

КОРАБЛЕБУДУВАННЯ

УДК 519.7, 629.051, 621.398, 681.5, 681.3
DOI <https://doi.org/10.32782/2663-5941/2023.1/03>

Гуриненко С.О.

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

КОНЦЕПТ УНІВЕРСАЛЬНОГО ПЕРЕТВОРЮВАЧА ІНФОРМАЦІЇ ЯК ЕЛЕМЕНТА ЦИФРОВОЇ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ

Досягнення науки та техніки в галузі цифрового та інтелектуального керування поступово впроваджуються в усі галузі промисловості. Для забезпечення інтелектуального керування в таких галузях, як авіація, аеронавтика та космонавтика, вихідні сигнали від різних систем та датчиків повинні бути представлені у вигляді цифрових кодових послідовностей. Однак, у більшості випадків вихідна інформація в цифровій послідовності від різних систем та датчиків, які використовуються в авіації та космонавтиці, не завжди можлива, а заміна відповідних систем та датчиків на аналогічні, з можливістю видачі вихідного сигналу у цифровій послідовності, є, у більшості випадків, трудомістким та складним завданням, яке не завжди є раціональним та економічно обґрунтованим. У зв'язку із цим виникає необхідність розробки та створення спеціального пристрою, здатного перетворювати вихідну аналогову інформацію, яка отримана від значної кількості систем та датчиків, що використовуються на об'єкті керування, у цифрову кодову послідовність. Проектування та реалізація такого пристрою дає можливість для реалізації цифрового, адаптивного та інтелектуального керування.

У роботі пропонується концепція універсального перетворювача інформації, призначеного для впровадження в цифрову систему керування. Універсальний інформаційний перетворювач дозволяє конвертувати аналогові значення, отримані від датчиків, які встановлені на борту об'єкта. Універсальний інформаційний перетворювач реалізує концепцію моноблока з багатоканальними входами, які дозволяють вимірювати та перетворювати різні типи величин.

Запропонований пристрій може відстежувати вхідні значення та перетворювати їх із заданим бажаним допуском.

У запропонованій статті продемонстровано основні властивості універсального інформаційного перетворювача, зображено структурну блок-схему інформаційного перетворювача та представлено підхід до перетворення сигналу отриманого від селесина.

Ключові слова: Універсальний перетворювач інформації (УІТ), аналого-цифрове перетворення (АЦП (ADC)), система керування, цифрова система керування.

Постановка проблеми. Цифрове автоматичне керування поступово витісняє аналогове автоматичне керування у всіх галузях промисловості. Для забезпечення цифрового керування системі можуть знадобитися датчики з цифровим вихідним сигналом. Однак, значна кількість систем керування, які використовуються на даний момент, мають датчики з аналоговим вихідним сигналом. Крім того, заміна датчиків з аналогової вихідної інформації на цифрову вихідну інформацію може спричинити труднощі для подальшої модернізації та ускладнити розробку системи керування, також поширеною проблемою, яка виникає протягом терміну служби, є застарілість датчиків та їх відсутність або відсутність запчас-

тин через припинення виробництва цих датчиків. Для зниження трудомісткості та зниження витрат на модернізацію аналогової системи керування до цифрової системи керування пропонується використовувати універсальний перетворювач інформації (УІТ, англ. Universal Information Transducer (UIT)) [1].

Існуючі рішення для програми перетворення інформації засновані на використанні міні-перетворювачів та їх інтеграції в конструкцію датчика. Такий підхід зумовлює трудомісткість процесу технічного обслуговування та сервісних робіт. Більше того, у випадку, якщо подібний перетворювач буде потребувати певного налаштування, такий підхід призведе до труднощів зняття із датчика.

Пропонований перетворювач виготовляється як моноблок і має переваги перед існуючими перетворювачами. Існують спеціальні пристрої – Data Concentrator Unit (DCU), розроблені та представлені компанією North Atlantic Industries рисунок 1 [2].

Ці блоки подібні до пропонованої концепції, однак недолік цих блоків – необхідність попередньої модульної конфігурації блоків та знання входів і виходів, які використовуються на об'єкті. Запропонований описаний підхід дозволить проектувати та створювати гнучкі, адаптовані, допускаючи можливість зміни конфігурації та модульно-розширювані пристрої. Пристрій забезпечує підключення датчиків з аналоговим виходом і видає необхідну перетворену інформацію в цифровому коді. Перетворювач також має функцію програмування коефіцієнтів масштабування для виведення цифрової інформації в обчислювальний блок цифрової системи керування. Функція програмування масштабних коефіцієнтів також може використовуватися для лінеаризації аналогової вхідної інформації та подальшої видачі перетвореної інформації на обчислювальні пристрої системи керування.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Значна кількість робіт описують перетворення лише окремих значень величин без подальшого практичного застосування.

Наведений нижче аналіз досліджень та розробок показує різноманітні підходи до розробки та проектування перетворювачів інформації.

У роботі [3] демонструється спеціальний пристрій, призначений для калібрування датчиків тиску. У дослідженні описуються розробки деталей універсального калібрувального пристрою датчика тиску, розробленого шляхом модифікації традиційного тривісного апарату. Автори [3] описують модифікації конструкції датчика, а також зображують схему процедури калібрування. Результати дослідження, які наведені у данній

роботі можуть бути корисними і використовуватися для реалізації при розробці процедури калібрування та обробки значень, отриманих із датчиків тиску. Однак, у дослідженні не зазначено, який датчик та який тип вихідної інформації (аналоговий чи цифровий) розглядається.

Дослідження [4] є фундаментальним дослідженням для розробки та проектування даного типу перетворювача. Запропоновані методи та підходи можуть бути повністю реалізовані в нашому дослідженні, особливо для вихідних інтерфейсів таких елементів, як платинові резистори, термістори, резистивні мости та потенціометри, дані яких зчитуються та оброблюються мікроконтролером. Однак дослідження [4] не описує принципів зчитування та перетворення даних, отриманих від селсін датчика чи обертового трансформатора. Крім того, у цьому дослідженні не розглядається процедура калібрування та масштабування вихідних даних.

Дослідження, які описані у роботі [5] розглядають високочастотний перетворювач для відеосигналів, який можна використовувати у радіотелескопах. У статті [5] надано опис розробки апаратного забезпечення, що базується на використанні ПЛІС (FPGA). Результати використання та впровадження FPGA, які описані у дослідженні (Гренков С.А. та ін. 2009), можуть бути корисні щодо оцінки переваг використання ПЛІС при виборі та проектуванні процесорного вузла, у якому виконуються математичні операції, у розроблюваному пристрої універсального перетворювача інформації. Однак, автори описали та навели приклад використання лише одного конкретного типу FPGA без порівняння з іншими типами FPGA.

Робота [7] – представляє собою опис виходу універсального аналого-цифрового перетворювача. Цей опис відображає логіку конвертора у вигляді блок-схеми. Перетворювач заснований



Рис. 1. Data Concentrator Unit (DCU) розроблені та представлені North Atlantic Industries

на роботі операційних підсилювачів, які включені та працюють у компараторному режимі з подальшою обробкою вихідного сигналу за допомогою мікросхем логіки, в результаті чого вихідний сигнал перетворюється на цифровий. Однак, недоліком пристрою, описаного у [7] полягає в тому, що підходи, які реалізовані для перетворення інформації, можуть бути застосовані лише для перетворення сигналів змінної та постійної напруги.

Постановка завдання. Більшість систем керування, особливо системи керування динамічними об'єктами, застосовують датчики з аналоговим вихідним сигналом. Завдяки тому, що ці датчики надійні та ефективні, їх використання продовжується і в наш час. Але, при проектуванні таких систем керування, як Fly-by-wire [8, 9] або створення функціоналу, такого як «Скляна кабіна» [10], необхідно враховувати особливості використовуваних датчиків і вбудовувати додаткове обладнання, яке може перетворювати аналоговий сигнал в цифровий, у конструкції датчиків або повністю змінювати датчики на аналогічні, які мають цифровий вихідний сигнал. Таке положення речей спонукає розробників систем керування шукати нові підходи до проектування та розробки систем керування [1, 11, 12]. У зв'язку з цим пропонується дослідити та розробити спеціальний монолітний блок – універсальний перетворювач інформації, здатний приймати аналогові сигнали, налаштувати вихідні характеристики до потрібних та використовувати отримані вихідні дані у розроблених рівняннях та законах керування.

Концептуально пристрій може складатися з каналів введення живлення для забезпечення живлення пристрою, каналів для прийому загально відомих вхідних величин, таких як опір, напруга тощо, а також каналів для прийому спеціальних сигналів, таких як сигнали від обертових трансформаторів та сигналів від селсін датчиків,

та каналів виходу кодованих ліній, через які передаються перетворені дані використовуючи відомі протоколи обміну інформацією (наприклад, Arinc 429, RS 232, RS 485 та ін.) [1].

Здійснення конвертації у цифрове значення відомих аналогових величин, таких як:

- Опір;
- Напруга постійного струму;
- Напруга змінного струму;
- Постійний і змінний струм;
- Частота;
- Ємність;

добре відомі та детально описані у дослідженні [13-17].

Дослідження включатиме спосіб перетворення синхронного сигналу, отриманий від синхрогенератора/селсін-генератора:

1) Створення прототипу вхідного інтерфейсу селсін -датчиків та подальша передача їх значень у цифровому коді.

Спосіб реалізації та застосування перетворення сигналу із селсина представлений у дослідженні [18].

Розробка універсального перетворювача інформації

У дослідженні розроблена та представлена концепція універсального перетворювача інформації. Концепція конструкції пристрою перетворювача базується на структурній схемі, показаній на рисунку 2 [1].

Згідно зі схемою, яка зображена на рис. 2, перетворювач працює наступним чином:

1) Аналогові сигнали надходять на електронний ключ (мультиплексор – MUX). Використання електронного ключа зменшує загальну кількість провідників;

2) Центральним процесором (ЦП) керує мультиплексором, що дозволяє опитувати електронний ключ з певною частотою. Із мультиплексора

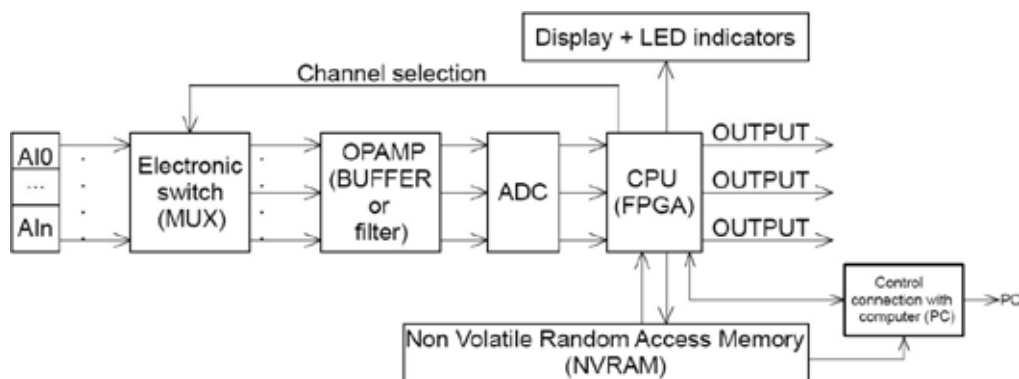


Рис. 2. Структурна схема концепта УПІ

сигнали надходять до операційного підсилювача (ОРАМР), який може або посилювати сигнал, якщо цей сигнал має низький рівень, або підсилювач включений як буфер або включений як фільтр для проведення первинної фільтрації вхідного сигналу; буферна схема дозволяє передавати сигнали з коефіцієнтом підсилення, рівним одиниці, також буферна схема дозволяє нам забезпечити ізоляцію навантаження, відокремивши будь-яке сильнострумове навантаження від вхідного підсилювача та забезпечити ізоляцію навантаження джерела тепла від чутливого прецизійного контуру;

3) З операційного підсилювача сигнали надходять на входи мікросхем аналого-цифрового перетворення (АЦП);

4) Із виходів АЦП оцифровані сигнали надходять на центральний процесор, в якому відбувається обробка отриманої інформації, а також математичне масштабування вихідної інформації. ЦП також виконує керування (проводить опитування) мультиплексором, див. пункт 2;

5) Енергонезалежна пам'ять (NVRAM) забезпечує резервне зберігання вихідної інформації для зчитування та подальшого дистанційного аналізу та обробки у разі виявлення несправності перетворювача або видачі ложної інформації.

6) Світлодіодні індикатори та дисплей мають відображати стан готовності пристрою та коди помилок, які можуть з'явитися в процесі налаштування та експлуатації, для кращого розуміння стану пристрою. Наприклад, світлодіодні індикатори можуть надати нам статус пристрою, використовуючи наступну кольорову схему: синій світлодіод – живлення увімкнено, зелений світлодіод – пристрій готовий і працює правильно, жовтий світлодіод – пристрій працює, але в інформаційних каналах є деякі попередження, червоний світлодіод – помилка (канали активні, але мають певний збій або (та) відсутні прийом/передача). Оскільки світлодіодні індикатори відображають загальний стан пристрою, на дисплеї відображається більш детальна інформація: коди помилок з описом проблеми та стан інформаційних каналів. Також дисплей має (або може мати) сенсорну функцію та керуватися, наприклад, за допомогою стилуса. Така функція дозволяє прокручувати відображуваний список із зазначеною інформацією, із метою щоб дізнатися, скільки, у загальній кількості, помилок має пристрій і скільки каналів працює неправильним чином.

7) Підключення до ПК дозволяє зконфігурувати та налаштувати пристрій у потрібний спосіб, або відповідно до завдання, за допомоги

спеціального програмного забезпечення. Крім того, підключення до ПК дозволяє зчитувати дані з NVRAM для подальшого аналізу цих даних.

Синхро сигнали (синусно-косинусні сигнали), в основному генеруються із виходів обертових трансформаторів, де синусоїдальне вхідне опорне значення модулюється амплітудно, у вихідні сигнали. Для сигналів, наприклад, що передаються від обертових трансформаторів, запропоновано метод перетворення цих сигналів у цифровий код, який наведено у дослідженні [18], де розглядається впровадження цифрового перетворення синхро сигналів для ядерного дослідницького реактора IEA R1. Однак метод, наведений та описаний у дослідженні [18] не розглядає передачу даних через будь-який протокол для обміну інформацією, а також дослідження не розглядає спосіб калібрування та масштабування вихідних даних.

У запропонованій концепції УПІ для перетворення синхро сигналу використовується трифазне перетворення сигналу, яке отримується від синхроногенератора (селсин датчик), який використовується в базових або основних системах керування рухомими об'єктами (літаками, суднами тощо). Сучасні досягнення наукових знань та електронних технологій розробили та створили достатню кількість спеціалізованих інтегральних мікросхем, здатних перетворювати двофазні сигнали (синус і косинус). Проте перетворення трифазного сигналу, що виробляється генератором сельсина за допомогою таких мікросхем, неможливо.

Перетворення у цифровий код синхро сигналу може бути реалізовано у спосіб, який зображено на рисунку 3.

Перетворення трифазного сигналу від сельсин датчика в двофазний сигнал синуса та косинуса здійснюється за допомогою діаграми Скотта [19]. Представлена схема містить номінали опорів R1, R2, R3 і R4, які вибираються за максимальним значенням вихідної напруги. Потім вихідні сигнали синуса і косинуса подаються на спеціалізовану мікросхему АЦП і після перетворення у цифровий код сигнали надходять на процесорний пристрій, на якому сигнали математично обробляються (наприклад, масштабується) і видається у потік даних.

Математичне програмне забезпечення буде побудовано таким чином, що вихідні дані будуть представлятися у вигляді лінійних функцій. Також програмне забезпечення дозволить масштабувати вихідні значення, це означає, що користувач зможе вибрати та встановити необхідні кількість

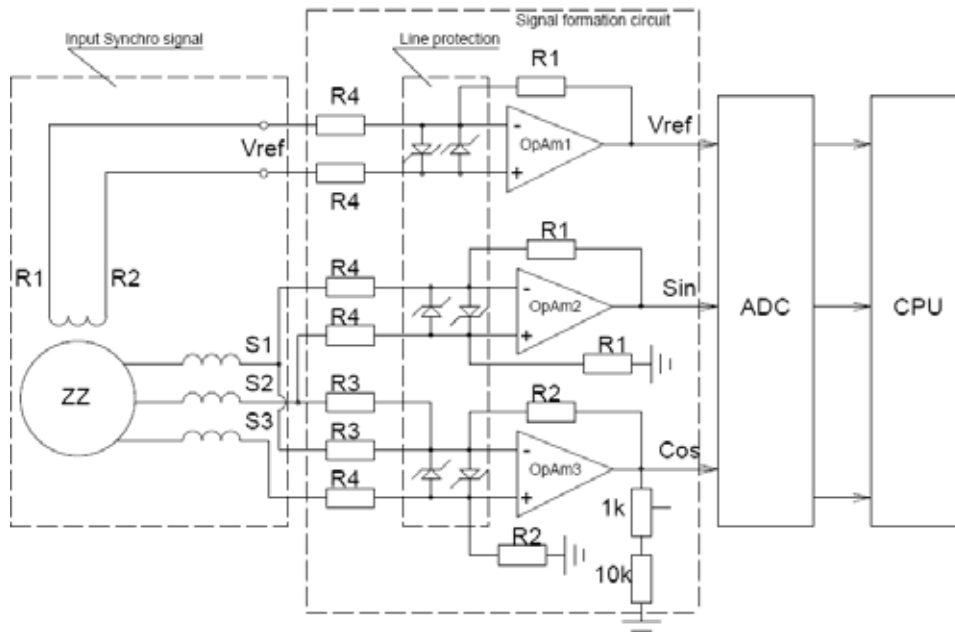


Рис. 3. Схема перетворення у цифровий код синхро сигналу

та значення коефіцієнтів лінійних функцій для отримання потрібної форми вихідного сигналу.

Крім того, програмне забезпечення може дозволити встановити, за яким протоколом обміну інформацією (наприклад, Arinc 429, Arinc 708, RS-232 тощо) перетворена інформація буде передаватися.

Огляд результатів

Основна більшість аналого-цифрових перетворювачів може працювати лише з певною кількістю однотипних вхідних значень. У зв'язку із такою ситуацією виникає питання про перетворення не тільки певних типів вхідних величини, а і одночасного перетворення інших відомих вхідних та найбільш використовуваних величин. Такі питання частково вирішені наукових та комерційних розробках фірми NAI [2].

Дослідники та розробники [2] пропонують продукти «під ключ», це означає, що складові частини пристрою налаштовані та встановлені, у готовий виріб, на виробництві і лише для заздалегідь визначених функцій та вхідних величин, а користувачі можуть налаштувати пристрій лише з програмною платформою у встановлених межах функціонування прилада.

Запропонована концепція універсального перетворювача інформації реалізує функції аналого-цифрового перетворення таких поширених величин, як напруга, струм, опір, зміна ємність тощо. Крім того, перетворювач має функцію перетворення сигналів отриманих від сельсин датчиків. Запропонований перетворювач може приймати

широкий діапазон вхідних значень, перетворення яких здійснюється в одному блоці. Якщо система керування приймає значення від різних датчиків з різним типом вихідного сигналу, то для перетворення не потрібно використовувати безліч допоміжних блоків, достатньо буде використовувати один блок УПІ. Програмне забезпечення дає змогу не тільки передавати перетворені значення, а і проводити математичне калібрування та масштабування отриманої інформації та передавати цю інформацію за встановленим та визначеним протоколом обміну інформацією. Істотною відмінністю даного перетворювача є можливість установки і налаштування видачі інформації не тільки для одного конкретного протоколу, але і для кількох протоколів обміну інформацією. Одна і та ж сама інформація може одночасно передаватися в кілька систем керування, в яких протокол обміну інформацією відрізняється один від одного. Крім того, у порівнянні з аналогічним пристроєм виробництва [2], запропонований перетворювач має світлодіодні та дисплейні індикатори, що розширюють функціональні можливості пристрою. Наявність такої функції полегшує процес налаштування, виявлення та усунення несправностей.

Дане дослідження не розглядає питання точності перетворення. Питання оцінки точності первинного аналого-цифрового перетворення та оцінки точності вихідної інформації після математичних операцій, які виконуються в процесорному блоці будуть розглядатися у подальших дослідженнях. Також, подальші дослідження

будуть спрямовані на більш глибоке вивчення відповідних схем реалізації каналів перетворення та методів і способів проектування вбудованої системи самотестування.

Висновки. Розроблений пристрій являє собою універсальний настроюваний перетворювач, що дозволяє реалізувати цифрове автоматичне керування в механізмах і пристроях, що використовують датчики з аналоговою вихідною інформацією. Пристрій можна використовувати як в галузях промисловості, так і в спеціалізованих галузях, таких як авіація, аерокосмічна і морська галузі. Відмінною особливістю універсального інформаційного перетворювача є наявність енергонезалежної пам'яті, яка дозволяє записувати дані про стан пристрою під час його роботи, записувати вихідні параметри пристрою та зчитувати зібрані дані з інформацією про роботу пристрою для подальшого аналізу працездатності приладу без підключення основного джерела живлення. А також, мож-

ливість, без заміни або встановлення додаткових модульних блоків, підключати та відключати входи та виходи приладу, які раніше не використовувалися, здійснювати програмування та калібрування кожного вимірювального каналу. Також, у дослідницькій роботі показано, що світлодіод і дисплей стали як додаткова, необхідна і зручна функціональність особливості, що дозволяє користувачам забезпечити швидке виявлення помилок і провести термінове обслуговування пристрою, та, при необхідності, провести обслуговування об'єкта. Крім того, програмне забезпечення пристрою дозволяє здійснювати фоновий вбудований тест-контроль (built-in-test – ВІТ) та надає зворотній зв'язок результатів цього тесту в потоці даних, а також натисканням кнопки на передній панелі пристрою, на дисплеї, у вигляді коду та короткого опису відображається статус та інформація щодо збою чи помилки, що корисно для тестування та швидкого виявлення присутніх дефектів.

Список літератури:

1. Gurynenko S.O. Universal information transducer as part of multi-purpose control system. Proceedings of the 2nd International scientific and practical conference. CPN Publishing Group. Tokyo, Japan. 2021. Pp. 21-27. URL: <https://sci-conf.com.ua/ii-mezhdunarodnaya-nauchno-prakticheskaya-konferentsiya-science-innovations-and-education-problems-and-prospects-15-17-sentyabrya-2021-goda-tokio-yaponiya-arhiv/>.
2. North Atlantic Industries (NAI, 1955). URL: <https://www.naii.com/Model/SIU36-DCUARM-01>
3. Dave T. N., Murty D. S., Rane, H. D. (2011). Universal Calibration Device for Pressure Transducer Calibration. In *Geo-Frontiers 2011: Advances in Geotechnical Engineering* (pp. 2605-2610).
4. Van Der Goes F. M., Meijer G. C. (1997). A universal transducer interface for capacitive and resistive sensor elements. *Analog Integrated Circuits and Signal Processing*, 14(3), 249-260, <https://doi.org/10.1023/A:1008246103915>.
5. Grenkov S. A. and et al. (2009). A digital signal converter for radio astronomical systems. *Instruments and Experimental Techniques*, 52(5), 686-694.
6. Lundberg K. H. (2002). Analog-to-digital converter testing. A High speed, Low power Analog-to-Digital Converter Testing in Fully Depleted Silicon-on-Insulator. *Technology*, 97-109.
7. Shkolin V. P. and et al. (1980) – Universalnii analogo-cifrovoi preobrazovatel (USSR Patent No 752793).
8. Hamel P. G. (Ed.). (2017). *In-Flight Simulators and Fly-by-Wire/Light Demonstrators: A Historical Account of International Aeronautical Research*. Springer.
9. Nicolin I., Nicolin B. A. (2019). The fly-by-wire system. *INCAS Bulletin*, 11(4), 217-222.
10. Socha V., Socha L., Hanakova L., Valenta V., Kusmirek S., Lalis, A. (2020). Pilots' Performance and Workload Assessment: Transition From Analogue to Glass-Cockpit. *Applied Sciences*, 10(15), 5211.
11. С. О. Гуриненко, «Організація систем керування сучасних безпілотних підводних апаратів», на XIV Всеукр. наук.-практ. конф. студентів, аспірантів та молодих вчених «ПОГЛЯД У МАЙБУТНЄ ПРИЛАДОБУДУВАННЯ», Київ, 2021, с. 34-37.
12. С. О. Гуриненко, «Система автоматичного керування автономним безпілотним підводним апаратом на основі мікроелектромеханічних систем», на Чотирнадцята міжнар. наук.-практ. конф. Інтегровані інтелектуальні робототехнічні комплекси (ІРТК-2021), Київ, 2021, с. 19-21.
13. Sheingold D. H. (Ed.). (1980). *Transducer interfacing handbook: a guide to analog signal conditioning* (Vol. 9). Analog Devices Incorporated.
14. Pelgrom M. J. (2013). Analog-to-digital conversion. In *Analog-to-Digital Conversion* (pp. 325-418). Springer, New York, NY.
15. Jiang H., Li W., Huang S., Cosemans S., Cathoor F., Yu S. (2021). Analog-to-Digital Converter Design Exploration for Compute-in-Memory Accelerators. *IEEE Design & Test*.

16. Yang G., Zou W., Yu L., Wu K., Chen J. (2016). Compensation of multi-channel mismatches in high-speed high-resolution photonic analog-to-digital converter. *Optics express*, 24(21), 24061-24074.
17. Palermo S., Hoyos S., Cai S., Kiran S., Zhu Y. (2018). Analog-to-digital converter-based serial links: an overview. *IEEE Solid-State Circuits Magazine*, 10(3), 35-47.
18. Toledo F. D., Brancaccio F., Cárdenas J. P. N. (2015). Proposal of a synchro panel meter instrument to replace the obsolete Synchro/Resolver reading device used as position indicator of safety rods assembly of the Brazilian IEA-R1 Nuclear Research Reactor.
19. Boyes G. (1980). *Synchro and Resolver Conversion*; Analog Devices. Memory Devices Ltd.: Surrey, UK.

Gurylenko S.O. THE CONCEPT OF UNIVERSAL INFORMATION TRANSDUCER AS AN ELEMENT OF DIGITAL CONTROL SYSTEMS

Achievements of science and technology in the field of digital and intelligent control are gradually being implemented into all industries branches. To provide intelligent control in such industries as aviation, aeronautics and astronautics, the output signals from various systems and sensors must be presented in the digital code sequences. However, in most cases output information in digital sequence from various systems and sensors that are used in aviation and astronautics is not always possible, and replacing the corresponding systems and sensors with similar ones, with the ability to provide output signal in digital sequence, is, in most cases, a laborious and challenge task and it is not always rational and economically sound. In this regard, becomes necessary to design and create a special device capable of transducing output analog information, which is obtained from a significant number of systems and sensors used at the controllable object, into a digital code sequence. The design and implementation of such a device will provide an opportunity for the implementation of digital, adaptive and intelligent control.

This paper proposes a concept of a universal information transducer intended for implementation in digital control system. The universal information transducer allows converting analog values gathering from sensors that are installed on board of the facility. The universal information transducer implements the monoblock concept with multichannel inputs that allow measuring and converting various types of quantities.

The proposed device can monitor incoming values and convert them with a predetermined desired tolerance.

Proposed article demonstrate concept main properties of the universal information transducer, the information transducer block-diagram is depicted and approach for the synchro signal conversion is presented.

Key words: *Universal information transducer (UIT), analog to digital conversion (ADC), control system, digital control system, adaptive and intelligent control.*