

Кардашук В. С., Тараканов А. Ю.

МЕТОДИ ТА ЗАСОБИ ПЕРЕТВОРЕННЯ АНАЛОГОВОЇ ІНФОРМАЦІЇ У КОМП'ЮТЕРНИХ СИСТЕМАХ

У статті запропоновані методи перетворення аналогової інформації за допомогою аналого-цифрових перетворювачів (АЦП), порівняння методів перетворення, час перетворення. Розглянуто діяльність компанії Analog Devices, що займається розробкою і виготовленням напівпровідникових продуктів та посідає перше місце у світі у виробництві перетворювачів даних.

Ключові слова: аналого-цифровий перетворювач, аналоговий сигнал, дискретний код, розрядність, шкала, сігма-дельта АЦП, Analog Devices, мікропроцесор.

Вступ. Аналого-цифровий перетворювач (АЦП) – обладнання, яке перетворює вхідні аналогові сигнали у цифрові сигнали (дискретний код) з метою визначення його значень. АЦП у тестовому і вимірювальному устаткуванні - це найважливіший електронний компонент. АЦП перетворить аналоговий сигнал у код. Потім цей код мікропроцесор та програмне забезпечення будуть виконувати перетворення. Компанія Analog Devices пропонує найширшу в області перетворення лінійку АЦП, здатних задовольнити різні вимоги до продуктивності, енергоспоживання, вартості та габаритів. Бувши провідним світовим постачальником даного виду компонентів компанія Analog Devices пропонує перетворювачі даних, які забезпечують точне та надійне перетворення в широкому спектрі областей застосування, включаючи зв'язок, енергетику, охорону здоров'я, вимірювальну техніку, управління двигунами й джерелами живлення, промислову автоматику, авіаційно-космічну, оборонну техніку тощо. Компанія Analog Devices також пропонує різноманітні інформаційні ресурси, покликані допомогти інженерам на кожному етапі проектування від вибору продуктів до розробки схеми [7].

Постановка проблеми. Процес перетворення пов'язаний зі збереженням неповної або часткової інформації про вхідний сигнал пов'язаний з переходом від функції безперервної до функції дискретної. Слід зазначити, що процес з квантування сигналу вносить в перетворення похибку, таку як шум квантування.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. 17 вересня 2018 р. - Норвуд, Масачусетс. Analog Devices анонсує Power by Linear™ LT8708/-1, ефективний двоспрямований контролер регулятора перемикачання з байпасом на 98%, який працює між двома батареями з однаковою напругою, які ідеально підходять для резервування в самозарядних автомобілях. LT8708/-1 працює від вхідної напруги, яка може бути вище, нижче або дорівнює вихідній напрузі, що робить його добре підходящим для двох батарей 12В, 24В або 48В, зазвичай використовуваних в електричних та гібридних транспортних засобах. Він працює між двома батареями й запобігає вимиканню системи, якщо одна з батарей виходить з ладу. LT8708/-1 також може використовуватися у двох батареях з напругою 48 В / 12 У и 48 В / 24 В. LT8708/-1 працює з одним індуктором у діапазоні вхідної напруги від 2,8 до 80 У та може створювати вихідну напругу від 1,3 до 80 В, забезпечуючи до декількох кіловатів потужності залежно від вибору зовнішніх компонентів і кількості фаз. Це спрощує перетворення двоспрямованої потужності в системах резервного живлення акумулятора, що потребують регулювання V_{OUT} , V_{IN} та/або I_{OUT} , I_{IN} , як у прямому, так і у зворотному напрямку. Шість незалежних форм регулювання цього обладнання дозволяють використовувати його в численних додатках. LT8708-1 використовується паралельно з LT8708 для додавання потужності й фаз. LT8708-1 завжди працює як підлеглий провідному обладнанню LT8708, може бути синхронізований по фазі й має можливість доставляти стільки потужності, скільки основний. Один або кілька підлеглих обладнань можуть бути підключені до одного провідного обладнання, пропорційно збільшуючи потужність та силу струму системи. Інший додаток - для вхідної напруги для живлення навантаження, де ця ж вхідна напруга використовується для живлення схеми LT8708/-1, що заряджає батарею або банк конденсаторів. Коли вхідна напруга відсутня, навантаження підтримує живлення без збоїв від батареї. Прямий та зворотний струми можна контролювати й обмежувати для вхідних та вихідних сторін перетворювача. Усі чотири граничні значення струму (прямий/зворотний вхід, прямий/зворотний вихід) можуть бути встановлені незалежно з використанням чотирьох резисторів. У комбінації з висновком DIR (напрямок) мікросхема може бути налаштована для обробки потужності від V_{IN} до V_{OUT} або від V_{OUT} до V_{IN} , що ідеально підходить для систем автомобільної, сонячної, телекомунікаційної й акумуляторної систем [7].

Мега статті. Дослідження методів перетворення аналогового сигналу в цифровий; характеристики, які необхідно враховувати при проектуванні систем збору даних з використанням методів перетворення. Огляд діяльності компанії по розробці АЦП.

Результати досліджень. Алгоритм роботи АЦП можна представити трьома основними етапами:

1. Вибір значення вхідної аналогової величини в якийсь дискретний момент часу, тобто - дискретизація сигналу за часом;
 2. Приведення у відповідність одержаної в якийсь момент часу послідовності значень вхідної аналогової величини до якійсь відомих величин - це квантування сигналу за рівнем ;
 3. Заміна знайдених квантованих значень певною кількістю числових кодів - це кодування сигналу.
- Процес перетворення аналогового сигналу в цифровий розглянемо на рис. 1.

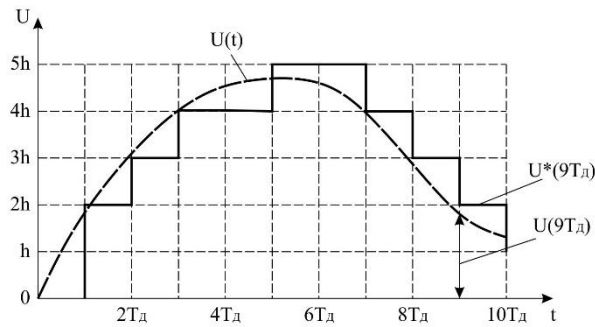


Рис. 1. Перетворення аналогового сигналу в цифровий

На рис. 1 зазначено аналогову систематичність $U(t)$. З метою отримання значення її дискретного еквіваленту, вибираємо її деякі значення через певні відрізки часу T_d . Періоди дискретизації є величинами T_d і відповідно є процесами обміну вихідних аналогових функцій $U(t)$ дискретних функцій $U(nT_d)$ тобто дискретизацією.

При цьому, отримана функція залишається аналоговою тому, що може приймати безкінечне число значень.

Слід помітити, що процеси квантування за рівнями дискретних функцій $U(nT_d)$ полягають в відображенні безкінечної кількості її значень на деякі кінцеві купи значень U^*n , що є рівнями квантування. З метою проведення даних операцій повні динамічні діапазони змін дискретних функцій $U(nT_d)$ розбиваються на задані числа рівнів N та здійснюють округлення кожній з величин $U(nT_d)$ до наступного рівня U^*n . Таким чином, різниця між двома сусідніми рівнями квантування називається кроком квантування h .

Для забезпечення здійснювання завершального етапу перетворення обирають сигнал, який зможе показувати не менш $(N+1)$ значень і кожному дискретному значенню U^*n порівняти якийсь сигнал.

Проаналізувавши дане рішення, можна зробити висновок, що процеси перетворення пов'язаний з утратою певних частин інформації про вхідний сигнал при переході від безперервної функції до функції дискретної. Як зазначалося вище, квантування сигналу це процес, який вносить в перетворення похибку - шум квантування. З метою уникнення зазначених похибок потрібно підвищувати частоту дискретизації й розрядність аналого-цифрових перетворювачів.

Мікросхеми аналого-цифрових перетворювачів можна охарактеризувати великим спектром різноманітних параметрів, такі як діапазон робочої температури, розміри мікросхем та інші. Характеристика зазначається в документації на кожен конкретний вид мікросхем та враховуються для проектування справжніх приладів.

Виробники у каталозі мікросхеми вказують інформацію про:

- розрядність (4 - 31біт);
- число вибірок в сек. (до 3,6GSPS);
- число каналів (1 - 64) - число аналогових входів;
- інтерфейс, що підтримується (SPI, I2C, LVDS);
- напруження живлення (уніполярна/біполярна), опорне напруження (від декількох до кількох десятків вольт);
- діапазон вхідного коду;
- потужність споживання;
- вартість (самі дешеві АЦП можуть коштувати навіть менше одного долара; вартість мікросхем, які застосовуються у військовій та космічній галузях, можуть коштувати декілька тисяч доларів).

У таблиці 1 надано мікросхеми АЦП, що пропонуються різними виробниками [7 – 9].

Таблиця 1

Параметри мікросхем АЦП різних виробників

Виробник	Найменування	Архітектура	Розрядність, біт	Число вибірок, SPS	Число каналів	Підтримка інтерфейсу
Analog Devices	AD9484	конверсна	8	1G	1	Par
	AD7995	послед. приבל.	10	140K	4	PC2-Wire
	AD6672	конверсна	11	250M	1	LVDS
	AD10465	конверсна	14	65M	2	Par
	AD7856	послед. приבל.	14	285K	8	SPI
	AD7714	сігма-дельта	24	1K	5	SPI
Texas Instruments	TLC5510A	Флеш	8	20M	1	Par CMOS
	ADS7961	послед. приבל.	8	1M	16	SPI
	THS1007	конверсна	10	6M	4	Par CMOS
	ADC12D1800		12	3,6G	2	
	ADS5400-SP	конверсна	12	1G	1	LVDS, SPI
	ADS8284	послед. приבל.	18	1M	4	Par CMOS
	DDC264	сігма-дельта	20	6,25K	64	
	ADS1282	сігма-дельта	31	4K	2	SPI
MAXIM	MAX11642	послед. приבל.	8	300K	16	SPI
	MAX11101	послед. приבל.	14	200K	1	Micro wire, QSPI, SPI
	MAX1401	сігма-дельта	18	4,8K	5	SPI
	MAX11202	сігма-дельта	24	0,12K	1	SPI

АЦП поділяються на два великі класи [6]:

- що працюють на частоті Найквіста (Nyquist-rate);
- з передискретизацією (oversampling).

Відмінності між даними підходами показані на рисунку 2. Тут спектр частот вхідного сигналу обмежений частотою f_B . Згідно з теоремою Найквіста-Шеннона (теорема Котельникова), для його відновлення з наперед заданою похибкою, необхідно дискретизувати його з частотою $f_s > 2f_B$ ($f_s = 2f_B$ – частотою Найквіста).

Як бачимо з рисунка 2, з ростом частоти дискретизації збільшується захист від накладення спектрів, що знижує шум квантування. Частота передискретизації може в кілька десятків разів перевищувати частоту Найквіста.

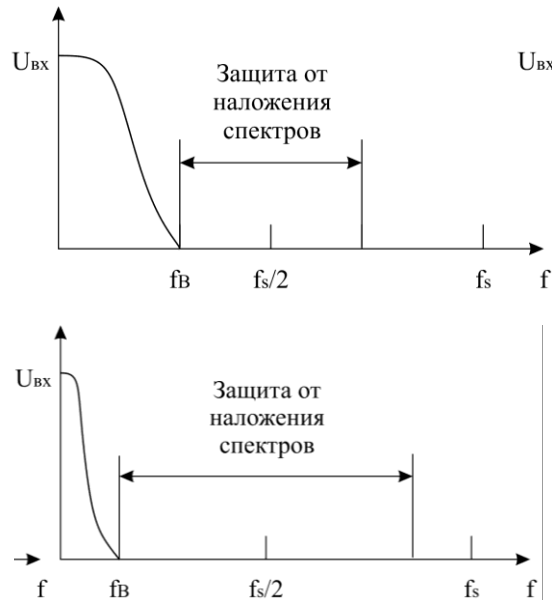


Рис. 2. Порівняння підходів до вибору частоти дискретизації

Таким чином, в АЦП першого класу алгоритм перетворення повинен бути виконаний за один або кілька періодів дискретизації (цикл), в залежності від спектру частот вхідного сигналу; АЦП другого класу дозволяють витратити на перетворення кілька десятків циклів. Звідси впливає основна відмінність між перетворювачами: АЦП з передискретизацією мають більшу розрядність, в порівнянні з АЦП, що працюють на частоті Найквіста; проте їх швидкодія менше.

Проведемо дослідження типових методів АЦП.

Метод паралельного перетворення. Даний метод, що має назву full-flash, ставиться до АЦП 1-ого класу (рис. 3).

N -розрядний аналого-цифровий перетворювач даного класу включає (2^N-1) компараторів та стільки ж початків опорних напружень. На чергових циклах вхідних напруг зберігаються схеми вибірки й зберігання. Потім трапляється його зрівняння із всіма опорними напруженнями. Внаслідок чого з виходу компаратора усувається 2^N-1 - розрядний сигнал, який трансформується дешифратором у вихідний код.

Втілення розв'язання трансформування в такому аналого-цифровому перетворювачі реалізується за 1 цикл, тому такий метод дає змогу досягнути максимальної швидкої дії. Однак, зі зростанням розрядності кількість частин схем і ділянка кристала збільшується в геометричній прогресії. Через те розрядність аналого-цифрового перетворювача паралельного перетворення мало коли буває більш ніж 8 біт.

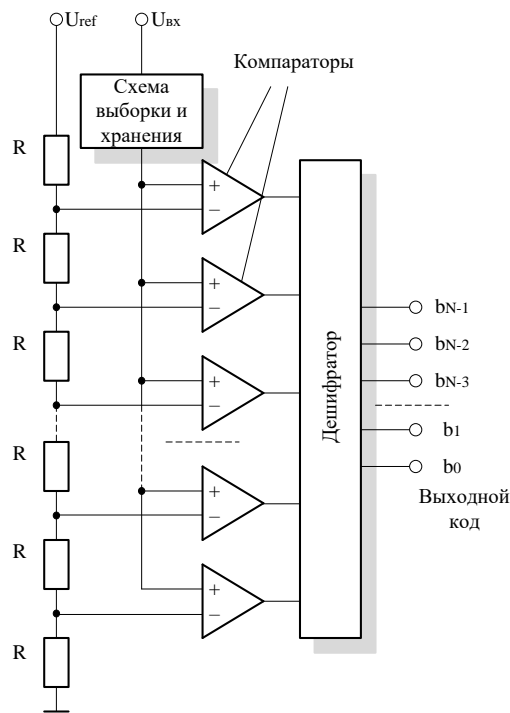


Рис. 3. Структура схеми аналого-цифрового перетворювача паралельного перетворення

Конвеерна архітектура. Дана архітектура дозволяє підвищити розрядність full-flash АЦП шляхом реалізації алгоритму перетворення в кілька етапів (рис. 4). Тут вхідна напруга зберігається в схемі вибірки і зберігання, після чого M -бітний АЦП виробляє грубу оцінку вхідного сигналу (отримання старших M бітів). Цифро-аналоговий перетворювач потім перетворить цифровий код в аналоговий сигнал, який віднімається з вхідного сигналу. Залишок перетворюється в АЦП для отримання молодших N бітів.

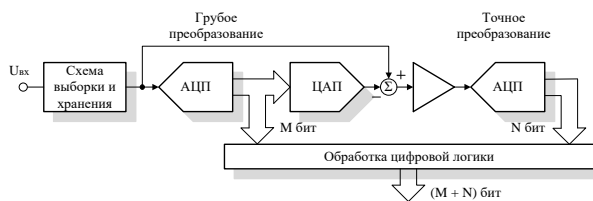


Рис. 4. Структурна схема конвеерного АЦП

При використанні 8-розрядних АЦП паралельного перетворення такий підхід дозволяє отримати 16-бітний АЦП. При цьому число компараторів становить 510. Для реалізації 16-бітного АЦП паралельного перетворення необхідно було б 65536 компаратора. У загальному випадку можна використовувати K АЦП, включених послідовно (рис. 5). Час, витрачений на алгоритм перетворення, при цьому становить $(K+1)$ циклів, включаючи цикл вибірки вхідної напруги.

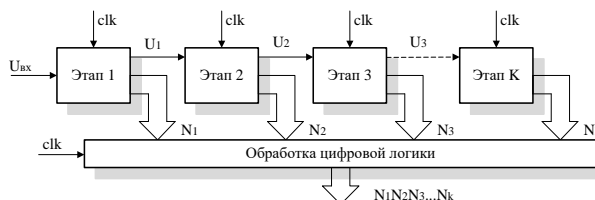


Рис. 5. K -етапна конвеерна архітектура

Нескінченне збільшення розрядності даної архітектури обмежене складнощами узгодження характеристик складових елементів. Кожне перетворення сигналу «аналоговий \rightarrow цифровий \rightarrow аналоговий» дає похибку в обчисленні залишку. Зі збільшенням числа етапів, відповідно, зростає похибка.

Метод послідовного наближення. Спосіб розв'язання послідовних наближень здійснюється АЦП за декілька періодів шляхом використаних раніше бітів для одержання наступного біта цифрового сигналу (рис. 6). Після вибору вхідного напруження, його порівнюють із половинчастим значенням динамічного діапазону

аналого-цифрового перетворювача. Отже, визначається 1-ий біт вихідного сигналу. У подальшому циклі відбудеться порівняння з четвертою частиною діапазону, отримання 2-го біта і т. д. Спосіб розв'язання перетворення для n-розрядного аналого-цифрового перетворювача займає (n+1) циклів, враховуючи цикли вибірки вхідного напруження.

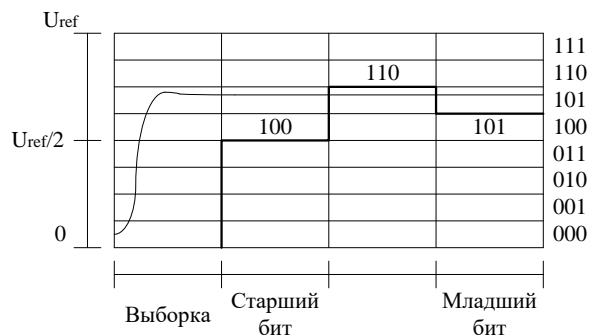


Рис. 6. Графік послідовного наближення

Структура схеми аналого-цифрового перетворювача послідовного наближення надано на рисунку 7. Привілеями аналого-цифрового перетворювача даного типу - це проста схема та низька потужність споживання. Швидкості перетворення навпаки пропорційні розрядності аналого-цифрового перетворювача.

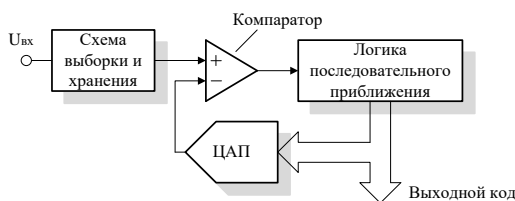


Рис. 7. Структура схеми АЦП послідовного наближення

Інтегруючі перетворювачі. Аналого-цифрове перетворення вхідного коду в перетворювачах даного типу відбувається в 2 етапи (рисунк 8). На 1-ому етапі здійснюється заряд інтегруючого конденсатора вхідним напруженням впродовж фіксованого інтервалу часу, який називається періодом інтегрування. На 2-ому етапі здійснюється розряд конденсатора. Задается струм до нульового напруження. Період розряду при цьому пропорційний величині вхідного напруження.

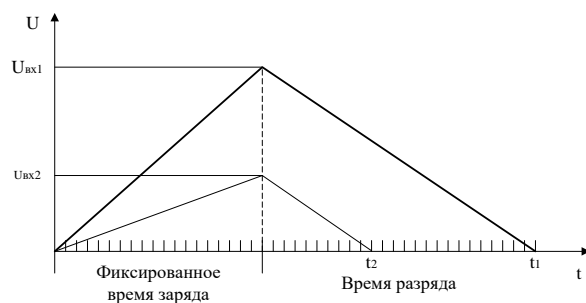


Рис. 8. Процес перетворення вхідного напруження в інтегруючій перетворювачі

Перетворювачі даного типу мають наступні переваги:

- не чуттєвість до імпульсних перепон;
- нечуттєвість к періодичним перешкодам;
- розрядність 12 ... 20-біт;
- ключова індивідуальність - не чуттєвість до змін тактових частот.

Однак є і недоліки - це низький час перетворення, близько 1 ... 1000 мс.

Сіigma-дельта АЦП. Метод сіigma-дельта перетворення відноситься до класу АЦП з передискретизацією. Ключовою особливістю таких АЦП є багаторазовий вибір вхідного сигналу з подальшою його обробкою. Блок-схема сіigma-дельта перетворювача наведено на рис. 9.

У блок-схему входить наступне:

- перетворювач на базі сіigma-дельта модулятора високого порядку;
- цифровий фільтр низьких частот;
- дециматор.

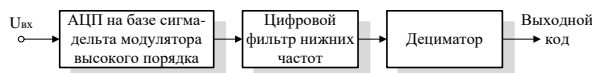


Рис. 9. Блок-схема сигма-дельта АЦП

Перетворення вхідного сигналу виконується блоком АЦП. Також виконується подавлення шуму на низьких частотах. Це стає можливим внаслідок витиснення сигналу в область високої частоти. З АЦП виходить сигнал і поступає на цифровий фільтр нижніх частот. На фільтрі проводиться усереднення сигналу. Останнім потоком сигма-дельта АЦП є фільтр децимації. Його основною функцією є зниження швидкості передачі вихідних даних, щоб вони відповідали смузі частоти вхідних сигналів. Процес, який перетворює частотний спектр сигналу в сигма-дельта перетворювач наведено на рисунку 10.

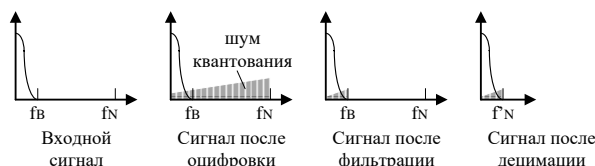


Рис.10. Зміна спектра вхідного сигналу в процесі перетворення

Ефективний алгоритм придушення шумів дозволяє отримувати сигма-дельта АЦП високої розрядності. АЦП даного типу забезпечують мінімальну похибку дискретизації, в порівнянні з іншими перетворювачами. Недоліком архітектури сигма-дельта є неможливість обробки сигналів, що швидко змінюються.

Висновок. АЦП мають ряд хар-ристик, які необхідно враховувати при проектуванні систем збору даних. По-перше, на що слід звертати увагу при виборі АЦП, - це швидкість, з якою змінюється вхідний сигнал і похибка перетворення, що допускається. З розглянутих методів найбільша швидкість перетворення має АЦП паралельного перетворення та конвеєрного типу; найбільша розрядність - сигма-дельта АЦП. Середнє положення займає метод послідовного наближення. Цей метод відрізняється відносною простотою реалізації.

Література

1. <http://ru.wikipedia.org/wiki/>.
2. Lan Grout, Digital Systems Design with FPGAs and CPLDs, 2008. - 724 p. - ISBN-13: 978-0-7506-8397-5.
3. Котюк А.Ф., Датчики в современных измерениях. - М.: Радио и связь, Горячая линия - Телеком, 2006. - 96с.: ил. - (Массовая радиобиблиотека; Вып. 1277).
4. Бонни Бейкер, Что нужно знать цифровому инженеру об аналоговой электронике /Бонни Бейкер; пер. с англ. Ю.С.Магды. - М.: Додэка-XXI. 2010. - 360 с.: ил. - (Серия «Схемотехника»). -Доп. тит. англ. - ISBN 978-5-94120-170-9.
5. Опадчий Ю.Ф., Глудкин О.П., Гуров А.И., Аналоговая и цифровая электроника (полный курс): Учебник для вузов. Под ред. О.П.Глудкина. - М.: Горячая линия - Телеком, 2007. - 768 с.: ил.
6. Franco Maloberti, Data Converters, 2007. - 440 p. - ISBN-13: 978-0-387-32485-2(НВ).
7. Материалы официального сайта фирмы Analog Devices <http://www.analog.com/>.
8. Материалы официального сайта фирмы Texas Instruments <http://www.ti.com/>
9. Материалы официального сайта фирмы MAXIM <http://www.maxim-ic.com/>
10. Хоровиц П., Хилл У., Искусство схемотехники: Пер. с англ. - Изд. 7-е. М.: Мир, БИНОМ. - 2009. - 704 с., ил.

Reference

1. <http://ru.wikipedia.org/wiki/>.
2. Lan Grout, Digital Systems Design with FPGAs and CPLDs, 2008. - 724 p. - ISBN-13: 978-0-7506-8397-5.
3. Kotyuk AF, Sensors in modern measurements. - M.: Radio and communications, Hotline - Telecom, 2006. - 96p.: - (Mass Radio Library; Vol. 1277).
4. Bonnie Baker, What digital engineers need to know about analog electronics / Bonnie Baker; per. from English Yu.S. Magda. - M.: Dodeka-XXI. 2010. - 360 p. - (A series of "circuitry"). - ISBN 978-5-94120-170-9.
5. Opadchiy Yu.F., Gludkin O.P., Gurov A.I., Analog and Digital Electronics (full course): Textbook for universities. O.P. Gludkin. - M.: Hotline - Telecom, 2007. - 768 p.
6. Franco Maloberti, Data Converters, 2007. - 440 p. - ISBN-13: 978-0-387-32485-2 (НВ).
7. Materials of the official site of the company Analog Devices <http://www.analog.com/>.
8. Materials of the official website of the company Texas Instruments <http://www.ti.com/>
9. Materials of the official site of the company MAXIM <http://www.maxim-ic.com/>
10. Horowitz P., Hill U., The Art of Circuit Engineering: Trans. from English - Ed. 7th. M.: Mir, BINOM. - 2009. - 704 p.

В статье предложены методы преобразования аналоговой информации с помощью аналого-цифровых преобразователей (АЦП), сравнение методов преобразования, время преобразования. Также освещена деятельность компании Analog Devices, которая занимается разработкой и изготовлением полупроводниковых продуктов и занимает первое место в мире по производству преобразователей данных.

Ключевые слова: аналого-цифровой преобразователь (АЦП), аналоговый сигнал, дискретный код, разрядность, шкала, сигма-дельта АЦП, Analog Devices, микропроцессор.

The article proposes methods for converting analog information using analog-to-digital converters (ADC), a comparison of conversion methods, conversion time. Also covers the activities of Analog Devices, which is engaged in the development and manufacture of semiconductor products and ranks first in the world in the production of data converters.

Keywords: *analog-to-digital converter (ADC), analog signal, discrete code, digit capacity, scale, sigma-delta ADC, Analog Devices, microprocessor.*

Кардашук В.С. – к.т.н, доцент кафедри комп'ютерних наук та інженерії Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля, e-mail: kardashuk1@gmail.com

Тараканов А.Ю. – магістр групи КІ-17зм кафедри комп'ютерних наук та інженерії Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля, e-mail: anton3766@gmail.com