

**Братішко В.В.**

д.т.н., професор

*Національний  
університет біоресурсів  
і природокористування  
України*

**Граняк В. Ф.**

к.т.н., доцент

*Вінницький національний  
аграрний університет*

**Bratishko V.**Doctor of Technical Sciences,  
Professor

*National University of Life  
Resources and  
Environmental Management  
of Ukraine*

**Hraniak V.**Candidate of Technical Sciences,  
Associate Professor

*Vinnitsia National Agrarian  
University*

**УДК 631.3:519.876.5:639.3****DOI: 10.37128/2306-8744-2024-3-15**

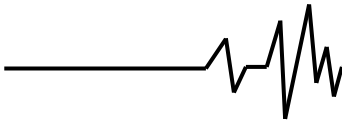
## **МЕТОДИКА ПРОЕКТУВАННЯ ТЕМПЕРАТУРНОГО РЕЄСТРАТОРА ТВАРИННИЦЬКИХ ПРИМІЩЕНЬ НА БАЗІ ПРОГРАМОВАНОГО ЛОГІЧНОГО КОМПЛЕКСУ ADC10**

*У статті розглядається методика проектування температурного реєстратора для тваринницьких приміщень, що базується на програмованому логічному комплексі ADC10. Це рішення розроблено з метою задоволення зростаючого попиту на системи вимірювання температури, що були б придатними для використання в аграрній сфері, зокрема у тваринницьких приміщеннях. Ключовими вимогами до таких систем є універсальність, надійність, невисока собівартість, низьке енергоспоживання та достатня швидкодія для ефективного виконання автоматизованих алгоритмів клімат-контролю, що забезпечує оптимальні умови для утримання тварин.*

*Одним із головних завдань при проектуванні є підвищення заводостійкості каналу зв'язку, оскільки в тваринницьких приміщеннях часто спостерігаються сильні електромагнітні завади, які можуть спотворювати передану інформацію. В статті запропоновано комбіноване застосування програмних та апаратних підходів для досягнення високої заводостійкості. Зокрема, представлено методику використання двоблокового режиму роботи каналу зв'язку, що забезпечує кращу стабільність сигналу в умовах електричних завод. Крім того, запропоновано застосування фільтра нижніх частот на виході, що дозволяє ефективно пригнічувати непотрібні високочастотні сигнали та знижувати шум, тим самим підвищуючи точність передачі даних.*

*Ще одним важливим аспектом, який розглядається у статті, є зниження собівартості температурного реєстратора. Для цього було обрано програмований логічний комплекс ADC10 з вбудованим сенсором температури, що дозволяє значно зменшити витрати на виготовлення обладнання. З метою підвищення точності вимірювання температури в реєстраторі запропоновано впровадження алгоритмів автоматичного калібрування при вмиканні напруги живлення пристрою та представлено оригінальні схемотехнічні рішення для усунення паразитних контурів заземлення, які виникають внаслідок протікання зворотного струму АЦП по провідниках, що спільні з іншими елементами схеми. Це дозволяє значно підвищити точність вимірювань, усунувши джерела помилок, що виникають через вплив на вимірювальну частину схеми сторонніх електричних сигналів.*

**Ключові слова:** температура, мікроклімат, тваринницьке приміщення, повітряний потік, вентиляція, автоматизація, теплообмін, вимірювання, енергоефективність.



**Вступ.** Розробка температурного реєстратора для тваринницьких приміщень на основі програмованого логічного комплексу (ПЛК) є важливою задачею для забезпечення оптимальних умов утримання тварин, що прямо впливають на їх здоров'я та продуктивність. Температурний режим є критичним фактором для нормального розвитку тварин, таких як свині, кури чи велика рогата худоба, і порушення температури може призвести до стресу, хвороб або навіть до загибелі тварин [1]. Використання ПЛК дозволяє постійно моніторити температуру в приміщенні та своєчасно реагувати на будь-які відхилення, що знижує ймовірність погіршення умов утримання [2].

Автоматизація процесу контролю температури через ПЛК дозволяє значно зменшити потребу у постійному втручанні людини, підвищуючи точність і оперативність управлінських рішень. ПЛК також дає змогу зберігати дані про температурні коливання на протязі тривалого часу, що дозволяє проводити аналіз і виявляти оптимальні параметри для різних типів тварин. Це, в свою чергу, дає можливість поліпшити умови їх утримання [1, 3].

Також використання таких технологій дозволяє значно знизити витрати на ресурси, зокрема на енергію. ПЛК може автоматично регулювати роботу опалювальних і охолоджувальних систем, підтримуючи необхідний температурний режим лише за потребою. Це забезпечує ефективне використання енергоресурсів.

Системи, побудовані на ПЛК, можуть бути інтегровані з іншими автоматизованими системами, такими як вентиляція, освітлення та зрошення, що дозволяє створювати комплексні рішення для управління мікрокліматом в тваринницьких приміщеннях. Це значно покращує ефективність і зручність використання технології [4].

Завдяки автоматичному контролю та документуванню температурних даних, система на базі ПЛК допомагає забезпечити дотримання встановлених норм і стандартів щодо умов утримання тварин. Вона також дозволяє оперативно надавати звіти для перевірки відповідності вимогам законодавства.

Тож, враховуючи сказане, є очевидним, що розробка типової методики проектування температурного реєстратора на основі одного з широко розповсюджених програмованих логічних комплексів є важливою науково-прикладною задачею, що дозволить суттєво спростити і прискорити процес розробки та впровадження такого обладнання у фермерських господарствах.

**Аналіз останніх досліджень та публікацій.** Аналіз тенденцій розвитку систем контролю температури в тваринницьких приміщеннях показує, що з часом технології стають все більш автоматизованими та інтегрованими з іншими системами, що дозволяє значно підвищити ефективність управління мікрокліматом. Починаючи від простих терморегуляторів і вентиляційних

систем, сучасні рішення використовують ПЛК та сенсори, що забезпечують точний моніторинг температури, вологості та інших важливих параметрів середовища. Це дає змогу не тільки автоматично регулювати температуру, а й інтегрувати ці системи з іншими функціями, такими як вентиляція, освітлення чи зрошення, що дозволяє створити комплексне рішення для управління всіма аспектами мікроклімату [4, 5].

Загалом, значно зросла точність вимірювань завдяки використанню сучасних сенсорів, а також з'явилася можливість віддаленого моніторингу і керування через мобільні додатки або веб-платформи, що дає змогу фермерам або керівникам контролювати умови утримання тварин з будь-якої точки світу. Цей підхід дозволяє оперативно реагувати на зміни температури та інших параметрів, що важливо для запобігання негативним наслідкам для здоров'я тварин [6].

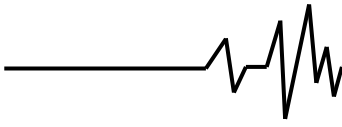
Використання штучного інтелекту в системах контролю температури стало ще однією значущою тенденцією. Завдяки аналізу великих обсягів даних, отриманих від датчиків, інтелектуальні системи можуть прогнозувати зміни в температурі та коригувати її в залежності від різних факторів, таких як сезонні коливання чи фізіологічний стан тварин. Це також дозволяє оптимізувати енергоспоживання, мінімізуючи витрати без шкоди для умов утримання [7].

Інтернет речей (IoT) також знаходить своє застосування в тваринництві, що дозволяє підключати датчики до мережі і забезпечувати постійний моніторинг. Такі системи дають змогу в реальному часі отримувати дані не лише про температуру, а й про інші важливі фактори, такі як рівень вологості чи концентрація CO<sub>2</sub>, що дозволяє більш точно регулювати умови утримання [6].

Крім того, енергоефективність стає однією з головних тем у розробці сучасних систем контролю температури. Технології, що дозволяють заощаджувати енергію, стають все більш популярними. Вони включають теплообмінники, регулятори повітряного потоку та інверторні компресори, які автоматично адаптуються до змін температури, що сприяє значному зниженню витрат на енергетичні ресурси.

Іншим важливим аспектом розвитку цих систем є зростання обсягу зібраних даних та можливості для їх глибокого аналізу. Цей аналіз дозволяє не тільки покращити умови утримання тварин, а й підвищити продуктивність фермерських господарств завдяки більш точному налаштуванню умов середовища [8].

Завдяки автоматизації та вдосконаленим технологіям стало можливим більш ефективно дотримання стандартів щодо умов утримання тварин. Системи контролю температури тепер автоматично реєструють і зберігають дані, що дозволяє фермерам не тільки контролювати відповідність вимогам законодавства, а й надавати



необхідні звіти під час перевірок.

В останні роки знизилася вартість таких технологій, що дозволило зробити їх доступними не тільки для великих агропідприємств, а й для малих і середніх господарств. Завдяки цьому все більше фермерів можуть впроваджувати автоматизовані системи контролю температури, що сприяє підвищенню ефективності в тваринництві та покращенню умов утримання тварин у різних типах господарств [9].

Таким чином, основними тенденціями розвитку систем температурної реєстрації, орієнтованих на роботу у тваринницьких приміщеннях, є автоматизація процесів, інтеграція з іншими системами, використання інтелектуальних технологій для прогнозування і аналізу даних, підвищення енергоефективності та забезпечення доступності таких рішень для різних категорій господарств. Ці інновації сприяють зниженню витрат, покращенню умов утримання тварин і підвищенню продуктивності, що є важливими факторами для розвитку тваринництва в майбутньому.

**Метою досліджень** є розробка методики проектування універсального температурного реєстратора, придатного для експлуатації в умовах тваринницьких приміщень, реалізованого на базі програмованого логічного комплексу ADC10, що характеризується б підвищеною надійністю при збереженні відносно невисокої собівартості.

#### Матеріали і методи.

Модуль ADC10 представляє собою швидкодіючий 10-бітний аналого-цифровий перетворювач. Модуль ADC10 забезпечує швидке виконання 10-бітних аналого-цифрових перетворень. У складі модуля є 10-бітне ядро з регістром послідовного наближення, блок управління вибіркою, генератор опорної напруги і контролер пересилання даних (DTC).

Контролер DTC дозволяє модулю зберігати результати перетворень у межах всього адресного простору без використання центрального процесора. Модуль може налаштовуватися користувачем програмними засобами [10].

Модуль ADC10 має наступні особливості:

- максимальна швидкість перетворення – більше 200 тис. вибірок / с;
- 10-бітний перетворювач з монотонною характеристикою без пропуску кодів;
- пристрій вибірки / зберігання з програмованим часом відгуку;
- запуск перетворення виробляється програмно або за сигналом від Таймера;
- програмно конфігурується внутрішній генератор опорної напруги (плюс 1,5 В або плюс 2,5 В);
- зовнішнє або внутрішнє джерело опорної напруги (вибирається програмно);
- вісім каналів перетворення зовнішніх сигналів;

- канали перетворення для внутрішнього датчика температури, напруги  $V_{CC}$  і зовнішніх опорних напруг;

- конфігурується джерело тактового сигналу;

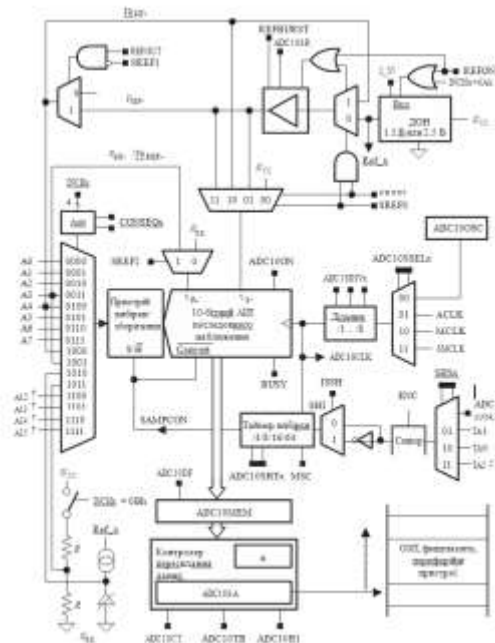
- режими перетворення: одноканальний, багаторазовий одноканальний, послідовний і багаторазовий послідовний;

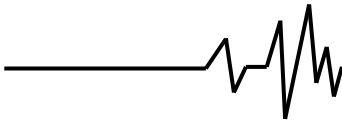
- ядро АЦП і ДОН можуть вимикатися незалежно один від одного;

- контролер пересилання даних для автоматичного збереження результатів перетворень.

Ядро АЦП перетворює аналоговий сигнал в 10-бітний цифровий код і зберігає результат у регістрі ADC10MEM. Верхній і нижній межі перетворення визначаються двома програмованими рівнями напруги ( $V_{R+}$  і  $V_{R-}$ ). Результат перетворення дорівнює максимальному значенню (03FFh), якщо рівень вхідного сигналу більше або дорівнює  $V_{R+}$ , і нулю, якщо рівень вхідного сигналу менше або дорівнює  $V_{R-}$ . Вхідний канал і рівні опорних напруг ( $V_{R+}$  і  $V_{R-}$ ) задаються регістрами управління модуля. Результат перетворення може бути представлений у звичайному вигляді або у додатковому коді.

Конфігурування ядра АЦП здійснюється двома регістрами управління ADC10CTL0 і ADC10CTL1. Включається ядро АЦП установкою біта ADC10ON. За деякими винятками біти управління модуля ADC10 можна змінювати тільки при  $E_{NC} = 0$ . Перед виконанням будь-якого перетворення біт  $E_{NC}$  повинен бути встановлений в 1. Функціональна схема ADC10 зображена на рисунку 1.





$$N_{ADC} = 1023 \cdot \frac{V_{in} - V_{R-}}{V_{R+} - V_{R-}}. \quad (1)$$

Сигнал ADC10CLK використовується у якості тактового сигналу перетворення, так і для формування періодів вибірки. Джерело сигналу ADC10CLK задається бітами ADC10SSELx. Обраний сигнал надходить на АЦП через переддільник, коефіцієнт ділення якого (1, 2, 4 або 8) визначається бітами ADC10DIVx. Для формування сигналу ADC10CLK можуть використовуватися системні тактові сигнали SMCLK, MCLK, ACLK, а також сигнал внутрішнього генератора ADC10OSC.

Частота сигналу ADC10OSC, формованого всередині модуля, не перевищує 5 МГц і залежить від конкретного пристрою, напруги живлення і температури. Точні параметри сигналу ADC10CLK наводяться в документації на конкретні моделі.

Вхідний аналоговий мультиплексор дозволяє вибирати для перетворення один з восьми зовнішніх і чотирьох внутрішніх аналогових сигналів. При цьому мультиплексор пропонується виконати за схемою break-before-make (розрив перед включенням) для зменшення перехресних завад, що виникають при перемиканні каналів (рисунк 2). Крім того, ключі мультиплексора доцільно виконати по Т-подібній схемі, що дозволяє звести до мінімуму взаємний вплив каналів. Таким чином не використовувані в цей момент часу канали відключаються від АЦП, а середня точка підключається до аналогової землі  $V_{SS}$ . У результаті паразитна ємність заземлюється, що допомагає усунути перехресні перешкоди.

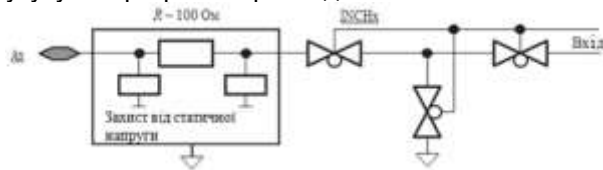


Рис. 2. Аналоговий мультиплексор.

Так як модуль ADC10 використовує метод перерозподілу заряду, переключення входів всередині модуля може викликати перехідні процеси у вхідному сигналі. Ці перехідні процеси характеризуються достатньо малою сталою часу, щоб не стати причиною некоректного перетворення.

При цьому зовнішні входи модуля ADC10  $Ax$ ,  $V_{REF+}$  і  $V_{REF-}$  мультиплексованих з портів вводу / виводу являють собою цифрові схеми на КМОП-елементах. Аналоговий сигнал, що поступає на вхід КМОП-елемента, може викликати наскрізний струм, що протікає від лінії живлення  $V_{CC}$  до заземлення (GND). Цей паразитний струм з'являється в тому випадку, якщо вхідна напруга близька до порогового значення напруги елемента. У цьому випадку відключення буфера виводу порту дозволить виключити появу паразитного струму і, таким чином, зменшить загальне споживання мікроконтролера. У

свою чергу біти ADC10AEx дозволяють відключати вхідні і вихідні буфери відповідних виводів порту.

Модуль ADC10 містить вбудований генератор опорної напруги, який здатний формувати напругу двох номіналів. Генератор опорної напруги вмикається встановленням біта  $REFON = 1$ . При  $REF2\_5V = 1$  внутрішня опорна напруга дорівнює 2,5 В, а при  $REF2\_5V = 0$  внутрішня опорна напруга складає 1,5 В. Ця напруга може використовуватися всередині кристалу, а також може бути виведено на вихід  $V_{REF+}$  при  $REFOUT = 1$ .

Рівні  $V_+$  і  $V_-$  можуть задаватися зовнішніми джерелами, які підключаються до виходів  $A4$  і  $A3$ , відповідно. У випадку використання зовнішніх джерел опорної напруги або ж при використанні  $V_{CC}$ , внутрішній генератор опорної напруги можна відключити для зменшення енергоспоживання пристрою.

Істотною перевагою модуля ADC10 є відсутність необхідності підключення зовнішніх фільтруючих конденсаторів до входів джерел опорної напруги.

Вбудований генератор опорної напруги (ДОН) модуля ADC10 розроблений для використання в додатках з низьким енергоспоживанням. У складі генератора є джерело напруги (ДОН) і окремий буфер. При  $REFON=1$  обидва вузли включені, а при  $REFON=0$  – вимкнені. Повний час встановлення опорної напруги після установки біта  $REFON$  становить не більше 30 мкс.

Якщо  $REFON=1$ , але перетворення не виконується, то буфер автоматично вимикається. У вимкненому стані струм споживання буфера дорівнює нулю. Джерело напруги в цьому випадку залишається активним.

При  $REFOUT = 1$  роботою буфера внутрішнього джерела опорної напруги управляє біт  $REFBURST$ . При  $REFBURST = 0$  буфер буде включений постійно, забезпечуючи наявність опорного напруги на відповідному виводі мікроконтролера. Якщо  $REFBURST = 1$ , то буфер автоматично вимикається між перетвореннями і автоматично включається на час перетворення.

Використання зазначеного апаратного рішення дозволяє здійснювати вибір між швидкістю АЦП і струмом споживання буфера вбудованого ДОН. При швидкості перетворення менш 50 тис. вибірок / с установлення біта  $ADC10SR = 1$  зменшує струм споживання буфера приблизно на 50 %.

Модуль ADC10 розроблений для використання в додатках з низьким енергоспоживанням. Тому ядро автоматично відключається в ті періоди часу, коли модуль не виконує перетворень, і автоматично включається при необхідності. Аналогічним чином автоматично включається і вимикається внутрішній генератор модуля ADC10SC. У вимкненому стані струм споживання, як і ядра АЦП, так і внутрішнього генератора, дорівнює нулю.



Запуск аналого-цифрового перетворення здійснюється по наростаючому фронту сигналу вибірки SHI. Джерелом сигналу SHI, який задається бітами SHSx, може бути:

- біт ADC10SC;
- модуль виведення 1 Таймера A;
- модуль виводу 0 Таймера A;
- модуль виведення 2 Таймера A.

Полярність джерела сигналу SHI може бути інвертований за допомогою біта ISSH. Біти SHTx визначають період вибірки  $t_{\text{sample}}$ , який може бути дорівнює 4, 8, 16 або 64 тактів ADC10CLK. Таймер вибірки переводить сигнал SAMPCON в стан «високого» рівня на час, рівний заданому проміжку часу вибірки, після синхронізації з сигналом ADC10CLK. Повний час вибірки становить  $t_{\text{sample}} + t_{\text{sync}}$ . Запуск аналого цифрового перетворення, для виконання якого потрібно 13 тактів ADC10CLK, проводиться у разі спадаючого фронту сигналу SAMPCON (рисунк 3).

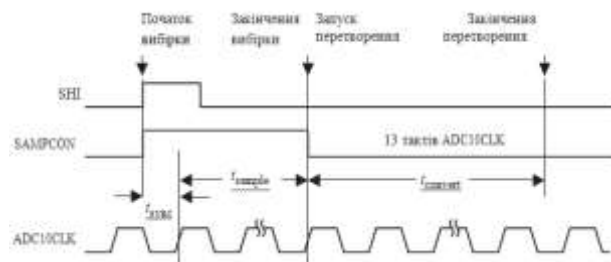


Рис. 3. Часові діаграми роботи аналогового мультиплектора.

У той же час при SAMPCON = 0 всі аналогові входи Ax знаходяться в високоімпендансному стані. При SAMPCON = 1 вибраний вхід Ax на час вибірки  $t_{\text{sample}}$  можна представити у вигляді RC фільтра нижніх частот, як показано на рисунок 4. При цьому джерело сигналу буде навантаженим на вхідний опір мультиплектора  $R_i$  (не більше 2 кОм), включений послідовно з конденсатором  $C_i$  (не більше 27 пФ). Для виконання перетворення з 10-бітною точністю на напругу  $V_c$  на конденсаторі  $C_i$  повинна відрізнятися від напруги джерела  $V_s$  не більше ніж на 0,5 LSB.

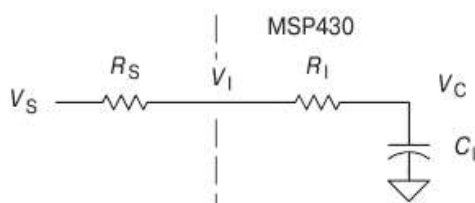


Рис. 4. Принципова схема фільтру нижніх частот.

Варто зазначити, що модуль ADC10 підтримує чотири режими роботи, що задаються бітами.

Одноразовий одноканальний режим перетворення. У цьому режимі виконується одноразове перетворення каналу, заданого бітами INCHx. Результат перетворення заноситься в регістр ADC10MEM. Якщо запуск перетворення виробляється установкою біта ADC10SC, то для запуску подальших перетворень достатньо встановити цей біт повторно. Якщо ж запуск перетворення здійснюється за сигналом від іншого джерела, то між послідовними перетвореннями необхідно скидати і повторно встановлювати біт ENC.

Одноразовий послідовний режим перетворення. У цьому режимі виконується цикл перетворень декількох послідовно розташованих каналів, по одному перетворенню на канал. Перший канал послідовності задається бітами INCHx, а останнім є канал A0. Результат кожного перетворення заноситься в регістр ADC10MEM. Якщо запуск циклу перетворень проводиться установкою біта ADC10SC, то для запуску наступних циклів доста точно встановити цей біт повторно. Якщо ж запуск циклу перетворень здійснюється за сигналом від іншого джерела, то між послідовними циклами необхідно скидати і повторно встановлювати біт ENC.

Щоб АЦП могло автоматично виконувати послідовні перетворення з максимально можливою швидкістю, в модулі передбачена функція багаторазового вибірки/перетворення. При MSC = 1 і CONSEQx > 0 перше наростаючий фронт сигналу SHI запускає перше перетворення. Наступне перетворення запускаються автоматично одразу ж після завершення попереднього. Інші наростаючі фронти сигналу SHI будуть ігноруватися до тих пір, поки не буде завершено серію перетворень або поки не буде скинутий і повторно встановлений біт ENC. Функція біта ENC при використанні біта MSC не змінюється.

Циклічний послідовний режим перетворення. У цьому режимі періодично виконується цикл перетворень декількох послідовно розташованих каналів, по одному перетворенню на канал. Перший канал послідовності задається бітами INCHx, а останнім є канал A0. Результат кожного перетворення заноситься в регістр ADC10MEM. Цикл завершується перетворенням каналу A0, а повторний запуск циклу проводиться за наступним сигналом запуску.

Для реалізації зв'язку з іншими електронними схемами доцільним є використання вбудованого контролера передачі даних (DTC), призначений для автоматичного пересилання результатів перетворення з регістра ADC10MEM в інші осередки внутрішньої пам'яті. Контролер DTC вмикається при записі в регістр ADC10DTC1 нульового значення.

Тоді при вимкненому контролері пересилання даних проводиться кожного разу, коли модуль завершує перетворення і завантажує



результат в регістр ADC10MEM. При цьому з боку програми не потрібно ніяких дій з управління цим модулем до тих пір, поки не буде передано задане число відліків. Кожне пересилання виконується за один такт MCLK. Щоб при пересиланні даних не виник конфлікт на шині, ЦПУ зупиняється, якщо він був активним, на один такт сигналу MCLK, необхідний для передавання значення.

Режим пересилання одного блоку включається при біті ADC10TB = 0. Значення n, завантажене в регістр ADC10TC1, визначає загальна кількість пересилань у блоці. Початкова адреса блоку, яка заноситься в 16-бітному регістрі ADC10SA, може перебувати в будь-якому місці адресного простору MSP430. В такому випадку режим пересилання одного блоку матиме вигляд, схематично показаний на рисунку 5.

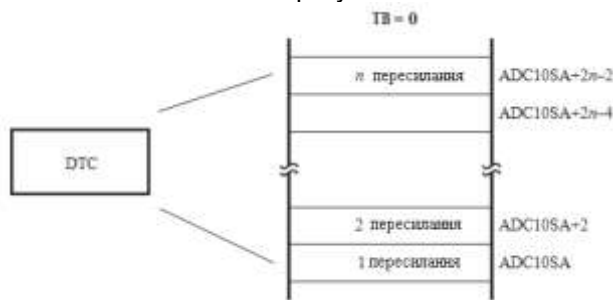


Рис. 5. Режим пересилання одного блоку інформації від ПЛК ADC10.

При цьому спочатку внутрішній показчик адреси дорівнює ADC10SA, а внутрішній лічильник пересилань дорівнює n. Внутрішні показчик і лічильник програмно недоступні. Контролер DTC пересилає 16-бітний вміст регістра ADC10MEM за адресою, що знаходиться в ADC10SA. Після кожної пересилання внутрішній показчик адреси збільшується на дві одиниці.

Контролер продовжує пересилати дані при кожному завантаженні в ADC10MEM до тих пір, поки внутрішній лічильник не стане рівним нулю. Після цього контролер відновить пересилання даних лише після повторного запису в регістр ADC10SA. При використанні DTC в режимі пересилання одного блоку, прапорець ADC10IFG встановлюється тільки після пересилання всього блоку. Діаграма станів для цього режиму наведена на рисунку 3.

Як видно з діаграми, режим пересилання двох блоків включається при біті ADC10TB = 1. Значення n, завантажувати в регістр ADC10TC1, визначає число пересилань для одного блоку. Початковий адресу першого блоку, який заноситься в 16-бітний регістр ADC10SA, може знаходитися в будь-якому місці адресного простору MSP430. Зазначений режим пересилання двох блоків показаний на рисунку 6.

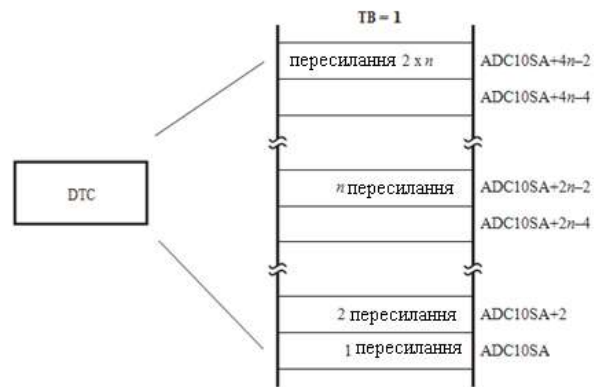


Рис. 6. Пересилання двох блоків інформації від ПЛК ADC10.

При цьому спершу внутрішній показчик адреси дорівнює ADC10SA, а внутрішній лічильник пересилань дорівнює n. Внутрішні показчик і лічильник програмно недоступні. Контролер DTC пересилає 16 бітне вміст регістра ADC10MEM за адресою, що знаходиться в ADC10SA.

Контролер продовжує пересилати дані при кожному завантаженні в ADC10MEM до тих пір, поки внутрішній лічильник не стане рівним нулю. При цьому встановлюються прапорець ADC10IFG і біт ADC10B1, що свідчить про заповнення першого блоку.

У цьому режимі контролер DTC продовжує працювати з другим блоком. В лічильник автоматично перезавантажується число n. При завантаженні наступного результату в регістр ADC10MEM контролер починає пересилання результатів перетворень до другого блоку. Цей блок заповнюється після виконання n пересилань, при цьому встановлюється прапорець ADC10IFG, а біт ADC10B1 скидається.

Режим безперервної передачі даних включається установкою біта ADC10CT. У цьому випадку контролер DCT не зупиняється після завершення пересилання першого (режим пересилання одного блоку) або другого (режим пересилання двох блоків) блоку. У внутрішній показчик адреси і внутрішній лічильник пересилань автоматично завантажуються значення ADC10SA і n відповідно, і контролер знову починає пересилати дані в перший блок. При скиданні біта ADC10CT контролер DCT припиняє пересилання даних після заповнення першого (режим пересилання одного блоку) або другого (режим пересилання двох блоків) блоку.

Для пересилання одного значення з регістра ADC10MEM контролеру DTC потрібно один або два такту MCLK для синхронізації, один такт для виконання власне пересилання (при зупиненому ЦПУ) і один такт для очікування. Оскільки контролер DTC тактується сигналом MCLK, тривалість циклу пересилання залежить від



режиму роботи MSP430 і установки модуля синхронізації.

Технологічно виправданим рішенням при реалізації температурного реєстратора тваринницьких приміщень на базі програмованого логічного комплексу ADC10 є використання вбудованого сенсора температури. При цьому користувач вибирає відповідний аналоговий вхід (INCHx=1010). Інші налаштування АЦП, такі як вибір опорної напруги, вибір подання результату тощо, виконуються як при роботі із зовнішнім сигналом.

Типова передатна функція сенсора температури наведена на рисунку 7. При використанні сенсора температури час вибірки повинно бути не менш 30 мкс. Цей сенсор має доволі велику похибку зсуву. Вирішення цієї проблеми пропонується здійснювати за допомогою попереднього автоматичного калібрування при вмиканні напруги живлення пристрою.

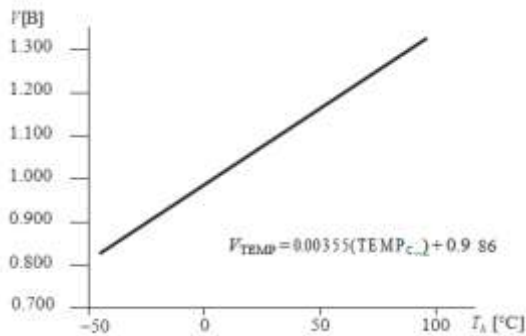


Рис. 7. Типова передатна функція вбудованого датчика температури.

При виборі сенсора температури вбудований генератор опорної напруги автоматично стає джерелом опорної напруги сенсора. Проте вихід V<sub>REF+</sub> при цьому не вмикається і налаштування джерела опорної напруги для перетворення не змінюються. Вибір опорної напруги для перетворення сигналу від сенсора температури проводиться так само, як і для будь-якого іншого каналу перетворення.

Варто зазначити, що паразитні контури заземлення будуть з'являтися в тому випадку, якщо зворотний струм від АЦП протікатиме по провідниках, які є спільними з іншими аналоговими або цифровими елементами схеми. Якщо не вжити спеціальних заходів, то цей струм може викликати появу невеликої напруги зсуву, впливаючи на значення опорної напруги або рівень вхідного сигналу аналого-цифрового перетворювача. Для запобігання зазначеному ефекту пропонується здійснювати підключення модуля АЦП таким чином, як це продемонстровано на рисунку 8.

Тоді модулю ADC10 буде виділений один вектор переривання, з яким пов'язаний єдиний прапорець (рисунк 9). Якщо контролер DTC не

використовується (ADC10DTC1 = 0), то прапорець переривання ADC10IFG встановлюється при завантаженні результату перетворення в регістр ADC10MEM. При використанні контролера DTC (ADC10DTC1 > 0) прапорець ADC10IFG встановлюється, коли завершується пересилання блоку даних і внутрішній лічильник пересилань стає рівним нулю.

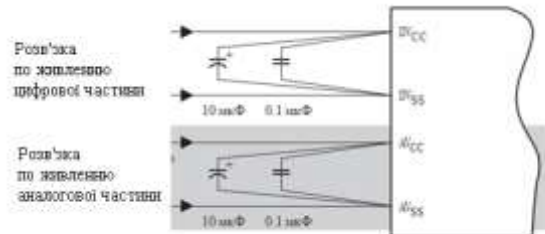


Рис. 8. Схема організації заземлення і боротьби з перешкодами при використанні модуля ADC10 (внутрішнє V<sub>REF</sub>)

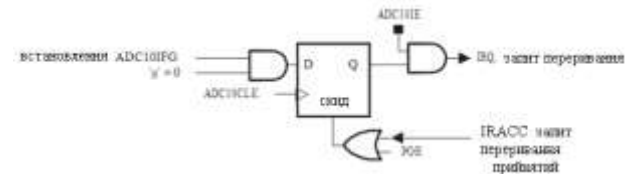


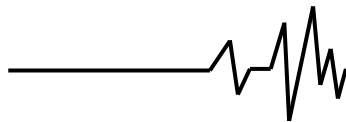
Рис. 9. Система переривання модуля ADC10.

При цьому, якщо встановлені біти ADC10IE і GIE, то при установці прапорця ADC10IFG генерується запит переривання. Прапорець ADC10IFG автоматично скидається при обробці переривання або може бути скинутий програмно.

**Висновки та напрямки подальших досліджень.** Щоб задовольнити попит на системи вимірювання температури, що були б придатними для використання у тваринницьких приміщеннях та характеризувалися б універсальністю, низьким енергоспоживанням та достатньою швидкістю для реалізації автоматизованих алгоритмів клімат-контролю було розроблено методику проектування температурного реєстратора тваринницьких приміщень на базі програмованого логічного комплексу ADC10.

В процесі розробки методики проектування було розглянуто питання підвищення завадостійкості каналу зв'язку, що досягається шляхом поєднання програмних та апаратних підходів. Зокрема, було показано, що суттєве підвищення завадостійкості може бути досягнуто шляхом використання двоблокового режиму роботи каналу зв'язку при застосування вихідного фільтру нижніх частот.

Реалізація температурного реєстратора пропонується на базі вбудованого сенсора температури ПЛК ADC10, що частотно знижує собівартість такого обладнання. При цьому



проблему низької точності вимірювання пропонується вирішити шляхом застосування алгоритмів автоматичного калібрування при вмиканні напруги живлення пристрою, а також шляхом використання оригінальних схемотехнічних рішень, що дозволяють усунути паразитні контури заземлення, утворені при протіканні зворотнього струму АЦП по провідниках, які є спільними з іншими аналоговими або цифровими елементами схеми.

#### Список використаних джерел

1. Повод М. Г., Шпетний М. Б., Милостивий Р. В., Нечмілов В. М., Кремезь М. І. Динаміка параметрів мікроклімату у приміщеннях для дорощування порослят залежно від їх маси. *Вісник Сумського національного аграрного університету. Серія «Тваринництво»*. 2017, випуск 7 (33). С.154-159.

2. Яцук В. О., Олесків Т. М. Метрологічне забезпечення вимірювання температури та різниці температур для геліосистем. *Вимірювальна техніка та метрологія*. 2018, Том 79, вип. 4. С. 54-64.

3. Gunko I., Hraniak V., Yaropud V., Kupchuk I., Rutkevych V. Optical sensor of harmful air impurity concentration. *Przeglad Elektrotechniczny*. 2021, Vol. 97, № 7. P. 76-79.

4. Болтянський Б. В., Скляр О. Г., Скляр Р. В., Болтянська Н. І., Дереза С. В. Енерго- та ресурсозбереження в тваринництві. Підручник для здобувачів вищої освіти закладів вищої освіти. Київ: Видавничий дім «Кондор», 2020. 410 с.

5. Мазуркевич Т. А., Міськевич С. В., Стегней Ж. Г. Екологія у ветеринарній медицині. Навчальний посібник. Київ: Компринт, 2011. 206 с.

6. Бондаренко І. М., Бородін О. В., Карнаушенко В. П. Мікропроцесорні системи контролю та керування. Навчальний посібник. Харків: ХНУРЕ, 2020. 244 с.

7. Погореленко А. К. Штучний інтелект: сутність, аналіз застосування, перспективи розвитку. *Науковий вісник Херсонського державного університету. Серія «Економічні науки»*. 2018. № 32. С. 22-27.

8. Alamri F. S., Aslam M. Data generation and application using the neutrosophic Erlang distribution. *Journal of Big Data*. 2015. 15 p. URL: <chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://journalofbigdata.springeropen.com/counter/pdf/10.1186/s40537-025-01103-y.pdf>

9. Гуржій А. М., Мещанінов С. К., Нельга А. Т., Співак В. М. Електротехніка та основи електроніки. Підручник. Київ: «Літера ЛТД», 2020. 288 с.

10. Bengtsson L. E. Interpolation of Microcontroller ADC by Self Induced Dithering. *International Journal on Smart Sensing and Intelligent*

*Systems*. 2013. Vol. 6(4). P. 1366-1382. DOI:10.21307/ijssis-2017-594

#### References

1. Povod M. H., Shpetnyi M. B., Mylostyvyi R. V., Nechmilov V. M., Kremez M. I. (2017) Dynamics of microclimate parameters in premises for growing piglets depending on their mass. *Bulletin of Sumy National Agrarian University. Series "Animal Husbandry"*, Issue 7 (33). P.154-159. [in Ukrainian].

2. Yatsuk V. O., Oleskiv T. M. (2018) Metrological support for temperature and temperature difference measurement for solar systems. *Measuring Technology and Metrology*. Vol. 79, Issue. 4. Pp. 54-64. [in Ukrainian].

3. Gunko I., Hraniak V., Yaropud V., Kupchuk I., Rutkevych V. (2021) Optical sensor of harmful air impurity concentration. *Przeglad Elektrotechniczny*. Vol. 97, № 7. P. 76-79. [in English].

4. Boltianskyi B. V., Skliar O. H., Skliar R. V., Boltianska N. I., Dereza S. V. (2020) Energy and resource conservation in animal husbandry. Textbook for higher education students of higher education institutions. Kyiv: Publishing house "Kondor", 410 p. [in Ukrainian].

5. Mazurkevych T. A., Miskevych S. V., Stehnei Zh. H. (2011) Ecology in Veterinary Medicine. Textbook. Kyiv: Komprint, 206 p. [in Ukrainian].

6. Bondarenko I. M., Borodin O. V., Karnauschenko V. P. (2020) Microprocessor control and management systems. Textbook. Kharkiv: KhNURE, 244 p. [in Ukrainian].

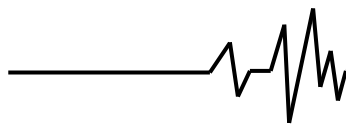
7. Pohorelenko A. K. (2018) Artificial Intelligence: Essence, Application Analysis, Development Prospects. *Scientific Bulletin of Kherson State University. Series "Economic Sciences"*. Vol. 32. P. 22-27. [in Ukrainian].

8. Alamri F. S., Aslam M. (2015) Data generation and application using the neutrosophic Erlang distribution. *Journal of Big Data*. 15 p. URL: <chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://journalofbigdata.springeropen.com/counter/pdf/10.1186/s40537-025-01103-y.pdf> [in English].

9. Hurzhii A. M., Meshchaninov S. K., Nelha A. T., Spivak V. M. (2020) Electrical Engineering and Fundamentals of Electronics. Textbook. Kyiv: "Litera LTD". 288 p. [in Ukrainian].

10. Bengtsson L. E. (2013) Interpolation of Microcontroller ADC by Self Induced Dithering. *International Journal on Smart Sensing and Intelligent Systems*. Vol. 6(4). P. 1366-1382. DOI:10.21307/ijssis-2017-594 [in English].





## METHODOLOGY FOR DESIGNING A TEMPERATURE RECORDER FOR LIVESTOCK FACILITIES BASED ON THE ADC10 PROGRAMMABLE LOGIC CONTROLLER

The article discusses the methodology for designing a temperature recorder for livestock facilities based on the ADC10 programmable logic controller (PLC). This solution was developed to meet the growing demand for temperature measurement systems suitable for use in the agricultural sector, particularly in livestock facilities. The key requirements for such systems include versatility, reliability, low cost, low energy consumption, and sufficient speed to effectively execute automated climate control algorithms that ensure optimal conditions for animal husbandry.

One of the main challenges in the design process is improving the noise immunity of the communication channel, as livestock facilities often experience strong electromagnetic interference that can distort the transmitted data. The article proposes a combined use of software and hardware approaches to achieve high noise immunity. Specifically, the methodology involves using a two-block mode of operation for the communication channel, which provides better signal stability in the presence of electrical interference. Additionally, the use of a low-pass filter at the output is suggested to effectively suppress unnecessary high-frequency signals and

reduce noise, thereby improving the accuracy of data transmission.

Another important aspect discussed in the article is reducing the cost of the temperature recorder. To achieve this, the ADC10 programmable logic controller with an integrated temperature sensor was selected, which significantly reduces the manufacturing costs of the equipment. To improve the accuracy of temperature measurements, the article suggests implementing automatic calibration algorithms when the device's power supply is turned on. Additionally, original circuit solutions are presented to eliminate parasitic grounding loops that arise from the flow of reverse current through conductors shared with other elements of the circuit. This significantly enhances measurement accuracy by removing sources of errors caused by the influence of external electrical signals on the measurement part of the circuit.

These approaches together offer an effective and reliable solution for temperature monitoring and control in livestock facilities, ensuring the precise and cost-efficient management of environmental conditions critical to animal welfare.

**Keywords:** temperature, microclimate, livestock building, airflow, ventilation, automation, heat exchange, measurement, energy efficiency.

### Відомості про авторів

**Братішко Вячеслав Вячеславович** – доктор технічних наук, професор, декан механіко-технологічного факультету Національного університету біоресурсів і природокористування України (вул. Героїв Оборони, 15, м. Київ, 03041, e-mail: [vbratishko@nubip.edu.ua](mailto:vbratishko@nubip.edu.ua), orcid: <http://orcid.org/0000-0001-8003-5016>)

**Граняк Валерій Федорович** – кандидат технічних наук, доцент, завідувач кафедри електроенергетики, електротехніки та електромеханіки Вінницького національного аграрного університету (вул. Сонячна, 3, м. Вінниця, 21008, Україна, e-mail: [titanxp2000@ukr.net](mailto:titanxp2000@ukr.net), <https://orcid.org/0000-0001-6604-6157>)

**Bratishko Viacheslav** – Doctor of Technical Sciences, Professor, Dean of the Faculty of Mechanical Engineering of the National University of Life Resources and Environmental Sciences of Ukraine (15 Heroiv Oborony St., Kyiv, 03041, e-mail: [vbratishko@nubip.edu.ua](mailto:vbratishko@nubip.edu.ua), orcid: <http://orcid.org/0000-0001-8003-5016>)

**Hraniak Valerii** – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Head of the Department of Electrical Power Engineering, Electrical Engineering and Electromechanics of Vinnytsia National Agrarian University (3 Sonyachna St., Vinnytsia, 21008, Ukraine, e-mail: [titanxp2000@ukr.net](mailto:titanxp2000@ukr.net), <https://orcid.org/0000-0001-6604-6157>)