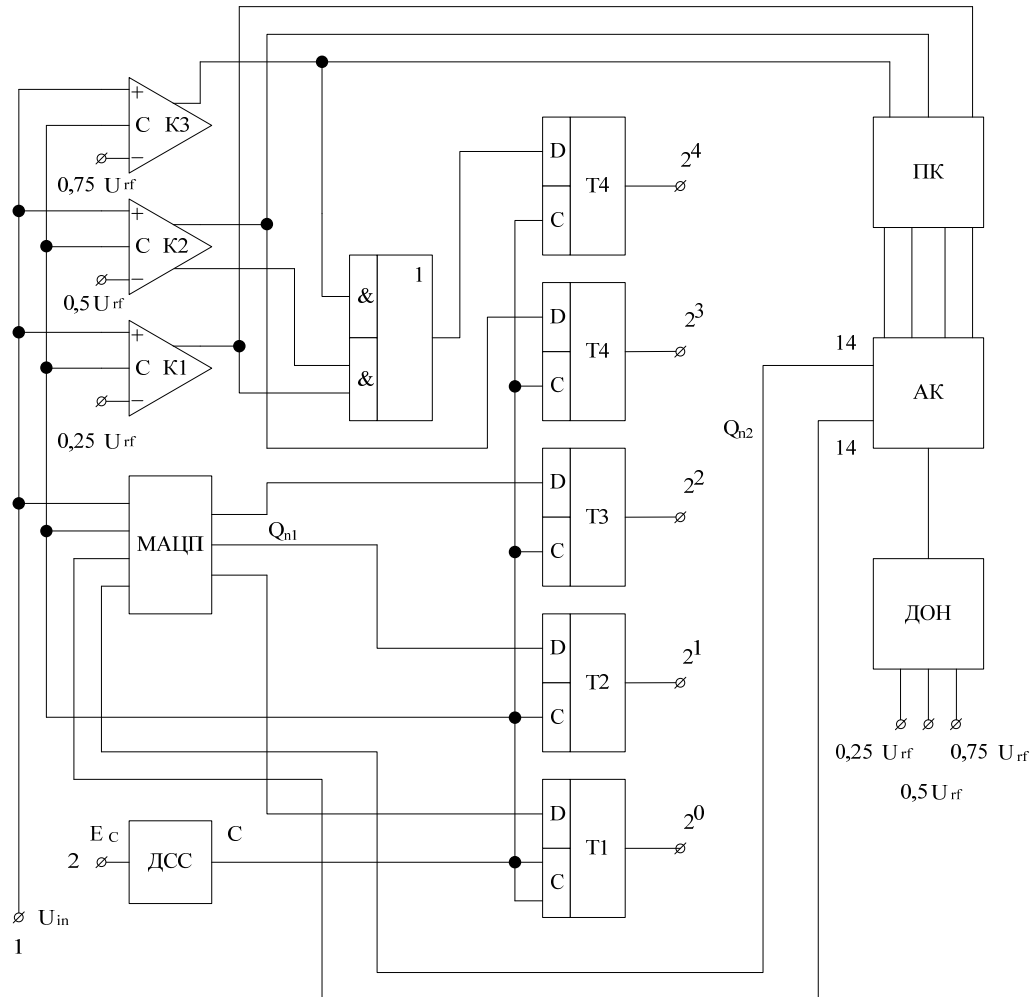


Рис. 1. Структурна схема швидкодіючого АЦП паралельного типу

Число компараторів старших розрядів залежить як від вибраного числа n двійкових розрядів аналого-цифрового перетворювача, так і від числа n_1 розрядів малорозрядного паралельного АЦП і дорівнює $2^{n-n_1} - 1$. У даному випадку число компараторів старших розрядів дорівнює 3, тому що число двійкових розрядів аналого-цифрового перетворювача дорівнює 5 і число розрядів малорозрядного паралельного АЦП дорівнює 3.

Аналого-цифровий перетворювач працює наступним чином. Вхідний сигнал U_{in} , який перетворюється, через вхідну шину надходить на прямі входи компараторів старших розрядів і на сигнальний вхід малорозрядного паралельного АЦП. Опорна напруга, яка формується джерелом опорної напруги, на малорозрядний паралельний АЦП подається по двом шинам джерела опорної напруги, потенціали яких змінюються залежно від цифрового коду на вході аналогового комутатора. Сигнал з виходу компараторів старших розрядів через елемент І-АБО надходить до першого елемента пам'яті. В залежності від значення вхідної напруги U_{in} відбувається зміна вхідних рівнів компараторів старших розрядів і малорозрядного паралельного АЦП, опорна напруга якого визначається кодовою комбінацією перетворювача коду.

При надходженні на вхідну шину аналогового сигналу напругою $0 < U_{in} < 0,25U_{rf}$, на виходах

компараторів формується код 000, який визначає величини потенціалів на шинах джерела опорної напруги відповідно 0 і $0,25U_{in}$, а різниця потенціалів $\Delta U = 0,25U_{rf} - 0 = 0,25U_{rf}$. При цьому на виходах старших розрядів елементів пам'яті формується код 00.

При надходженні на вхідну шину аналогового сигналу напругою $0,25U_{rf} < U_{in} < 0,5U_{rf}$, на виходах компараторів старших розрядів формується код 001, який визначає величини потенціалів на шинах джерела опорної напруги відповідно $0,25U_{rf}$ і $0,5U_{rf}$, а різниця потенціалів $\Delta U = 0,5U_{rf} - 0,25U_{rf} = 0,25U_{rf}$. При цьому на виходах старших розрядів елементів пам'яті формується код 01.

При надходженні на вхідну шину аналогового сигналу напругою $0,5U_{rf} < U_{in} < 0,75U_{rf}$, на виходах компараторів старших розрядів формується код 011, який визначає величини потенціалів на шинах джерела опорної напруги відповідно $0,5U_{rf}$ і $0,75U_{rf}$, а різниця потенціалів $\Delta U = 0,75U_{rf} - 0,5U_{rf} = 0,25U_{rf}$. При цьому на виходах старших розрядів елементів пам'яті формується код 10.

При надходженні на вхідну шину аналогового сигналу напругою $0,75U_{rf} < U_{in} < U_{rf}$, на виходах компараторів старших розрядів формується код 111, який визначає величини потенціалів на шинах джерела опорної напруги відповідно $0,75U_{rf}$ і U_{rf} . При цьому на виходах старших розрядів елементів пам'яті формується код 11.

Виходячи з наведеного опису алгоритму функціонування АЦП, значення опорної напруги малорозрядного паралельного аналого-цифрового перетворювача на кожній із шин джерела опорної напруги змінюється, а різниця потенціалів ΔU між ними залишається постійною, тому що АЦП працює з незмінним кроком квантування.

Виконання паралельного АЦП згідно наведеної схеми з використанням аналогового комутатора, який змінює значення опорної напруги малорозрядного паралельного аналого-цифрового перетворювача дозволяє підвищити розрядність паралельних аналого-цифрових перетворювачів з одночасним спрощенням пристрою в цілому.

Комп'ютерне моделювання АЦП з розширеним динамічним діапазоном

Найоптимальнішим для моделювання розробленої схеми АЦП є пакет схемотехнічного моделювання NI Multisim 12.0. Моделювання АЦП здійснювалось на рівні принципової електричної схеми, тобто на рівні елементів, що є найбільш точним і адекватним наближенням до реального пристрою, при цьому враховувались динамічні властивості окремих мікросхем. Для кількісного оцінювання якості функціонування швидкодіяного АЦП використовуються результати моделювання вихідного сигналу АЦП у частотному вимірі. Спектр вихідного сигналу АЦП наведено на рис. 2, при цьому знаходяться числові параметри спектра аналогового еквівалента вихідного сигналу досліджуваного перетворювача.

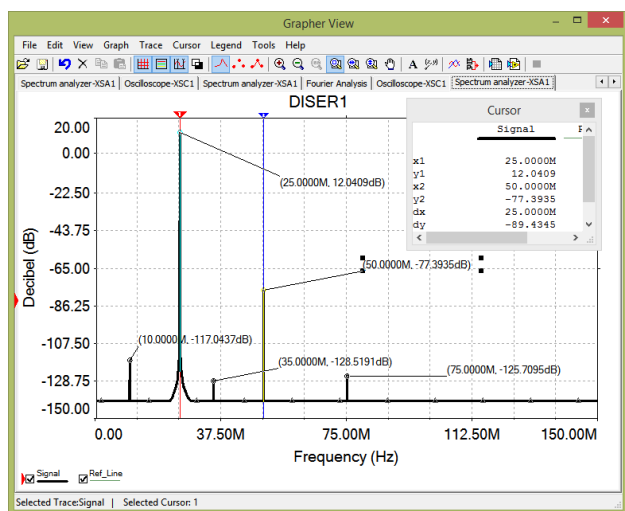


Рис. 2. Спектр вихідного сигналу АЦП

Аналіз результатів моделювання дозволяє стверджувати, що у смузі нижніх частот динамічний діапазон розробленого АЦП на 12 дБ ширший порівняно з класичною структурою АЦП зчитування, а зі збільшенням частоти вхідного сигналу цей виграв зростає і на граничній частоті 50 МГц досягає значення 18 дБ.

Аналіз ефективності швидкодіяного АЦП з розширеним динамічним діапазоном

На базі запропонованого критерію ефективності (4) можна знайти його чисельні значення для конкретних реалізацій швидкодіяних АЦП. У таблиці 1 наведено результати розрахунку критеріїв ефективності розробленого АЦП паралельного типу та класичного АЦП зчитування.

Таким чином, в результаті послідовного використання узагальненого та частинного критеріїв на різних етапах розробки розв'язується задача оптимізації розроблюваних АЦП. Як видно з таблиці 1, АЦП зчитування характеризується високими апаратними витратами, які різко зростають при збільшенні розрядності, а узагальнений критерій набуває низьких значень, які практично не залежать від числа розрядів.

Критерієм якості розробленого АЦП є реальний динамічний діапазон, який у частотному вимірі знаходиться як [4]

$$D_r = 20 \lg \left(\frac{U_1}{U_{\max}} \right), \text{ [дБ]}, \quad (5)$$

де U_1 – амплітуда основної гармоніки вихідного сигналу АЦП; U_{\max} – максимальна амплітуда по усій складовій спектра вихідного сигналу АЦП, окрім основної гармоніки.

Використовуючи процедуру визначення U_1 та U_{\max} для кількох значень частоти вхідного синусоїдального сигналу, можна отримати залежність реального динамічного діапазону АЦП від частоти вхідного сигналу.

Результати розрахунку ефективності АЦП

| Число розрядів, n | | 4 | 6 | 8 | 10 |
|---------------------|-------|-----|------|------|------|
| АЦП зчитування | m_e | 15 | 63 | 255 | 1023 |
| | Q | 1,3 | 1,23 | 1,21 | 1,2 |
| Паралельний АЦП | m_e | 6 | 14 | 30 | 32 |
| | Q | 1,6 | 2,8 | 5,2 | 9,9 |

У розробленому швидкодіючому АЦП спостерігається покращення узагальненого критерію ефективності при збільшенні числа розрядів, водночас апаратурна складність перетворювача залишається на достатньо прийнятному рівні.

Висновки

Встановлено, що швидкодіючі АЦП з широким динамічним діапазоном використовують багатоступеневі структури, які будуються на базі АЦП зчитування. Водночас базові АЦП паралельного типу мають суттєвий недолік, а саме: збільшення розрядності АЦП (розширення динамічного діапазону) супроводжується різким ускладненням схеми.

Запропоновано узагальнений критерій ефективності базового АЦП, який враховує динамічний діапазон, швидкодію та структурну складність перетворювача.

У роботі розроблено паралельний АЦП, у якому за рахунок адаптації рівнів опорної напруги до значення вхідного сигналу, розширення динамічного діапазону (збільшення числа вихідних розрядів), не призводить до різкого апаратурного ускладнення.

Аналіз ефективності розробленого швидкодіючого АЦП дозволив стверджувати, що спостерігається покращення запровадженого узагальненого критерію при збільшенні числа розрядів, водночас апаратурна складність перетворювача залишається на достатньо прийнятному рівні.

Література

1. Кестер У. Аналого-цифровое преобразование : пер. с англ. / Уолт Кестер. – М. : Техносфера, 2007. – 1016 с. – ISBN 978-5-94836-146-8.
2. Bortnik G. Phase jitter estimation in radio channels of telecommunication systems / Bortnik, G., Vasylykivskiy, M. Modern Problems of Radio Engineering, Telecommunications and Computer Science - Proceedings of the 11th International Conference, TCSET'2012. – 2012. – P. 307.
3. Bortnik G. Correction of clock jitter in analog-digital equipment of telecommunication system / Bortnik, G., Vasylykivskiy, M., Cheloyan, V. Modern Problems of Radio Engineering, Telecommunications and Computer Science - Proceedings of the 10th International Conference, TCSET'2010. – 2010. – P. 221.
4. Бортник Г.Г. Методи та засоби аналого-цифрового перетворення високочастотних сигналів / Г.Г. Бортник, С.Г. Бортник, В.М. Кичак. – Вінниця : ВНТУ, 2013. – 128 с. – ISBN 978-966-641-537-3.
5. Бортник Г.Г. Метод аналого-цифрового перетворення високочастотних сигналів з додатковим шумоподібним сигналом / Г.Г. Бортник, О.В. Стальченко, К.О. Боярський // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. – 2015. – № 1. – С.100-105.
6. Бортник Г.Г. Аналого-цифровий тракт комп'ютерних систем з цифровим обробленням високочастотних сигналів / Г.Г. Бортник, О.В. Стальченко, О.І. Паламарчук // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. – 2015. – № 2. – С.74-78.

References

1. Kester W. Analogo-cifrovoe preobrazovsnie / Walt Kester. – M.: Technosphere, 2007. – 1016 p.
2. Bortnik G. Phase jitter estimation in radio channels of telecommunication systems / Bortnik, G., Vasylykivskiy, M. Modern Problems of Radio Engineering, Telecommunications and Computer Science - Proceedings of the 11th International Conference, TCSET'2012. – 2012. – P. 307.
3. Bortnik G. Correction of clock jitter in analog-digital equipment of telecommunication system / Bortnik, G., Vasylykivskiy, M., Cheloyan, V. Modern Problems of Radio Engineering, Telecommunications and Computer Science - Proceedings of the 10th International Conference, TCSET'2010. – 2010. – P. 221.
4. Bortnyk G.G. Metodu ta zasobu analogo-cifrovogo peretvoreny vusokochastotnuh signaliv / G.G. Bortnyk, S.G. Bortnyk, V.M. Kuchak. – Vinnytsya: VNTY, 2013. – 128 p.
5. Bortnyk G.G. Analo-cifroviy trakt kompiuternykh system z tsyfrovym obroblienniam vysokochastotnykh syhnaliv / G.G. Bortnyk, O.V. Stalchenko, K.O. Boyskey // Vymiriuvalna ta obchysliuvalna tekhnika v tekhnolohichnykh protsesakh. – 2015. – № 1. – P. 100-105.
6. Bortnyk G.G. Metod analogo-cifrovogo peretvoreny vusokochastotnuh signaliv z dodatkovum shumopodibnum signalom / G.G. Bortnyk, O.V. Stalchenko, O.I. Palamarchuk // Vymiriuvalna ta obchysliuvalna tekhnika v tekhnolohichnykh protsesakh. – 2015. – № 2. – P. 74-78.