

УДК 004:681.5

DOI [https://doi.org/10.15589/znп2025.1\(499\).14](https://doi.org/10.15589/znп2025.1(499).14)**MULTI-CHANNEL DATA ACQUISITION SYSTEM
WITH GALVANIC CHANNELS ISOLATION****БАГАТОКАНАЛЬНА СИСТЕМА ЗБОРУ ДАНИХ
З ГАЛЬВАНІЧНОЮ ІЗОЛЯЦІЄЮ КАНАЛІВ****Volodymyr M. Ryabenkyy**

optron2@gmail.com

ORCID: 0000-0002-6998-746X

Serhii L. Trybulkevich

sergiy.trybulkevich@nuos.edu.ua

ORCID: 0000-0001-5783-6616

Irina M. Khudyakova

irinakhud@gmail.com

ORCID: 0000-0002-2677-7841

Igor I. Stuzhuk

igor.stuzhuk.nikolaev@gmail.com

ORCID: 0009-0007-9758-2017

В. М. Рябенський,

д-р. техн. наук, проф.

С. Л. Трибулькевич,

старший викладач

І. М. Худякова,

канд. пед. наук, доцент

І. І. Стужук,

завідувач лабораторією

Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Mykolaiv*Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова, м. Миколаїв*

Abstract. The implementation of a multi-channel data acquisition system that provides galvanic isolation between channels is considered. The relevance of this topic is due to the need to perform measurements and process various signals in laboratory equipment intended for scientific research and the educational process. Galvanic isolation is critically important for preventing interaction between system elements, which can lead to data distortion or equipment failure. The modern experience of building data acquisition systems is analyzed, various methods of channel isolation are considered, such as galvanic isolation (transformer, optoisolation), capacitive, and others. Their advantages and disadvantages are studied in terms of data transfer speed, isolation level, cost, and implementation complexity. A structural and schematic diagram of a multi-channel data acquisition system using the selected isolation technology is developed. Modeling and experimental studies of the developed system are carried out to evaluate its characteristics, such as accuracy, data acquisition speed, isolation level, and resistance to interference.

Purpose. To develop a universal, low-cost data acquisition system with galvanic isolation for both individual channels and groups of channels.

Method. Comparative analysis and experimental methods were used during the research.

Results. A universal hardware platform has been developed, primarily designed for measuring voltages and currents as part of a laboratory setup. Voltage measurement channels can either share a common ground, be isolated from each other, or have different reference levels.

Scientific novelty. A universal multi-channel data acquisition system with galvanic channel isolation has been developed, which is distinguished by an increased number of channels while maintaining high speed and accuracy of measurements due to the use of high-speed data transfer technologies.

Practical importance. Data acquisition in industrial automation systems, scientific research, and other areas where high reliability and measurement accuracy are required in the presence of strong electromagnetic interference.

Key words: multi-channel data acquisition system; channel isolation; galvanic isolation; opto-isolation; noise; reliability; monitoring; analysis.

Анотація. Розглянуто реалізацію багатоканальної системи збору даних, що забезпечує гальванічну ізоляцію між каналами. Актуальність даної теми зумовлена необхідністю виконання вимірювань і обробки різноманітних сигналів у лабораторному обладнанні, що призначено для наукових досліджень та навчального процесу. Гальванічна ізоляція є критично важливою для запобігання взаємодії між елементами системи, що може призвести до спотворення даних або виходу з ладу обладнання. Проаналізовано сучасний досвід побудови систем

збирання даних, розглянуто різні методи ізоляції каналів, такі як гальванічна ізоляція (трансформаторна, оптоізоляція), ємнісна та інші. Досліджено їхні переваги та недоліки з точки зору швидкості передачі даних, рівня ізоляції, вартості та складності реалізації. Розроблено структурну та принципову схему багатоканальної системи збору даних з використанням обраної технології ізоляції. Проведено моделювання та експериментальні дослідження розробленої системи з метою оцінки її характеристик, таких як точність, швидкість збору даних, рівень ізоляції та стійкість до перешкод.

Мета. Розробка універсальної «low cost» системи збирання даних з гальванічною ізоляцією як окремих каналів, так груп каналів.

Методика. Під час виконання дослідження використовувались методи порівняльного аналізу та експериментальні методи.

Результати. Розроблена універсальна апаратна платформа, основне призначення якої, це вимірювання напруг та струмів у складі лабораторного стенду. При цьому канали вимірювання напруг можуть як мати спільну «землю», так і бути або ізольовані один від одного, або зсунуті по рівнях.

Наукова новизна. Розроблена універсальна багатоканальна система збору даних з гальванічною ізоляцією каналів, яка відрізняється збільшеною кількістю каналів при збереженні високої швидкості і точності вимірювань завдяки використанню високошвидкісних технологій передачі даних.

Практична значимість. Збір даних у промислових системах автоматизації, наукових дослідженнях та інших областях, де вимагається висока надійність та точність вимірювань в умовах сильних електромагнітних перешкод.

Ключові слова: багатоканальна система збору даних; ізоляція каналів; гальванічна ізоляція; оптоізоляція; перешкоди; надійність; моніторинг; аналіз.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ

У сучасному світі, де інформаційні технології та автоматизація відіграють ключову роль, надійність та точність збору даних стають особливо актуальними. Ці системи широко використовуються в промисловості, наукових дослідженнях, де точність вимірювань є критично важливою. Системи збору даних повинні забезпечувати не лише якісну передобробку сигналів, але й убезпечують систему від небажаних впливів, таких як електромагнітні завади та різні типи шумів.

Збір даних, як правило, відрізняють від ранніх форм запису на магнітні та паперові стрічки. На відміну від колишніх методів, сигнали з аналогової області перетворюються на цифрову область, а потім записуються на цифровий носій, наприклад ПЗУ, флеш-накопичувач або накопичувач на жорсткому диску.

Сучасні цифрові системи збору даних складаються з чотирьох основних компонентів [1, 3], які формують весь ланцюг вимірювання фізичних явищ:

- датчиків;
- перетворювачів сигналів;
- аналого-цифрового перетворювача;
- комп'ютера з програмою збору даних для реєстрації сигналів та їхнього аналізу [4] або високопродуктивного мікроконтролера, який координує роботу системи та має кілька інтегрованих периферійних пристроїв, що використовуються для передачі та обробки даних [10].

Основне призначення системи, що розробляється, це вимірювання напруг та струмів у складі лабораторного стенду. При цьому канали вимірювання напруг можуть як мати спільну «землю», так і бути або ізольовані один від одного, або зсунуті по рівнях.

АНАЛІЗ ОСТАННІХ ДОСЛІДЖЕНЬ І ПУБЛІКАЦІЙ

Існує велика кількість виробників систем збору даних, кожен з яких спеціалізується на певних галузях або типах застосувань (рис. 1).

Деякі з найбільш відомих виробників, яких можна класифікувати за різними критеріями:

– За загальним призначенням та широким спектром продукції:

Advantech надає широкий спектр промислових комп'ютерів, модулів введення-виводу, бездротових рішень, програмного забезпечення SCADA.

National Instruments (NI) відомі своїми платформами LabVIEW та PXI, що використовуються для розробки систем вимірювання, автоматизації та управління.

Keysight Technologies спеціалізуються на тестовому та вимірювальному обладнанні, включаючи осцилографи, аналізатори спектру та генератори сигналів.

Siemens пропонує широкий спектр продуктів для промислової автоматизації, включаючи системи збору даних, ПЛК та SCADA.

Rockwell Automation відомі своїми ПЛК Allen-Bradley та програмним забезпеченням FactoryTalk, що використовуються для автоматизації виробництва.

ABB – глобальна компанія, що пропонує рішення для автоматизації, електроенергетики та робототехніки, включаючи системи збору даних.

Honeywell пропонує рішення для різних галузей, включаючи аерокосмічну, будівельну автоматизацію та промислові системи управління.

– За спеціалізацією на бездротових рішеннях:

Moха спеціалізується на промислових мережевих рішеннях, включаючи бездротові точки доступу та мости.

Red Lion Controls пропонує широкий спектр промислових комунікаційних, моніторингових та контрольних рішень, включаючи бездротові пристрої.

– За спеціалізацією на конкретних типах даних або вимірювань:

Brüel & Kjær (HBK) спеціалізуються на системах вимірювання вібрації, шуму та інших акустичних параметрів.

HBM спеціалізуються на вимірюванні механічних величин, таких як сила, вага, тиск та крутний момент.

Yokogawa пропонує рішення для промислової автоматизації та вимірювань, включаючи системи збору даних для процесів хімічної та нафтогазової промисловості.

– Українські виробники та інтегратори:

АНВІТ (представники Brüel & Kjær) – компанія, що займається поставкою та інтеграцією систем збору даних, зокрема LAN-XI від Brüel & Kjær.

VERNA – компанія, що пропонує послуги з проектування та впровадження систем зберігання та обробки даних, а також моніторингу ЦОД.

Антап Україна – компанія, що займається проектуванням та монтажем систем збору даних, зокрема для диспетчеризації лічильників води та тепла.

L&G Metering – компанія, що займається налагодженням систем збору даних енергоресурсів (АСКОЕ).

ВІДОКРЕМЛЕННЯ НЕВИРІШЕНИХ РАНІШЕ ЧАСТИН ЗАГАЛЬНОЇ ПРОБЛЕМИ

Основне призначення розглянутих вище приладів це автоматизація технологічних процесів. Для навчального процесу та наукових досліджень

потрібні прості та недорогі пристрої, що можна адаптувати під різноманітні задачі шляхом переналаштування апаратної частини та корегування програмного забезпечення. Такі пристрої стануть інструментом для вивчення основ електроніки, програмування мікроконтролерів та принципів побудови автоматизованих систем. Вони дозволяють студентам перейти від теоретичних знань до практичної реалізації власних проектів.

МЕТА ДОСЛІДЖЕННЯ

Мета дослідження полягає в розробці гнучкої платформи для збирання даних з гальванічною ізоляцією, яка дозволить ефективно вирішувати завдання моніторингу та контролю різних фізичних величин в складних умовах. Система буде побудована на основі відкритих стандартів і забезпечить можливість розширення функціональності шляхом додавання нових модулів та інтеграції з іншими системами.

МЕТОДИ, ОБ'ЄКТ ТА ПРЕДМЕТ ДОСЛІДЖЕННЯ

Методи дослідження – для вирішення поставлених завдань використовуються методи порівняльного аналізу та експериментальні дослідження.

Об'єкт дослідження – лабораторний комплекс по дослідженню систем керування технологічним обладнанням.

Предмет дослідження – вимірювання сигналів з датчиків, параметрів роботи виконуючих механізмів та їх передача до персонального комп'ютера з метою наступної обробки та візуалізації.

Проблема, що вирішується, – створення універсальних гнучких інструментів для вимірювання,

Data acquisition companies

From sources across the web

 DEWETRON Ges.m.b.H. ▾	 Yokogawa Electric ▾	 Advantech Co., Ltd. ▾
 Ametek ▾	 CAS DataLoggers ▾	 Dewesoft ▾
 National Instruments ▾	 ACCES I/O Products ▾	 ADLINK ▾
 Aerodyn Engineering Inc ▾	 A m Systems ▾	 ASC systems ▾
 AstroNova ▾	 BARTEC US Corporation ▾	 Brüel & Kjær ▾
 Campbell Scientific, Inc. ▾	 Crystal Instruments ▾	 Curtiss-Wright ▾
 Ametek (Vti Instruments) ▾	 Hi-techniques, Inc ▾	 Honeywell ▾
 Instrumented Sensor Tec... ▾	 Keysight Technologies ▾	 SAKOR Technologies, Inc. ▾

Рис. 1. Огляд виробників систем збирання даних

обробки та передачі цифрових даних через високошвидкісні інтерфейси до персонального комп'ютера.

ОСНОВНИЙ МАТЕРІАЛ

Простий референсний дизайн запропоновано фірмою Texas Instruments [2] у вигляді 16-канального модуля АЦП з цифровою ізоляцією. Структурна схема такої системи наведена на рис. 2.

Цей зразок розробки демонструє економічно оптимізовану та масштабовану архітектуру модуля двійкового входу змінного/постійного струму на основі АЦП із посиленою ізоляцією. Для забезпечення низької вартості за канал, оптимізовані за ціною операційні підсилювачі, надають оптимальне формування сигналу для кожного входу. Цифровий ізолятор застосовується для ізоляції головного мікроконтролера (MCU) або процесора. Також є можливість вимірювання температури, вологості та магнітного поля.

Схема відрізняється простотою реалізації, але до головного недоліка даного рішення, за рахунок використання саме цифрової ізоляції, слід віднести необхідність наявності спільної «землі» у входних каналів. Наприклад, при вимірюванні лінійних напруг трифазної мережі спільної точки у всіх трьох каналів не існує і використання схеми не можливе.

Структурна схема системи з урахуванням вказаних недоліків наведена на рис. 3.

Канали 1–8 та 9–16 мають свої спільні «землі» та ізолювані від мікроконтролера за рахунок цифрової ізоляції

аналогічно рішенням Texas Instruments. Канали 17–24 ізолювані один від одного та від мікроконтролера за рахунок використання лінійних оптопар у схемних рішеннях підсилювачів аналогових сигналів. Дане рішення ускладнює конструкцію та вимагає окремого джерела живлення для кожного підсилювального каналу.

Апаратні можливості розроблюваної системи можуть бути розширені модулями: датчиків з вихідним сигналом 4–20 мА, модуля входу низької напруги моста Уїтстона, синхронного послідовного інтерфейсу (SSI), цифрового входу/виходу, модуля квадратного енкадера [14].

Система передачі даних включає в себе інтерфейси USB та Ethernet. Для простоти реалізації програмного забезпечення та заради можливості легкої інтеграції зі стандартним програмним забезпеченням інтерфейс USB розглядається в режимі віртуального послідовного порту (VCP). Для послідовного інтерфейсу швидкості передачі даних невисокі і зазвичай не перевищують 1 Мбіт/с. Якщо даної швидкості недостатньо, то використовується інтерфейс Ethernet, який може працювати на швидкостях від 10 Мбіт/с.

При неможливості передачі даних у реальному часі пропонується використання SD карт для запису зібраних даних з послідовним ручним перенесення їх до системи обробки і аналізу. Також можна використати Raspberry Pi вторинним DAQ для накопичення та/або передачі у інші платформи даних для довгострокового зберігання та аналізу [15].

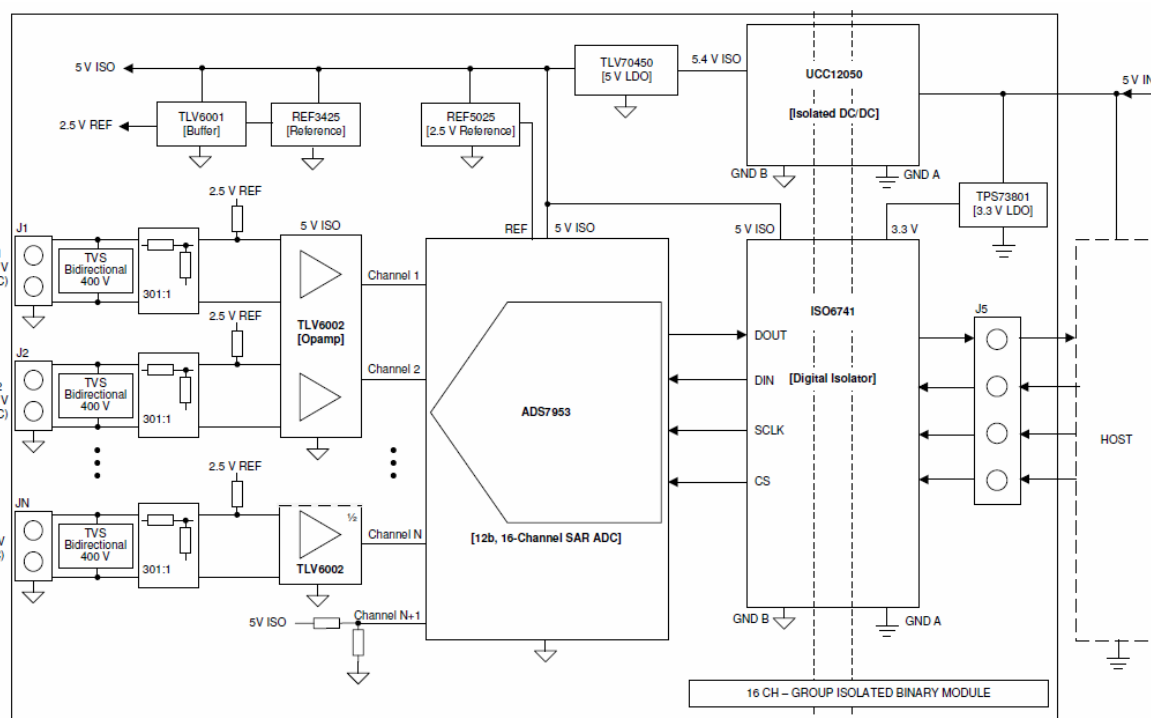


Рис. 2. Структурна схема 16-канального модуля АЦП Texas Instruments

Структурна схема каналів 17–24 наведена на рис. 4.

Канал складається із вхідного атенюатора, активного фільтру, підсилювача-суматора для зсуву сигналу, оптичної розв'язки, підсилювача-повторювача та ізолюваного

DC/DC перетворювача для живлення частини схеми, що гальванічно зв'язана з вхідним сигналом.

Канали вимірювання струму будуються на датчика на ефекті Холу та не вимагають ізоляції від мікроконтролера.

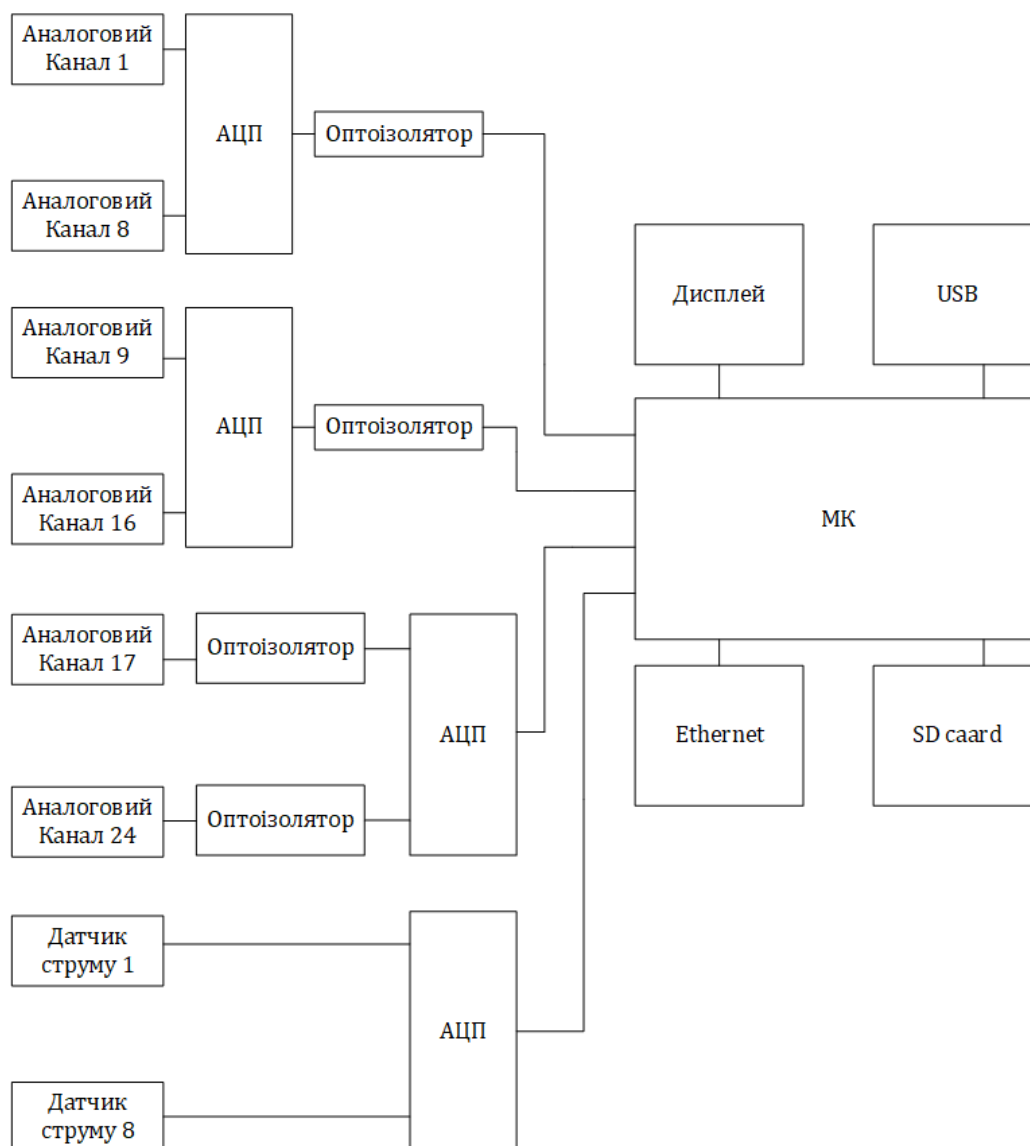


Рис. 3. Структурна схема системи



Рис. 4. Структурна схема ізолюваних каналів

Схема обробки сигналу (рис. 5) працює наступним чином. Вхідний атенуатор це простий резисторний дільник, що легко підлаштувати на необхідний діапазон напруги. Для зменшення вихідного опору схеми дільника використовується повторювач напруги, далі сигнал зсувається на 2.5 В, щоб забезпечити вихідний сигнал сумісний з рівнями АЦП 0..+5 В. Останнім є активний фільтр нижніх частот, яких може бути актуальним, наприклад, при вимірюванні ШІМ модульованих синусоїдальних сигналів. Якщо потреба у активному фільтрі відсутня, то резистори у його обв'язці можна встановити нульового опору, а конденсатори не встановлювати, тоді фільтр перетворюється у повторювач.

Гальванічна ізоляція забезпечується за рахунок прецизійної оптопари HCNR200. Схема являє собою однополярний ізольований підсилювач,

використано схемні рішення за рекомендаціями Vishay Semiconductors та Broadcom (Avago Technologies) [9, 11]. За рахунок того, що сигнал вже зсуното на 2,5 В та доведено до рівнів 0..+5 В, немає необхідності використовувати біполярний ізольований підсилювач.

На рис. 6 показано результати моделювання. На вхід подавалась напруга мережі 220 В, 50 Гц. Осцилограми знято з вхідного атенуатора та виходу схеми гальванічної розв'язки. Сигнали повторюють один одного та зсунуті по рівнях на. Другим варіантом моделювання біло подання на вхід такої ж напруги, але ШІМ модульованої. Як можна побачити, активний фільтр добре впорався зі своєю задачею та на вхід АЦП вже потрапляє чистий синусоїдальний сигнал.

Послідовний або комунікаційний порт комп'ютера є промисловим стандартом для підключення до

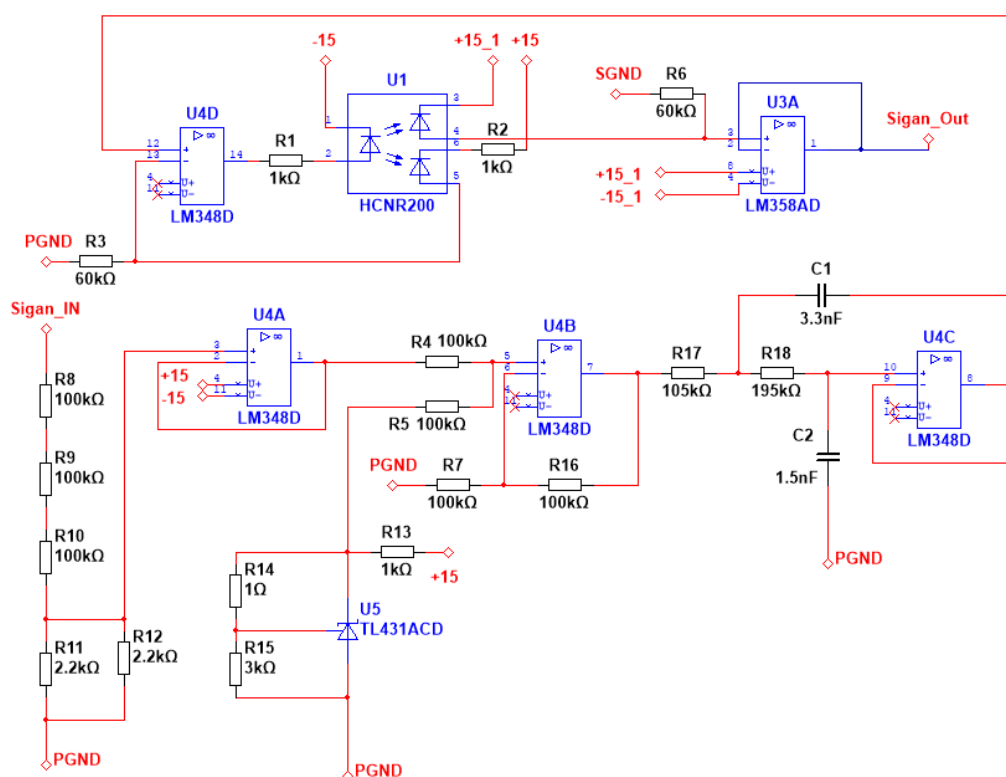


Рис. 5. Схема обробки вхідного сигналу та оптичної розв'язки

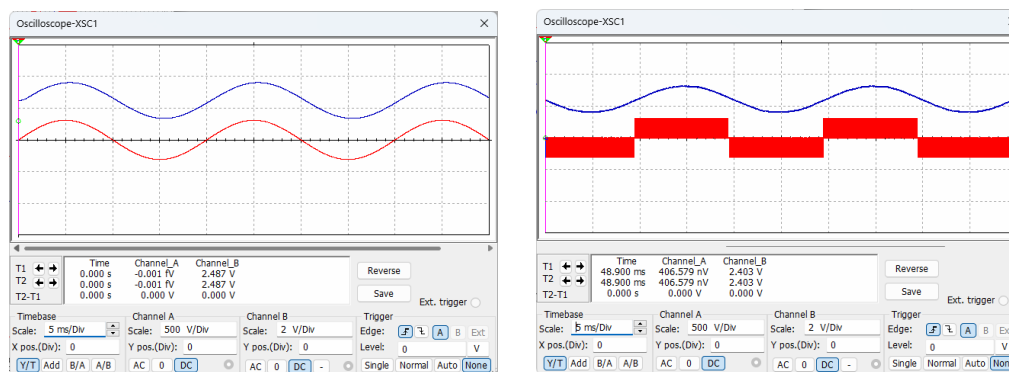


Рис. 6. Результати моделювання роботи схеми обробки вхідного сигналу та оптичної розв'язки

комп'ютера модему, а також може використовуватися для багатьох інших цілей – підключення другого комп'ютера для обміну файлами по нуль-модемному кабелю або будь-яких інших «нестандартних» електронних пристроїв, яким необхідно обмінюватися даними з персональним комп'ютером. СОМ-порт часто використовують як канал для обміну інформацією в промислових системах керування та збору даних – наприклад, для обміну даними з вимірювальними мікроконтролерами. Більшість провідних фірм-виробників електронних приладів і пристроїв серійно випускають численні вимірювальні та технологічні пристрої, що підключаються до комп'ютера через послідовний інтерфейс [7].

Моделювання передачі даних виконувалося через емуляцію послідовних портів. Програмний віртуальний послідовний порт представляє один або кілька ідентифікаторів віртуального послідовного порту на ПК, які інші програми можуть бачити та взаємодіяти з ними. Операційні системи зазвичай не забезпечують можливості віртуального послідовного порту. Програми сторонніх виробників можуть додати цю можливість, наприклад com0com з відкритим кодом, безкоштовне програмне забезпечення HW VSP3 або комерційний драйвер віртуального послідовного порту [12].

Деякі віртуальні послідовні порти емулюють усі функції апаратного послідовного порту, включаючи всі стани сигнальних контактів, і дозволяють велику кількість віртуальних портів у будь-якій конфігурації. Інші надають обмежений набір можливостей і не повністю емулюють апаратне забезпечення.

У рамках дослідження емуляція послідовних портів виконувалась за допомогою програмного забезпечення com0com [13]. На рис. 7 показано створення віртуальної пари послідовних портів.

```
command> install PortName=COM2 PortName=COM4
CNCA0 PortName=COM2
CNCA0 PortName=COM4
ComDB: COM2 - logged as "in use"
ComDB: COM4 - logged as "in use"
command>
```

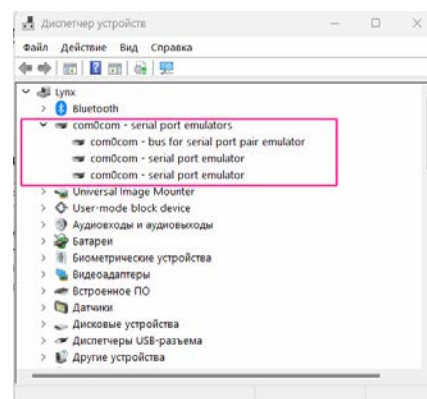


Рис. 7. Створення віртуальних портів

Для візуалізації даних використане програмне забезпечення SerialPort 0.12 (рис. 8), що приймає різні типи вхідних даних: простий бінарний потік, дані ASCII у форматі CSV, визначений користувачем формат власного кадру [8].

Як можна побачити, при використанні бінарного формату даних, що передаються, швидкостей

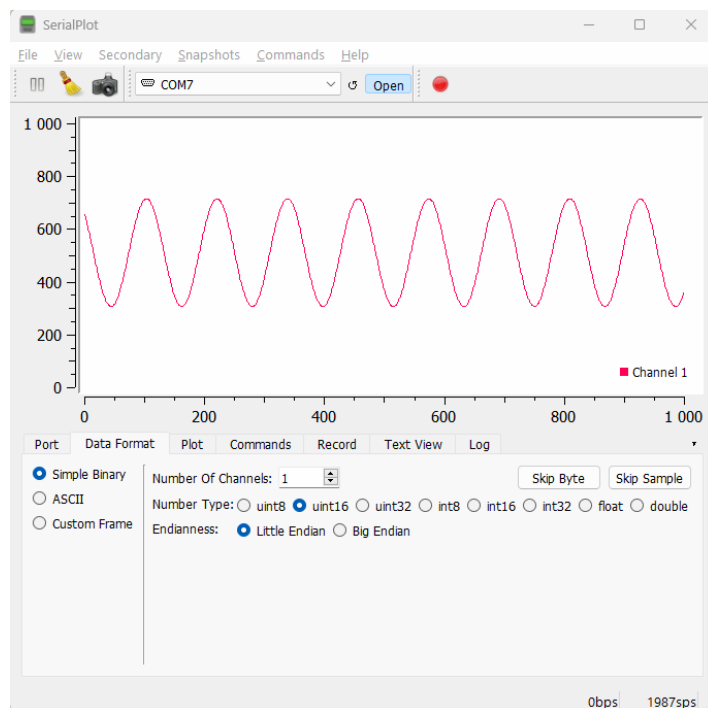


Рис. 8. Приймання даних

передачі даних цілком вистачає для візуалізації синусоїдальних сигналів з частотою до 1кГц.

ВИСНОВКИ

Проведено огляд ключових аспектів функціонування багатоканальної системи збору даних із застосуванням технології ізоляції каналів. Дана система забезпечує ефективне й безпечне оброблення сигналів інформації з різних джерел, що має особливе значення в умовах сучасних виробництв та наукових досліджень. Ізоляція каналів дозволяє вирішувати

проблеми перешкоджання та зменшує ризик втрати даних, що покращує загальну надійність системи.

Застосування таких систем відкриває нові можливості для моніторингу та аналізу, що є критично важливим для прийняття обґрунтованих рішень. Впровадження багатоканальних систем із ізоляцією каналів вимагає ретельного планування та налаштування, але в результаті істотно підвищує ефективність збору даних. Подальші дослідження в цій галузі можуть зосередитися на розширенні функціональних можливостей, інтеграції з сучасними технологіями та підвищенні адаптивності систем до різних умов експлуатації.

REFERENCES

- [1] Contributors to Wikimedia projects. (2024). The data collection system is Wikipedia. Wikipedia is a free encyclopedia. Retrieved from: https://ua.wikipedia.org/wiki/Система_збору_даних
- [2] TIDA-00420 reference design TI.com. Analog (2024). (Embedded processing Semiconductor company TI.com). Retrieved from: <https://www.ti.com/tool/TIDA-00420>.
- [3] Contributors to Wikimedia projects. Data acquisition (2024) Wikipedia. Wikipedia, the free encyclopedia. Retrieved from: https://en.wikipedia.org/wiki/Data_acquisition.
- [4] List of Data Acquisition Companies (2023). Data acquisition Test and Measurement Solutions. Retrieved from: <https://dewesoft.com/blog/list-of-data-acquisition-companies>.
- [5] Data Acquisition (DAQ) Systems, Devices & Software. (2023). [Measurement and Testing Systems, at Emerson – NI]. Retrieved from: <https://www.ni.com/en/shop/data-acquisition.html>.
- [6] Data Acquisition (DAQ) – The Ultimate Guide. Data Acquisition (2024) [Test and Measurement Solutions]. Retrieved from: <https://dewesoft.com/blog/what-is-data-acquisition>.
- [7] Ryabenkyi, V.M. (2019). Programmable electronic control systems, information collection and processing / V. M. Ryabenkyi, O.O. Ushkarenko. – Mykolaiv: NUK. С 490 p.
- [8] SerialPlot – Realtime Plotting Software. Hackaday.io (2024) [The world's largest collaborative hardware development community]. Retrieved from: <https://hackaday.io/project/5334-serialplot-realtime-plotting-software>.
- [9] Designing Linear Amplifiers Using the IL300 Optocoupler. (2024). [Application Note 50. Vishay Intertechnology: Passives & Discrete Semiconductors]. Retrieved from: <https://www.vishay.com/docs/83708/appnote50.pdf>.
- [10] Nagy, A., & Jahn, I. (2018). Advanced Data Acquisition System for Wind Energy Applications [Periodica Polytechnica Transportation Engineering]. Vol. 47, no. 2. P. 124–130. Retrieved from: <https://doi.org/10.3311/pptr.11515>.
- [11] Khan, J. (2014). Application Note 5545 [SPICE Circuit Simulations for the HCNR200 and HCNR201 Analog Optocouplers]. Broadcom. Retrieved from: <https://docs.broadcom.com/doc/AV02-3334EN>.
- [12] Contributors to Wikimedia projects. Virtual COM port (2024). [Wikipedia. Wikipedia, the free encyclopedia]. Retrieved from: https://en.wikipedia.org/wiki/Virtual_COM_port.
- [13] Null-modem emulator (com0com) – virtual serial port driver for Windows. (2018). Retrieved from: <https://com0com.sourceforge.net/>.
- [14] Bosma, B. (2022). Mini-DAQ: A lightweight, low-cost, high-resolution, data acquisition system for wave energy converter testing [HardwareX]. P. e00332. Retrieved from: <https://doi.org/10.1016/j.ohx.2022.e00332>.
- [15] Patrignani, A., & Wyatt, B. (2022). Review of Rain or Shine: An Introduction to Soil Physical Properties and Processes. Tyson Ochsner. (2022) [Published by Oklahoma State University Libraries under the Creative Commons Attribution 4.0 International License]. Version 6. Last updated 19 Jan. 2022. Retrieved from: <https://doi.org/10.1002/vzj2.20194>.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

- [1] Contributors to Wikimedia projects. (2024). The data collection system is Wikipedia. Wikipedia is a free encyclopedia. URL: https://ua.wikipedia.org/wiki/Система_збору_даних
- [2] TIDA-00420 reference design TI.com. Analog (2024). (Embedded processing Semiconductor company TI.com). URL: <https://www.ti.com/tool/TIDA-00420>.
- [3] Contributors to Wikimedia projects. Data acquisition (2024). Wikipedia. Wikipedia, the free encyclopedia. URL: https://en.wikipedia.org/wiki/Data_acquisition.
- [4] List of Data Acquisition Companies (2023). Data acquisition Test and Measurement Solutions. URL: <https://dewesoft.com/blog/list-of-data-acquisition-companies>.
- [5] Data Acquisition (DAQ) Systems, Devices & Software. (2023). [Measurement and Testing Systems, at Emerson – NI]. URL: <https://www.ni.com/en/shop/data-acquisition.html>.
- [6] Data Acquisition (DAQ) – The Ultimate Guide. Data Acquisition (2024) [Test and Measurement Solutions]. URL: <https://dewesoft.com/blog/what-is-data-acquisition>.

- [7] Рябенський, В.М., & Ушкаренко, О.О. (2019). Програмовані електронні системи керування, збору та обробки інформації. Миколаїв : НУК. С. 490.
- [8] SerialPlot – Realtime Plotting Software. Hackaday.io (2024) [The world's largest collaborative hardware development community]. URL: <https://hackaday.io/project/5334-serialplot-realtime-plotting-software>.
- [9] Designing Linear Amplifiers Using the IL300 Optocoupler. (2024) [Application Note 50. Vishay Intertechnology: Passives & Discrete Semiconductors]. URL: <https://www.vishay.com/docs/83708/appnote50.pdf>.
- [10] Nagy, A., & Jahn, I. (2018). Advanced Data Acquisition System for Wind Energy Applications [Periodica Polytechnica Transportation Engineering]. Vol. 47, no. 2. P. 124–130. URL: <https://doi.org/10.3311/pptr.11515>.
- [11] Khan, J. (2014). Application Note 5545. [SPICE Circuit Simulations for the HCNR200 and HCNR201 Analog Optocouplers]. Broadcom. URL: <https://docs.broadcom.com/doc/AV02-3334EN>.
- [12] Contributors to Wikimedia projects. Virtual COM port (2024). [Wikipedia. Wikipedia, the free encyclopedia]. URL: https://en.wikipedia.org/wiki/Virtual_COM_port.
- [13] Null-modem emulator (com0com) – virtual serial port driver for Windows.(2018). URL: <https://com0com.sourceforge.net/>.
- [14] Bosma, B. (2022). Mini-DAQ: A lightweight, low-cost, high-resolution, data acquisition system for wave energy converter testing [HardwareX]. P. e00332. URL: <https://doi.org/10.1016/j.ohx.2022.e00332>.
- [15] Patignani, A., & Wyatt, B. (2022). Review of Rain or Shine: An Introduction to Soil Physical Properties and Processes. Tyson Ochsner. (2022) [Published by Oklahoma State University Libraries under the Creative Commons Attribution 4.0 International License]. Version 6. Last updated 19 Jan. 2022. URL: <https://doi.org/10.1002/vzj2.20194>.

© Рябенський В. М., Трибулькевич С. Л., Худякова І. М., Стужук І. І.

Дата надходження статті до редакції: 10.02.2025

Дата затвердження статті до друку: 24.02.2025