

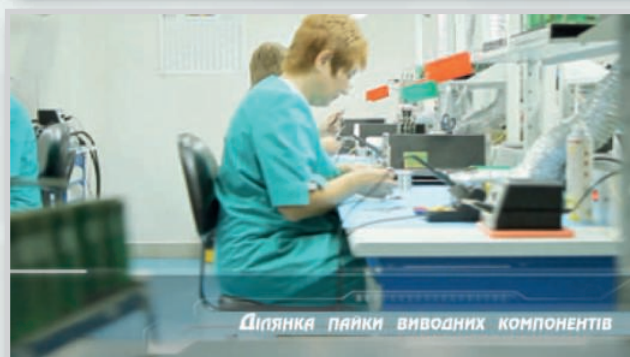


НОВІ ТЕХНОЛОГІЇ ВИРОБНИЦТВА "ЧИСТОЇ" ЕНЕРГІЇ



У номері:

- Засоби вимірювання концентрації речовин у рідині
- У якому випадку MEMS-акселерометр є найкращим вибором
- Як експрес-тестування вдома може змінити діагностику вірусних захворювань
- **Нові технології виробництва "чистої" енергії**
- Як новий підхід в охороні здоров'я залежить від цифровізації медичної галузі
- Перспективи розвитку світової енергетики та проблема зниження викидів CO₂
- Система роз'ємів TE Connectivity LUMAWISE Endurance
- Як зменшити рівень пульсацій в джерелах живлення
- Використання БПЛА та особливості побудови систем протидії дронам
- Датчики вологості та температури компанії TE Connectivity



КОНТРАКТНЕ ВИРОБНИЦТВО ЕЛЕКТРОНІКИ

Повний цикл контрактного виробництва електроніки:

- проектування та виготовлення друкованих плат та трафаретів за стандартом IPC-A-600J
- комплексне постачання комплектуючих елементів
- автоматизований монтаж компонентів за технологією SMT та THT, включаючи монтаж у азотному середовищі, відповідно до стандарту IPC-A-610G (до 2 500 000 SMD-компонентів на добу)
- монтаж друкованих плат будь-якої складності при серійному та дрібносерійному виробництві
- нанесення лазерного маркування на друковані плати
- 100% автоматичний оптичний контроль якості монтажу
- внутрішньосхемний контроль готових виробів
- нанесення акрилових, силіконових, поліуретонових конформних (захисних) покриттів
- проведення кліматичних випробувань
- проведення механічних випробувань на вібростенді
- різання та зачистка проводів, обтискання контактів, виготовлення кабельних джгутів.

Система менеджменту якості фірми сертифікована на відповідність вимогам стандартів ISO 9001:2015, ISO 14001:2015, IATF 16949:2016 і ISO 13485:2016.

Автоматизована паяння вивідних компонентів виконується на установці селективного паяння PowerSelective виробництва компанії SEHO. Паяння виконується міні-хвилью в азотному середовищі. Швидкість паяння 1...5 секунди на точку. Швидкість паяння роз'ємів 3 мм за секунду.

Україна, 03061, Київ,
вул. Михайла Донця, 6

тел./факс: (044) 201-0202, (057) 719-6718, (0562) 319-128, (095) 283-8246,
(048) 734-1954, (095) 274-6897, info@vdmiais.ua; www.vdmiais.ua

**ЕЛЕКТРОННІ
КОМПОНЕНТИ
І СИСТЕМИ**2023 квітень-червень
№ 2 (242)МАСОВИЙ
НАУКОВО-
ТЕХНІЧНИЙ
ЖУРНАЛ**Засновник і видавець:**
НАУКОВО-ВИРОБНИЧА
ФІРМА VD MAISЗареєстрований
Міністерством інформації
України 24.07.96 г.
Свідоцтво про реєстрацію:
серія KB, № 2081Б
Видається з травня 1996 г.**Директор фірми VD MAIS:**
В.О. Давиденко**Головний редактор:**
В.О. Романов**Редакційна колегія:**
В.О. Давиденко
В.В. Макаренко
Д-р Ілля Брондз,
Norwegian Drug Control
and Drug Discovery Institute
(NDCDDI) AS, Ski, Norway**Адреса редакції:**Україна, Київ,
вул. М. Донца, 6**Тел.:** (0-44) 492-8852, 201-0202**Факс:** (0-44) 202-1110**E-mail:** ekis@vdmajs.ua**Інтернет:** www.vdmajs.ua
www.ekis.kiev.ua**Адреса для переписки:**

Україна, 03061 Київ, вул. М. Донца, 6

НА ДОПОМОГУ РОЗРОБНИКУ ЕЛЕКТРОННОЇ АПАРАТУРИ

- В. Романов
Засоби вимірювання концентрації речовин у рідині3
- Б. Рейсс
У якому випадку MEMS-акселерометр є найкращим вибором7
- В. Романов
Як експрес-тестування вдома може змінити діагностику вірусних захворювань9

НОВІ ТЕХНОЛОГІЇ

- О. Дріссен
Навчання згорткових нейронних мереж 12
- О. Дріссен
Апаратна реалізація згорткових нейронних мереж 15
- В. Романов
Нові технології виробництва "чистої" енергії – потужний стимул для розвитку мікроелектроніки та систем управління на її основі21
- В. Романов
Як новий підхід в охороні здоров'я залежить від цифровізації медичної галузі25
- В. Романов
Перспективи розвитку світової енергетики та проблема зниження викидів CO₂28
- В. Романов
Як проектувати двигуни нового покоління для зниження енерговитрат у промисловості32

НОВІ КОМПОНЕНТИ

- В. Макаренко
Система роз'ємів TE Connectivity LUMAWISE Endurance36

ДЖЕРЕЛА ЖИВЛЕННЯ

- В. Макаренко
Як зменшити рівень пульсацій в джерелах живлення зі стрибкоподібною зміною струму навантаження41

ОГЛЯДИ

- В. Макаренко
Використання БПЛА та особливості побудови систем протидії дронам46

ДАТЧИКИ

- В. Макаренко
Датчики вологості та температури компанії TE Connectivity58

Перепечатка опублікованих в журнале матеріалів допускається с разрешения редакції. За рекламную інформацію відповідальність несеет рекламодатель.

ASK THE APPLICATIONS ENGINEER

- V. Romanov
Liquid Measurements 3
- B. Reiss
Maximize Predictive Maintenance with Careful Selection of MEMS Accelerometers 7
- V. Romanov
How home express-testing can change the diagnosis of viral diseases 9

NEW TECHNOLOGIES

- O. Dreessen
Training Convolutional Neural Networks: What Is Machine Learning? – Part 2 12
- O. Dreessen
Hardware Conversion of Convolutional Neural Networks: What Is Machine Learning? – Part 3..... 15
- V. Romanov
New technologies for the generation of "clean" energy are a powerful incentive for the development of the microelectronics and control systems based on it21
- V. Romanov
How a new approach to health care depends on the digitalization of the medical industry 25
- V. Romanov
How a new approach to health care depends on the digitalization of the medical industry 28
- V. Romanov
How to design a new generation of engines to reduce energy consumption in industry 32

NEW COMPONENTS

- V. Makarenko
TE Connectivity – LUMAWISE Endurance S Connector System 36

POWER SOURCES

- V. Makarenko
How to reduce the level of pulsations in power sources with a jump-like change in the load current 41

REVIEWS

- V. Makarenko
The use of UAVs and features of the construction of anti-drone systems 46

SENSORS

- V. Makarenko
TE Connectivity sensors for measuring humidity and temperature 58



ELECTRONIC COMPONENTS AND SYSTEMS

January-March 2023
No.1 (241)

Scientific and Technical
Journal

Founder and Publisher:
Scientific-Production Firm
VD MAIS

Director
V.O. Davidenko

Head Editor
V.O. Romanov

Editorial Board
V.O. Davidenko
V.V. Makarenko
Dr. I. Brondz,
Norwegian Drug Control
and Drug Discovery Institute
(NDCDDI) AS, Ski, Norway

Address:
M. Dontsia Str., 6,
03061 Kyiv, Ukraine
Tel.:
(380-44) 201-0202,
492-8852 (multichannel)
Fax:
(380-44) 202-1110
E-mail:
ekis@vdmajs.ua
Web address:
www.vdmajs.ua
www.ekis.kiev.ua
Printed in Ukraine

ЗАСОБИ ВИМІРЮВАННЯ КОНЦЕНТРАЦІЇ РЕЧОВИН У РІДИНІ *

LIQUID MEASUREMENTS

Вимірювання концентрації різних речовин у рідинах широко використовується в різних галузях науки та техніки. У статті розглянуто особливості вимірювання концентрації цих речовин та інших параметрів рідин. Аналізується елементна база таких вимірювань.

В. Романов

Abstract – *The determination of the composition and quality of liquids is essential in a wide variety of applications. The most prominent example is water, the most precious raw material in the world. In this article, we will concentrate on fluid measurements with medical uses and thereby describe the individual applications.*

V. Romanov

Визначення концентрації різних інгредієнтів у рідині широко застосовується в різних областях науки і техніки. Найбільш яскравим прикладом є вода. Чиста вода та технологія фільтрації води відіграють важливу роль у житті людини. Доступ до ресурсів чистої води, що постійно скорочуються, стає все більш важливою проблемою. Однак вимірювання параметрів рідин не обмежується водою. Так, наприклад, вимірювання параметрів рідини у медицині, таких як кров, слина тощо, дозволяють діагностувати багато захворювань. Спільним для цих вимірів може бути підхід, заснований на використанні електрохімічних сенсорів та біосенсорів.

Вимірювання параметрів рідини у медицині. Найбільш широко застосовуваним у медицині методом вимірювання параметрів рідини є метод вимірювання рівня глюкози у крові. Достатньо краплі крові на тест-смужці, щоб зробити висновки про рівень цукру в крові. Ґрунтуючись на вимірній концентрації глюкози, пацієнт може скоригувати своє лікування чи дієту. В даний час набув поширення перехід від дискретних вимірювань цукру в крові (один-два рази на день) до постійного моніторингу рівня цукру в крові.

Для цього методу необхідні високоточні мініатюрні біосенсори, що відрізняються малим споживанням електроенергії. Ще одним застосуванням вимірювання параметрів рідини є діаліз. За хронічної ниркової недостатності кров доводиться фільтрувати. Вимірювання провідності діалізуючого розчину виконується за допомогою вимірювання імпедансу. Таким методом можна виміряти рН, провідність, склад та насиченість, наприклад, киснем до-

сліджуваної рідини.

При вимірі, наприклад, параметрів сечі аналізуються зміст виділень для виявлення того чи іншого захворювання. Це відносно новий напрямок у медицині з безліччю різних підходів. Проте в основі багатьох підходів лежать виміри струму, напруги або імпедансу за допомогою електрохімічних сенсорів чи біосенсорів, що дозволяє робити висновки про різні захворювання. На додаток до вимірювання рН можуть виконуватися вимірювання електропровідності. На цьому перелік рідин та їх параметрів не вичерпується. Цими методами може бути вимірний гормональний склад або фармацевтичні агенти, тобто, незважаючи на різноманіття параметрів досліджуваних рідин, вимірювання їх може виконуватися на основі аналізу струму, напруги або імпедансу.

В даний час прилади на основі вимірювання імпедансу можуть бути виконані у вигляді носимих пристроїв, тому вони повинні бути компактні і їх енергоспоживання повинно бути зведено до мінімуму. Незважаючи на те, що основні методи вимірювань струму, напруги або імпедансу залишаються одними і тими ж для всіх застосувань, існує чимало модифікацій цих методів, які використовуються в різних приладах. Стисло розглянемо їх особливості.

Методи потенціометрії. Потенціометрією називають групу методів кількісного аналізу, заснованих на використанні залежності рівноважного потенціалу електрода, опущеного у розчин, від активності (концентрації) іонів даного розчину. У потенціостаті, рис. 1, використовують гальванічні елементи, в яких потенціал одного з електродів залежить від кон-

* У статті використані матеріали зарубіжних та вітчизняних публікацій, а також результати досліджень, виконаних в Інституті кібернетики імені В. М. Глушкова НАН України.

центрації досліджуваної речовини. Цей електрод називають робочим (індикаторним) або електродом вимірювання WE. Другий електрод потенціометрії є електродом порівняння RE. Цей електрод вибирають з таким розрахунком, щоб його потенціал залишався незмінним і не залежав від стану досліджуваного розчину.

Потенціал WE підтримується постійним по відношенню до електрода порівняння за рахунок регулювання струму, що протікає через зустрічний або допоміжний електрод CE. У цьому випадку вимірювання е.р.с. залежатиме лише від потенціалу індикаторного електрода. З зміни величини е.р.с. можна судити про концентрацію речовини в досліджуваному розчині. Потенціометричні виміри є надійними щодо констант рівноваги електродних реакцій, коефіцієнтів активності іонів у розчині, констант нестійкості комплексних іонів, рН розчинів.

Ці методи аналізу мають низку переваг. Вони відрізняються високою чутливістю і не вимагають дослідження великих обсягів розчинів. Існують модифікації потенціометричних вимірювань, що дозволяють проводити аналіз у пробах, обсяг яких може не перевищувати десятих часток мілілітра, що важливо, наприклад, для медичних сенсорів. Оскільки рівноважне значення потенціалу на електроді встановлюється швидко, потенціометричні вимірювання не вимагають значних витрат часу. Їх можна проводити в каламутних та пофарбованих розчинах, а також у в'язкому середовищі, наприклад, у крові.

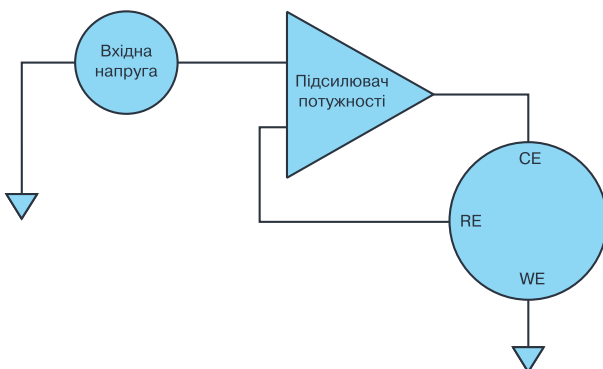


Рис. 1. Структурна схема потенціостату

Амперметричний метод полягає у вимірі струму. У цьому випадку між електродами RE і WE прикладена постійна напруга, а струм, що змінюється, кодується АЦП у складі ІМС мікроконтролера, наприклад, з Cortex ядром, як показано на рис. 2. Важливою перевагою амперметричного методу є можливість визначати не тільки електроактивні інгреді-

енти, а й будь-які інші із застосуванням електроактивних реагентів.

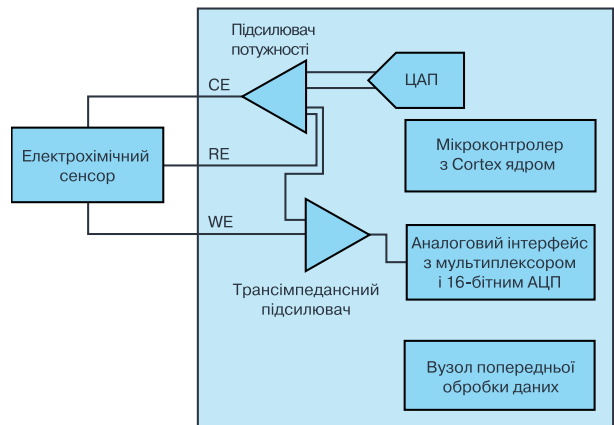


Рис. 2. Схематична реалізація амперметричного методу

Вольтамперометрія – метод аналізу, заснований на дослідженні залежності струму поляризації від напруги, що прикладається до сенсорної електрохімічної комірки, коли електричний потенціал робочого електрода значно відрізняється від рівноважного значення. Вольтамперометрія за різноманітністю методів є найпоширенішою областю електрохімічних методів аналізу, і в даний час її методи широко використовуються в аналітичній хімії для визначення концентрації речовин у розчинах та розплавах, а також при проведенні медичних, фізико-хімічних та електрохімічних досліджень.

Кондуктометричний метод аналізу або кондуктометрія - це метод аналізу, заснований на вимірюванні питомої електричної провідності аналізованого розчину. Вимірювання провідності ґрунтуються на визначенні омичного опору рідини. Щоб виконати цей вимір, два інертні електроди, розташованих паралельно один одному, занурюють в рідину для вимірювання опору з використанням змінного струму. Завдяки цьому процесу можна оцінити рухливість, щільність частинок та ступінь окислення електроліту, щоб зробити висновки про концентрацію розчину.

Визначення рН засноване на вимірюванні величини е.р.с. електродної системи, яка пропорційна активності іонів водню в розчині або водневому показнику, що називається рН. З різниці потенціалів на електродах утворюється напруга, що має лінійну залежність від рН. Одна з основних проблем вимірювання рН полягає в тому, що датчики рН мають дуже великий вихідний опір, що висуває високі вимоги до

параметрів вхідного каналу електронного рН-метра.

Метод аналізу, що ґрунтується на вимірі електрохімічного імпедансу. Цей метод аналізу отримав назву електрохімічної імпедансної спектроскопії і є поширеним лабораторним методом в аналітичній хімії, наприклад, біологічних дослідженнях при аналізі ДНК, аналізі складу та концентрації різних інгредієнтів у рідинах і т.д.

Суть цього методу полягає в подачі змінної напруги в сенсорну електрохімічну комірку і реєстрації струму, що проходить через неї. На основі співвідношень напруги та струму розраховується електричний імпеданс – комплексний опір двополюсника для гармонійного сигналу на заданій частоті. Ці вимірювання дозволяють ідентифікувати низку фізичних та хімічних параметрів досліджуваних рідин. Розвиток елементної бази дозволив винести цей метод за межі лабораторій і використовувати в промислових умовах і навіть у носимих пристроях. Узагальнена структурна схема вимірювача імпедансу наведена на рис. 3.

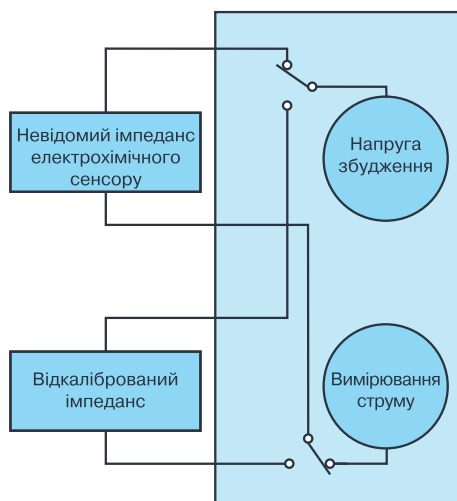


Рис. 3. Схема вимірювання імпедансу

У складних розчинах, таких як соки, вина та інші харчові напої, виникає необхідність вимірювати концентрацію багатьох речовин. Для цього на основі електрохімічних сенсорів можуть бути створені так звані біосенсори чи матриці біосенсорів. Біосенсори – це аналітичні пристрої, що використовують біологічні матеріали (ферменти, тканини, бактерії, дріжджі, антигени/антитіла, органели, рецептори, ДНК) для "впізнання" певних молекул у досліджуваних розчинах.

На базі біосенсорів виробляються такі відомі у медицині прилади як глюкометри, якими кори-

стуються сотні мільйонів діабетиків в світі. Біосенсори мають високу чутливість та селективність для визначення концентрації різних речовин у розчинах, але вихідний діапазон, наприклад, струмів у біосенсорах, побудованих на основі амперметричних електрохімічних сенсорів, може не перевищувати декількох наноампер.

Роздільна здатність приладів на основі таких біосенсорів повинна бути не гірше десятків пікоампер. Тому створення аналогових інтерфейсів (FrontEnd) для подальшої обробки вихідних сигналів біосенсорів є непростою задачею. Світові компанії випускають у великій кількості вимірювальні прилади та пристрої для роботи з електрохімічними сенсорами чи біосенсорами. Їх можна поділити на лабораторні, промислові та такі, що можуть бути включені як вимірювальні вузли у розробку замовника, та набори великих інтегральних схем, які можуть стати основою для створення нових приладів та засобів в області сенсорики або біосенсорики.

Лабораторні прилади з чутливістю у десятки фемтоампер випускають такі компанії як Biologic Science Instr., GmbH, Metrohm AG, Gensoric, GmbH та деякі інші.

Найбільш відомою компанією, яка випускає інтерфейси для сенсорів та біосенсорів у вигляді модулів є голландська компанія PalmSense. Вона розробляє свої засоби у тісній співпраці з всесвітньвідомою компанією Analog Devices. На рис. 4 приведена структура нової ІМС цієї компанії ADuCM355. Ця надвелика ІМС складається з енергозберігаючого аналогового інтерфейсу (Analog FrontEnd) та мікроконтролера з Cortex ядром і включає функції вимірювання струму, напруги, опору та імпедансу, а також містить вузол 16-розрядного багатоканального АЦП з частотою вибірки 400 кГц, вбудований фільтр і підсилювач з програмованим коефіцієнтом посилення (PGA).

Більшість серійних та лабораторних електрохімічних сенсорів та біосенсорів для аналізу концентрації різних домішок у рідині можна підключати безпосередньо до входів цієї ІМС. Слід відзначити, що при аналізі деяких параметрів досліджуваної рідини необхідно знати температуру навколишнього середовища, щоб компенсувати похибку вимірювань, тому ІМС ADuCM355 містить додатковий канал для підключення зовнішнього температурного датчика. Завдяки своїй універсальності ІМС ADuCM355 може бути використана у вимірювачах концентрації газів, таких як CO або CO₂, за допомогою відповідної сенсорної електрохімічної комірки.

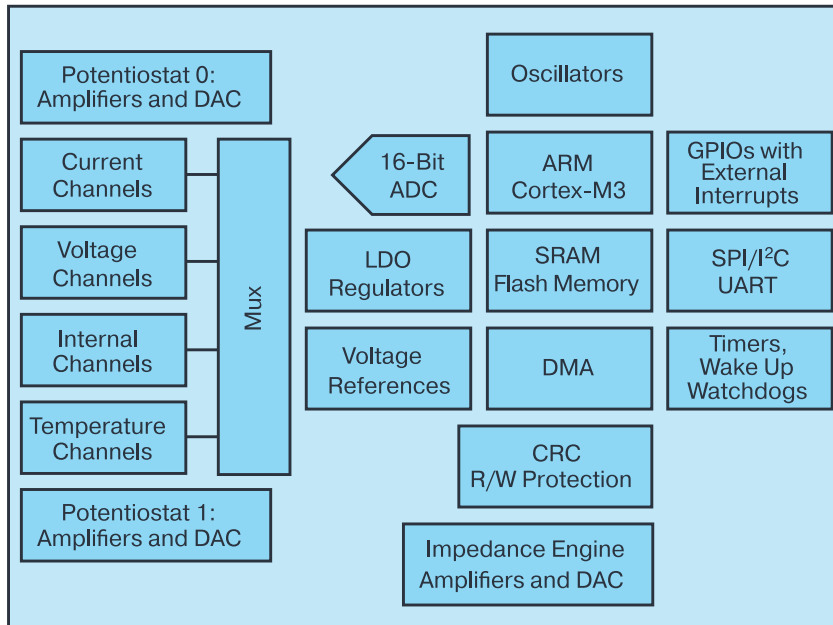


Рис. 4. Структура IMC ADuCM355

Аналоговий інтерфейс для електрохімічних сенсорів та біосенсорів може бути також побудований на окремих IMC, які входять до складу вимірювальних схем, наведених, наприклад, на рис. 1-3. Крім того, для таких застосувань ряд компаній розробляють спеціальні BIC на замовлення (ASIC).

ВИСНОВКИ

1. Швидкий розвиток в світі такого напрямку як сенсорика та біосенсорика потребує створення відповідних мікроелектронних засобів зчитування та первинної обробки інформації.

2. Світовий ринок в області лабораторних приладів досить насичений відповідними технічними засобами. Але для розробників сенсорів та біосенсорів номенклатура відповідної мікроелектронної бази все ще залишається обмеженою. Можна відмітити тільки сімейство IMC ADuCM35x компанії Analog Devices, яке розробляється у співпраці з відомою в області сенсорики та біосенсорики компанією PalmSense.

3. В той же час використання BIC на замовлення або спроба розробляти надчутливі інтерфейси на основі універсальних IMC потребує значних коштів і досить тривалого часу на розробку.

ОФІСНИЙ ЦЕНТР VD MAIS

Якщо Вам необхідно провести семінар, тренінг або презентацію, ласкаво просимо в офісний центр VD MAIS!

До Ваших послуг сучасний конференц-зал площею 300 кв.м. розрахований на 150 місць, що ідеально підходить для проведення тренінгів, семінарів та конференцій.

Для проведення ділових зустрічей можна скористатись кімнатами перемовин

Офісний центр розташований у мальовничому парку "Відродний".

Зал обладнано мультимедійним проектором, мікрофоном, РК-монітором, комп'ютером, зручними меблями, системою кондиціонування та гардеробною.

Можлива організація "кава-пауз", а також обідів у ресторані "VD Restaurnt Park"



VD MAIS
ДИСТРИБ'ЮЩА +
КОНТРАКТНЕ
ВИРОБНИЦТВО

Звертатись за адресою: м. Київ, вул. М. Донца 6
info@vdmals.ua
тел.: +38 (044) 277-22-00 (адміністратор ресторану)
+38 (044) 201-02-02 (багатоканальний телефон, секретаріат бізнес-центру)

У ЯКОМУ ВИПАДКУ MEMS-АКСЕЛЕРОМЕТР Є НАЙКРАЩИМ ВИБОРОМ *

У статті розглянуто вибір параметрів MEMS акселерометра для моніторингу стану машин та механізмів. У коментарії наведено порівняння MEMS та п'єзоелектричних акселерометрів.

Б. Рейсс

B. Reiss



Критичними параметрами, які часто недооцінюють у процесі вибору MEMS акселерометрів, є діапазон прискорення або g -діапазон, смуга пропускання та резонансна частота сенсора. Якщо ці параметри сенсора занадто низькі, можуть виникнути небажані проблеми при моніторингу стану складних механічних систем. Відомо, що MEMS акселерометри використовують для виявлення несправностей різного устаткування. Вони допомагають запобігти неочікуванім збоям або іншим небажаним та затратним подіям при експлуатації складного обладнання.

При виборі потрібного MEMS акселерометра треба враховувати досить багато критичних параметрів, перш ніж зробити остаточний вибір потрібного сенсора. Деякі з найважливіших критеріїв, якими треба користуватися при виборі MEMS акселерометра, розглянуті у цій статті. Крім того, при виборі MEMS акселерометра доцільно враховувати переваги та недоліки MEMS технології у порівнянні, на-

MAXIMIZE PREDICTIVE MAINTENANCE WITH CAREFUL SELECTION OF MEMS ACCELEROMETERS

Abstract – The article examines the selection of MEMS accelerometer parameters for condition-based monitoring of machines and mechanisms. The commentary provides a brief comparison of MEMS and piezoelectric accelerometers.

приклад, з п'єзоакселерометрами.

Моніторинг стану механічних систем використовують з метою виявлення потенційних дефектів або пошкоджень, які можуть виникнути, наприклад, у кулькових підшипниках, шестернях, насосах і в багатьох інших вузлах цих систем. Зазвичай для забезпечення оптимального моніторингу використовують безліч різноманітних сенсорів. За допомогою цих сенсорів можна вчасно виявити будь-які аномалії та вжити запобіжних заходів, щоб уникнути можливих пошкоджень або поломок.

Одним із підходів є прогнозне технічне обслуговування, яке застосовують для прогнозування потенційних несправностей у системі на основі даних, зібраних із показань вбудованих сенсорів. Це допомагає скоротити час простою складного устаткування та підвищити ефективність його експлуатації. Хоча в системі такого моніторингу використовуються різноманітні сенсори, такі як акселерометри, датчики температури, магнітометри, мікрофони, далі буде розглянуто тільки один тип сенсорів, а саме MEMS акселерометри.

Принцип дії MEMS акселерометрів полягає у наступному. Вони перетворюють механічні коливання в електричну напругу або цифровий код. MEMS сенсор складається з рухомих і нерухомих кремнієвих елементів, які з'єднані між собою, утворюючи конденсатор, як показано на рис. 1,а. Механічний рух змушує рухомий елемент зміщуватися в бік нерухомого елемента. Конструкцію такого акселерометра можна описати математично як систему маса-пружина, в якій прискорення можна визначити за виміряною силою.

* **Reiss B. Maximize Predictive Maintenance with Careful Selection of MEMS Accelerometers. Analog Dialogue, vol. 57, N 2, 2023. Скорочений переклад з англійської та коментрі В. Романова..**

В аналоговому MEMS сенсорі (рис. 1,б) результат виміру перетворюється у напругу. Цифровий акселерометр має вбудований АЦП, як показано на рис. 1,в.

Вибір критичних параметрів MEMS-акселерометра для системи моніторингу. G-діапазон MEMS акселерометра слід вибирати так, щоб охопити всі прискорення, що виникають у системі. Якщо вибраний діапазон занадто малий, це може призвести до зсуву в результатах вимірювання та, як слідство, до помилкової інтерпретації прискорень. Частоти, на яких відбуваються прискорення в системі, слід розглядати в поєднанні з пропускну здатністю MEMS акселерометра. Раннє виявлення дефектів, таких, що пов'язані з кульковими підшипниками, насосами тощо, має важливе значення для оцінки працездатності системи в цілому.

Перші ознаки дефектів зазвичай з'являються на високих частотах. Якщо вибрана смуга пропускання занадто мала, ранні дефекти взагалі не будуть виявлені. У наведеному застосуванні MEMS акселерометра прискорення є функцією квадрата частоти. З цього слідує наступне. Якщо при переміщенні на 250 нм і частоті 1 кГц фактичне прискорення становить 1 g, то при цьому ж переміщенні на частоті 10 кГц фактичне прискорення становить вже 100 g або в 100 разів більше. Це означає, що для раннього виявлення дефектів у системі необхідно вибрати акселерометр із достатньо широкою смугою пропускання та відповідним g-діапазоном.

Слід відзначити, що на світовому ринку вже пропонуються MEMS акселерометри із смугою пропускання до 24 кГц і діапазоном до 500 g. Ще одним фактором, який слід враховувати при виборі смуги пропускання, є резонансна частота акселерометра. Якщо прискорення виникають на резонансній частоті акселерометра, вони посилюються і, у найгіршому

випадку, можуть спотворити вимірювальний сигнал і, як слідство, внести похибку у результати вимірювання. Цю проблему можна вирішити шляхом відповідної фільтрації небажаних частот. Окрім пропускну здатності, низький рівень шуму акселерометра також важливий для забезпечення раннього виявлення несправностей або відхилень у роботі обладнання. Високоякісні MEMS акселерометри мають рівень шуму не більше 100 мкг/√Гц.

ВИСНОВКИ

1. Викладена у статті методика вибору критичних параметрів MEMS акселерометрів для систем моніторингу стану складного обладнання може бути використана для вибору акселерометрів, створених за іншою технологією, наприклад, п'єзоакселерометрів.

2. Зазвичай механічні MEMS акселерометри мають деякі переваги у порівнянні з електромеханічними аналогами, такими як п'єзоакселерометри, за рахунок меншого енергоспоживання.

3. З другого боку п'єзоакселерометри до останнього часу мали більш широкую смугу пропускання та більший діапазон прискорень у порівнянні з MEMS акселерометрами, але зараз за критичним параметрами ці сенсори майже зрівнялися, про що свідчить порівняльна таблиця.

Порівняльна таблиця параметрів MEMS та п'єзоакселерометрів

Тип акселерометра	Рівень шуму, мкг/√Гц	Смуга пропускання, кГц
П'єзоелектричний	від <1 до 50	2.5...30
MEMS	25...100	3...20

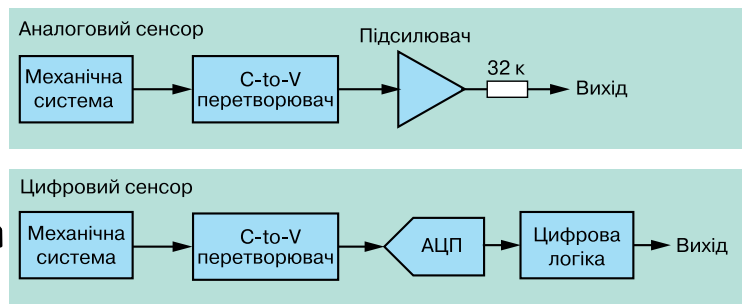
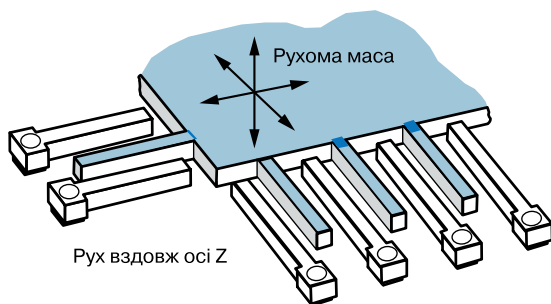


Рис. 1. Структура MEMS акселерометра з рухом вздовж осі z (а); аналоговий MEMS акселерометр (б); цифровий MEMS акселерометр (в)

ЯК ЕКСПРЕС-ТЕСТУВАННЯ ВДОМА МОЖЕ ЗМІНИТИ ДІАГНОСТИКУ ВІРУСНИХ ЗАХВОРЮВАНЬ

HOW HOME EXPRESS-TESTING CAN CHANGE THE DIAGNOSIS OF VIRAL DISEASES

У статті розглянуто новий підхід до тестової діагностики інфекційних захворювань. Використані матеріали зарубіжних публікацій та особистих досліджень.

V. Романов

Abstract – The article discusses a new approach to the test diagnosis of infectious diseases. It was used materials from foreign publications and personal research.

V. Romanov

Досвід у період пандемії COVID-19 кинув виклик підходів до медичного тестування та, можливо, відкрив двері для набагато більшого спектру тестування вдома в майбутньому. Спеціальне медичне обстеження можна проводити вдома, наприклад вагітність і критичне лікування діабету за допомогою моніторингу рівня глюкози, але сучасні можливості обстеження вдома все ще досить обмежені. Більшість медичних тестів починається в клінічних пунктах надання медичної допомоги, таких як лікарні та кабінети лікаря, але самі тести зазвичай обробляються в централізованих сторонніх лабораторіях. Це викликає складність необхідних пристроїв і хімічних реагентів. Сучасна модель охорони здоров'я давно усталена і знайома пацієнтам: у пацієнта беруть зразок у клініці або в центрі діагностичного тестування, який надсилається до лабораторії для обробки, а потім пацієнти чекають на результати. Залежно від тесту та розташування лабораторії це очікування може тривати кілька годин або навіть кілька днів.

Дуже заразна природа COVID-19 зумовила необхідність швидкої ідентифікації хворих та їх карантинних обмежень. Незважаючи на те, що потреба в широкомасштабному тестуванні на COVID-19 була очевидною, стало швидко зрозуміло, що кожен метод тестування має свої переваги та недоліки. Тести, які проводяться в лабораторних умовах, зазвичай використовують молекулярний метод, такий як ПЛР, який базується на ампліфікації перед виявленням присутності вірусу в зразку.

Ця методика дуже чутлива і може виявити низькі рівні вірусу у тестовому зразку. Однак пацієнти зазвичай чекають 24 години або більше, щоб отримати результати тестування. Швидкі домашні тести, які зараз застосовуються, рис. 1, можуть дати результати через 5 - 10 хвилин, а не через день або більше,

але вони менш точні, оскільки використовують реакцію антитіло-антиген. У цьому тесті на антигени або антитіла немає процесу ампліфікації, тобто вони менш чутливі. Зазвичай цей метод тестування дає швидкі результати порівняно з молекулярним методом, таким як ПЛР, але для отримання точного результату вірусне навантаження пацієнта має бути достатньо високим, щоб досягти межі виявлення інфекційного захворювання. Це означає, що переваги від отримання результату через 5 - 10 хвилин вдома значно зменшуються, якщо цей результат може бути помилковим. Але як показали розрахунки, економія від використання домашнього тестування замість візитів у діагностичні центри чи в лікарні може досягти 45 мільярдів доларів.



Рис. 1. Експрес-тестування вдома чи в кабінеті лікаря

Виходячи з наведеного, розробники тестів зараз спрямовують свою увагу на створення, автоматизованих, економічно ефективних лабораторних методик, подібних до ПЛР та інших молекулярних методів. Створені на цій основі пристрої допоможуть у майбутньому розвинути медичне тестування від поточного централізованого підходу до більш розподіленого.

Паралельно розробники експрес-тестів зараз прагнуть розширити свої пропозиції щодо до-

машнього тестування так, щоб включити в тестування інші потенційно небезпечні віруси, такі як віруси грипу, або інфекції, що передаються статевим шляхом. Уявіть собі, наприклад, таке: коли ви прокидаєтеся з болем у горлі та нежиттю і не маєте уяви про те, що це – чи грип, чи застуда, або COVID, а щоб знайти на це відповідь, вам потрібно звернутися до лікарні. Коли ви в це зробите, ви можете заразити багатьох людей небезпечною хворобою, а швидке тестування вдома може надати результати за лічені хвилини, рис. 2, пришвидшити прийняття клінічних рішень, запобігти розповсюдженню інфекції, і в цілому зменшити витрати на лікування. А ще краще мати один експрес-тест, який міг би в одному зразку з лабораторною якістю одночасно перевірити наявність кількох вірусів із подібними симптомами у вас вдома чи в кабінеті лікаря.

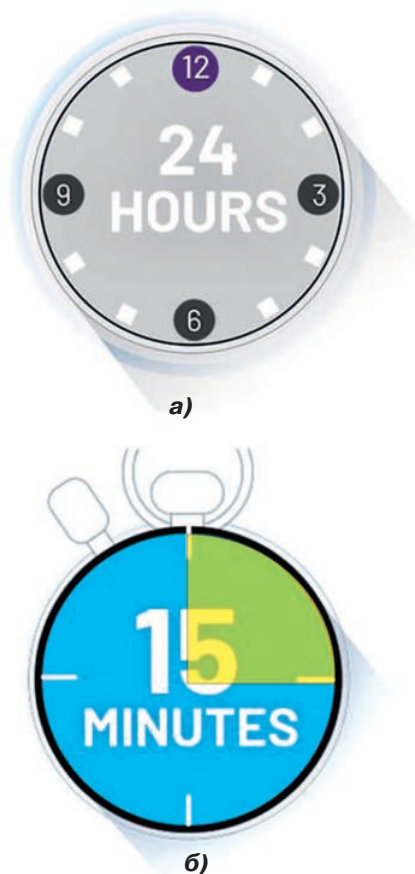


Рис. 2. Тривалість сучасного лабораторного тесту (а) та експрес-тесту (б)

Зараз науковці багатьох країн досліджують багатоцільові тести, які можуть діагностувати різні віруси зі схожими симптомами. Ключем до успіху буде створення комп'ютерних приладів або пристроїв для такого комплексного тестування. Однією з мож-

ливостей для тестування на багато патогенів є клінічні умови, такі як кабінети лікаря або клініки.

Перевага є подвійною: медичні заклади часто мають обмежений простір, що робить один невеликий багатофункціональний пристрій привабливим вибором. Це також корисно для клінічного персоналу, який обмежений у часі, і якому в цьому випадку потрібно використовувати для обробки тесту лише один пристрій, а не декілька різних. Цей підхід також надзвичайно корисний у сфері статевого здоров'я.

Наявність тестового приладу для виявлення різних інфекцій, що передаються статевим шляхом, в пункті надання медичної допомоги дозволить лікарям діагностувати та призначати лікування за один візит, а не вимагати подальшого тривалого спостереження. Переваги комплексного тестування одним приладом очевидні для розробників таких тестів, але робота для отримання кінцевих інженерних рішень ще тільки починається. Отже, хоча розпізнавання вірусу може відбуватися швидко, створення відповідних приладів на базі, наприклад, потенціостату або високочутливого флуоресцентного детектору потребує тривалого часу.

Рішення на основі компонентів, подібно до тих, що є на ринку сьогодні, не дуже ефективні для такої задачі, проте програмовані великі інтегральні схеми для таких задач вже з'являються на ринку електронних компонентів. На їх основі можуть бути створені інтегровані прецизійні оптичні та електрохімічні прилади для багатофункціональних тестів. Наявність єдиного тесту, який може дати значущі результати для багатьох хвороб, є захоплюючою ідеєю. Такий тест має відігравати важливу профілактичну роль у запобіганні до поширення інфекції та в оптимізації щоденного лікування різноманітних хронічних захворювань. Це навіть може допомогти оптимізувати повсякденне здоров'я, наприклад, виявити унікальні потреби організму у вітамінах і мінералах з часом, створити можливості для того, щоб обстеження підтримувало здоров'я, а не тільки спостерігало за хворобою.

Тестування на багато патогенів також може зменшити навантаження на клініки та інші пункти надання медичної допомоги, які переповнені в період пандемії, і зменшити обсяг зразків, які мають оброблятися в лабораторії. Це також відіграватиме величезну роль у здоров'ї населення, даючи людям швидкі відповіді на те, чи хворі вони і їм варто залишатися вдома, або здорові, але їм потрібно, наприклад, прийняти таблетку від алергії.

Слід відзначити, що відповідні дослідження та ін-

женерні рішення по створенню багатофункціональних мультисенсорних приладів та засобів отримані і в Україні. Так, спільно з Інститутом молекулярної біології і генетики НАН України в Інституті кібернетики імені В.М. Глушкова створені діючі прототипи мережі мультисенсорів для комплексного тестування напоїв, які містять багато різних інгредієнтів [1, 2, 3]. Інститут молекулярної біології і генетики НАН України у своїх дослідженнях широко використовує молекулярні методи, такі як ПЛР, а також методи на основі реакції антитіло-антиген. Отримані результати можуть бути покладені в основу створення комп'ютерних приладів для багатоцільового тесту для виявлення різних патогенів і передачі результатів тестування у разі потреби у медичні центри для прийняття необхідного клінічного рішення.

ВИСНОВКИ

Пандемія COVID-19 змінила підхід до медичного тестування та відкрила двері для набагато більшого спектру тестування вдома в майбутньому. Для вирішення цієї проблеми необхідні спільні зусилля розробників багатоцільових тестів та розробників нових

електронних компонентів і комп'ютерних приладів на їх основі включно зі штучним інтелектом для виявлення за допомогою одного тестового зразка декількох патогенів.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Volodymyr Romanov, Igor Galelyuka, Oleksandr Voronenko, Oleksandra Kovyrova, Sergei Dzyadevych, Lyudmyla Shkotova. Multisensor prototype for beverage quality control: principle scheme and test results // Information Theories and Applications – Sofia, Bulgaria. – 2020.
2. Romanov V., Galelyuka I., Voronenko O., Kovyrova O., Dzyadevych S., Shkotova L. Wireless smart multisensor networks for winemaking process control // Information theories and applications, Volume 26, Number 2. – Sofia, Bulgaria. – 2019. – P. 165–177.
3. Romanov V., Galelyuka I., Voronenko O., Kovyrova O., Dzyadevych S., Shkotova L. Smart Sensors and Computer Devices for Agriculture, Food Production Process Control and Medicine // Proceeding of the 29th International Conference on Computer Theory and Applications. – Alexandria, Egypt. – 2019, October 29–31. – P.9-13.



RPxx-RW – DC/DC-перетворювачі з вихідною потужністю 75...240 Вт для систем підвищеної надійності

Малі габаритні розміри, високий ККД, відповідність стандартам UL-60950, EN50155 і EN60950 – основні вимоги до обладнання залізничного транспорту, яким відповідають перетворювачі серій RPxx-RW.

Перетворювачі RPxx-RW розраховані на роботу в діапазоні температур від -40 до 85 °С без зниження вихідної потужності

RPxxH-RW



RPxxQ-RW



Перетворювачі серій RP75H-RW, RP90Q-RW, RP100H-RW, RP120Q-RW, RP180H-RW и RP240H-RW мають базову основу з крипильними отворами для застосування в обладнанні, що піддається впливу значних вібрацій

- ККД до 93%
- вхідна напруга 24 (9...36), 48 (18...75), 110 (43...160) В
- вихідна напруга 5, 12, 15, 24 або 48 В



VD MAIS – офіційний дистриб'ютор компанії Rescom в Україні

тел.: (+38-044) 201-0202, 492-8852, info@vdmiais.ua, www.vdmiais.ua

НАВЧАННЯ ЗГОРТКОВИХ НЕЙРОННИХ МЕРЕЖ *

TRAINING CONVOLUTIONAL NEURAL NETWORKS: WHAT IS MACHINE LEARNING? – PART 2

Стаття присвячена властивостям і застосуванню згорткових нейронних мереж, які використовуються для розпізнавання образів і класифікації об'єктів.

О. Дріссен

Abstract – This article is focusing on the properties and applications of convolutional neural networks which are mainly used for pattern recognition and the classification of objects.

O. Dreessen

Використання штучного інтелекту починає швидко поширюватися у різних галузях людської діяльності. Провідні компанії, такі як Intel, AMD, IBM, NXP, Samsung, ADI, TI, Huawei, Fujitsu та інші вже освоїли у виробництві процесори з штучним інтелектом. Вони використовуються у робототехніці, системах штучного зору, розпізнавання образів, у безпілотних літальних апаратах і навіть у домашніх персональних комп'ютерах. Інструментом для підтримки роботи цих процесорів є нейронні мережі різного класу. В статті «Введение в сверточные нейронные сети: что такое машинное обучение?», яка опублікована в журналі EKIC, № 1, 2023 р., показано, чим відрізняється виконання класичної лінійної програми у звичайному мікропроцесорі від роботи згорткової нейронної мережі і які переваги має ця мережа. В цій публікації показано, як згорткову нейронну мережу можна навчити вирішувати конкретні задачі.

Для навчання нейронних мереж використовують спеціальні набори даних. Набір CIFAR-10 – один із таких наборів даних (зображень), який зазвичай ви-

користується для навчання нейронних мереж типу CIFAR для розпізнавання образів і складається з різних шарів нейронів, як показано на рис. 1.

Дані зображення розміром 32x32 пікселя подаються в мережу та передаються через мережеві рівні. Першим кроком мережі є виявлення та дослідження унікальних особливостей і структур об'єктів, які потрібно визначити. Для цього використовуються фільтрувальні матриці. Після того, як нейронна мережа CIFAR змодельована, матриці фільтрів ще не визначені, і мережа на цьому етапі не в змозі виявляти шаблони та об'єкти. Тому, спочатку необхідно визначити всі параметри та елементи матриць, щоб максимізувати точність, з якою об'єкти визначаються, або мінімізувати функцію втрат. Цей процес називають навчанням нейронної мережі.

Для поширених програм нейронні мережі навчаються один раз під час розробки та тестування. Після цього вони готові до використання і більше не потребують налаштування параметрів. Якщо система класифікує знайомі об'єкти, додаткове навчання

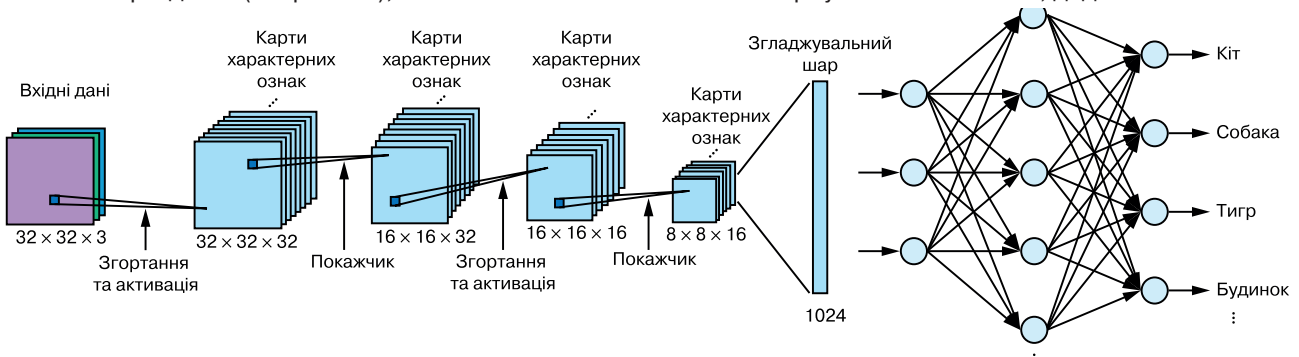


Рис. 1. Архітектура мережі CIFAR

* Dreessen O. Training Convolutional Neural Networks: What Is Machine Learning? – Part 2, Analog Dialogue, vol. 57, N 1, 2023. www.analog.com.

Скорочений переклад з англійської з коментарями В. Романова

не потрібно. Навчання необхідне лише тоді, коли системі потрібно класифікувати абсолютно нові об'єкти.

Навчальні дані потрібні не тільки для навчання мережі, крім того, цей набір даних використовується для перевірки точності мережі. Наприклад, у наведеному мережевому наборі даних CIFAR-10 дані являють собою набір зображень у межах 10 класів об'єктів: літак, автомобіль, птах, кіт, олень, собака, жаба, кінь, корабель і вантажівка, рис. 2. Однак – і це найскладніша частина загальної розробки додатку штучного інтелекту – ці зображення повинні бути визначені перед навчанням мережі. Навчальний процес працює за принципом зворотного поширення; нейронній мережі послідовно показують численні зображення та кожного разу одночасно передається цільове значення, яке підлягає визначенню. У наведеному прикладі це значення є класом об'єкта. Щоразу, коли відображається зображення, матриці фільтрів оптимізуються таким чином, щоб цільове та фактичне значення для класу об'єктів збіглися. Після завершення цього процесу мережа також може виявляти об'єкти на зображеннях, які вона не бачила під час навчання.

При моделюванні нейронної мережі часто виникають питання про те, наскільки складною має бути мережа, тобто скільки шарів вона має мати або наскільки великими мають бути її матриці фільтрів. На це питання немає простої відповіді. У зв'язку з цим важливо обговорити умови для надвисокого налаштування та недостатнього налаштування мережі.

Надвисоке налаштування є результатом надто складної моделі з великою кількістю параметрів. Необхідно визначити, чи модель відповідає навчальним даним занадто добре чи занадто погано, порівнюючи втрату навчальних даних із втратою тестових даних. Якщо втрати мережі низькі під час навчання, але надмірно збільшуються, коли в мережі представлені тестові дані, які раніше були відсутні, це є переконливим свідченням того, що мережа запам'ятала навчальні дані замість узагальнення шаблонів під час розпізнавання. Це, як правило, трапляється, коли в мережі занадто багато пам'яті для параметрів або забагато шарів згортки. У цьому випадку розмір мережі доцільно зменшити.

Навчання мережі відбувається в два етапи (кроки). На першому кроці мережі показують зображення, яке потім обробляється мережею нейронів для генерації вихідного вектора. Найвище значення вихідного вектора представляє виявлений клас об'єктів, як собака в наведеному прикладі, рис. 2, який у ще не обов'язково має бути правильним. Цей крок називається прямою передачею.

Різниця між цільовими та фактичними значеннями, що виникають на виході, називається втратою, а пов'язана з цим функція – функцією втрат. Всі елементи та параметри мережі включаються у функцію втрат. Метою процесу навчання нейронної мережі є визначення цих параметрів таким чином, щоб функція втрат була мінімізована. Ця мінімізація досяга-

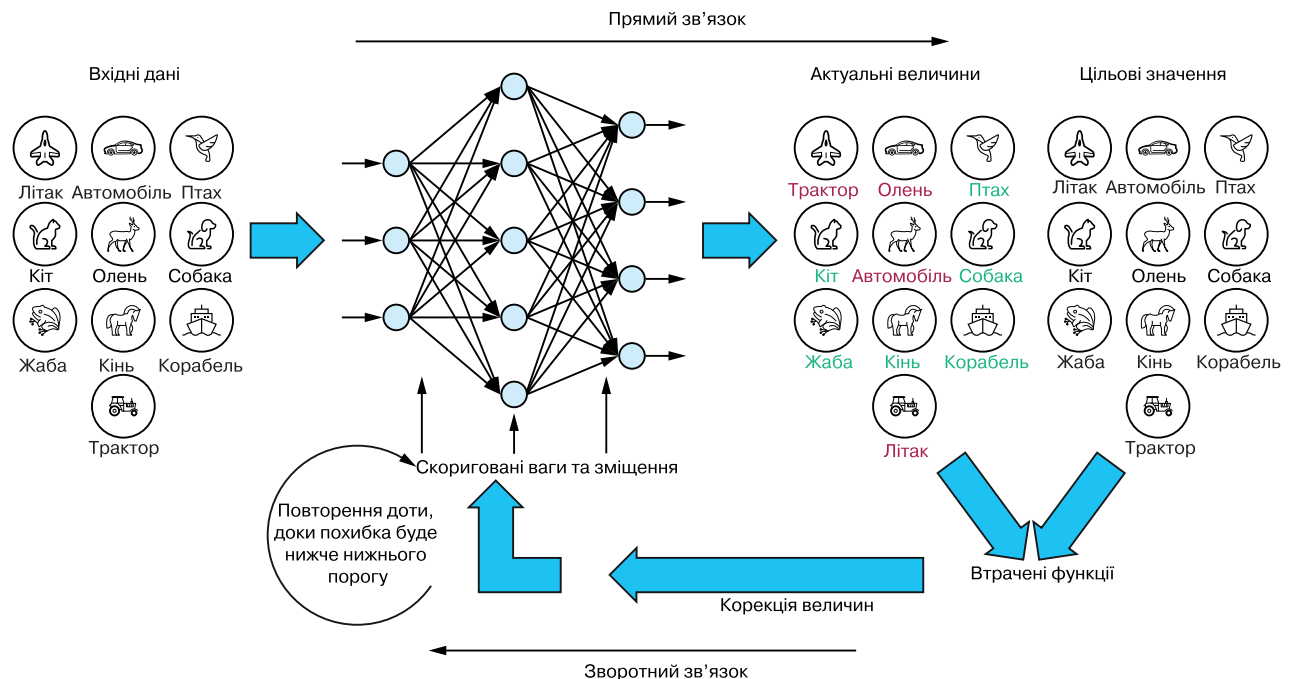


Рис. 2. Навчальний цикл, що складається з прямого та зворотного поширення

ється за допомогою процесу, в якому відхилення, що виникає на виході (втрата = цільове значення мінус фактичне значення), подається назад через усі компоненти мережі, доки це відхилення не досягне входу мережі. Цей процес має назву зворотного поширення. Таким чином, у процесі навчання мережа визначає параметри матриць фільтрів поетапно. Цей процес прямого та зворотного розповсюдження повторюється, доки рівень втрат не впаде нижче попередньо визначеного порогового значення.

Щоб проаналізувати наведений процес навчання, на рис. 3 показана функція втрат, яка складається лише з двох параметрів x і y . Вісь z відповідає втратам. Сама функція тут не грає ролі і використовується лише для ілюстрації. Якщо уважно подивитися на тривимірний графік функції, то можна побачити, що ця функція має як глобальний, так і локальний мінімуми. Велика кількість чисельних алгоритмів оптимізації може бути використана для визначення ваг і зміщень. Найпростішим з них є метод градієнтного спуску. Цей метод базується на ідеї пошуку шляху від випадково вибраної початкової точки функції втрат, який веде до глобального мінімуму у поетапному процесі з використанням градієнта. Градієнт, як математичний оператор, описує рух фізичної величини. Він забезпечує в кожній точці функції втрат відповідний вектор, також відомий як градієнтний вектор, який вказує на напрямок найбільшої зміни значення функції. Величина вектора відповідає величині зміни. У функції на рис. 3 вектор градієнта буде вказувати на мінімум у точці десь унизу праворуч (червона стрілка). Ця величина буде найнижчою через пологість поверхні. Ситуація буде іншою поблизу піку. Тут вектор (зелена стрілка) спрямований круто вниз і має велике значення, оскільки рельєф поверхні крутий.

За допомогою методу градієнтного спуску шлях, який веде вниз з найкрутішим спуском, шукається ітеративно, починаючи з довільно вибраної точки. Це означає, що алгоритм оптимізації обчислює градієнт у початковій точці та робить невеликий крок у напрямку найкрутішого спуску. У цій проміжній точці градієнт перераховується, і шлях униз продовжується. Таким чином створюється шлях від початкової точки до найнижчої точки. Проблема полягає в тому, що початкова точка не визначена заздалегідь, а має бути обрана навмання. У наведеній двовимірній карті уважний читач розмістить початкову точку десь ліворуч від графіка функції. Це гарантує, що кінець, наприклад, синього шляху знаходиться на глобальному мінімумі. Інші два можливі шляхи, напри-

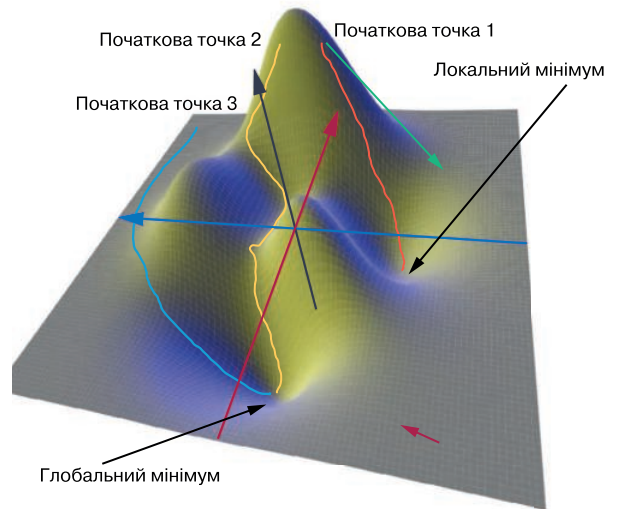


Рис. 3. Різні шляхи до цілі за допомогою методу градієнтного спуску

лад, жовтий або помаранчевий набагато довші, або закінчуються на локальному мінімумі. Оскільки наведений алгоритм повинен оптимізувати не лише два параметри, а сотні тисяч параметрів, швидко стає зрозуміло, що вибір початкової точки може бути правильним лише випадково. На практиці цей підхід не є корисним. Це пояснюється тим, що, залежно від вибраної початкової точки, шлях і, отже, час навчання може бути довгим, або цільова точка може опинитися не на глобальному мінімумі. У цьому випадку точність розпізнавання нейронної мережі буде невисокою. Це привело до того, що протягом останніх кількох років було розроблено численні алгоритми оптимізації, щоб обійти ці дві проблеми. Деякі альтернативи включають метод стохастичного градієнтного спуску. AdaGrad, RMSProp і Adam – це лише деякі з них. Алгоритм, який використовується на практиці, визначається розробником нейронної мережі, оскільки кожен з існуючих алгоритмів має певні переваги та недоліки.

Як було відмічено, під час процесу навчання у нейронну мережу передають зображення, позначені вибраними класами об'єктів, такими як автомобіль, корабель тощо. Для наведеного прикладу навчання використано вже існуючий набір даних CIFAR-10. На практиці штучний інтелект можна застосувати до котів, собак і автомобілів. Якщо необхідно розробити нову програму для визначення, наприклад, якості гвинтів під час виробничого процесу, тоді мережа також має бути навчена за допомогою навчальних даних для справних і бракованих гвинтів. Створення такого набору даних може бути надзвичайно трудомістким, а також часто є найдорожчим кроком у розробці програми штучного інтелекту. Після того, як

набір даних буде скомпільовано, він розподіляється на навчальні та тестові дані. Навчальні дані використовуються для навчання, як описано вище. Тестові дані використовуються в кінці процесу розробки для перевірки працездатності навченої мережі.

ВИСНОВКИ

Нейронні мережі є інструментом штучного інтелекту,

який починає широко використовуватися у різних галузях науки і техніки. Провідні світові фірми освоїли виробництво нового класу мікропроцесорів для розв'язання задач на основі штучного інтелекту. Процес навчання нейронних мереж для таких мікропроцесорів є найбільш трудомістким при створенні засобів та систем з вбудованим штучним інтелектом.

АПАРАТНА РЕАЛІЗАЦІЯ ЗГОРТКОВИХ НЕЙРОННИХ МЕРЕЖ *

HARDWARE CONVERSION OF CONVOLUTIONAL NEURAL NETWORKS: WHAT IS MACHINE LEARNING? – PART 3

У двох статтях на цю тему, опублікованих у журналі EKiC, розглянуто властивості та застосування згорткових нейронних мереж, які використовуються для розпізнавання образів і класифікації об'єктів. Третя стаття пояснює апаратну реалізацію таких мереж, зокрема, переваги використання мікроконтролера штучного інтелекту з апаратним прискорювачем.

Abstract - T In this three-part series, we have been exploring the properties and applications of convolutional neural networks, which are mainly used for pattern recognition and the classification of objects. Part 3 will explain the hardware conversion of the networks and specifically the benefits of using an artificial intelligence microcontroller with a hardware-based accelerator.

O. Dreessen

O. Dreessen

До останніх часів засоби штучного інтелекту вимагали складного енергоємного обладнання у вигляді серверних ферм або коштовних програмованих вентильних матриць типу FPGA. Тому важливим є вирішення проблеми збільшення обчислювальної потужності із зменшенням при цьому енергії споживання та витрат на такі технології. Слід відзначити, що сьогодні додатки штучного інтелекту починають кардинально змінюватися завдяки новим потужним технологіям, які базуються на нейронних мережах. У порівнянні з традиційними обчисленнями на основі вбудованого програмного забезпечення апаратне прискорення, яке забезпечують, наприклад, згорткові нейронні мережі, відкриває нову еру продуктивності обчислень завдяки притаманній цим мережам швидкості та обчислювальній потужності.

Дозволяючи сенсорним вузлам приймати власні рішення, ці технології значно знижують необхідну швидкість передачі даних у мережах типу 5G. Це дає

зможу використовувати нові інформаційні технології, які раніше не були забезпечені відповідними апаратними засобами. З'явилися, наприклад, можливості на основі згорткових нейронних мереж будувати «розумні» детектори диму чи вогню у віддалених місцевостях або аналізувати дані у реальному часі про стан аграрних культур чи стан навколишнього середовища безпосередньо на рівні сенсорів і сенсорних вузлів, аналізувати концентрацію різних речовин у харчових напоях тощо. Відповідні апаратні засоби для реалізації технології згорткових нейронних мереж вже починають з'являтися на світовому ринку електронних компонентів. Сімейство нових мікроконтролерів із вбудованим штучним інтелектом досліджується у цій статті.

Мікроконтролер із штучним інтелектом на основі нейромережевого прискорювача надмалої потужності MAX78000. Це мікроконтролер із вбудованим штучним інтелектом. Він забезпечує

* Dreessen O. *Hardware Conversion of Convolutional Neural Networks: What Is Machine Learning? – Part 3. Analog Dialogue, vol. 57, N 3, 2023. Скорочений переклад з англійської та коментарій В. Романова*

роботу нейронних мереж із наднизьким енергоспоживанням для пристроїв з обмеженими обчислювальними ресурсами або для засобів Інтернету речей. Вбудовані вузли штучного інтелекту включають такі функціональні можливості, як виявлення та класифікацію об'єктів, обробку аудіосигналів, класифікацію звуку, шумозаглушення, розпізнавання обличчя, обробку часових рядів даних, наприклад, для аналізу частоти серцевих скорочень, мультисенсорний аналіз даних, прогнозне технічне обслуговування складних технічних об'єктів і т.і.

На рис.1 наведено структурну схему мікроконтролера з плаваючою комою MAX78000 з ядром Arm® Cortex® -M4F, який працює на частоті до 100 МГц. Ця версія з сімейства мікроконтролерів MAX7800x містить флеш-пам'ять на 512 КБ і SRAM пам'ять на 128 КБ. Мікроконтролер має кілька зовнішніх інтерфейсів, таких як I2C, SPI і UART, а також I2S для підтримки аудіододатків. Крім того, мікроконтролер містить вбудоване ядро RISC-V з частотою 60 МГц, яке виконує попередню обробку даних, отриманих від сенсорів, для прискорювача штучного інтелекту, тому центральне ядро Arm може перебувати в режимі глибокого сну протягом цього часу. У разі потреби за отриманим результатом можна запустити центральне ядро процесора Arm через режим переривання, і він передасть дані сенсора по бездротовій мережі або проінформує користувача.

Вузол апаратного прискорення для виконання логічних висновків згорткових нейронних мереж є відмінною ознакою мікроконтролерів серії

MAX7800x, що відрізняє їх від мікроконтролерів із традиційною архітектурою. Апаратний прискорювач може підтримувати повну архітектуру загорткових нейронних мереж із усіма необхідними параметрами (ваги та зміщення). Прискорювач містить 64 паралельних процесори та вбудовану пам'ять на 442 КБ для зберігання параметрів і на 896 КБ для вхідних даних. Оскільки модель мережі і параметри зберігаються в пам'яті SRAM, їх можна регулювати за допомогою мікропрограми, а мережу можна адаптувати в режимі реального часу. Залежно від того, чи використовуються в моделі 1-, 2-, 4- або 8-розрядні ваги, цієї пам'яті може бути достатньо для 3,5 мільйонів параметрів. Оскільки можливості пам'яті є невід'ємною частиною прискорювача, параметри не потрібно отримувати через структуру шин мікроконтролера з кожною наступною математичною операцією. Ця процедура є енергоємною і викликає досить значні затримки. Прискорювач нейронної мережі може підтримувати 32 або 64 рівні залежно від функції об'єднання. Програмований розмір вводу/виводу зображення становить до 1024×1024 пікселів для кожного шару.

Апаратна реалізація загорткової нейронної мережі: порівняння енергоспоживання та швидкості отримання висновків. Висновок мережі – це складне обчислювальне завдання, яке містить лінійні рівняння в матричній формі. Під час отримання логічного висновку на основі вбудованого програмного забезпечення споживається багато енергії та часу, оскільки команди, необхідні для обчислення,

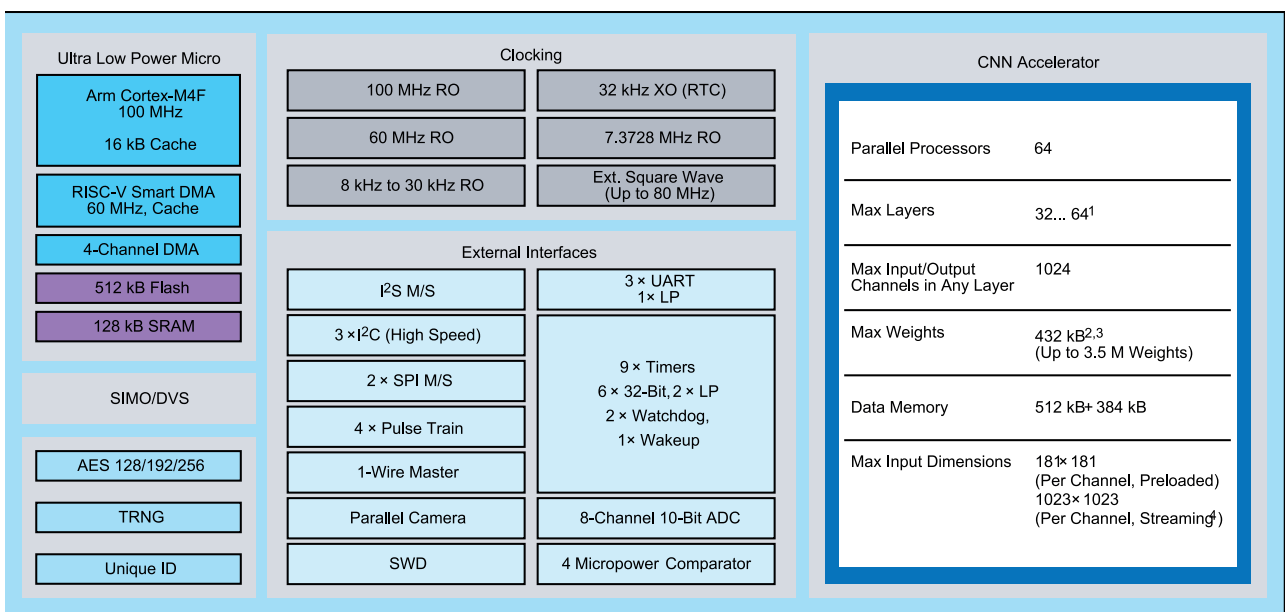


Рис. 1. Структурна схема мікроконтролера MAX78000

разом із пов'язаними даними параметрів, потрібно отримати із пам'яті, перш ніж можна буде записати проміжні результати. У табл. 1 представлено порівняння швидкості отримання логічного висновку і споживання енергії у нейронній мережі з використанням трьох різних рішень. Цей приклад моделі було розроблено з використанням набору MNIST, що являє собою навчальний набір для розпізнавання рукописних цифр і класифікує цифри та літери із візуальних вхідних даних для того, щоб отримати точний вихідний результат. Для визначення різниці між споживанням енергії та швидкістю отримання результату було виміряне час отримання висновку, необхідний для кожного типу процесора.

У першому випадку процесор Arm Cortex-M4F, інтегрований у мікроконтролер MAX32630, який працює на частоті 96 МГц, використовувався для обчислення висновку. У другому випадку для обробки обчислень використовувався апаратний прискорювач згортової електронної мережі у складі мікроконтролера MAX78000. Швидкість отримання логічного висновку, тобто час між представленням візуальних даних на вході мережі та виведенням результату, в 400 разів менша при використанні мікроконтролера з апаратним прискорювачем MAX78000. Крім того, енергія яка необхідна для отримання висновку, в 1100 разів нижча. У третьому порівнянні мережа MNIST була оптимізована для мінімального енергоспоживання на отримання одного висновку. Точність результату при цьому падає з 99,6% до 95,6%. Однак мережа працює набагато швидше, вимагаючи лише 0,36 мс на отримання одного висновку, при цьому для отримання висновку енергоспоживання зменшено до 1,1 мкВт. Дані табл. 1 ілюструють високу потужність апаратно прискорених обчислень. Обчислення з апаратним прискоренням є потужним інструментом для додатків, які мають певні обмеження в енергоспоживанні. Мікроконтролер MAX78000

забезпечує обробку даних на рівні сенсорного вузла без потреби у потужному джерелі живлення або при тривалому часі отримання висновків без можливості заміни чи підзарядки джерела живлення.

Приклад використання мікроконтролера MAX78000. Задача полягає у розробці камери з автономним джерелом живлення, яка виявляє, коли домашня тварина, наприклад, кіт знаходиться в полі зору сенсора зображення. У цьому випадку мікроконтролер забезпечує доступ kota до будинку. На рис. 2 наведено функціональну схему такого пристрою. Ядро RISC-V вмикає сенсор зображення через задані проміжки часу, і дані зображення завантажуються в згорткову нейронну мережу. Якщо ймовірність розпізнавання kota перевищує попередньо визначений поріг, двері для kota відчиняються автоматично, після чого система повертається в режим очікування.

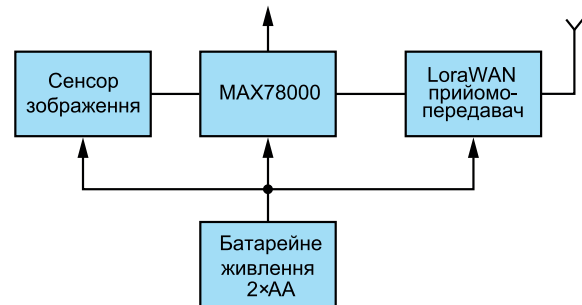


Рис. 2. Функціональна схема розумних воріт для домашніх тварин

Засоби розробки та програмування. Процес розробки додатків можна розділити на такі етапи:

Етап1: Визначення завдання для штучного інтелекту, навчання та квантування мережі. (Під квантуванням нейронної мережі розуміємо процес зменшення точності ваг, зміщень і активацій таким чином, щоб вони потребували менший об'єм пам'яті).

Етап 2: Розробка програмного забезпечення для

Таблиця 1. Час та енергія для отримання висновку загортовою нейронною мережею за трьома різними сценаріями із використанням набору даних MNIST для розпізнавання рукописних цифр

Тип процесора та принцип реалізації мережі	Швидкість отримання висновку, мс	Енергія споживання на отримання висновку, мкВт
1. Мікроконтролер MAX32630, мережа MNIST (програмна прошивка)	574	22887
2. Мікроконтролер MAX78000, мережа MNIST (апаратна реалізація)	1.42	20.7
3. Мікроконтролер MAX78000, мережа MNIST (апаратна реалізація), яка оптимізована для низького енергоспоживання	0,36	1.1

мікроконтролера Arm Cortex-M4F у складі згорткової нейронної мережі, включення у мережу параметрів, згенерованих на Етапі 1, наприклад, на мові C/C++, а також тестування створеної програми для мережі.

Перший етап розробки включає моделювання, навчання та оцінку моделей штучного інтелекту. На цьому етапі використовуються такі інструментальні засоби, як PyTorch і TensorFlow. Репозиторій GitHub містить усі файли проекту та історію переглядів кожного файлу. У репозитарії є можливість обговорювати та керувати роботою проекту. Він надає вичерпні ресурси, щоб допомогти користувачам спланувати свій шлях у створенні та навчанні нейронної мережі штучного інтелекту за допомогою середовища розробки PyTorch, при цьому враховуються апаратні характеристики мікроконтролера MAX78000. У репозиторії включено кілька простих мереж штучного інтелекту та програм, таких, наприклад, як розпізнавання обличчя (Face ID).

На рис. 3 наведено типовий процес (алгоритм) розробки штучного інтелекту в середовищі PyTorch. Спочатку моделюється мережа. Слід зазначити, що не всі мікроконтролери сімейства MAX7800x мають

апаратне забезпечення, що підтримує всі маніпуляції з даними, які доступні в середовищі PyTorch. З цієї причини файл ai8x.py, наданий компанією Analog Devices, спочатку має бути включений до проекту. Цей файл містить модулі та оператори PyTorch, необхідні для використання у мікроконтролері MAX78000. На основі цього налаштування мережу можна побудувати, а потім навчити, оцінити та квантувати за допомогою даних навчання. Результатом цього кроку є файл контрольної точки, який містить вхідні дані для остаточного процесу синтезу. На цьому останньому етапі процесу проектування мережі параметри перетворюються у форму, яка придатна для роботи апаратного прискорювача згорткової нейронної мережі. Слід зазначити, що мережеве навчання можна виконувати за допомогою будь-якого ПК, ноутбука, сервера тощо. Однак без підтримки відеокарти CUDA це може зайняти багато часу – навіть для невеликих мереж це може потребувати від декількох днів до декількох тижнів.

На другому етапі процесу розробки мережі створюється програмне забезпечення з механізмом запису даних у прискорювач мікроконтролера і зчитування результатів. Файли, створені на першому ета-

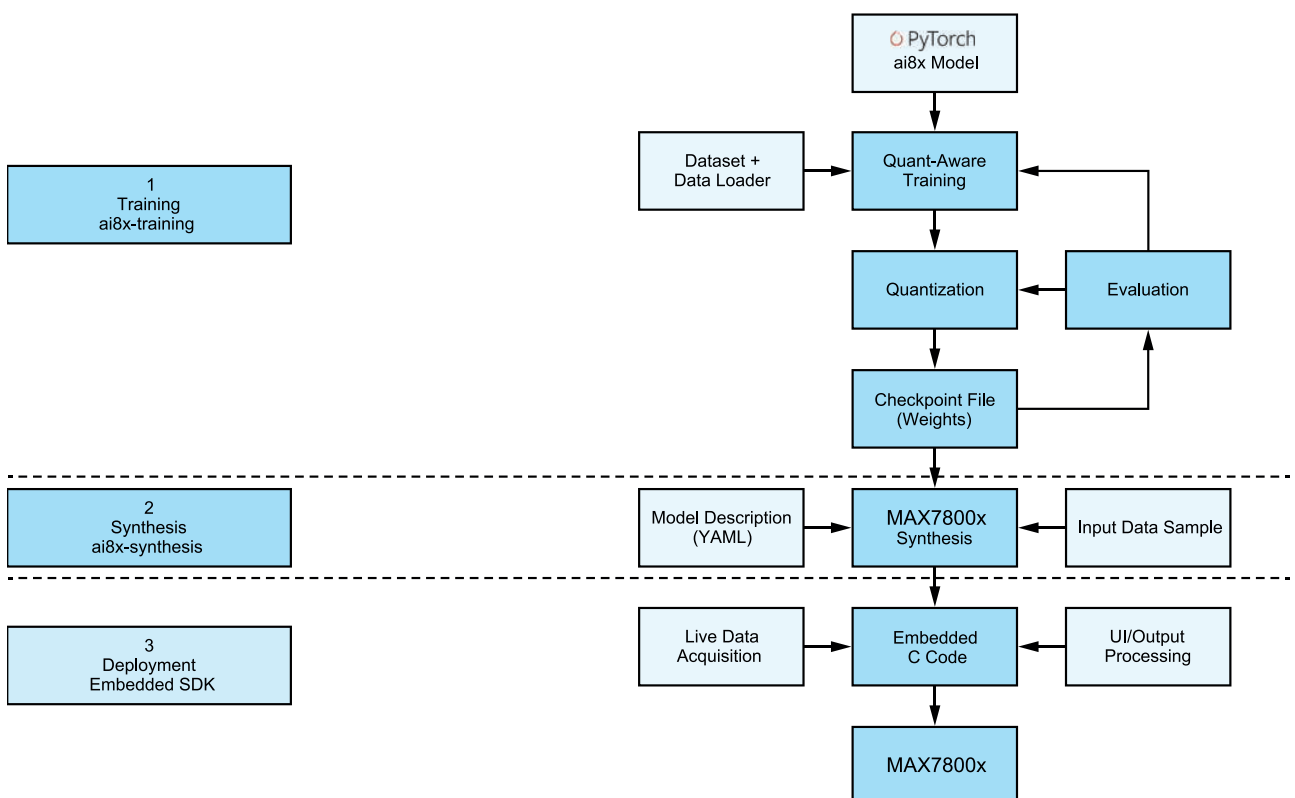


Рис. 3. Алгоритм розробки штучного інтелекту

пі, інтегруються в проект, наприклад, на мові C/C++ за допомогою директив `#include`. Інструментальні засоби, такі як Eclipse IDE і GNU Toolchain, також використовуються у середовищі розробки для мікроконтролера. Компанія Analog Devices надає спеціальний набір для розробки програмного забезпечення (Maxim Micros SDK (Windows)) який виконує функції інсталлятора і містить усі необхідні компоненти та конфігурації. Набір для розробки програмного забезпечення також містить драйвери периферійних пристроїв, а також приклади та інструкції для полегшення процесу розробки програм.

Після того як проект скомпільовано та зв'язано без будь-яких помилок, його можна перевірити та оцінити за допомогою спеціальних засобів. Для цього компанія Analog Devices розробила дві апаратні платформи. На рис. 4 показана плата MAX78000EVKIT, а на рис. 5 – плата MAX78000FTHR. Кожна з них містить камеру VGA та мікрофон.

ВИСНОВКИ

Раніше засоби штучного інтелекту вимагали значного енергоспоживання та коштовного складного обладнання у вигляді серверних ферм або з реалізацією на ПЛІС типу FPGA. Зараз із появою мікроконтролерів сімейства MAX7800x, які містять спеціальний прискорювач згорткової нейронної мережі, задачі штучного інтелекту можуть розв'язувати комп'ютерні прилади та засоби різного призначення, працюючи при цьому тривалий час від автономного джерела живлення. Все це робить засоби штучного інтелекту доступними і розширює можливості для створення нових ефективних додатків, які раніш будувалися на потужних комп'ютерах та були обмежені у широкому використанні. Вони вже зараз знаходять застосування у БПЛА різного призначення, дистанційних медичних приладах, цифровому землеробстві, розумних домах та апартаментах і т.і.



Рис. 4. Набір MAX78000EVKIT

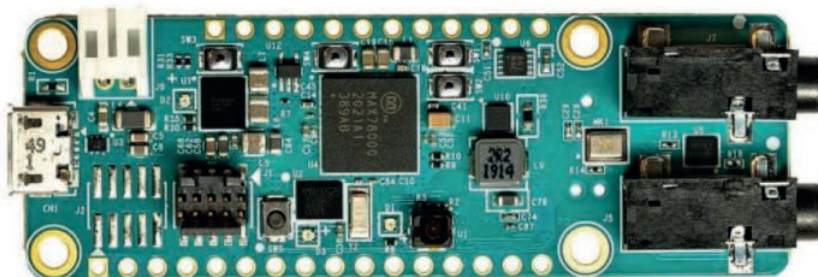


Рис. 5. Набір MAX78000FTHR.

We make it **possible**

- діапазон робочих температур від -90 до +400 °C
- строк служби 30 років



Суцільнометалеві демпфери



Резинові віброізолятори



Сіліконові віброізолятори



Суцільнометалеві подушки



Тросові амортизатори



Малогабаритні суцільнометалеві амортизатори



Шнури ізоляції від електромагнітних хвиль



Пружинні ізолятори

Основним напрямком роботи фірми Hutchinson є виробництво широкого ряду суцільнометалевих демпферів (амортизаторів, віброізоляторів, віброопор), як малогабаритних – для різного роду електронного та навігаційного обладнання, так і великогабаритних – для різних областей застосування.

Всі вироби мають широкий діапазон статичного навантаження і стійкі до впливу агресивного середовища, зберігають свої характеристики в діапазоні температур від -90 до +400 °C. Строк служби не менше 30 років.

Робочим тілом демпферів є металева подушка, виготовлена з нержавіючої CrNi сталюї арматурної проволочи.

VD MAIS – авторизований торговельний представник фірми Hutchinson Stop-Choc GMBH & Co. KG (Німеччина) в Україні

тел.: (044) 201-0202, info@vdmais.ua, www.vdmais.ua

НОВІ ТЕХНОЛОГІЇ ВИРОБНИЦТВА "ЧИСТОЇ" ЕНЕРГІЇ – ПОТУЖНИЙ СТИМУЛ ДЛЯ РОЗВИТКУ МІКРОЕЛЕКТРОНІКИ ТА СИСТЕМ УПРАВЛІННЯ НА ЇЇ ОСНОВІ

NEW TECHNOLOGIES FOR THE GENERATION OF "CLEAN" ENERGY ARE A POWERFUL INCENTIVE FOR THE DEVELOPMENT OF THE MICROELECTRONICS AND CONTROL SYSTEMS BASED ON IT

Метою цієї публікації є висвітлення того, як інноваційні технології та засоби на їх основі сприяють впровадженню екологічно чистих технологій. Стаття підготована по матеріалах зарубіжних публікацій.

V. Романов

Abstract – The purpose of this publication is to highlight how innovative technologies and tools based on them contribute to the implementation of environmentally clean technologies. The article was prepared based on materials from foreign publications.

V. Romanov

Протягом понад двох десятиліть вчені та кліматологи попереджали про наслідки глобального потепління через викиди парникових газів. Зараз увага громадськості переключилася на усунення як причини, так і наслідків, викликаних зміною клімату. Мікроелектроніка є, практично, мозком багатьох сучасних пристроїв, таких як електромобілі, смартфони, роботи, генератори чистої енергії тощо, і вона може стати ключем до вирішення кризи сталого розвитку за рахунок інновацій у галузі штучного інтелекту. Метою цієї публікації є висвітлення того, як інноваційні технології та засоби на їх основі сприяють впровадженню екологічно чистих технологій.

Доступна енергія лежала в основі соціального та економічного розвитку з початку промислової революції, коли технології з використанням парових двигунів, двигунів внутрішнього згорання та електродвигунів призвели до залежності всього світу від централізованого виробництва енергії. Протягом двох останніх століть ця енергія вироблялася з допомогою спалювання вуглеводневих джерел. Це забезпечило потужне економічне зростання, яке зараз дорого обходиться суспільству. З 1820 викиди парникових газів зросли в 686 разів [1], що призвело до глобального потепління в середньому не менше ніж на 1,1 °C [2] і, як результат, до цілого ряду значних екологічних, економічних і соціальних наслідків.

Так, наприклад, понад 160 мільйонів людей нині потерпають від нестачі продуктів харчування через кліматичні кризи 2015–2019 років [3], до 3 трильйонів доларів у вигляді економічних втрат викликані стихійними катастрофами в період з 2000 по 2019

рік [4]. Якщо така тенденція збережеться до 2050 року, то для забезпечення прогнозованої тенденції розвитку суспільства, буде потрібно вдвічі більше енергії, ніж сьогодні. Без внесення змін до використання традиційних джерел енергії це призведе до збільшення викидів в атмосферу і, як наслідок, до підвищення температури до 2050 року на 1,9–2,9 °C порівняно з доіндустріальним рівнем. На думку експертів, наслідки всього цього можуть призвести до переміщення 33% населення у світі [5], скорочення світового ВВП [6] на 11–18% та щорічних втрат від кліматичних лих до 23 трильйонів доларів [7]. Паралельно суспільство прагне вирішити проблему глобальної бідності. При цьому вартість енергії матиме вирішальне значення для забезпечення доступу населення до основних послуг, включаючи продукти харчування.

Проте, щоб уникнути найгірших наслідків зміни клімату, необхідно забезпечити мінімально можливий, а краще нульовий рівень викидів до 2050 року і обмежити глобальне потепління на рівні 1,5°C. Ключем до досягнення цих двох цілей є збільшення виробленої енергії з одного боку та її декарбонізація з іншого боку. Вже зараз необхідно скоротити викиди парникових газів не менш як на 81%. Зростання енергетики та швидка декарбонізація вимагають широкої заміни викопних видів палива відновлюваними джерелами енергії, що відповідає 9-кратному зростанню попиту на енергію до 2050 року та підвищенню глобальної енергоефективності до 2050 року не менш як удвічі [8]. Як зазначають експерти, існує безпрецедентна можливість стимулювати перехід

до чистої енергії за рахунок відмови від технологій, що генерують парникові гази, та за рахунок електрифікації від поновлюваних джерел енергії.

Одним з прикладів є поетапна відмова від автомобілів із двигунами внутрішнього згорання на користь електромобілів. Перепроекування енергосистем під використання поновлюваних джерел енергії має супроводжуватись підвищенням енергоефективності. Загальний обсяг викидів (не менше 50%) світової енергії виробляється промисловими підприємствами [9]. За рахунок розгортання цифрових промислових технологій покращується контроль над виробничими процесами на вже існуючих виробництвах і таким чином підвищується продуктивність при зниженні енергоспоживання. Таким чином, інвестуючи в енергоефективність виробництва, можна скоротити споживання енергії, а також підвищити його конкурентоспроможність.

Людство зацікавлене як у нових, так і в модернізованих виробництвах, а цифрові виробництва спроектовані так, щоб заощаджувати енергію і, отже, скорочувати викиди. За оцінками експертів до 2035 року щорічні витрати з переходу виробництв на низький рівень викидів збільшуватимуться на 4,5 трильйони доларів, що становитиме 78,4 трильйони доларів сукупних витрат за ці роки [8], причому інвестиції будуть спрямовані на підвищення промислової енергоефективності, модернізацію будівель, а також на підтримку електромобілебудування та збільшення виробництва чистої або «зеленої» енергії.

За прогнозами експертів отримають розвиток напрямки, які полягають у заміні традиційних технологій, що викликають викиди парникових газів, та підвищення глобальної енергоефективності, або ті, що роблять технологію більш енергоефективною. Приклади витісняючих технологій включають перехід на електромобілі та виробництва, що працюють на відновлюваних джерелах енергії. Енергоефективні кінцеві вироби включають промислові двигуни, бездротовий зв'язок 5G, економічні системи опалення, вентиляції та кондиціонування повітря.

На сьогодні у зарубіжній літературі, присвяченій зеленій енергетиці, використовується термін «Energy Harvesting», під яким розуміють процес збору енергії з навколишнього середовища і перетворюється на корисну для використання електричну енергію. Таке рішення дозволяє електронним пристроям працювати там, де немає традиційних джерел живлення. Це дозволяє позбутися прокладки силового кабелю, а в системах з автономним жив-

ленням - обходитися без акумуляторів та пристроїв їх заряджання. Система збору енергії забезпечує управління живленням, регулювання та захист. До таких джерел енергії відносяться (рис. 1) сонячна радіація, що перетворюється фотогальванічними елементами в електричну енергію; механічні вібрації, що перетворюються на електричну енергію п'єзоелектричними елементами; перепади температур, що перетворюються на електричну енергію термоелектричними генераторами; високочастотні коливання, що перетворюються антеною на електричну енергію, і навіть рослини, які генерують електричну енергію в процесі фотосинтезу.



Рис. 2. Приклади збору енергії з навколишнього середовища та перетворення її в електричну енергію

Одним із напрямків ефективного використання енергії сонця є застосування геліостатів, що включають набори дзеркал, які відстежують рух Сонця. Ці дзеркала за умови оптимального управління здатні отримувати максимальний вихід сонячної енергії. Так, наприклад, компанія BrightSource Energy, Inc. на відміну від традиційних панелей з фотогальванічними елементами застосовує керовані панелі (геліостати) з дзеркалами, які направляють сонячні промені на водонапірну вежу, нагрівають воду до температури пароутворення і ефективно генерують відновлювану електричну енергію. Ця компанія проектує, розробляє та впроваджує сонячні теплові технології для виробництва високоякісної пари для різних виробничих процесів, зводячи до мінімуму вплив на навколишнє середовище за рахунок генерації екологічно чистої енергії. Компанія стала піонером у галузі концентрації сонячної енергії, поєднавши сонячні технології з розширеними можливостями зберігання такої енергії. Однією з проблем

у таких системах є оптимальне управління рухом геліостатів для високоточного спрямування сонячних променів на водонапірну вежу. Наразі провідні компанії, такі як ST Microelectronics, On Semiconductor, RDA Microelectronics, Analog Devices, Texas Instruments та інші виробляють мікроелектронну елементну базу для систем керування геліостатами.

Потужна електростанція за такої технології зазвичай включає десятки тисяч геліостатів, які відстежують рух Сонця. Геліостати, рис. 2-1, встановлюються на двовісних трекерах, які стежать за положенням та рухом Сонця і направляють енергію, що випромінюється ним, на приймач з розплавленою сіллю, рис. 2-2, який знаходиться на вершці центральній вежі. Розплавлена сіль у середині приймача нагрівається до температури не менше 538°C. З приймача розплавлена сіль поступає у резервуар, який виконує роль гігантської зарядженої батареї, рис. 2-3. З резервуару розплавлена сіль надходить у теплообмінник, в якому нагріває пар, що запускає турбогенератор, рис. 2-4. Турбогенератор виробляє і подає відновлювану електричну енергію до електричної мережі, рис. 2-5.

На сьогодні компанія BrightSource управляє найбільшими сонячними та тепловими електростанціями у США та сонячною електростанцією Ivanpah у пустелі Мохаві. Цей масштабний проект складається

з 173 тисяч геліостатів та забезпечує виробництво електроенергії потужністю у 392 МВт, що достатньо для понад 100 тисяч будинків у південній Каліфорнії. Новий проект компанії BrightSource для Південної Африки передбачає 42 тисячі геліостатів. Ключем до того, щоб компанія BrightSource та інші аналогічні компанії генерували таку величезну кількість чистої енергії, є оптимальне управління рухом панелей відповідно до положення Сонця. Таким чином, геліостати можуть накопичувати максимальну на сьогодні кількість сонячної енергії. Очікується, що обсяг екологічно чистої електричної енергії, яка отримується від Сонця, зростатиме в геометричній прогресії від року до року, оскільки технології, що дозволяють генерувати таку енергію, стрімко розвиваються.

Співпраця компаній, що генерують екологічно чисту енергію, з провідними виробниками електронних компонентів є потужним стимулом для електронної промисловості, включно компанії, що розробляють системи управління на новій мікроелектронній елементній базі.

ВИСНОВКИ

Відновлювана екологічно чиста енергія протягом останніх декількох років значно підвищила свою по-

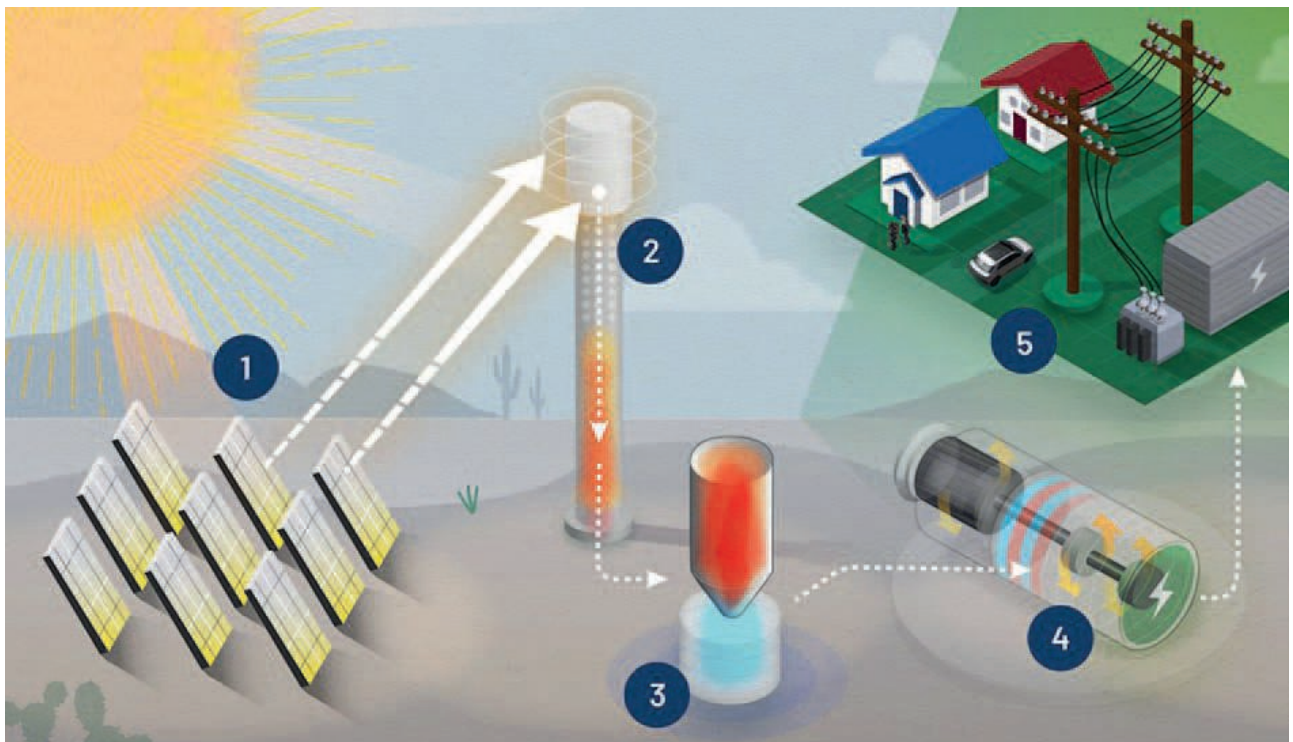


Рис. 2. Електростанція для отримання відновлюваної електричної енергії на основі геліостатів

тужність в світі. Крім сонячних батарей та вітряними електростанцій, зараз з'явилися перші потужні електростанції на основі геліостатів. Ефективність останніх залежить від точності управління геліостатами. Для цього використовуються нові програмні та апаратні засоби та системи управління. Таким чином, нові технології генерації чистої електроенергії є вагомим поштовхом до створення нової мікроелектронної елементної бази та побудови систем управління на її основі.

ЛІТЕРАТУРА

1. Hannah Ritchie, Max Roser and Pablo Rosado (2020) - "CO₂ and Greenhouse Gas Emissions".
2. NASA Earth Observatory – "World of Change: Global Temperatures".
3. Patrick Galey, Marlowe Hood and Kelly Mac-Namara (2021) - "UN draft climate report: Impacts on

people".

4. Gabriel Gordon-Harper (2020) - "UNDRR Report Calls for Improved Governance to Address 'Systemic Risk'".

5. Harry Gray Calvo and Gayle Markovitz (2022) - "Global Public Braces for 'Severe' Effects of Climate Change by 2032, New Survey Finds".

6. Swiss Re (2021) - "World economy set to lose up to 18% GDP from climate change if no action taken, reveals Swiss Re Institute's stress-test analysis".

7. Tom Kompas, Van Ha Pham, Tuong Nhu Che (2018) - "The Effects of Climate Change on GDP by Country and the Global Economic Gains From Complying With the Paris Climate Accord".

8. ADI analysis based on figures from "The economic transformation: What would we change in the net-zero transition." McKinsey & Company. January 24, 2022.



ДРУКОВАНІ ПЛАТИ

■ ВИРОБНИЦТВО

VD MAIS – найбільший постачальник друкованих плат на ринку України

7 аргументів на користь друкованих плат, що постачаються VD MAIS:

- принцип "все з одних рук"
- стабільне положення фірми на ринку друкованих плат
- висока кваліфікація спеціалістів
- вибір перевірених фірм-виробників в залежності від специфіки замовлення
- технічний супровід проекту при монтажі SMD-компонентів
- мінімізація ціни за рахунок об'єднання замовлень
- сертифікація систем екологічного менеджменту і менеджменту якості фірми відповідно до вимог стандартів ISO 9001:2015, ISO 14001:2015, IATF 16949:2016 і ISO 13485:2016
- надання документації по вихідному контролю друкованих плат

VD MAIS
ДИСТРИБ'ЮЦІЯ +
КОНТРАКТНЕ
ВИРОБНИЦТВО

VD MAIS
PCB Professionally

тел.: (044) 220-0101, info@vdmiais.ua, www.vdmiais.ua

ЯК НОВИЙ ПІДХІД В ОХОРОНІ ЗДОРОВ'Я ЗАЛЕЖИТЬ ВІД ЦИФРОВІЗАЦІЇ МЕДИЧНОЇ ГАЛУЗІ

Стаття присвячена проблемі розвитку охорони здоров'я та цифрової медицини і підготована на основі зарубіжних та вітчизняних публікацій.

V. Романов

HOW A NEW APPROACH TO HEALTH CARE DEPENDS ON THE DIGITALIZATION OF THE MEDICAL INDUSTRY

Abstract - The article is devoted to the problem of health care development and digital medicine and was prepared on the basis of foreign and domestic publications.

V. Romanov

Для більшості пацієнтів сучасний процес встановлення діагнозу досить відомий та передбачуваний. Він включає зустріч з сімейним лікарем, здачу аналізів, вивчення симптомів, постановку діагнозу та планування лікування. Але такий підхід зосереджений на лікуванні захворювань вже після їх виникнення. При цьому як діагностика, так і лікування базуються на усереднених показниках, а пацієнти обмежуються варіантами, які запропонував лікар згідно існуючих медичних протоколів. Однак зараз у зв'язку з розвитком медичної галузі, включно інструментальну підтримку, відбувається швидкий перехід на нову платформу, яка отримала назву "медицина 4П", тобто прогнозуюча, профілактична, персоналізована та партисипована медицина. Впровадження медицини 4П означає перехід від реакції на хворобу до прогнозування розвитку патології у пацієнта. Щоб відійти від реактивного підходу до лікування, потрібно забезпечити перехід до цифрових технологій охорони здоров'я, які могли б допомогти визначити ранні попереджувальні ознаки захворювання, використовуючи дані, отримані в результаті аналізу, розширеної візуалізації або від носимих медичних сенсорів та пристроїв. Нові цифрові технології, які зараз швидко розвиваються, дають можливість ідентифікувати та попереджати пацієнта про ознаки, наприклад, вірусної інфекції ще до появи видимих симптомів захворювання.

Директор Інституту цифрового здоров'я та інновацій | Університету медичних наук Арканзасу, США, Кертис Лоурі так оцінює сьогоднішню ситуацію в охороні здоров'я: «Ми використовуємо цифрову концепцію медицини 4П, щоб, по-перше, попередити необхідність перебування пацієнта у лікарні та, по-друге, пришвидшити лікування захворювання, використовуючи дистанційний моніторинг стану пацієнтів, які перебувають вдома. Тепер ми можемо лікувати людей вдома, отримуючи дані з «розумних» чи смарт сенсорів, таких як тонометри, глюкометри,

пульсоксиметри та інші. У розпал глобальної пандемії можливість дистанційно оцінювати дані та лікувати пацієнтів на відстані має суттєві переваги. Таке дистанційне лікування є важливим заходом безпеки, який може врятувати життя багатьом пацієнтам. Ми використовуємо цифрову концепцію, щоб запобігти зайвому перебуванню людей у лікарнях та пришвидшити лікувати хвороби, використовуючи втручання, засновані на дистанційному моніторингу пацієнтів».

До спалаху пандемії COVID-19 провідні компанії в області цифрових технологій охорони здоров'я вже направляли певні технології наступного покоління у медичні заклади. Це технології моніторингу життєво важливих показників, за якими збір даних відбувається безперервно, навіть коли пацієнт залишає кабінет лікаря. Такий підхід дозволяє лікарям отримувати корисну інформацію, що полегшує встановлення точного діагнозу. Пандемія COVID-19 призвела до суттєвого збільшення попиту на ключові цифрові медичні технології та прилади.

До цього слід додати, що за даними досліджень Центру з контролю та профілактики захворювань зараз б із 10 американців живуть із хронічними захворюваннями, такими як діабет або серцеві захворювання. Ці хвороби є одними з головних причин смертності в Сполучених Штатах і, разом із психічними розладами, складають 90% щорічних витрат країни на охорону здоров'я, які становлять 3,5 трильйона доларів на рік. Якщо додати до цього ще старіння населення, то терміновість впровадження нових цифрових технологій у сфері охорони здоров'я є необхідним на сьогоднішній західом.

Завдяки багаторічному світовому досвіду у роботі «розумних» сенсорів та приладів, які використовуються для моніторингу життєво важливих показників, зараз у світі створюється наступне покоління носимих або вбудованих в одяг засобів, які у найближчому майбутньому здатні вивести інду-

стрію цифрових технологій в охороні здоров'я на новий рівень. Наприклад, традиційний пальцевий тест, який пацієнти з цукровим діабетом використовують, як правило, кілька разів на день для контролю рівня глюкози в крові та введення інсуліну, вже зараз замінює розташований на поверхні шкіри смарт-сенсор, який виконує безперервні вимірювання у реальному часі, забезпечуючи постійний моніторинг стану здоров'я хворого на діабет пацієнта. Наявність при цьому автоматичного носимого інжектору дозволяє вводити в разі потреби інсулін без участі хворого на діабет пацієнта. Подібні засоби забезпечують хронічно хворим пацієнтам покращену якість життя і уповільнюють розвиток хвороби. Як вважають фахівці, краще вимірювати фізіологічні параметри пацієнта протягом тривалого часу, а не лише в клінічному закладі. Включення реальних умов надає багато точніші дані і дозволяє лікарям у кращий спосіб керувати здоров'ям своїх пацієнтів. Ще більш захоплюючим виглядає неінвазивне відстеження розвитку хронічних захворювань, що дає змогу пацієнту зменшити потреби в певних ліках.

Деякі рішення для безперервного моніторингу вже доступні зараз, але ці технології ще не набули широко розповсюдження в сучасній медицині, залишаючи відкритими двері для нових інновацій. Портативні монітори здоров'я у вигляді розумних годинників вже зараз збирають дані про частоту серцевих скорочень, температуру тіла та інші життєво важливі показники пацієнта. Їх можна носити на зап'ясті або як накладку на шкірі, зберігаючи результати вимірювання на електронному носії або надсилаючи дані по бездротовому каналу у віддалені центри діагностики. Завдяки поєднанню вбудованих сенсорів та бездротового зв'язку, такі монітори можуть стати прототипом для наступного етапу цифрової медицини. Таким чином медична допомога швидко переміщується з лікарень до дому, створюючи потребу в новому поколінні медичних засобів клінічного рівня, які є меншими, простішими у використанні та доступними для індивідуального використання.

Носимі пристрої, рис. 1, незабаром дозволять пацієнтам постійно контролювати різні параметри здоров'я, стимулюючи профілактичний підхід до лікування. Водночас забезпечення бездротового з'єднання з медичними центрами озброює лікарів безперервним потоком необхідних даних.

Відзначимо, що обладнання, яке використовується в лікарнях і клінічних установах, також потребує суттєвого оновлення. Технологія, що лежить в основі таких звичайних тестів, як рентгенівське та



Рис. 1. Носимі монітори фізіологічних параметрів здоров'я людини

комп'ютерне сканування, або УЗД, стає все більш чутливою та точною, що дає змогу отримувати зображення з вищою роздільною здатністю та меншим рівнем шуму, а штучний інтелект може бути застосований до аналізу зображень, щоб привернути увагу лікаря до певних ключових змін в організмі пацієнта, що у разі підвищує ефективність діагностики. Так, наприклад, цифровий рентген, рис. 2, заощаджує тисячі доларів на хімічну обробку та забезпечує більш чітке зображення з меншим рівнем шуму.



Рис. 2. Цифровий рентген

Прецизійні датчики та цифрові процесори комп'ютерної томографії, рис. 3, покращують якість зображення та скорочують час сканування, піддаючи пацієнтів меншому рівню радіації.



Рис. 3. Комп'ютерна томографія

АЦП з високою роздільною здатністю та швидкістю передачі даних дають можливість оцифровувати 3D-зображення, наприклад, при ультразвуковій діагностиці, рис. 4.

Точна візуалізація, клінічний моніторинг життєваж-



Рис. 4. Ультразвукова діагностика

ливих показників і вдосконалена цифрова медична технологія допомагають лікарям підвищити точність діагностики та дозволяють ефективніше лікувати хронічні захворювання. Але кінцевою метою є повний перехід від реактивної медицини до прогнозованої, що призведе до кращої якості життя людей і зменшення навантаження на систему охорони здоров'я в цілому.

На наступному етапі цифровізації медицини очікується створення віртуальних медичних палат поза

клінічними закладами, тобто пацієнти з однаковими хронічними захворюваннями будуть мати можливість лікуватися вдома, а за їх показниками будуть спостерігати лікарі віддалених профільних медичних центрів. Створення таких медичних палат вже почалося в США і показало їх ефективність для певних хронічних захворювань.

ВИСНОВКИ.

Перехід від традиційної медицини до медицини 4П є революційним кроком в охороні здоров'я людини. Але успіх такого переходу багато в чому залежить від появи відповідних медичних сенсорів, засобів обробки, передачі та візуалізації даних про стан пацієнтів. Новий підхід дасть можливість прогнозувати хворобу ще до появи патологічних змін в організмі людини і суттєво підвищити ефективність лікування.



ДРУКОВАНІ ПЛАТИ

■ проектування

Проектування друкованих плат у НВФ VD MAIS – це:

- багаторічний досвід конструювання і знання специфіки:
 - розробки електронних пристроїв
 - технології виробництва друкованих плат
 - різних систем проектування CAD-CAM (P-CAD, Mentor Graphics, CAM-350 и пр.)
- використання всіх можливостей виробника друкованих плат і контрактного виробництва VD MAIS

Системи екологічного менеджменту і менеджменту якості фірми сертифіковані на відповідність вимогам стандартів ISO 9001:2015, ISO 14001:2015, IATF 16949:2016 і ISO 13485:2016

VD MAIS
ДИСТРИБ'ЮЦІЯ +
КОНТРАКТНЕ
ВИРОБНИЦТВО

тел.: (044) 201-0202, info@vdmiais.ua, www.vdmiais.ua

VD MAIS
PCB Professionally

ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ СВІТОВОЇ ЕНЕРГЕТИКИ ТА ПРОБЛЕМА ЗНИЖЕННЯ ВИКИДІВ CO₂

Статтю підготовлено за матеріалами міжнародних нормативних документів, спрямованих на підвищення енергоефективності промислових підприємств та зниження викидів CO₂.

V. Романов

PROSPECTS FOR THE DEVELOPMENT OF LIGHT ENERGY AND THE PROBLEM OF CO₂ REDUCTION

Abstract – The article was prepared based on the materials of international regulatory documents aimed at improving the energy efficiency of industrial enterprises and reducing CO₂ emissions.

V. Romanov

Більше 40 років після того, як Міжнародне енергетичне агентство (МЕА) опублікувало перше видання «Перспективи світової енергетики», головна мета залишається незмінною, зазначає Д-р Фатіх Біроль, виконавчий директор МЕА.

Розглянуто сценарій сталого розвитку до 2050 року, який забезпечує стратегічний шлях до повного досягнення глобальних цілей у галузі клімату, якості повітря та доступу до енергії. З цього документа випливає, що немає простих рішень для перетворення світу енергії. Безліч технологій та видів палива відіграють важливу роль у всіх секторах економіки. Аналіз показує, що темпи підвищення енергоефективності у світі сповільнюються, але потенціал підвищення ефективності, який допоможе нам досягти своїх цілей у сфері сталої енергетики, є величезним. Крім того, зазначено, що одна з важливих проблем у цьому напрямі полягає в тому, що глобальні викиди метану, потужного парникового газу, зростають разом із зростанням CO₂.

Чому потрібно скорочувати промислові викиди CO₂ зараз. Сьогодні споживачі шукають продукти та послуги з низьким вмістом вуглецю. Уряди багатьох країн посилюють правила щодо скорочення викидів вуглецю, щоб забезпечити нульові викиди парникових газів. Дорога до нульового рівня викидів відкриє перед промисловими компаніями нові можливості для впровадження нових технологій для прискорення виробництва з низьким рівнем викидів вуглецю. У статті розглянуто два важливі аспекти покращення скорочення викидів CO₂ у промисловому секторі:

- підвищення енергоефективності за рахунок оптимального використання моторних приводів електродвигунів
- впровадження цифрових технологій для підвищення ефективності виробництва.

У Паризькій угоді 2015 року викладено план щодо обмеження глобального потепління до 1.5 °C

до 2050 р. Для досягнення мети в 1.5 °C до 2050 р. потрібне скорочення поточних викидів CO₂ більш ніж на 80%. Поточна світова тенденція спрямована на глобальне потепління на 1.9–2.9 °C, що призведе до значного скорочення світового ВВП, переміщення до 33% світового населення, а також щорічних втрат, пов'язаних зі стихійними лихами в трильйони доларів. Світ вже потеплішав на 1.1 °C, і експерти кажуть, що у 2030-х роках збільшення температури перевищить 1.5 °C.

Це вимагатиме перерозподілу інвестицій з ископного палива на відновлювані джерела енергії та виробництво атомної енергії, а також переходу на нову технологію Carbon Technology – Carbon Capture Utilization (CCUS). Ця технологія полягає у уловлюванні та ефективному використанні високих концентрацій CO₂, що виділяються промисловістю.

На рис. 1 показано шлях до цільового показника 1.5 °C за рахунок скорочення викидів CO₂ до 6 гігатонн, як це зазначено в документі МЕА. Аналіз МЕА включає два основні розділи: "Сценарій заявленої політики" та "Сценарій сталого розвитку". Сценарій заявленої політики розглядає конкретні політичні ініціативи, ухвалені більшістю країн. Сценарій сталого розвитку вказує шлях, який дозволить досягти показників у галузі клімату, енергії та якості повітря, що відповідає вимогам Паризької угоди. Найбільші скорочення викидів CO₂, визначене у межах Паризького угоди, пов'язане з підвищенням енергоефективності, щонайменше 37 %. Глобальні викиди CO₂, пов'язані з енергетикою, зросли на 0.9% у 2022 році, досягнувши нового максимуму – понад 36.8 гігатонн. Викиди в промисловості скоротилися на 1,7% до 9.2 гігатонн у 2022 році. Оскільки 25% викидів CO₂ припадало на промисловість у 2022 році, прискорення інвестицій у енергоефективність у промисловості стане ключовою частиною шляху до нульових викидів у 2050 році.

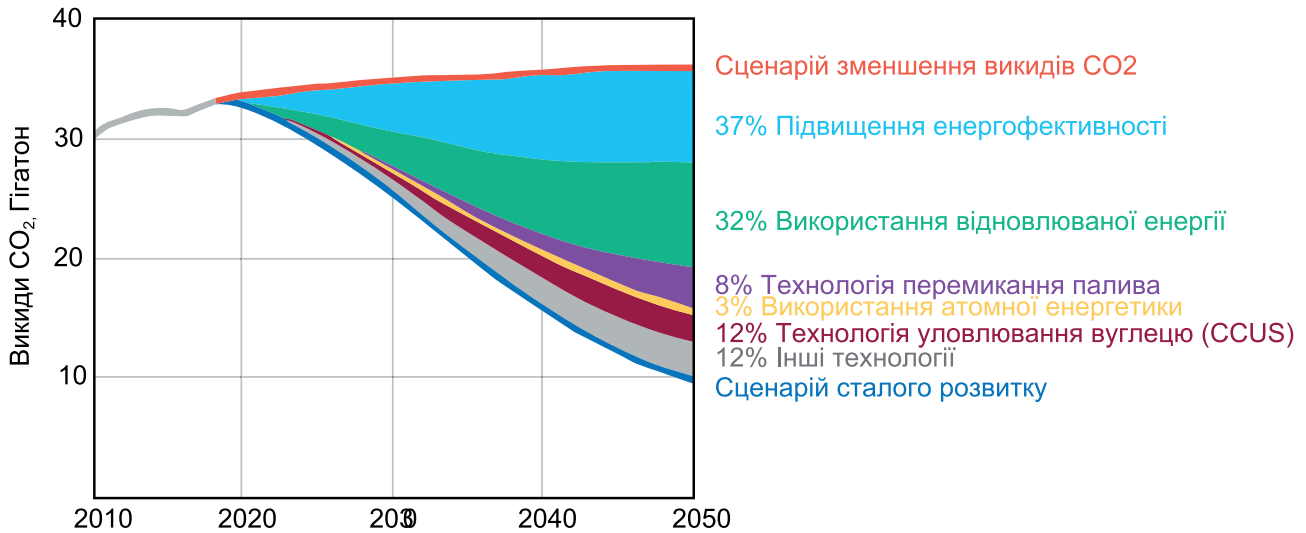


Рис. 1. Цільові показники викидів CO₂ до 2050 року

Важливо, що промислові електродвигуни з вищим ККД можуть значно скоротити викиди CO₂ у промисловості. Світове енергозабезпечення електроенергією в 2022 році склало 28 642 тераватт-години, що відповідає 13.6 гігатонн викидів вуглецю або 36% від загальних викидів CO₂. Промисловість споживає 30% світової електроенергії, а промислові електродвигуни споживають 69% виробленої електроенергії. Зазначимо, що загальна кількість електродвигунів у промисловості на початок 2022 року становила приблизно 450 мільйонів, а встановлених у 2022 році – приблизно 52 мільйони. Електродвигуни використовуються в промисловості для приводу насосів, вентиляторів, систем стисненого повітря, вантажно-розвантажувальних робіт, систем обробки матеріалів та багато іншого. Підраховано, що якби всі розгорнуті системи з приводом від електродвигунів працювали з максимальною ефективністю, це зменшило б глобальний попит на електроенергію на 10% і скоротило викиди CO₂ на 2490 мегатонн у 2030 році, як показано на рис. 2.

Найменш ефективні рішення використовуються в даний час у трифазних електродвигунах, підключе-

них до електромережі змінного струму. В них використовується управляючий пристрій увімкнення/вимкнення двигуна і схема захисту. Ці базові рішення працюють із фіксованою швидкістю, незалежно від будь-яких змін навантаження. Регулювання вихідних змінних параметрів (таких як витрата рідини в насосах та вентиляторах) здійснюється за допомогою механічних елементів управління, таких як дроселі, демпфери та клапани, тоді як значні зміни швидкості реалізуються за допомогою шестерень.

За оцінками фахівців від 70% до 80% усіх електродвигунів, що використовуються сьогодні, підключені до мережі, а було б доцільно підключити їх до інвертора або приводу з регульованою швидкістю для зниження енергоспоживання. Увімкнення додаткового випрямляча, шини постійного струму та трифазного інвертора зі змінною частотою та змінною вихідною напругою забезпечує регулювання швидкості обертання електродвигуна. Завдяки цьому у двигуни з інверторним приводом значно знижується споживання енергії за рахунок роботи електродвигуна на оптимальній швидкості. Приклади такої модернізації містять насосні та вентиляторні

Ефективне використання електродвигунів зменшить попит на електроенергію на 10%



450 мільйонів двигунів встановлено до 2022 року



52 мільйони двигунів встановлено у 2022 році



30% електроенергії споживає промисловість



68% спожитої енергії витрачають електродвигуни

Рис. 2. Статистичні дані з використання електродвигунів

електродвигуни з вищим ККД. При додаванні інвертора до електродвигуна, що управляє насосом, вентилятором або компресором, можна знизити споживання енергії приблизно на 25%. Для високопродуктивних додатків перетворювач частоти забезпечує точне управління крутним моментом, швидкістю та положенням. Для цього до базового інверторного приводу з розімкненим контуром додано вимірювачі струму та положення. Типовими прикладами такого застосування є конвеєри, намотувальні, друкарські та інші машини та механізми. За оцінками фахівців від 20% до 30% усіх електродвигунів, що використовуються в даний час у промисловості, мають інверторний привід або підключені до частотно-регульованого приводу. Збільшуючи кількість таких двигунів у промислових галузях, можна значно знизити енергоспоживання і відповідно викиди CO₂.

Таким чином, інтелектуальні рішення для керування двигунами забезпечують значне зниження енергоспоживання за рахунок перенесення більшої кількості застосувань із двигунів з фіксованою швидкістю на високоефективні двигуни зі змінною швидкістю роботи. Це зниження енергоспоживання дозволить суттєво скоротити викиди CO₂. Для прискорення розгортання нових систем з вищим ККД, що включають електродвигуни, Міжнародна електротехнічна комісія (МЕК) розробила нові стандарти на енергоефективні електродвигуни. До цих стандартів входить наступні: стандарт випробувань електродвигунів IEC 60034-2-1 і схема класифікації IEC 60034-30-1, що складається з чотирьох рівнів ефективності двигунів (від IE1 до IE4). Ці стандарти спростили порівняння ефективності електродвигунів різних виробників. Вони також є орієнтиром для урядів, щоб вказати рівні ефективності для національних стандартів енергоефективності, таким чином допомагаючи різним країнам досягти необхідних показників у галузі енергоефективності та викидів вуглекислого газу.

Класи ефективності за стандартом IEC 60034-1:

- стандартна ефективність IE1
- висока ефективність IE2
- IE3 підвищеної ефективності
- IE4 супер преміум ефективність.

З 2020 року країни, які споживають 76% електроенергії, ввели ці стандарти для електродвигунів, що сприяє зниженню промислового споживання електроенергії. В ЄС з 1 липня 2021 року мінімальний клас ефективності IE3 (Premium Efficiency) потрібний для двигунів потужністю від 0.75 кВт до 1000 кВт.

Для невеликих двигунів потужністю від 0.12 до

0.75 кВт потрібно рівень мінімум IE2 (висока ефективність). З 1 липня 2023 року вимоги для країн ЄС підвищуються до рівня IE4 (надвисока ефективність) для двигунів потужністю від 75 до 200 кВт. Якщо оцінити загальну вартість системи з моторним приводом протягом терміну її розгортання, то 70% загальної вартості посідає електроенергія порівняно з 5% на купівлю двигуна і 20% на технічне обслуговування двигунів, як показано на рис. 3. Таким чином, при розгортанні більш ефективних систем з приводом електродвигунів, можна значно знизити експлуатаційні витрати на промислові двигуни, а також зменшити викиди CO₂.

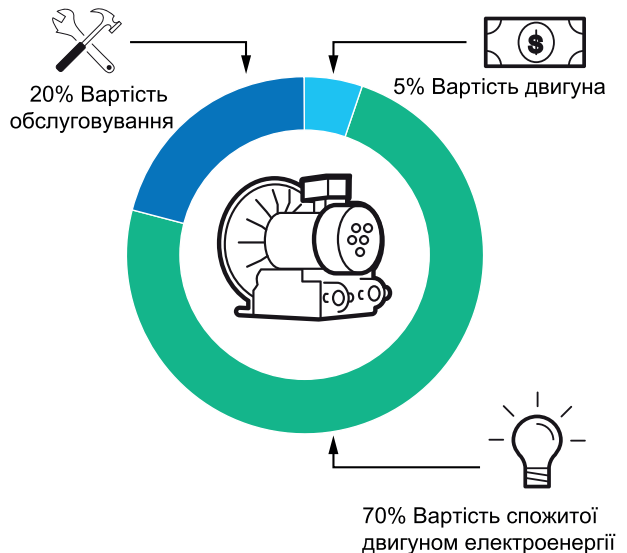


Рис. 3. Загальна вартість розгортання промислових систем з електроприводом

Цифрові технології для підвищення ефективності виробництва. Перетворювачі частоти використовують дані про величину напруги, струму, положення, температури та споживаної потужності системи. Крім того, зовнішні датчики контролюють рівень вібрацій та інші параметри довкілля. Ці дані через мережу надходять до хмарних сховищ, де вони аналізуються за допомогою штучного інтелекту для оптимізації виробничих процесів, зниження енергоспоживання та викидів CO₂, що виникають на виробництві. Ця інформація продовжує термін служби обладнання, підвищує якість виробництва та скорочує незаплановані простої та втрати матеріалів, одночасно підвищуючи безпеку на виробничих підприємствах. Сучасні системи з електроприводом включають датчики, засоби збору та обробки даних на основі штучного інтелекту. Це дозволяє організувати систему управління промисловим виробництвом, рис. 4, яка забезпечує зменшення споживаної енер-

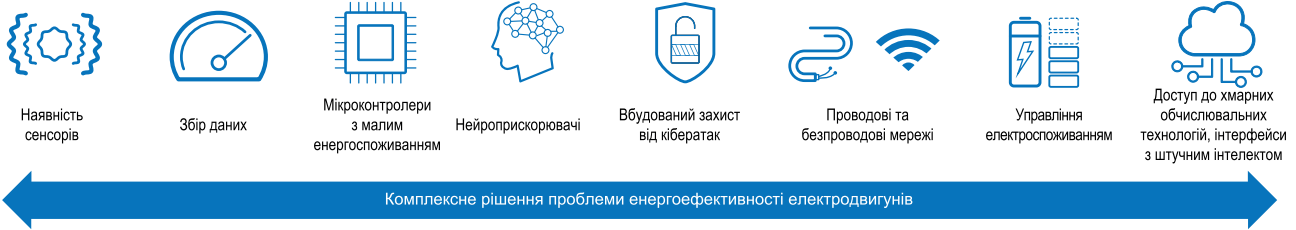


Рис. 4. Ключові цифрові технології на сучасних виробництвах

гії за рахунок оптимального управління електродвигунами. На великих виробництвах із кількома сотнями або кількома тисячами електродвигунів така стратегія особливо ефективна для забезпечення зниження споживання електроенергії і викидів CO₂.

Платформа Всесвітнього економічного форуму "Формування майбутнього передового виробництва" створила Глобальну мережу маяків із провідних лідерів виробництва. Ця мережа демонструє приклади того, як стратегія цифровізації виробництва допомагає скоротити викиди CO₂ у промисловості. Станом на січень 2023 року Глобальна мережа таких підприємств включала 132 виробництва. Вони характеризувалися такими показниками:

- зниження споживання енергії на 25 %
- скорочення відходів на 17%
- скорочення викидів CO₂ на 25%.

ВИСНОВКИ

Шлях до нуля викидів CO₂ створює нові можливості для промислових виробничих компаній щодо впровадження нових технологій для прискорення виробництва з низьким рівнем викидів вуглецю. Підвищення промислової активності (майже половина якої припадає на Китай та Індію) подвоїть кількість використовуваних електродвигунів до 2040 року. Таким чином, можливості скорочення викидів CO₂ для нових ефективніших систем керування з електроприводом значно зростуть. Сучасна мікроелектронна база світових виробників вже зараз забезпечує передові промислові підприємства системами управління електродвигунами з елементами штучного інтелекту, що дозволяє забезпечити необхідні показники енергоефективності та викидів CO₂

VD MAIS
Друковані плати



- проектування друкованих плат
- технологічна підготовка виробництва
- виготовлення будь-якої кількості плат:
 - ГОСТ 23752-79
 - за стандартом IPC-A-600J
- проектування та виготовлення трафаретів для нанесення паяльної пасти.

Сертифікація на відповідність вимогам стандартів ISO 9001:2015, ISO 14001:2015, IATF 16949:2016 і ISO 13485:2016.

Ціни оптимальні.

Україна, 03061 Київ, вул. М. Донця, 6
Тел.: (0-44) 201-0202, 492-8852, факс: (0-44) 202-1110
e-mail: info@vdmiais.ua, www.vdmiais.ua

VD MAIS
Розробка та серійне виробництво електроніки



- розробка електричних схем
- проектування та виготовлення друкованих плат
- комплектація виробів електронними компонентами та конструктивами
- контрактне виробництво (за стандартом IPC-A-600J):
 - автоматизований монтаж SMD-компонентів, автоматизована серктивна пайка компонентів, що монтується у отвори
 - виготовлення дослідних зразків виробів
 - дрібно- та великосерійне виробництво
 - багаторічний досвід розробки і виробництва
 - гарантія якості.

Сертифікація на відповідність вимогам стандартів ISO 9001:2015, ISO 14001:2015, IATF 16949:2016 і ISO 13485:2016.

Ціни оптимальні.

Україна, 03061 Київ, вул. М. Донця, 6
Тел.: (0-44) 201-0202, 492-8852, факс: (0-44) 202-1110
e-mail: info@vdmiais.ua, www.vdmiais.ua

VD MAIS
Електромеханічні компоненти і компоненти систем автоматизації



- низьковольтна комутаційна апаратура
- програмовані логічні контролери та комп'ютери, програмне забезпечення
- шафи ▪ кейти ▪ роз'єми ▪ корпуси
- вентилятори ▪ інструмент ▪ кабельна продукція ▪ СКС ▪ системи маркування

Дистрибуція та прямі поставки:
Acme-Portable, AMP Netconnect, Belden, Doplra, Eaton, EBM-Papst, HARTING, Hoffmann, Kroy, Lapp Group, Molex, Phoenix Contact, Rittal, Schroff, Siemens, TE Connectivity, TKD, Wago

Україна, 03061 Київ, вул. М. Донця, 6
Тел.: (0-44) 201-0202, 492-8852, факс: (0-44) 202-1110
e-mail: info@vdmiais.ua, www.vdmiais.ua

VD MAIS
Вимірювальні пристрої



- осцилографи ▪ генератори ▪ логічні аналізатори
- аналізатори спектра
- вимірювачі параметрів відеосигналів
- джерела живлення ▪ частотоміри
- мультиметри ▪ тепловізори
- вібрметри

Дистрибуція та прямі поставки:
Tektronix, Fluke, Keithley® Rohde @ Schwarz Hameg, Uni-Trend

Україна, 03061 Київ, вул. М. Донця, 6
Тел.: (0-44) 201-0202, 492-8852, факс: (0-44) 202-1110
e-mail: info@vdmiais.ua, www.vdmiais.ua

ЯК ПРОЕКТУВАТИ ДВИГУНИ НОВОГО ПОКОЛІННЯ ДЛЯ ЗНИЖЕННЯ ЕНЕРГОВИТРАТ У ПРОМИСЛОВОСТІ

HOW TO DESIGN A NEW GENERATION OF ENGINES TO REDUCE ENERGY CONSUMPTION IN INDUSTRY

Стаття підготовлена за матеріалами зарубіжних публікацій та міжнародних нормативних документів.

Abstract – The article was prepared based on the materials of foreign publications and international regulatory documents.

В. Романов

V. Romanov

Перехід від двигунів з фіксованою швидкістю до двигунів з регульованою швидкістю зі зворотним зв'язком по положенню та струму відкриває шлях до значної економії електроенергії. Як показано у статті «Перспективи розвитку світової енергетики та проблема зниження викидів CO₂», опублікованій у цьому номері журналу EKiC, якби всі розгорнуті промислові системи з приводом від електродвигунів працювали з максимальною ефективністю, це зменшило б глобальний попит на електроенергію в світі на 10% і до 2030 року скоротило б викиди CO₂ на 2490 мегатонн. У цій статті показано переваги управління електродвигунами нового покоління на основі застосування енкодерів. (Енкодер або перетворювач кутових переміщень – це електронний пристрій, що дозволяє із заданою точністю виміряти різні параметри обертання валу електродвигуна або редуктора).

У світі останніми роками спостерігається стійкий та постійний перехід від традиційних електродвигунів, підключених до електромережі, до двигунів з інверторним приводом. Це істотна зміна в промисловому обладнанні, яке обертається, що вже зараз призвело до значної економії споживаної електроенергії за рахунок більш ефективного використання електродвигунів і кінцевого обладнання. Більш висока якість управління двигуном із приводами з регульованою швидкістю та системами із сервоприводом забезпечує покращену якість та синхронізацію для багатьох застосувань. Продуктивність та ефективність двигуна покращуються за рахунок використання силового інвертора, високоточного визначення положення та замкнутого зворотного зв'язку по струму або напрузі для силового каскаду, як показано на рис. 1? шляхом подачі на електродвигун напруги змінної частоти з використанням широтно-

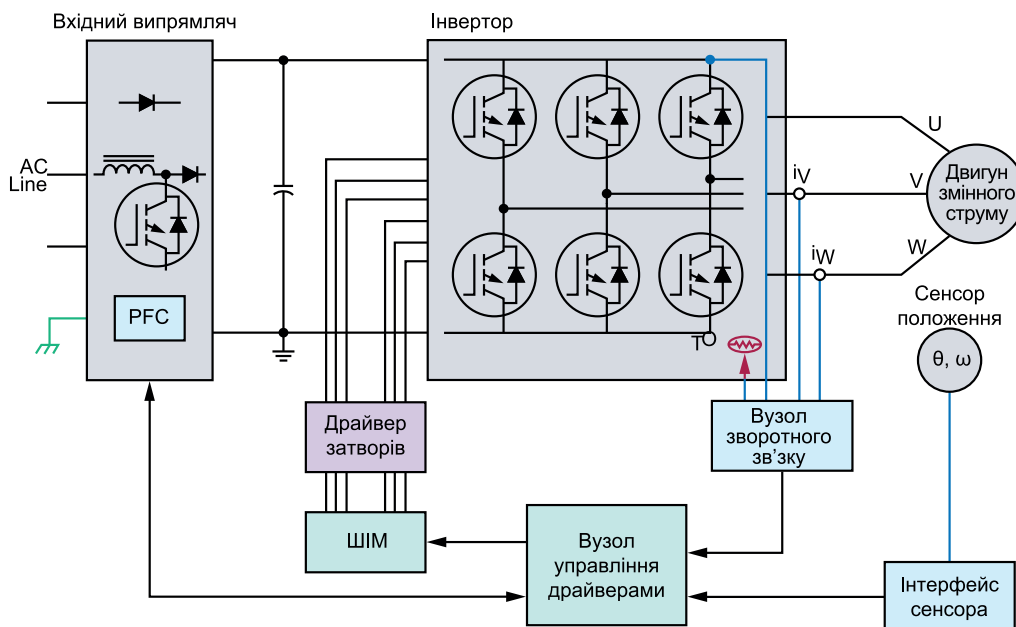


Рис. 1. Система управління електродвигуном з замкнутим зворотним зв'язком

імпульсної модуляції в інверторі. У стійкому стані або динамічних умовах, що повільно змінюються, таке рішення буде працювати досить добре, і багато приводів електродвигунів у застосуваннях з невисокою продуктивністю використовують управління швидкістю без зворотного зв'язку та без енкодера. Однак цей підхід має кілька недоліків, а саме:

- точність управління швидкістю електродвигуна обмежена через відсутність зворотного зв'язку
- низький ККД електродвигуна, оскільки управління струмом не може бути оптимізовано
- перехідна характеристика повинна бути обмежена, щоб електродвигун не втратив синхронізацію.

Енкодер у системі зі зворотним зв'язком відстежує швидкість і положення обертового валу електродвигуна. Оптичні та магнітні енкодери є найбільш широко використовуваними, як показано на рис. 2. У сервоприводах загального призначення енкодери використовуються для вимірювання положення валу, на основі якого визначається швидкість обертання приводу. У робототехніці та системах управління потрібне точне та повторюване положення валу. Оптичні енкодери складаються зі скляного диска з тонкими літографічними прорізами. Фотодіодні датчики виявляють зміну світла, коли воно проходить через диск або відбивається від нього.

Аналоговий сигнал з виходу фотодатчика посилюється та оцифровується, а потім передається на контролер інвертора. Магнітні енкодери складаються з магнітів, закріплених на валу електродвигуна. З виходу магнітного датчика знімаються синусоїдальний і косинусоїдальний аналогові сигнали, які посилюються та оцифровуються. Сигнальні ланцюги оптичного та магнітного датчиків наведені на рис. 2.

Однооборотні енкодери вимірюють абсолютне положення валу електродвигуна в межах 360° після включення живлення. Положення валу двигуна можна визначити одразу. Багатооборотні енкодери включають підрахунок кількості оборотів на 360° . Інкрементні енкодери вимірюють положення щодо початкової точки обертання валу електродвигуна. Роздільна здатність енкодера – це максимальна кількість положень, які можна визначити за один оберт валу двигуна в діапазоні 360° . Як правило, енкодери з найвищою роздільною здатністю використовують оптичну технологію, а енкодери з середньою роздільною здатністю використовують магнітні датчики. Резольвери (перетворювачі обертання) або датчики Холла використовуються в енкодерах з низькою і середньою роздільною здатністю. Більшість оптичних енкодерів є інкрементними. Повторюваність енкодера є ключовим показником того, наскільки точно

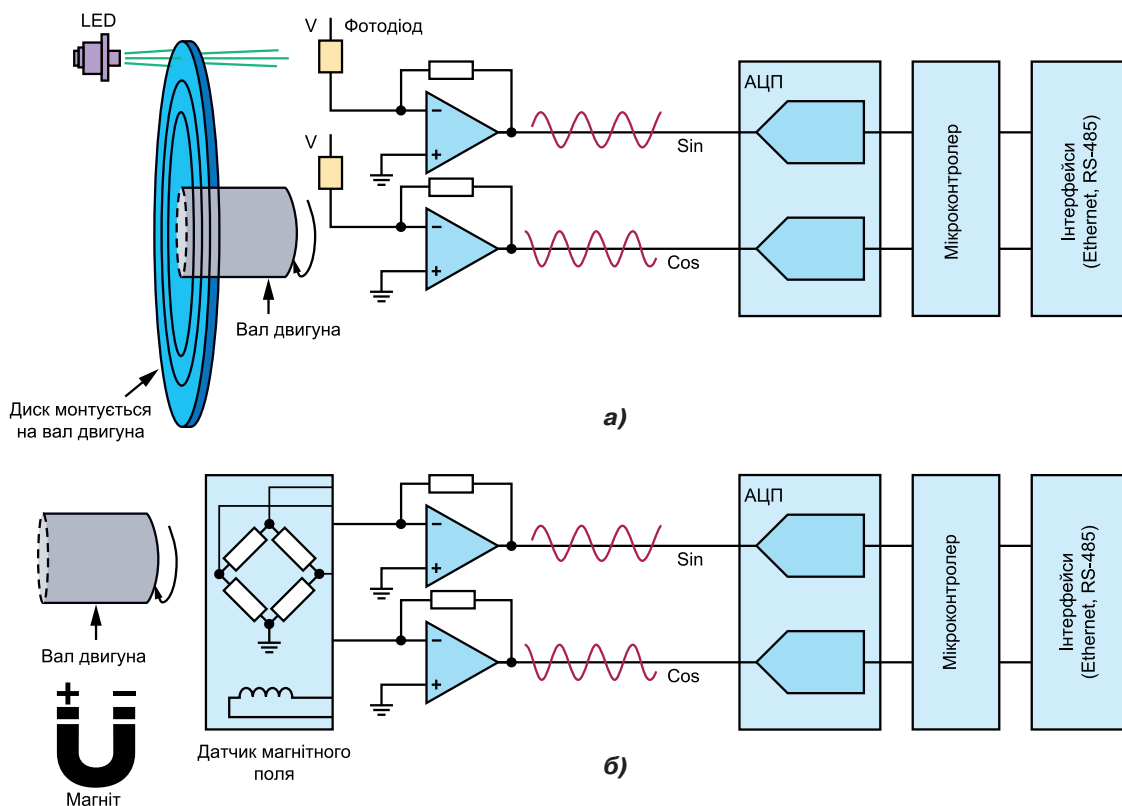


Рис. 2. Оптичний (а) та магнітний (б) енкодери

енкодер повертається в те ж саме задане положення. Це має вирішальне значення для роботів або обладнання для установки електронних компонентів при автоматичному складанні друкованих плат. На рис. 3 наведені порівняльні дані інкрементного та абсолютного еncoderів. В табл. 1 наведені ключові параметри еncoderів для різних застосувань.

На рис. 4 наведено приклад використання енко-

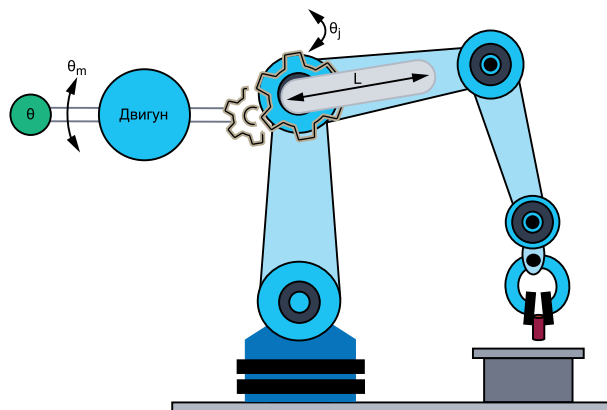


Рис. 4. Кутова повторюваність енкодера електродвигуна θ_m і енкодера на руці робота-маніпулятора θ_j з досяжністю у просторі L

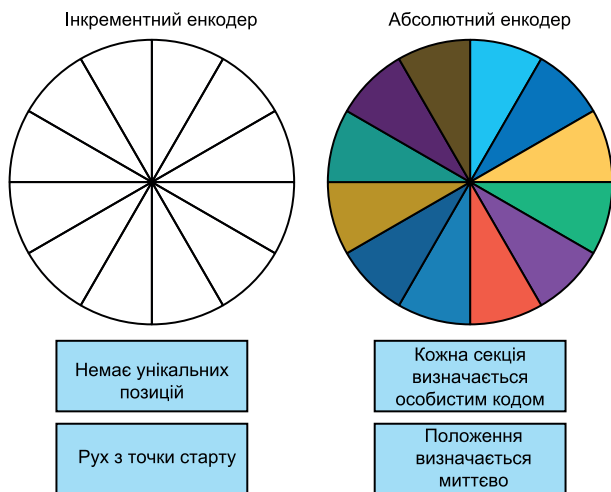


Рис. 3. Порівняльні дані інкрементного та абсолютного енкодерів

дера в робототехніці. Електродвигуни надають руху кожному зчленуванню (суглобу) робота-маніпулятора через прецизійні редуктори швидкості. Кути з'єднання робота вимірюються за допомогою прецизійного датчика кута повороту валу, де θ_m – кутова повторюваність повороту валу, і, як правило, додаткового датчика, встановленого на руці робота-маніпулятора, де θ_j – кутова повторюваність зчленування робота-маніпулятора. Для таких роботів повторюваність є одним із основних параметрів. Порядком цієї

Таблиця 2. Повторюваність енкодерів роботів і робота- системи у цілому

Робот-система	Робот 1	Робот 2
Відношення редуктора	100	100
Повторюваність	± 0.05 мм	± 0.01 мм
Досяжність	1.30 м	1.10 м
Повторюваність енкодера в системі з редуктором	0.0022°	0.0005°
Повторюваність окремого енкодера	0.00022° (~20 біт)	0.00005° (~22 біти)

величможе бути в субміліметровому діапазоні. Знаючи характеристики повторюваності, можна обчислити необхідні характеристики поворотного енкодера.

Таблиця 1. Основні параметри енкодерів

Параметр	Визначення параметру	Значення параметру
Роздільна здатність	Число відліків за одне обертання на 360°	Висока роздільна здатність від 16 до 24 біт Середня роздільна здатність від 13 до 18 біт Низька роздільна здатність < 12 біт
Абсолютна точність	Різниця між дійсною та виміряною позицією за одне обертання	Контроль положення за заданою абсолютною точністю
Диференційна точність	Різниця між двома сусідніми відліками – реальними та ідеальними	Контроль швидкості за диференційною точністю
Повторюваність	Точність повертання енкодера в те ж саме задане положення	Повторюваність є ключовим параметром для роботів, медичних автоматів тощо

Для енодера електродвигуна повторюваність визначається передатним числом редуктора G. Наприклад, у робототехнічних системах, наведених у табл. 2, для енодера зчленувань (суглобів) потрібні характеристики повторюваності з роздільною здатністю від 20 до 22 біт, а для енодера електродвигуна необхідна роздільна здатність від 14 до 16 біт.

Роботи для захоплення та розміщення деталей зазвичай використовуються для автоматизації в різних галузях, включаючи мікроелектронну промисловість. Для ефективності процесу автоматизації потрібен робот з високою точністю та повторюваністю виконання операцій. Точність, відтворюваність та ефективність досягаються за допомогою високопродуктивних прецизійних енодерів електродвигунів. Окремий енодер повинен мати більш високу точність, ніж система в цілому, оскільки для забезпечення досяжності у просторі робот може мати кілька суглобів руки-маніпулятора.

Дослідження, виконані фірмою Rockwell1 у галузі сервоприводів, енодерів та їх комунікаційних портів, показують щорічне зростання трансіверів для зворотного зв'язку на 20%. Приймачі Single-Pair Ethernet, що підтримують обмін даними зі швидкістю 100 Мбіт/с по двох проводах відповідно до вимог стандарту IEEE 802.3dg 100BASE-T1L, в даний час знаходяться на стадії вивчення, а майбутні інтерфейси приводів кодувальників матимуть перевагу за рахунок малої затримки – трохи більше ніж 1.5 мкс. Це сприятиме зменшенню затримок у контурі керування.

Моніторинг стану роботів і машин, що обертаються (Condition-based monitoring – CbM), таких як турбіни, вентилятори, насоси і електродвигуни, дозволяє записувати дані про продуктивність цього обладнання в режимі реального часу, що дає можливість оптимізувати його профілактичне обслуговування. Цілеспрямоване профілактичне обслуговування на ранніх етапах життєвого циклу такого обладнання знижує ризик простою виробництва, що призводить до підвищення надійності, значної економії коштів та збільшення продуктивності виробництва загалом. Використання акселерометрів, наприклад, типу MEMS, розміщених безпосередньо в енодері, забезпечує вібраційний зворотний зв'язок для машин, де контроль якості має вирішальне значення. У деяких застосуваннях, таких як верстати з ЧПУ, дані про вібрації, одержувані від енодера та передані на сервопривід, можуть використовувати-

ся для оптимізації продуктивності системи в режимі реального часу.

Замість оптичних енодерів можна використовувати магнітні, робота яких досить надійна у місцях з підвищеною вологістю, забрудненням та пилом, тобто в умовах, коли оптичні енодери мають велику похибку.

Для роботів та інших обертальними механізмів положення механічної системи має бути відоме навіть у разі втрати живлення. Одна з основних втрат ефективності пов'язана із втратою живлення. Вона призводить до тривалого простою обладнання у зв'язку з необхідністю переміщення системи в початковий стан та ініціалізації робота після раптового відключення живлення. У цьому випадку може бути використана магнітна пам'ять, яка не потребує живлення для запису числа обертів зовнішнього магнітного поля і знижує час простою.

Енодери електродвигунів, що застосовуються в роботах і коботах, використовують АЦП з точністю від 16 до 18 біт, а в деяких випадках і 22-розрядні АЦП. Для прецизійних оптичних енодерів положення необхідні високоточні АЦП з роздільною здатністю до 24 біт.

В цій статті ми зупинились на основних перевагах використання енодерів при експлуатації електродвигунів. Сигнальні ланцюги сучасних енодерів будуть розглянуті у наступному номері журналу EKIC.

ВИСНОВКИ

На сьогодні у світовій промисловості використовується не менше 420 мільйонів електродвигунів різної потужності. За 2022 рік кількість електродвигунів промисловості збільшилася ще на 50 мільйонів. Електродвигуни колишніх поколінь є основними споживачами електроенергії у промисловості – щонайменше 70%. Використання електродвигунів нового покоління з швидкістю обертання, що регулюється за допомогою енодерів, дозволить суттєво знизити споживання електроенергії промислових підприємств, як мінімум на 10-15%. Поки що в промисловості застосовується не більше 30% електродвигунів нового покоління. Тому одним із основних напрямків зниження світових енерговитрат є оснащення підприємств електродвигунами нового покоління з енодерами у зворотному зв'язку ланцюга управління.

СИСТЕМА РОЗ'ЄМІВ TE CONNECTIVITY LUMAWISE ENDURANCE

TE CONNECTIVITY – LUMAWISE ENDURANCE S CONNECTOR SYSTEM

У статті наведена коротка інформація про роз'єми серії LUMAWISE Endurance S компанії TE Connectivity, призначених для застосування в системах зовнішнього та вуличного освітлення. Роз'єми забезпечують герметичне з'єднання і не потребують спеціалізованих інструментів та забезпечують можливість підключення однією рукою.

В. Макаренко

Abstract – The article provides brief information about TE Connectivity's LUMAWISE Endurance S series connectors, designed for use in outdoor and street lighting systems. The connectors provide a hermetic connection and do not require specialized tools and allow one-handed connection.

V. Makarenko

Система роз'ємів TE Connectivity (TE) LUMAWISE Endurance – це повний набір продуктів для підключення датчиків освітленості та мережевих елементів керування освітленням у вуличних ліхтарях і місцевому освітленні [1, 2].

Система LUMAWISE Endurance S включає розетку, встановлену на вуличному або місцевому освітлювальній приладі, а також кілька штепселів, кришок і куполів, які разом утворюють міцний корпус для підключення сенсорних модулів і мережевих елементів керування освітленням. Розетка в зборі, штепсель та кришка у зборі забезпечують герметичне з'єднання і високу надійність.

Компактна конструкція стійка до ультрафіолетового випромінювання та має клас захисту IP66. Роз'єм можна встановити зверху, знизу або збоку від світильника.

Гніздо має два дроти на контакт. Це спрощує підключення та економію витрат на світильники з двовузловою архітектурою.

Оригінальні роз'єми вуличного освітлення Endurance S Zhaga Book 18 підтримують контрольовані світильники для освітлення вулиць і прибудинкових територій, що відповідають вимогам Book 18.

Роз'єми LUMAWISE ENDURANCE S (рис. 1) були розроблені як автономна система і можуть використовуватись як допоміжний модуль датчиків, коли потрібна додаткова функціональність в освітлювальних пристроях. Встановлення роз'ємів легке та швидке шляхом натискання та повороту однією рукою без використання спеціальних інструментів.

Особливості роз'ємів вуличного освітлення Endurance S:

- невеликі габаритні розміри дозволяють більш гнучку конструкцію світильників



Рис. 1. Роз'єми LUMAWISE Endurance S

- ущільнення IP66 без кріпильних гвинтів
- функція простого вставлення та обертання для блокування без інструментів
- встановлення однією рукою дозволяє легко і швидко оновлювати світильники
- високий рівень захисту від ударів – рейтинг IK09
- гнучке монтажне положення, встановлюється зверху, збоку або знизу
- розширене рішення дозволяє використовувати елементи керування з однаковим інтерфейсом підключення Ø40 і Ø80 мм
- конструкція контакту Poke-in зменшує проблеми з підключенням світильників з різною довжиною проводів
- подовжує термін служби в суворих зовнішніх умовах завдяки використанню матеріалів стійких до ультрафіолетового випромінювання та ефективній герметизації.

Роз'єми Endurance S застосовуються в системах

зовнішнього світлодіодного освітлення, для освітлення автостоянок, вокзалів, вулиць та шосе, інших громадських місць та в елементах керування освітленням.

Основні характеристики роз'ємів вуличного освітлення Endurance S:

- напруга та струм через контакти 250 В/5 А
- напруга пробою діелектрика 10 кВ
- 4-полюсні контакти
- кріплення різьбове М20×1.5
- висота над корпусом світильника 10 мм
- ступінь захисту IP65 і IP66
- розетка Ø30 мм
- довжина різьби 18.5 мм
- відповідає рейтингу захисту від ударів IK09
- кришки виконані з полікарбонату
- за оцінками ультрафіолетового індексу UL UV-f1 придатні для зовнішнього використання
- відповідає вимогам стандартів безпеки та випробувань IEC61984 та UL773.

Компоненти роз'єма LUMAWISE Endurance S діаметром 80 мм наведені на рис. 2.

На рис. 3 наведені зовнішній вигляд та номери для замовлення роз'ємів LUMAWISE Endurance S діаметром 40 мм. На рис. 4 наведені роз'єми LUMAWISE Endurance S діаметром 80 мм та додаткові аксесуари до них.

Більш детальну інформацію про роз'єми LUMAWISE Endurance S можна знайти в [1].

ЛІТЕРАТУРА

1. <https://www.te.com/usa-en/search.html?q=LUMAWISE%2BEndurance%2BS&source=header>
2. <https://static.chipdip.ru/lib/217/DOC012217005.pdf>



80 мм (ключ типу А)

1-2343404-1

LUMAWISE Endurance S
штепсель Ø80 мм з вентиляційним отвором

Плоска поверхня
для розміщення
етикетки.

Додатковий вентиляційний отвір
забезпечує оптимізацію тиску
всередині герметичного модуля
управління. Вентиляційний отвір
також допомагає мінімізувати утворення
конденсату через дифузію пари.

Ключ штепселя суміщується
з еквівалентним ключем розетки
для вірного підключення.

Рис. 2. Роз'єми LUMAWISE Endurance S **Рис. 4. Роз'єм LUMAWISE Endurance S діаметром 80 мм**

		Номер для замовлення	Опис	Колір	Висота
Штепсельна розетка та уплотнювач		2213858-1	Гніздо (включає ущільнювальне кільце, шайбу та гайку)	-	-
		2213795-1 2213795- 2	Ущільнювальний ковпачок	Темносірий Світлосірий	-
40 мм Штепсель та кришки		2213837-1	Штепсель	-	-
		2329013-1	Кришка	Димчастий Сірий	Мала 24.25 мм
		1-2329013-1	Кришка	Прозорий	Мала 24.25 мм
		2329013-2	Кришка	Димчастий Сірий	Велика (39.25 мм)
		1-2329013-2	Кришка	Прозорий	Велика (39.25 мм)



2329013-2
LUMAWISE Endurance S кришка,
колір димчастий, висока, Ø40 мм

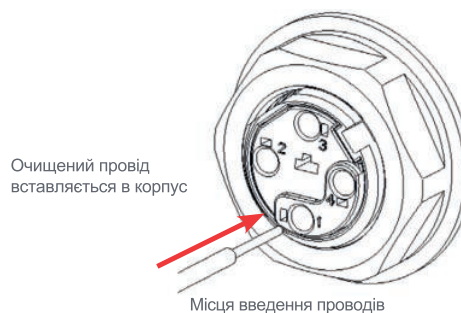


2213837-1
LUMAWISE Endurance S, штепсель,
Ø40 мм



2213858-1
LUMAWISE Endurance S
штепсельна розетка

Штепсельна розетка



Конт.	Коло
1	+24 В живлення
2	Негативний полюс для протоколу Dali або протоколу Dali та спільного заземлення для джерела живлення 24 В
3	Позитивний полюс для протоколу Dali
4	Загальний цифровий вхід/вихід (більше 7 В)

Рис. 2. Зовнішній вигляд та номери для замовлення роз'ємів LUMAWISE Endurance S діаметром 40 мм

		Номер для замовлення	Опис	Колір	Висота
80 мм штепсель та кришки		2213831-3	Штепсель	-	-
		2213831-2	Штепсель з вентиляційним отвором	-	-
		2328823-1	Кришка	Димчастий сірий	Низька (33.43 мм)
		1-2328823-1	Кришка	Прозорий	Низька (33.43 мм)
		2328823-2	Кришка	Димчастий сірий	Середня (43.43 мм)
		1-2328823-2	Кришка	Прозорий	Середня (43.43 мм)
		2328823-3	Кришка	Димчастий сірий	Висока (58.43 мм)
		1-2328823-3	Кришка	Прозорий	Середня (43.43 мм)
Додаткові аксесуари		1-2337216-1	Кільце	Чорний	-
		1-2337216-2	Кільце	Світлосірий	-
		1-2337216-3	Кільце	Темносірий	-



Додаткове кільце фізично закриває проміжок між модулем керування і освітлювальні прилади, що підвищують естетику та додатково захищають від проникнення води, пилу та комах.

Рис. 3. Зовнішній вигляд та номери для замовлення роз'ємів LUMAWISE Endurance S діаметром 80 мм та додаткові аксесуари до них



Датчики TE Connectivity для систем промышленного Интернета вещей

Датчики выпускаются в разных форм-факторах и обеспечивают высокую точность и надежность измерений в экстремальных условиях, при высоких температурах, при влиянии масла, броду та пилу

Датчики:

- положення
- вологості повітря
- контролю температури
- швидкості потоку повітря
- тиску і контролю рівня води
- п'єзорезистивні тензодатчики сили і маси
- п'єзоелектричні і емнісні датчики вібрацій
- систем опалення, вентиляції, кондиціонування і охолодження.



<https://www.te.com>



VD MAIS – офіційний дистриб'ютор компанії TE Connectivity в Україні
тел.: (044) 201-0202, info@vdmαιs.ua, www.vdmαιs.ua

ЯК ЗМЕНШИТИ РІВЕНЬ ПУЛЬСАЦІЙ В ДЖЕРЕЛАХ ЖИВЛЕННЯ ЗІ СТРИБКОПОДІБНОЮ ЗМІНОЮ СТРУМУ НАВАНТАЖЕННЯ

HOW TO REDUCE THE LEVEL OF PULSATIONS IN POWER SOURCES WITH A JUMP-LIKE CHANGE IN THE LOAD CURRENT

У статті наведені результати моделювання DC/DC-перетворювачів при їх роботі на навантаження, що змінюється стрибком. Показано, що використання перетворювачів з частотою комутації ключів декілька мегагерць дозволяє трохи знизити рівень пульсацій викликаних зміною опору навантаження. За результатами моделювання зроблено висновок про необхідність використання на виході LDO-регулятори для зменшення рівня пульсацій.

V. Makarenko

Abstract - In the article, modeling of DC/DC converters during their operation on a load that changes with a jump is carried out. It is shown that the use of converters with a key switching frequency of several megahertz makes it possible to slightly reduce the level of pulsations caused by a change in load resistance. According to the simulation results, a conclusion was made about the need to use LDO-regulators at the output to reduce the level of pulsations.

V. Makarenko

Блоки обробки сигналів в системи на кристалі (SoC) зазвичай характеризуються різкими змінами струму навантаження, під час яких виникають перехідні процеси в джерелах живлення, цих пристроїв. Ці перехідні процеси можуть привести до збоїв у колах живлення що в свою чергу може привести до збоїв роботи синтезаторів частоти в системах безпроводового зв'язку. Під час перехідного процесу може змінюватись частота сигналу синтезаторів на основі системи ФАПЧ.

Таким чином, є зростаюча потреба мінімізувати вплив струму навантаження на перехідний процес джерел живлення для покращення продуктивності системного рівня для будь-якої радіочастотної системи SoC.

Одним із найпростіших методів досягнення швидких перехідних процесів у шинах живлення є вибір регуляторів, які мають малий час перехідних процесів. Як правило, час перехідного процесу тісно пов'язаний з частотою комутації силових ключів DC/DC-перетворювачів. При збільшенні частоти комутації час перехідного процесу зменшується, оскільки всі кола управління перетворювачем мають більш широку смугу пропускання.

На рис. 1 показані типові перехідні процеси імпульсного джерела живлення при стрибкоподібній зміні струму споживання в системах 5G з використанням RFSoc [1]. Різка зміна струму навантажен-

ня відбувається при роботі пристроїв в дуплексному режимі в системах з частотним поділом каналів (при включенні та виключенні режиму передавання). Оскільки для стабільної роботи синтезатора, а особливо генератора, керованого напругою, необхідно забезпечити не тільки стабільну напругу живлення, а і низький рівень шуму та завад в колах живлення.

Автор статті [1] рекомендує використовувати DC/DC-перетворювачі LT8625SP які можна використовувати для живлення двох критичних груп навантажень 1 В від однієї IC шляхом розділення кіл динамічного та статичного навантажень за допомогою другого фільтра нижніх частот, що складається з котушки L2 та конденсаторів C3, C4 (рис. 1). Він вказує що при динамічному перехідному навантаженні від 4 А до 6 А напруга живлення повертається до номінального значення за 5 мкс і зміна напруги не перевищує 0.8% від номінального значення. Він також вказує на те, що збільшення частоти комутації ключів дозволяє зменшити пульсації напруги при динамічній зміні струму навантаження. Це відбувається ще і завдяки тому, що кола керування такого перетворювача мають широку смугу пропускання і дозволяють прискорити процес відновлення вихідної напруги.

Спробуємо перевірити ці положення при використанні іншого перетворювача, скориставшись цими рекомендаціями. На рис. 2 наведена модель

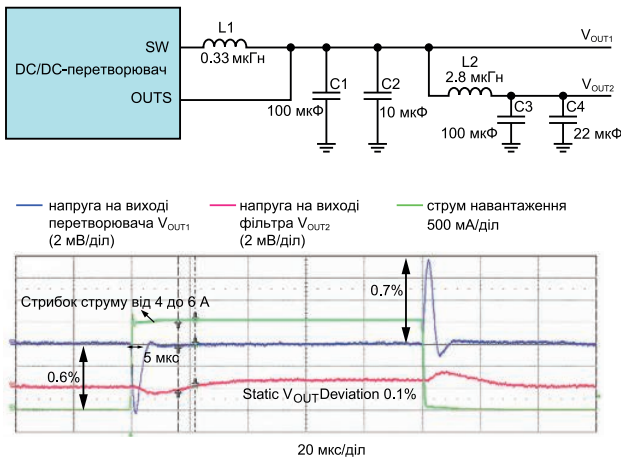


Рис. 1. Перехідні процеси на виході DC/DC-перетворювача LT8625 при стрибкоподібній зміні струму навантаження від 4 до 6 А

DC/DC-перетворювача на базі ІМС LT8636 [2] з максимальною частотою комутації ключів 3 МГц і струмом навантаження до 7 А. Тобто такий перетворювач достатньо високочастотний для проведення дослідів.

Для моделювання використана рекомендована виробником схема включення ІМС LT8636 з вихідною напругою 5 В і струмом навантаження 5 А. Для стрибкоподібної зміни навантаження використову-

ється ключ SW, керований напругою. Тривалість імпульсу керування ключем, формуемого генератором V2, дорівнює 100 мкс, а період слідування імпульсів – 200 мкс. На рис. 3 наведена форма вихідного сигналу DC/DC-перетворювача LT8636 при частоті комутації ключів 1 МГц та 3 МГц. Частота комутації змінюється при зміні опорного резистора R1.

Як витікає з результатів дослідів, зміна частоти фактично не вплинула на величину пульсацій вихідної напруги. Отже потрібно шукати інші шляхи зменшення часу перехідного процесу та зменшення величини пульсацій при зміні струму навантаження. Спробуємо збільшити ємність C5 в колі зворотного зв'язку (рис. 2) до 300 пФ. Результат моделювання при такому значенні ємності наведений на рис. 4.

Як витікає з рис. 4, при частоті комутації ключів 3 МГц рівень пульсацій на 0.03 В менший ніж при частоті 1 МГц. Загалом збільшення ємності в колі зворотного зв'язку призвело до зменшення рівня пульсацій приблизно у 3 рази. Але збільшення ємності цього конденсатора призводить до збільшення часу перехідного процесу при включенні перетворювача.

Як впливає з проведених дослідів отриманий результат значно відрізняється від наведеного в [1]. Тому для більш коректного порівняння результатів використовуємо ІМС перетворювача з технологією Silent Switch LT8640 [3]. Модель такого перетворю-

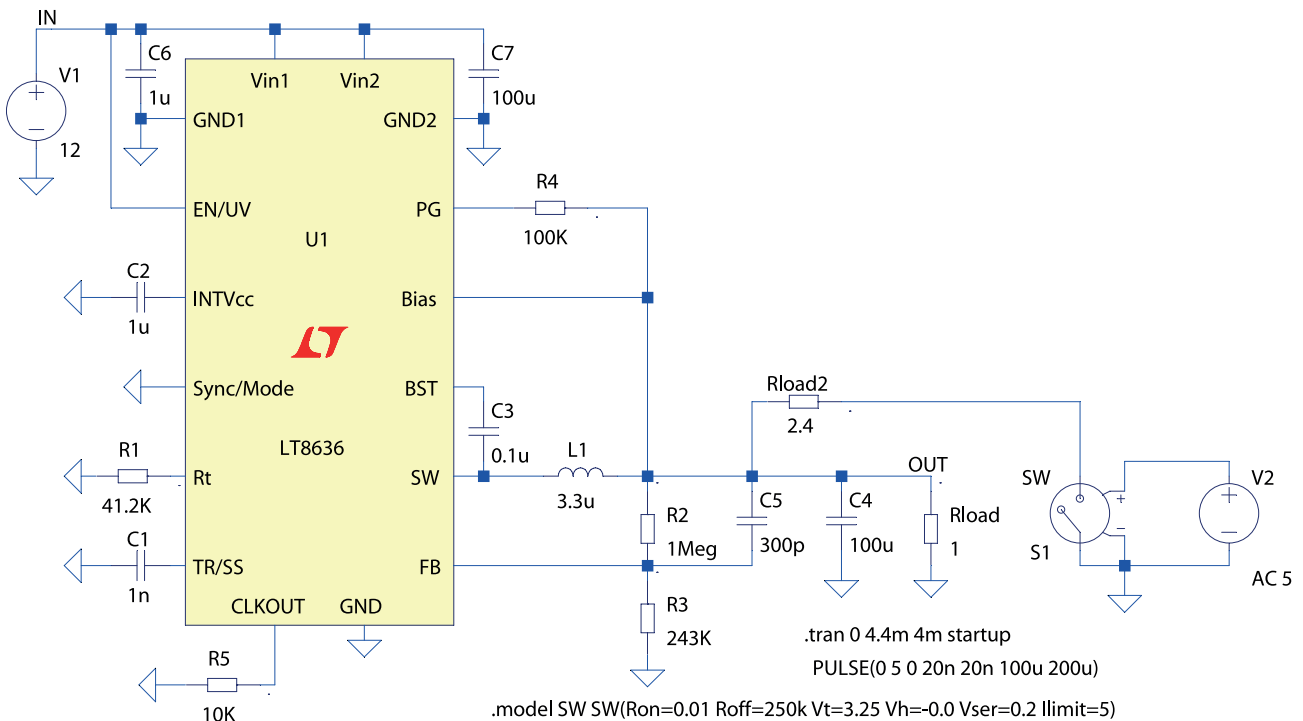


Рис. 2. Модель DC/DC-перетворювача з динамічним навантаженням

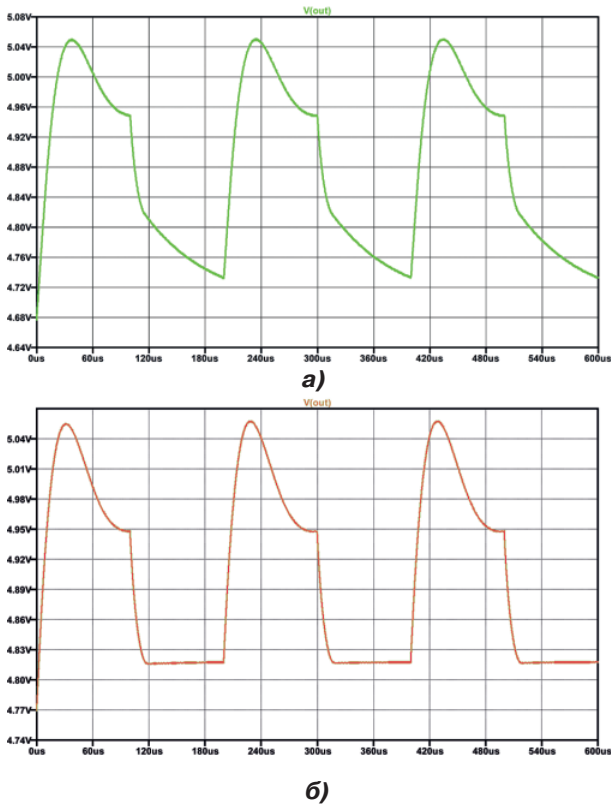


Рис. 3. Форма вихідного сигналу DC/DC-перетворювача LT8636 при частоті комутації ключів 1 МГц (а) та 3 МГц (б)

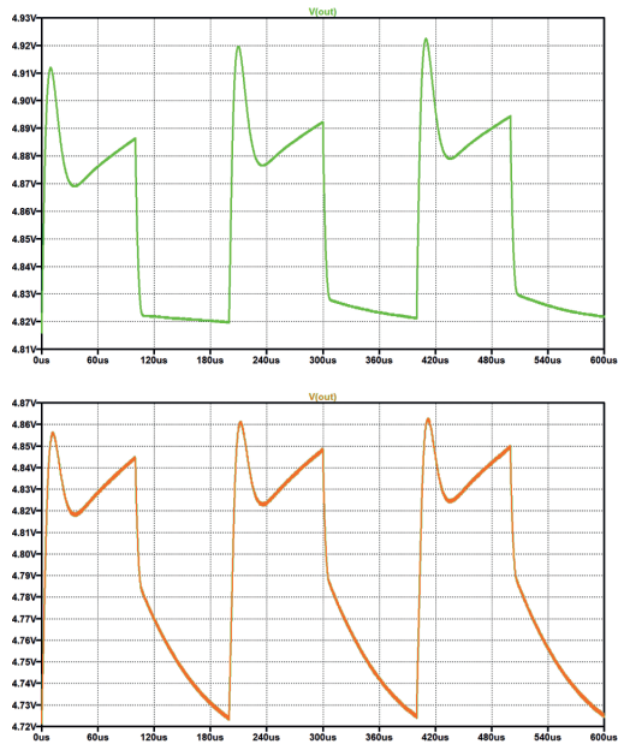


Рис. 4. Пульсації вихідної напруги при ємності конденсатора C5 рівній 300 пФ при частоті комутації ключів 1 МГц (червона крива) та 3 МГц

вача наведена на рис. 5.

Всі параметри аналогічні попередній моделі. Оезультати моделювання при двох значеннях ємності в

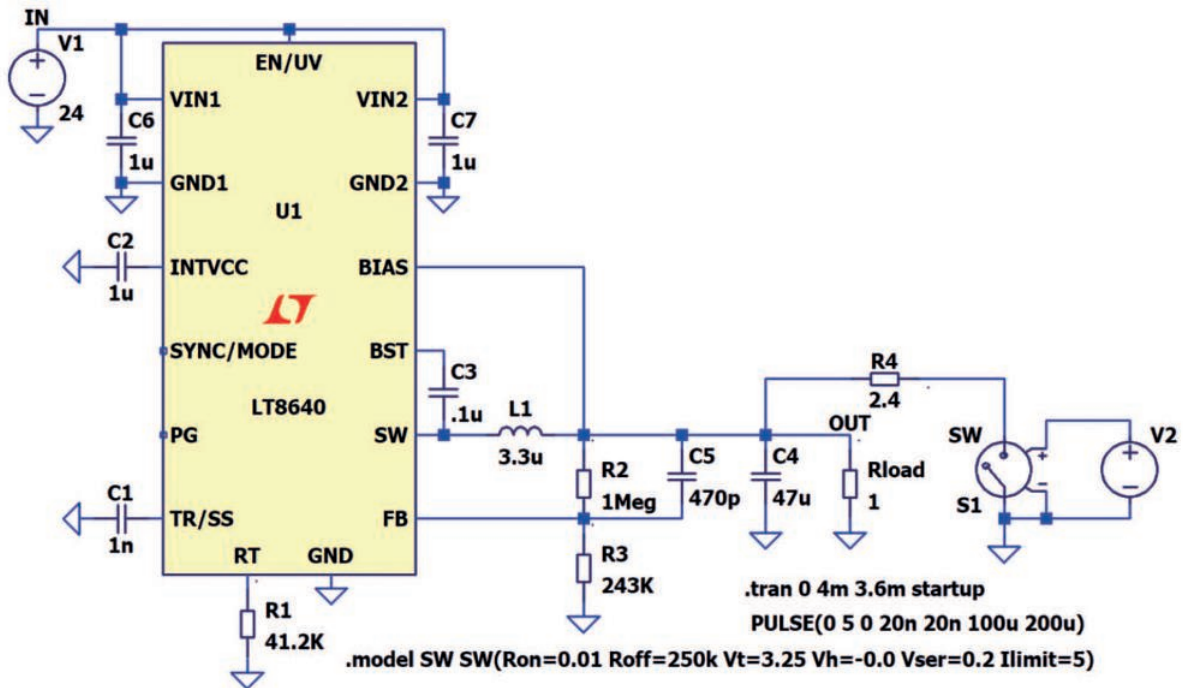


Рис. 5. Модель DC/DC-перетворювача з динамічним навантаженням на мікросхемі LT8640 Silent Switch

колі зворотного зв'язку наведені на рис. 6.

Як витікає з рис. 6 такий перетворювач нічим не

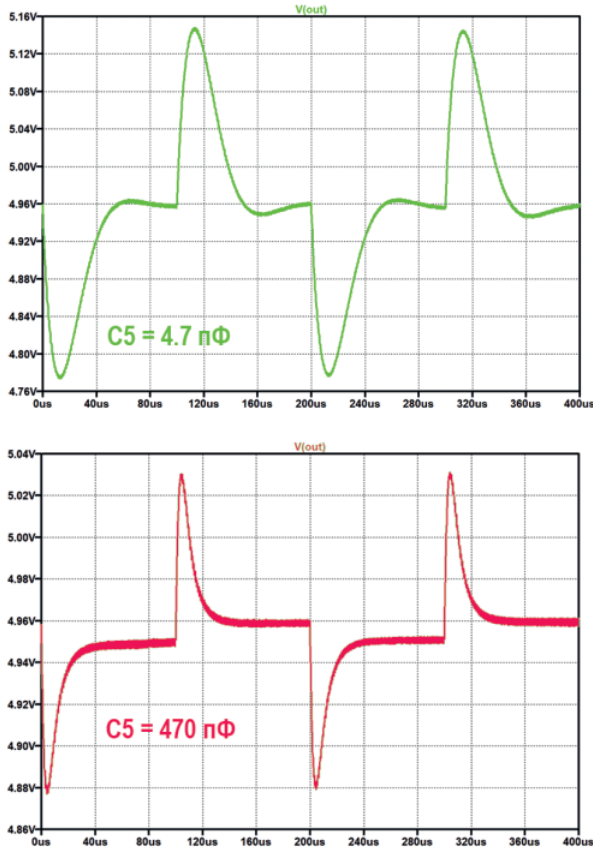


Рис. 6. Пульсації вихідної напруги при різних значеннях ємності конденсатора C5 при частоті комутації ключів 1 МГц

відрізняється від наведеного на рис. 2 і його характеристики набагато гірші від наведеного в [1] результату.

З проведених дослідів можна зробити висновок про те, що при використанні будь яких мікросхем треба перевіряти роботу таких пристроїв за допомогою моделювання або макетування. Може окремі мікросхеми і можуть формувати напругу з низьким рівнем пульсацій викликаних перехідними процесами при стрибкоподібних змінах струму навантаження. Отже майже завжди доведеться використовувати декілька LDO-регуляторів напруги на виході перетворювачів, розділяючи різні кола живлення.

На рис. 7 наведена модель в якій кола живлення розділені на дві груп і для живлення кола зі стрибкоподібною зміною струму використано LDO-регулятор LT3086 [4], який може працювати в діапазоні вхідної напруги від 1.4 до 40 В. Падіння напруги на регуляторі не перевищує 0.33 В, а максимальний вихідний струм регулюється в діапазоні від 0 до 2.1 А.

Струм на виході OUT2 стрибком змінюється на 1.55 А. Сигнали напруги на першому та другому виходах та струм через резистор R4 наведені на рис. 8.

Проведений дослід показав що напруга пульсацій на першому виході не перевищує ± 30 мВ, а на другому – ± 90 мВ. Тобто напруга пульсацій кіл живлення з постійним струмом стала у декілька разів менша ніж без використання LDO-регулятора.

ЛІТЕРАТУРА

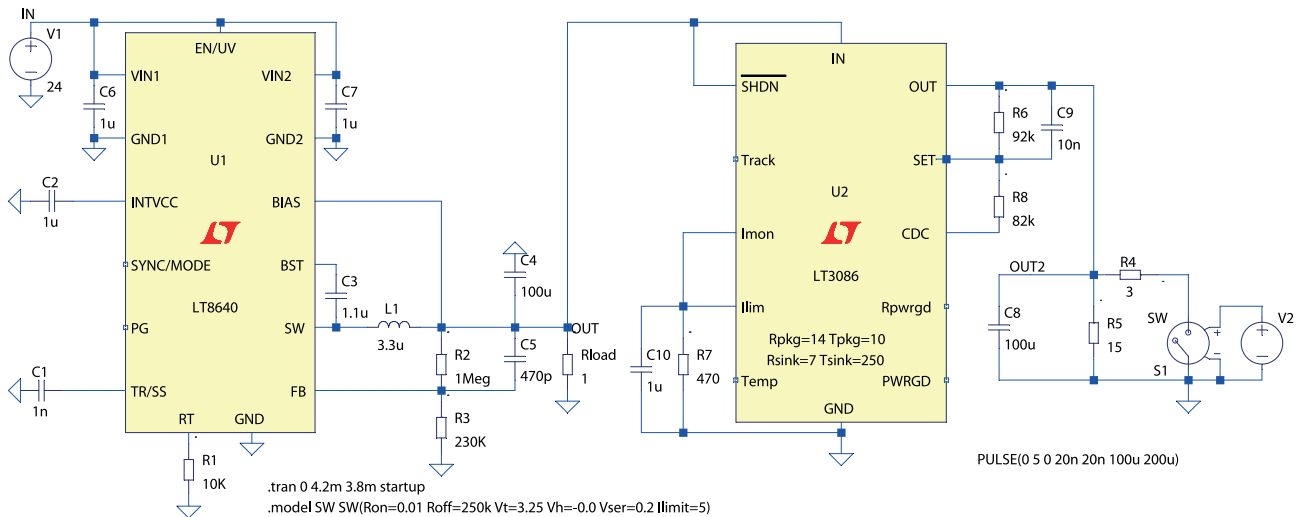


Рис. 7. Модель перетворювача з використанням LDO-регулятора на виході для зменшення пульсацій при стрибкоподібному зміні опору навантаження

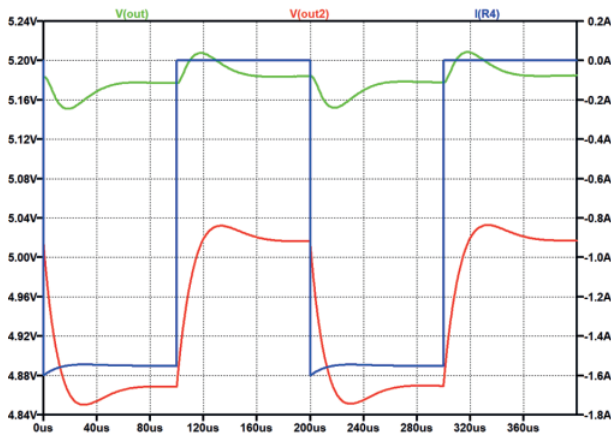


Рис. 8. Сигнали напруги на першому (V_{out}) та другому (V_{out2}) виходах та струм через резистор $R4$

1. Xinyu Liang How to Achieve Ultrafast Power Supply Transient Response for RF Applications / <https://www.analog.com/en/analog-dialogue/articles/how-to-achieve-ultra-fast-power-supply-transient-response-for-rf-applications.html>

2. <https://www.analog.com/media/en/technical-documentation/data-sheets/lt8636-8637.pdf>

3. <https://www.analog.com/media/en/technical-documentation/data-sheets/lt8640a.pdf>

Імпульсні регулятори Recom серій R78xx – наіефективніша заміна лінійних стабілізаторів

RECOM

- ККД до 96%, не потребують тепловідводів
- постійний вихідний струм від 0.5 до 2 А
- вхідна напруга від 4.5 до 42 В (в залежності від моделі)
- вихідна напруга 1.2... 15 В (в залежності від моделі)
- діапазон робочих температур від -40 до 70 °C
- захист від перегріву
- захист від короткого замикання на виході
- виводи для монтажу у отвори, гнучкі та жорсткі
- виводи на торці або з вигином на 90°
- ряд моделей для поверхневого монтажу
- сумісність по виводах з лінійними стабілізаторами у корпусі TO220
- позитивна і негативна вихідна напруга

VD MAIS

ДИСТРИБ'ЮЦІЯ +
КОНТРАКТНЕ
ВИРОБНИЦТВО

VD MAIS – офіційний дистриб'ютор компанії Recom в Україні
тел.: (044) 201-0202, info@vdmals.ua, www.vdmals.ua

ВИКОРИСТАННЯ БПЛА ТА ОСОБЛИВОСТІ ПОБУДОВИ СИСТЕМ ПРОТИДІЇ ДРОНАМ

THE USE OF UAVS AND FEATURES OF THE CONSTRUCTION OF ANTI-DRONE SYSTEMS

У статті наведений короткий огляд про області використання БПЛА та особливості побудови систем протидії дронам.

Abstract – The article provides a brief overview of the areas of use of UAVs and the features of building anti-drone systems.

В. Макаренко

V. Makarenko



Враховуючи різні практичні та потенційні застосування та мету використання безпілотних літальних апаратів (БПЛА) для військових і невійськових цілей, розглянемо особливості використання таких апаратів та протидії їх зловмисним діям.

Протягом останніх 30 років БПЛА та засоби протидії їх зловмисним діям швидко розвивались і їх вдосконалення продовжується і на цей час. Зараз ми можемо спостерігати в реальному житті різні випадки використання БПЛА широко відомих як дрони. До БПЛА відносяться у тому числі дистанційно пілотовані літальні апарати, керовані оператором на землі і дрони, які можуть літати автономно.

Застосування БПЛА варіюється від дронів для розваг до комерційних і військових застосувань, включаючи хобі, ігри з дронами, зйомки фільмів для відпочинку і експлуатації БПЛА для військового призначення. У [1] наведені дані федерального управління авіації (FAA), за якими у США у 2020 р. зареєстровано 1 692 700 дронів (приблизно 29% для комерційних цілей і 71% для відпочинку).

Промисловість комерційних БПЛА у тандемі зі зростаючими потребами ринку показала стрімке зростання. Очевидно, що БПЛА розглядаються як важливий інструмент для розширення комерційних ринків і використовуються в різних галузях:

- у сільському господарстві при посіві, для наглядом за станом рослин, для перехресного запилення та обпилення культур
- для доставки та/або збору невеликих вантажів
- у будівельній галузі для будівельно-вимірвальних робіт
- в індустрії ІТ-технологій для розширення охоплення послугами територій та встановлення аварійних мереж
- в екології для моніторингу забруднення повітря, пожежогасіння та рятувальних робіт.

Стрімке зростання аварій і злочинів, пов'язаних з використанням БПЛА, вимушує розглянути БПЛА під іншим кутом, враховуючи можливість того, що вони можуть загрожувати безпеці або виконувати протиправні дії. Наприклад, квадрокоптер DJI для розваг

випадково розбився на південній галявині Білого Дому у 2015 р. Приблизно через півтора року японським протестувальникам проти використання ядерної енергії вдалося посадити дрон, позначений радіоактивним знаком, на даху офісу прем'єр-міністра Японії. Дрон був з контейнером, наповненим радіоактивним піском з атомної станції Фукусіма. Інші приклади такого використання дронів можна знайти в [1].

Щоб пом'якшити такі тривожні наслідки, викликані БПЛА, уряди різних держав встановлюють обмеження на максимальну робочу швидкість і висоту, розташування, поведінку та діапазони частот зв'язку. Однак, оскільки чинне законодавство пасивно контролює роботу БПЛА, воно не гарантує конфіденційності та безпеки від некерованих БПЛА, наприклад, тих, у яких виникають ненавмисні збої в роботі через втрату зв'язку оператором, і БПЛА незаконних зловмисників, які намагаються атакувати громадські або військові об'єкти. Відповідно до стрімкого розвитку технологій БПЛА, результуюча загроза від некерованих БПЛА неминуха. Таким чином, для захисту особистої конфіденційності, комерційних, громадських і військових об'єктів і територій від некерованих і воєнних БПЛА, тобто зловмисних БПЛА, необхідна система протидії БПЛА (CUS – counter UAV system), також відома як система протидії безпілотникам.

У порівнянні зі звичайними літальними апаратами, БПЛА загалом мають унікальні характеристики. Наприклад, БПЛА є безпілотними, недорогими/доступними, літають на малих висотах з малою швидкістю та мають обмежене корисне навантаження. Таким чином, БПЛА потрібно вивчати окремо від існуючих досліджень щодо захисту звичайних літаків. Глибокі та широкомасштабні дослідження CUS, однак, відсутні, і поточні дослідження були проведені та охоплюють лише частину CUS. Платформи CUS класифікують відповідно до мобільності та зони експлуатації.

Деякі системи виявлення та класифікації БПЛА:

- за допомогою радара
- EO/ІЧ – електроннооптичні/інфрачервоні види-мого, короткого, середнього та довгохвильового діапазонів
- радіочастотні
- акустичні.

Використання БПЛА

БПЛА використовуються в різних військових операціях, таких як розвідка, спостереження, захоплення цілей, бойові дії та зв'язок. БПЛА, оснащені де-

кількома сенсорами, наприклад, EO/ІЧ та акустичними сенсорами, можуть виконувати важливі задачі з розвідки та спостереження. Використовуючи численні сенсори на БПЛА, можна збирати корисну інформацію під час спостереження, виявлення цілі та розвідки, а потім її можна обробити для створення кращих бойових планів.

Використовуючи сучасні комунікаційні технології, кілька дронів можуть співпрацювати для виконання військових задач, наприклад відеорозвідки. Використання відносно малого форм-фактору міні-БПЛА в порівнянні з великими літальними апаратами дає змогу формувати радіолокаційні та комунікаційні завади. Крім того, безпілотний бойовий літальний апарат середнього розміру (UCAV – Unmanned Combat Aerial Vehicle) або бойовий дрон можуть нести авіаційні боеприпаси, такі як ракети та/або бомби, і можуть використовуватися для ударів по різних цілях. Для ефективної атаки необхідна достатня точність виявлення та ідентифікації місцезнаходження цілі, тобто захоплення цілі. Малий БПЛА також можна використовувати для виявлення та знищення мін. Крім того, БПЛА, який працює як базова станція (BS – Base Station) або ретранслятор, може збільшити зону покриття зв'язку на полі бою, де BS недоступна, таким чином, що стає можливим екстрений і короткочасний зв'язок.

Цивільні та некомерційні застосування БПЛА охоплюють широку сферу, від державних послуг до наукових досліджень.

Використання БПЛА для моніторингу навколишнього середовища

БПЛА може літати та зависати навколо важкодоступних або небезпечних місць, де моніторинг необхідний для безпеки, комфорту та наукових цілей. Наприклад, державні установи та елементи громадської інфраструктури, що охоплюють велику територію, людині складно повністю контролювати за допомогою стаціонарної камери або патрулювання. БПЛА можуть контролювати всю територію з неба або певну точку під час польоту в цій точці, тобто вони можуть покривати цільову територію без сліпих та/або закритих зон. БПЛА можуть здійснювати патрулювання для моніторингу та виявлення випадків самозаймання за відносно низьку вартість. Вони також можуть бути застосовані для моніторингу в реальному часі рівнів щільності транспортних засобів для збору інформації про дорожній рух. Звичайні стаціонарні камери спостереження можуть контролювати лише частину дороги. Хоча гелікоптери з камерами можуть знімати проїжджу частину набагато

краще, вартість їх експлуатації надзвичайно висока. БПЛА можуть вирішити такі проблеми з мобільністю та експлуатаційними витратами, а також збирати корисну інформацію, наприклад маршрути об'їзду, щоб водії могли уникнути заторів або аварій. Крім того, моніторинг БПЛА також можна використовувати в наукових цілях, наприклад, для вимірювання забруднення повітря і для моніторингу стану діючих вулканів.

Використання БПЛА для надання допомоги

Іншими важливими громадськими застосуваннями БПЛА є надання допомоги. Громіздкі вертольоти та пожежні машини, не можуть легко дістатися до охопленої пожежею будівлі в міських районах через різноманітні завади та рух транспорту. Крім того, пожежникам можуть навіть не дозволити увійти в будівлю через високу ймовірність фатального обвалу. У такій екстремній ситуації БПЛА може стати порятунком завдяки своїм невеликим розмірам і мобільності, що дозволяє йому легко проникати в такі будівлі, швидко досліджувати ситуацію і повідомляти про обставини всередині. БПЛА, оснащений можливістю розпилення води, також може гасити пожежі в критичних точках, таких як газові резервуари та точки займання, негайно без прямого контролю людини.

БПЛА також може виконувати рятувальні місії, повідомляючи про місця аварій та заспокоюючи жертв після їх виявлення. Фумігатор БПЛА для боротьби з пандеміями та епідеміями є ще однією важливою діяльністю БПЛА. Наприклад, на початку 2020 року в Південній Кореї були задіяні дрони-фумігатори, щоб запобігти поширенню захворювань, наприклад, таких як коронавірус (COVID-19). Дрони-фумігатори розпилюють дезінфікуючі речовини на величезну територію за короткий час, вимагаючи найменшої кількості робочої сили. Крім того, дезінфікуючі засоби, що розпилюються за допомогою БПЛА, можуть легко окурити сліпі плями, до яких зазвичай важко дістатися людським рукам. Використання дронів-фумігаторів для запобігання епідеміям є суперечливим, оскільки ефективність цієї стратегії залежить від типу вірусу та того, чи може інфекція поширюватися повітряним шляхом, однак дрони-фумігатори будуть розвиватися й широко використовуватися завдяки їхнім потенційним перевагам у цій галузі.

Використання БПЛА для комерційних цілей

Різні галузі промисловості, від великих компаній до невеликих стартапів, використовують переваги БПЛА для збільшення прибутку. Хоча комерційне і

промислове використання БПЛА є відносно новим у порівнянні з військовим використанням, існує широкий спектр цивільно-комерційних застосувань.

У сільському господарстві щоб підвищити врожайність, БПЛА можуть допомогти фермерам виконати різні задачі, такі як аналіз ґрунту, моніторинг росту культур, перехресне запилення, зрошення, оцінка стану здоров'я та пиління посівів. Тут важливою технологією, яка дозволяє виконувати багато сільськогосподарських завдань БПЛА, є здатність БПЛА фіксувати зміни за допомогою сенсорів EO/IC та LiDAR. Крім того, для моніторингу рівня вологості та температури потрібні різні сенсори, такі як гіперспектральні, мультиспектральні або термосенсори.

БПЛА вже почали використовувати в будівельній галузі, зменшуючи людські зусилля а також помилки, пов'язані з традиційними будівельними завданнями. Наприклад, БПЛА можуть досліджувати землю з точки зору дронів, стежити за безпекою робітників, захищати будівельні майданчики від крадіжок або вандалізму, перевіряти численні небезпеки та загрози безпеці за допомогою тривимірного (3D) картографування та надавати відеоматеріали щоб полегшити спостереження. У таких випадках, поряд із здатністю зондування, яка є основною технологією сільськогосподарських БПЛА, слід підкреслити можливість зв'язку з низькою затримкою як важливу технологію, яка забезпечує переваги БПЛА на будівельних майданчиках. Зв'язок із дуже низькою затримкою важливий для будівельних БПЛА, щоб запобігти нещасним випадкам на будівельних майданчиках. З цією метою до цих БПЛА можна застосувати технологію 5G/beyond 5G (B5G). Розглядаючи БПЛА як корисний інструмент у будівництві, БПЛА візьмуть на себе ще більш комплексні та складні завдання, пов'язані з великими проектами в майбутньому.

Зараз у суспільстві легко знайти такі сфери, як кінотовиробництво, фотографія, перегони та комерційна реклама. Залежно від типу програми задіяно багато ключових технологій. Зйомка відео та фотографій за допомогою БПЛА потребує стабілізаційної технології для отримання чіткого знімка. Крім того, політ і керування БПЛА під час перегонів останнім часом стали різновидом кіберспорту. Пілот керує БПЛА, спостерігаючи за записом з камери, встановленої на БПЛА, а сигнал надсилається на окуляри або монітор, який носить пілот. Для цього потрібні ефективні технології обробки зображень і зв'язку для безперебійного та високоякісного потокового відео (зазвичай на частоті 2.4 або 5.8 ГГц). Подібно до традиційних змагань у лабіринтах роботів, гонка

БПЛА може служити для оцінки та перевірки алгоритму навчання для визначення оптимальних шляхів у небі. Для цілей відпочинку пілоти БПЛА повинні знати і дотримуватися правил і дотримуватися елементарної ввічливості, щоб забезпечити громадську безпеку та конфіденційність.

Одним із найбільш перспективних застосувань комерційних БПЛА є надання IT-послуг, де БПЛА працює, наприклад, як базова станція для підвищення якості IT-послуги.

Нормативні документи щодо використання БПЛА

Як було зазначено вище, впроваджено чи зрештою буде впроваджено багато застосувань БПЛА, які мають великі переваги. Однак кількість різноманітних інцидентів, що супроводжуються збільшенням послуг і технологій з використанням БПЛА, також збільшиться. Щоб запобігти небажаним інцидентам, спричиненим БПЛА, у багатьох країнах були встановлені правила щодо комерційних БПЛА. Деталі цих правил відрізняються від країни до країни. Наприклад, ліцензія пілота є обов'язковою для експлуатації в деяких країнах, наприклад, США, Китаї та Великобританії. У Південній Кореї та Австралії ліцензія пілота потрібна, лише якщо вага дрона перевищує встановлений стандарт. Авіаційні органи 132 країн світу також створили правила. Незважаючи на те, що нормативні акти значно відрізняються в різних країнах, їхня спільна мета полягає в запобіганні небажаним інцидентам, що виникають під час роботи БПЛА, і їх можна класифікувати на правила, що стосуються операторів, і ті, що впливають на роботу

Робота операторів БПЛА в багатьох країнах регулюється законами своїх країн. Зокрема, ліцензія пілота та страховка потрібні в певних умовах або в усіх випадках у деяких країнах, наприклад в Австралії, де ліцензія пілота потрібна, якщо вага БПЛА перевищує два кілограми. Подібним чином у США ліцензія пілота є обов'язковою (обов'язковою для комерційних цілей), а переоцінку кваліфікації пілота слід проводити кожні два роки. Крім того, у деяких країнах необхідна підготовка пілотів для операцій за межами прямої видимості (BVLoS).

Правила роботи з БПЛА визначають певні експлуатаційні обмеження, такі як максимальні швидкості, максимальні висоти, мінімальні відстані щодо певних зон або об'єктів, схвалені зони польоту та поведінку, а також встановлені діапазони робочих частот. Більшість країн регулюють максимальну висоту та швидкість БПЛА. Також вказано мінімальну відстань до людей, транспортних засобів або пев-

них зон, наприклад військових баз. У деяких країнах під час роботи БПЛА дозволяється лише візуальна лінія видимості (VLoS) між БПЛА та оператором; тобто робота БПЛА під BVLoS не допускається, оскільки нечітка видимість може призвести до інциденту з високою ймовірністю під час експлуатації БПЛА. Однак деякі країни дозволяють роботу BVLoS, якщо БПЛА використовує функцію запобігання зіткненням. У деяких країнах необхідна реєстрація БПЛА. Під час зв'язку БПЛА канал передачі даних має бути встановлений у межах попередньо визначеного діапазону частот відповідно до певних правил.

Положення також визначають основні етичні прояви люб'язності, які не мають юридичної сили для захисту конфіденційності та безпеки, наприклад заборона польотів над приватною власністю, заборона перенесення небезпечних матеріалів і заборона скидати будь-які предмети.

Хоча правила щодо систем БПЛА були встановлені для запобігання інцидентам, вони пасивно контролюють можливе неправильне використання БПЛА і можуть бути порушені навмисно чи ненавмисно. Таким чином, слід чітко розуміти та вивчити порушення нормативних актів і відповідні наслідки, щоб розробити відповідні контрзаходи, щоб можна було зменшити загрози приватному життю та громадській безпеці, які залишаються. З цією метою порушення правил і супутні результати поділяються на три різні випадки з можливими контрзаходами та технологіями.

Аварії. Правила щодо максимальної висоти або швидкості можуть бути ненавмисно порушені через відсутність обережності або несподівані завади, такі як вітер. Якщо БПЛА летить надто далеко в середовищі BVLoS, потужність сигналів зв'язку стає недостатньою, і пілот може втратити контроль над ним. У цих випадках БПЛА може вторгнутися на приватну територію або будь-яку заборонену територію та призвести до жертв та/або пошкодження майна. Велика ймовірність, що такі аварії відбуваються, коли пілот має низьку кваліфікацію. Якщо пілот не має ліцензії або БПЛА не зареєстровано відповідною страховкою, відстежити підозрюваного також важко, і це спричиняє затримку процесу відновлення пошкоджень.

Ненасильницькі злочини. Порушуючи правила, БПЛА може бути неправильно використаний для ненасильницьких злочинів, таких як вторгнення в конфіденційність, пограбування даних і незаконні доставки. Зокрема, правопорушник міг спробувати

зібрати приватну або секретну інформацію від цивільних осіб, офіцерів або військовослужбовців, фотографуючи та підслуховуючи їх. Перевезення незаконних предметів, таких як недозволена вогнепальна зброя, вибухові речовини та наркотики, також може здійснюватися за допомогою несанкціонованого БПЛА.

Насильницькі злочини. Насильницькі злочини, тобто напади, безпосередньо загрожують безпеці людини з можливим смертельним наслідком. Насильницькі злочини тісно пов'язані з політичними та військовими проблемами, такими як тероризм, і є відносно рідкісними порівняно з випадковими та ненасильницькими злочинами. Однак у міру того, як БПЛА стають доступнішими для населення, зростає побоювання, що насильницькі злочини з їх участю зростуть.

Щоб запобігти можливій шкоді від нещасних випадків, ненасильницьких і насильницьких злочинів з використанням БПЛА, необхідні подальші чіткі та конкретні правила. Таким чином, як регіональні, так і міжнародні правила, що стосуються БПЛА, продовжують вдосконалюватися. Крім того, для безпеки та захисту майна від неправильного застосування БПЛА та для отримання переваг від їх застосувань необхідні подальші активні заходи протидії, які б ефективно виявляли та нейтралізували мБПЛА. У

статті некеровані та військові БПЛА, включаючи БПЛА вторгнення та ворожі БПЛА, називаються мБПЛА.

Якщо безпілотні літальні апарати становлять пряму загрозу, то терміни її нейтралізації системами захисту мають вирішальне значення. На рис. 1 показано, у який час потрібно вкластися для ліквідації загрози в залежності від відстані між БПЛА та об'єктом [2].

Платформи та мережі захисту

Системи захисту для запобігання небажаним інцидентам, злочинам і атакам від неправильного застосування БПЛА, тобто мБПЛА, у [1] називаються CUS (Counter UAV System). Така система виявляє, розпізнає, відстежує та нейтралізує мБПЛА. Крім того, CUS може локалізувати оператора мБПЛА.

Платформи CUS можна розділити на два класи – наземні і повітряні, як показано на рис. 2.

Наземна та повітряна платформи складаються з CUS, які працюють на землі та в повітрі, відповідно. Наземні платформи можна далі класифікувати на стаціонарні наземні, мобільні наземні та керовані людиною (тобто портативні та переносні) платформи відповідно до рівня мобільності. Залежно від робочої висоти повітряні платформи також можна додатково класифікувати на дві платформи: низьковисотні платформи (LAP) і висотні платформи (HAP).

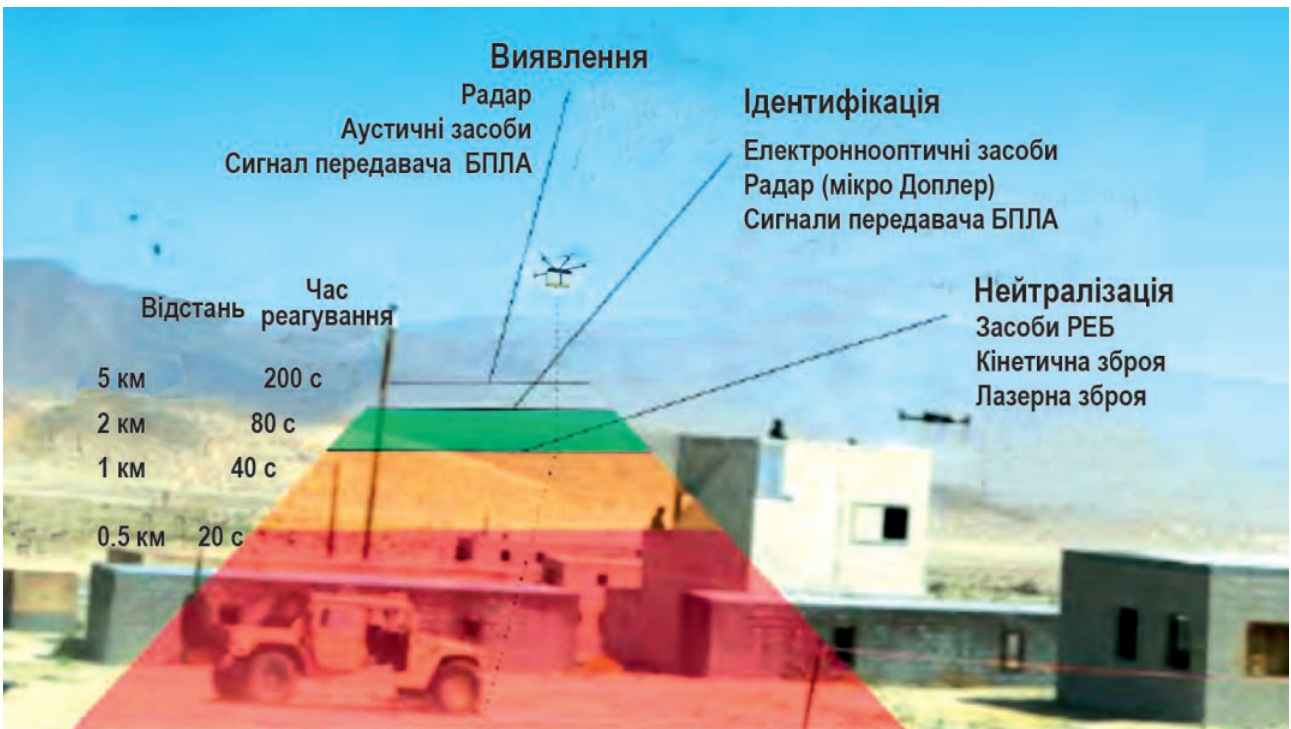


Рис. 1. Залежність часу для ліквідації загрози від відстані між БПЛА та об'єктом

Інтегровані платформи, що складаються з наземних і повітряних платформ, які працюють як на землі, так і в повітрі, називаються гібридними платформами.

Кожна платформа може бути належним чином використана в CUS з урахуванням їхніх переваг і недоліків і залежно від конкретних вимог кожної програми. Крім того, кілька платформ можуть бути розгорнуті одночасно та можуть співпрацювати через мережу CUS. Мережа має бути сумісною, щоб вона могла координувати декілька платформ. Наприклад, стаціонарна наземна платформа, оснащена радаром, два LAP, оснащені сенсором EO, і мобільна наземна платформа, що забезпечує радіочастотні завади, можуть спільно функціонувати як єдина мережа CUS.

Мережа CUS може максимізувати ефективність захисту, доповнюючи обмеження кожної платформи. Крім того, мережа CUS може включати будь-які типи платформ, наприклад, гібридну платформу, яка є специфічною реалізацією мережі CUS.

Наземна платформа

За способом експлуатації наземні платформи поділяються на стаціонарні наземні, мобільні наземні та платформи, що керуються людиною. Стаціонарні наземні платформи зазвичай складні, тому їх розгортають і експлуатують у фіксованому місці. З іншого боку, мобільні наземні платформи, як правило, монтуються на транспортних засобах, якими можна керувати в русі або в фіксованому місці. Платформи, що керуються людиною, повинні бути компактними та легкими, щоб їх носила людина.

Варто зазначити, що, слідуючи характеристикам платформ CUS, можна сформулювати теоретико-ігрову проблему між МБПЛА та CUS. CUS намагається обмежити та стримати МБПЛА, тоді як МБПЛА намагається виконати свою місію. БПЛА можуть намагатися знайти шлях, який не є найкоротшим, але найбільш придатним для виконання зловмисних місій, передбачаючи відповідь CUS. З іншого боку, CUS також може передбачати зловмисну поведінку МБПЛА

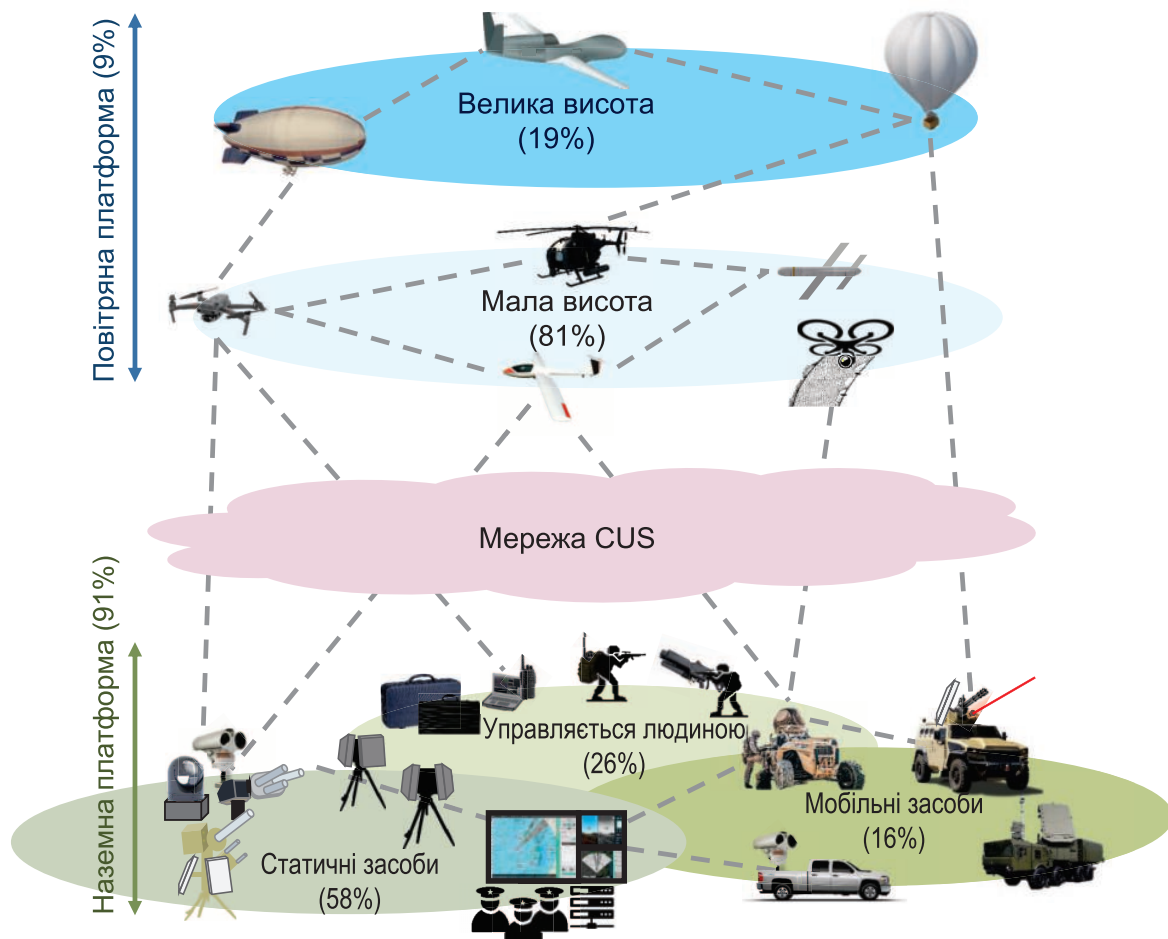


Рис. 2. Наземна та повітряна платформи CUS

та розробляти ефективні стратегії захисту. У роботі [3] інтерактивні ситуації критичного часу досліджувалися на основі теорії ігор. Тут МБПЛА намагається мінімізувати час виконання зловмисної місії, тоді як платформа CUS протистоїть цьому, щоб спробувати максимізувати час виконання зловмисної місії МБПЛА. У цій грі стратегії захисту повинні бути ретельно розроблені з урахуванням обмеження мобільності літальних апаратів.

Стаціонарні наземні платформи

Стаціонарні наземні платформи CUS складають більшість усіх платформ (приблизно 54%) і призначені для розгортання на стаціонарних наземних об'єктах, наприклад аеропортах, аеродромах, атомних електростанціях, нафтопереробних заводах, державних установах. Ці платформи пов'язані з меншими обмеженнями щодо розміру, ваги та потужності. Таким чином, стаціонарні наземні платформи є складними та ефективними та можуть бути оптимізовані для конкретних завдань для захисту від МБПЛА. Однак стаціонарні наземні платформи не завжди здатні справлятися з непередбачуваними загрозами з боку МБПЛА.

За даними [1] стаціонарна наземна платформа може бути обладнана лише системою сенсорів (приблизно 43%), системою протидії (приблизно 25%), або обома системами (приблизно 31%). Приблизно 60% сенсорних систем мають один сенсор, а 40% з них обладнано декількома типами сенсорів, наприклад, радаром, радіочастотними сенсорами, EO та інфрачервоними сенсорами. З іншого боку, приблизно 34% систем використовують єдиний засіб протидії, а 66% з них мають декілька, таких як радіочастотні та GNSS завади.

Важливо відзначити, що інтегровані платформи, обладнані як системами сенсорів, так і системами протидії, вимагають надійного зв'язку між системами. Таким чином, стаціонарні наземні платформи можна віднести до інтегрованих платформ.

Мобільні наземні платформи

Мобільні наземні платформи CUS, що становлять приблизно 14%, встановлені на наземних транспортних засобах, і їх можна швидко розгорнути, використовуючи рухливість транспортних засобів на землі. Мобільні наземні платформи підходять для використання на полі бою. Однак, порівняно зі стаціонарними наземними платформами, мобільні наземні платформи мають менші можливості ніж стаціонарні системи. Крім того, на використання мобільної наземної платформи впливають можливості транспортних засобів.

Як показано на рис. 3, серед усіх мобільних наземних платформ приблизно 49% мають як системи зондування, так і системи протидії, приблизно 25% використовують лише систему зондування, а решта 25% мають лише систему протидії. Порівняно зі стаціонарними наземними платформами, 31% з яких мають як системи сенсорів, так і системи протидії, можна зробити висновок, що окрема мобільна наземна платформа ефективно працює в інтегрованій системі CUS для успішної протидії.

Платформи, що керуються людиною

На платформи, що керуються людиною, припадає приблизно 22% CUS. Вони призначені для керування окремою особою вручну. Більшість платформ, які збираються людиною, із сенсорними системами нагадують рюкзак або портфель, тоді як платформи із системами протидії нагадують гвинтівки. Однак продуктивність платформ, що керуються людиною, обмежена. Це пов'язано з обмеженими можливостями виявлення, відстеження та націлювання, а також залежать від кваліфікації оператора. Крім того, більшість таких платформ мають лише системи протидії (приблизно 81%) без системи виявлення і вимірювання (рис. 3).

Повітряні платформи

Повітряні платформи – це системи, встановлені на БПЛА, наприклад на дирижаблях, повітряних ку-

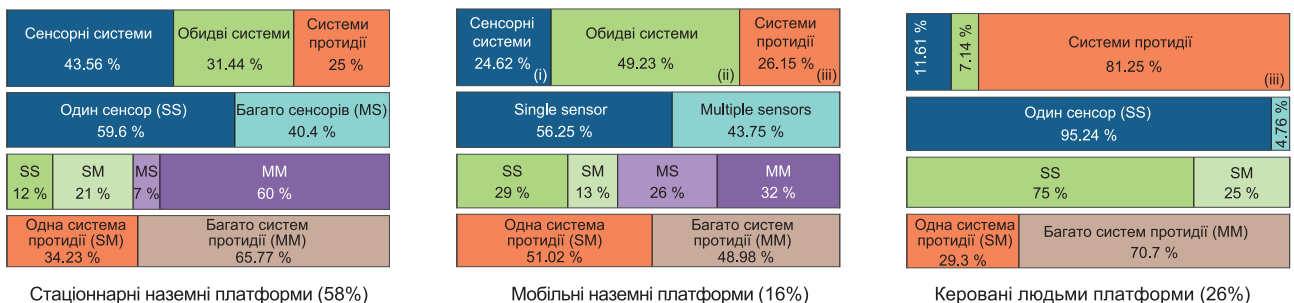


Рис. 3. Особливості наземних платформ різних типів

лях, літаках і вертольотах. Завдяки їх маневреності в повітрі можливе швидке розміщення елементів платформи у потрібних місцях.

Ці платформи не обмежуються традиційними місіями, наприклад, розвідкою та атаками, а також можуть бути використані для таких цілей, як створення завод і ретрансляції радіосигналів для збільшення дальності зв'язку.

З іншого боку, повітряні платформи мають критичні обмеження порівняно з наземними платформами. Обмежені корисне навантаження та заряд батареї, призводять до того що вони можуть нести лише легкі та малопотужні системи виявлення та протидії. Крім того, повітряні платформи вимагають безпроводових каналів зв'язку. Ці вимоги роблять повітряні платформи більш складними порівняно з наземними.

Низьковисотні та високовисотні платформи

Низьковисотні БПЛА (нБПЛА) можуть літати та зависати на малих висотах до декількох кілометрів, а їх розгортання є швидшим і гнучкішим, ніж висотних БПЛА (вБПЛА). Завдяки надзвичайно високій маневреності та економічності вони можуть відігравати важливу роль як частина інтегрованої CUS. Проблему обмеженої енергоємності батарей намагаються вирішувати за допомогою різних методів, наприклад, використання по черзі декількох БПЛА, швидка заміна батарей, безпроводова передача електроенергії та прив'язаний БПЛА, живлення якого може подаватись через кабель. Одночасно у прив'язаних БПЛА такий кабель використовується для надійного та безпечного зв'язку.

Більшість нБПЛА оснащені лише системою протидії. Типовим методом протидії ворожим БПЛА є використання сітки або БПЛА-камікадзе. У деяких БПЛА (незначної долі від усіх нБПЛА) використовуються електронно-оптичні або інфрачервоні сенсори виявлення цілей. Однак ефективність таких БПЛА обмежена, якщо вони не співпрацюють з іншими типами платформ.

Висотні вБПЛА літають і зависають на великих висотах (до десятків кілометрів). Вони можуть бути оснащені більшою кількістю систем, таких як системи зв'язку та виявлення цілей і мають значні ресурси для тривалих польотів. Завдяки великій висоті польоту вони можуть контролювати значно більші території у порівнянні з нБПЛА і передавати розвідувальні дані до інших систем протидії повітряним цілям, підтримуючи інші платформи.

Мережі CUS

Як було зазначено вище, кожна платформа має

унікальні переваги. З іншого боку, кожна платформа також має певні обмеження. Таким чином, гібридна платформа, яка складається з наземних і повітряних систем, може розглядатися як більш досконала і дозволяє нівелювати недоліки окремих платформ.

Якщо різноманітні платформи об'єднати у єдину мережу, то можливості інтегрованої системи визначаються не тільки продуктивністю окремої платформи, але й властивостями всієї мережі. Такі мережі поділяються на централізовані та децентралізовані, як показано на рис. 4.

У децентралізованій мережі системи керування розподілені на кількох платформах, як показано на рис. 4,б та 4,в. Кожна платформа в мережі спільно обчислює та приймає рішення. Децентралізовані мережі можна розділити на два різновиди, децентралізовані однорідні мережі (всі компоненти системи однакові і виконують однакові функції) та децентралізовані гетерогенні мережі (складаються з кількох типів платформ).

Сенсорні системи

Системи сенсорів можуть збирати звукові, оптичні та радіочастотні дані. Для цього використовуються сонари, акустичні ультразвукові сенсори, радары, чутливі радіоприймачі, лідари (LiDAR) та електронно-оптичні та інфрачервоні (EO/IR) сенсори.

Звукові сигнали включають інфразвукові (до 20 Гц), акустичні (від 20 Гц до 20 кГц) та ультразвукові (вище 20 кГц, до кількох гігагерць) сигнали. Звукові хвилі розповсюджуються зі швидкістю приблизно 350 м/с, що набагато нижче за швидкість розповсюдження радіохвиль та світла.

Дані сенсорів звуку можуть зробити системи виявлення більш надійними, надаючи додаткові дані разом із даними електромагнітних хвиль. Сонари (гідролокатори) працюють в активному режимі, тоді як акустичні та ультразвукові датчики працюють в пасивному режимі.

Проте гідролокатори використовуються для виявлення різних об'єктів (а також для навігації та зв'язку) під водою та не використовуються для виявлення БПЛА через особливості розповсюдження звукових хвиль в повітрі.

Мікрофони широко використовуються як акустичні датчики. Більшість БПЛА створюють звук від роботи двигунів та обертання роторів. Міні-БПЛА генерують звукові сигнали в діапазоні частот від 400 Гц до 8 кГц [1], які можуть бути виявлені акустичними датчиками. Зібрані звукові дані можна порівняти з бібліотеками акустичних сигнатур, щоб відрізнити

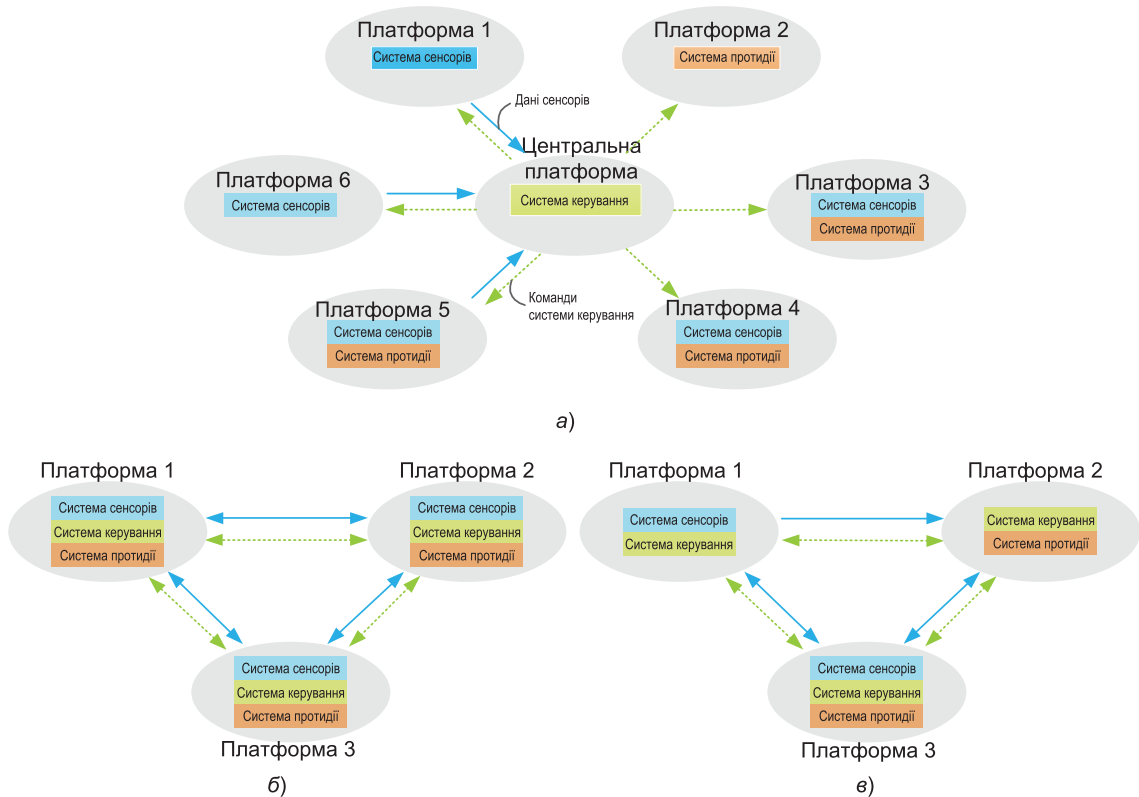


Рис. 4. Приклади централізованої (а), децентралізованої однорідної (б) та децентралізованої гетерогенної мереж

БПЛА від інших подібних об'єктів.

Компанія DroneShield створила базу даних акустичних сигнатур різних моделей БПЛА для запобігання помилкових тривог через навколишній шум. Система виявлення Alsok використовує акустичні датчики для виявлення БПЛА та порівняння виявлених даних з акустичними сигнатурами в базі даних [1].

Однак бібліотеки акустичних сигнатур не охоплюють усі типи розповсюджуваних БПЛА в різних областях. Крім того, акустичні датчики охоплюють обмежений частотний діапазон і чутливі до вітру та навколишніх джерел шуму. Щоб подолати обмеження акустичного/ультразвукового зондування та підвищити продуктивність інших типів датчиків, було вивчено різні методи та алгоритми з використанням акустичних/ультразвукових даних.

Для виявлення БПЛА можна використовувати або один мікрофон або декілька мікрофонів об'єднаних в одну конструкцію для збільшення дальності виявлення БПЛА. Найбільш ефективно працюють мікрофонні решітки побудовані за принципом ФАР (фазованих антенних решіток). Локалізацію та супроводження БПЛА здійснюється формуванням діаграми спрямованості такого акустичного сенсора за

допомогою сигнального процесора з сигналів окремих мікрофонів.

Радіочастотні датчики

Радіочастотні датчики вловлюють навколишні електромагнітні сигнали, які випромінюють передавачі мБПЛА та операторів, що управляють ними. БПЛА та оператори обмінюються даними та БПЛА передає телеметричну інформацію, таку як висота, позиція, термін служби батареї та відеодані.

Радіочастотні датчики широко застосовуються в різних системах завдяки своїй простоті, але вони мають ряд обмежень. Вони мають низьку надійність виявлення цілей і високу ймовірність помилкової тривоги. Оскільки радіочастотний датчик пасивний, він не надає інформацію про відстань до мБПЛА. Для виявлення БПЛА необхідне знання смуги частот спектру, що використовується, та знання типу модуляції, наприклад, розширеного спектру зі стрибками частоти, розширеного спектру прямої послідовності та мультиплексування з ортогональним частотним поділом. Тому для виявлення мБПЛА використовують сканери радіоефіру що дають змогу не тільки виявляти діапазон роботи передавача БПЛА а і тип модуляції.

Ця інформація потім використовується для ство-

рення електромагнітних завад системами РЕБ (радіоелектронної боротьби).

Радари

Для визначення дальності, кута та швидкості мБПЛА широко використовуються радари. Оскільки радари є активними засобами виявлення цілей, то вони дають змогу отримати такі дані на основі аналізу відбитого від цілі випромінювання. Діапазон частот, в яких можуть працювати радари, від 3 МГц до 300 ГГц залежить від характеру цілей, матеріалу, з якого вони виготовлені чи покриття, нанесеного на них, їх розміру, а також платформ, на яких вони розміщуються.

Однак традиційні радіолокаційні системи розроблені для виявлення пілотованих літальних апаратів з високими швидкостями та великим радіолокаційним перетином (RCS – Radar Cross-Section), непридатні для виявлення повільно рухомих і низько висотних мБПЛА з малим RCS. Щоб уникнути цієї проблеми, нещодавно використовувалися мікрорухомих вібраційних (двигунами або моторами) та обертових (пропелерами) структур БПЛА, які викликають унікальну мікродоплерівську сигнатуру (MDS) для радіолокаційного виявлення. Дослідження показали, що квадрокоптери, гексакоптери та октокоптери мають різні характеристики MDS. Радар може виявляти мБПЛА шляхом аналізу його MDS. Спільний метод частотно-часового аналізу, наприклад, швидке перетворення Фур'є, також може бути використане для аналізу радіолокаційних MDS БПЛА.

Радари з немодульованим безперервним випромінюванням (CW) дозволяють отримувати багату інформацію для боротьби з невеликими БПЛА з малим RCS, хоча вони не дозволяють отримати дані про дальність до цілі. Частотно-модульована радіолокаційна система дозволяють оцінювати дальність, а також швидкості кількох цілей одночасно. Ультраширокопосмугові (UWB) радари генерують дуже короткі імпульси, що дозволяє вимірювати відстань до цілі з високою роздільною здатністю.

Експериментальні результати показують, що MDS, спричинені міні-БПЛА та птахами, суттєво відрізняються, і було виявлено, що міні-БПЛА та птахів можна відрізнити на основі особливостей, спричинених помахами крилами птахів та унікальним MDS. Було також виявлено, що радар міліметрового діапазону може забезпечувати високоточні мікродоплерівські відлуння від міні-БПЛА від гвинтів, що дуже швидко обертаються.

ЕО/ІЧ-сенсори

Електронно-оптичні (ЕО) сенсори виявляють електромагнітні хвилі в діапазоні від інфрачервоного (300 ГГц...30 ТГц) до ультрафіолетового (більше 790 ТГц) діапазону. Як правило, сенсори ЕО працюють в діапазоні 300 ГГц...430 ТГц, щоб виявити мБПЛА в умовах денного освітлення. З іншого боку, ІЧ-сенсори, тобто тепловізійні камери, виявляють інфрачервоне випромінювання з роздільною здатністю до 0.01 °С, що випромінюються мБПЛА, і таким чином можуть виявляти цілі навіть темної пори доби.

ІЧ-камери з меншою довжиною хвилі забезпечують кращу продуктивність для захоплення швидко рухомих яскравих і малих цілей, ніж довгохвильові ІЧ-камери. Пасивні ЕО/ІЧ-датчики забезпечують лише двовимірні (2D) зображення. Відповідно, для покращення продуктивності виявлення нещодавно почали використовувати різні підходи на основі машинного навчання. Підходи на основі машинного навчання, наприклад SVM і k-NN, класифікують об'єкти на основі заздалегідь визначених ознак, тоді як підходи на основі глибокого навчання зазвичай являють собою згорточні нейронні мережі (CNN) без визначених функцій. Детальніше про використання нейронних мереж для виявлення мБПЛА можна прочитати в [1].

Лідари

Як і радар, LiDAR виявляє мБПЛА за сигналами, що повертаються після відбиття від мБПЛА. На відміну від радарів, LiDAR випромінює лазерні промені (зазвичай з діапазону частот 300...500 ТГц) для вимірювання відстані до мБПЛА і може формувати тривимірні зображення, використовуючи різницю в часі повернення променів від різних точок об'єкту. Таким чином, LiDAR дозволяє відрізнити цільовий об'єкт від складного фону.

Однак LiDAR має малий радіус дії для виявлення об'єктів, на його роботу впливають погодні явища, такі як хмари, туман, дощ, сніг, мокрий сніг і пряме сонячне світло.

Методи боротьби з БПЛА

Всі методи боротьби з БПЛА можна розділити на нефізичні та фізичні.

Нефізичні методи боротьби

Нефізичні методи боротьби використовують електромагнітні хвилі, щоб вивести з ладу, та/або знищити мБПЛА. Пристрої боротьби з мБПЛА можуть бути реалізовані різними методами, такими як електромагнітне випромінювання високої потужності, лазери та кібератаки (наприклад, радіочастотні/GNSS завади та підробка команд, атаки деаутен-

тифікації, атаки за кількома протоколами та інші). Найчастіше використовується радіочастотне/GNSS-глушіння і спуфінг. Спуфінг-атака намагається обдурити GPS-приймач завдяки формуванню більш потужного сигналу ніж сигнали від супутників. Він схожий на ряд нормальних сигналів GPS. Ці імітовані сигнали, змінені таким шляхом, щоб змусити одержувача неправильно визначати своє місце розташування, вважаючи його таким, яке призначене для атаки. Спуфінг дозволяє взяти під контроль мБПЛА і дати команду змінити напрямок і місце атаки. Для впровадження спуфінгу потрібні передові технології, які повністю визначають стеки протоколів зв'язку, послуги GNSS і вразливі місця мБПЛА.

Створення радіочастотних завад зменшує відношення сигнал/шум приймача мБПЛА та порушує його роботу і він може втратити канал дистанційного керування та може знизитися або приземлитись і не виконати свою місію.

Існує кілька схем глушіння. Пристрій формує заваду великої потужності на одній частоті (точкові завади), швидко перебудовує частоту сигналу завади (завади розгортки) або формує сигнал завади в широкому діапазоні частот (загороджувальні завади). Крім того, пристрої формування завад класифікують як активні та реактивні. Активний пристрій формує сигнали завад постійно або включається по випадковому закону у часі для економії енергії.

Оманлива завада, тип активної завади, що змушує БПЛА безперервно отримувати пакети даних (щоб він весь час залишався в режимі прийому).

Реактивний глушник передає сигнали лише тоді, коли виявляє, що у контрольованому спектрі з'явилися невідомі сигнали, тобто мБПЛА. Однак радіочастотні завади можуть бути неефективними для автономних БПЛА, які не потребують дистанційного керування, або для БПЛА, які слідуєть заздалегідь запрограмованим маршрутом через контрольні точки глобальної системи позиціонування GPS. Таким чином, глушіння GNSS необхідно для компенсації обмежень радіочастотних глушіння.

Завади GNSS заважають навігаційним системам. Оскільки сигнали GPS надходять від супутників, його потужність мала що робить його вразливим до завад. Як тільки мБПЛА втрачає сигнал GNSS, він буде зависати або приземлятися, не виконуючи свою місію. Однак глушіння GNSS може бути неефективним для мБПЛА, оснащених датчиками інерціального вимірювального блоку і зашифрованими сигналами для навігації. Тому необхідна комбі-

нація обох методів глушіння.

Важливо відзначити, що повітряні платформи можуть бути використані для ефективного формування завад при малих відстанях між БПЛА що формує завади і мБПЛА.

Фізичні методи протидії

На відміну від нефізичних, фізичні методи протидії призводять до знищення мБПЛА. Для знищення БПЛА можуть використовуватися снаряди, ракети та ударні БПЛА.

Ударні БПЛА повинні мати системи виявлення та відстеження цілей і можуть слідувати за мБПЛА і знищувати їх шляхом зіткнення з ними. Вони можуть також нести вибухівку, щоб максимізувати вплив зіткнення, і повинні мати високу швидкість для переслідування мБПЛА.

Ще одним методом нейтралізації мБПЛА є використання сіток. Мережа сіток може бути створена сітковою гарматою або за допомогою повітряних платформ. В одному дослідженні [4] було продемонстровано, що портативний БПЛА з сіткою здатний захоплювати мБПЛА. Сітки можуть бути обладнані парашутами, щоб гарантувати безпечно зниження БПЛА для аналізу та запобігання супутньому пошкодженню інших об'єктів.

Використання орлів для боротьби з БПЛА

Поліція Нідерландів і Шотландії використовує орлів для нейтралізації та лову міні-БПЛА (рис. 5 і 6). Дресування орла не потребує високих технологій. Для навчання та розведення орлів може знадобитися менше людських ресурсів, ніж для інших засобів протидії, розроблених дослідниками та інженерами в різних областях. Однак орли можуть бути легко поранені лопатями та гвинтами мБПЛА, і їхнє використання обмежується повільнішими та меншими мБПЛА відносно швидкості та розміру орлів. Крім того орли не можуть одночасно нейтралізувати декілька БПЛА.

Стрімке зростання індустрії БПЛА призводить до зростання їх сфер використання. Благонадійні користувачі БПЛА успішно скористалися перевагами різноманітних застосувань БПЛА, які варіюються від розваг до аварійно-рятувальних робіт.

Зловмисні користувачі БПЛА також широко використовують БПЛА для терору, порушення безпеки та вторгнення на захищені об'єкти. У результаті потреби ринку у протидії негативним наслідкам використання БПЛА стрімко зростають разом із зростанням індустрії БПЛА.

Очікується, що розмір комерційної індустрії БПЛА зросте, досягнувши 6,6 мільярда доларів США



Рис. 5. Мікродрон



Рис. 6. Мінідрон

у 2024 році зі зведеним річним темпом зростання 23,37% від розміру ринку в 1,2 мільярда доларів США у 2018 році [1]. Перспективи промисловості комерційних БПЛА почали ставати особливо обнадійливими, коли Джефф Безос, генеральний директор компанії Amazon у грудні 2013 року оголосила про майбутні плани Amazon запустити службу доставки дронами під назвою Amazon Prime Air. Однак приблизно в той же час стали помітні передвісники того, що комерційні БПЛА стануть використовувати для зловмисних дій. У листопаді 2013 року у в'язниці Гатіно в Квебеку був помічений дрон, який було використано для спроби контрабанди у в'язницю. Через кілька днів охоронці в'язниці штату Джорджія помітили шестироторний безпілотник, що перевозив пачки тютюну, що кружляв над територією в'язниці. Потенційні загрози від БПЛА за останні 10 років значно зросли, що підвищило потреби ринку в рі-

шеннях протидії БПЛА (рис. 7).

Детальну інформацію про компанії що виробляють БПЛА та засоби протидії ним можна знайти в [1].

ЛІТЕРАТУРА

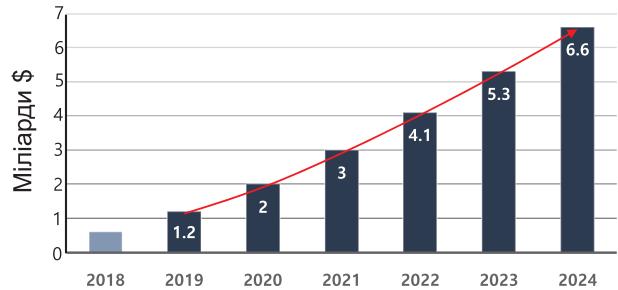


Рис. 7. Розмір ринку засобів боротьби з БПЛА та прогноз на 2023...2024 роки

1. Honggu Kang, Jington Joung, Jinyoung Kim, etc. Protect Your Sky: A Survey of Counter Unmanned Aerial Vehicle Systems. – DOI: 10.1109/ACCESS.2020.DOI

2. Detection and Classification of Small UAS for Threat Neutralization. – dsiac.org /articles/detection-and-classification-of-small-uas-for-threat-neutralization/

3. A. Sanjab, W. Saad, and T. Baësar, "A game of drones: Cyber-physical security of time-critical UAV applications with cumulative prospect theory perceptions and valuations," arXiv preprint arXiv:1902.03506, 2019.

4. OpenWorks Engineering. (2020, Apr.) Skywall. [Online]. Available: <https://openworksenineering.com/skywall-patrol/>

VD MAIS

Устаткування та матеріали для монтажу/демонтажу електронних компонентів (ЕК)

- паяльне та ремонтне обладнання
- системи очищення повітря
- пристрої трафаретного друку
- системи встановлення компонентів
- паяльні печі: конвекційного та селективного паяння, паяння хвилею
- випробувальне обладнання
- системи візуального контролю
- координатно-фрезерні верстати
- технологічні матеріали монтажу ЕК
- засоби антистатичного захисту

Дистрибуція та прямі поставки:
AIM, Bernstein, Charleswater, Electrolube, Essemtec, KIC, Kolver, LPKF, Magic Ray, Miele, Nordson, Optilia, PACE, PDT, Hanwha, Seho, TWS, Vision, Weiss

Україна, 03061 Київ, вул. М. Донця, 6
 Тел.: (0-44) 201-0202, 492-8852, факс: (0-44) 202-1110
 e-mail: info@vdmmais.ua, www.vdmmais.ua

ДАТЧИКИ ВОЛОГОСТІ ТА ТЕМПЕРАТУРИ КОМПАНІЇ TE CONNECTIVITY

TE CONNECTIVITY SENSORS FOR MEASURING HUMIDITY AND TEMPERATURE

У статті наведена коротка інформація про аналогові та цифрові датчики для вимірювання відносної вологості, а також про комбіновані датчики, що дозволяють вимірювати відносну вологість та температуру. Також наведена коротка інформація про комбіновані датчики вологості, температури та тиску, призначених для встановлення в автомобільну техніку.

В. Макаренко

Abstract – The article provides brief information about analog and digital sensors for measuring relative humidity, as well as about combined sensors that allow measuring relative humidity and temperature. Brief information on combined humidity, temperature and pressure sensors intended for installation in automotive equipment is also given..

V. Makarenko

Очікується, що ринок датчиків вологості зростатиме в середньому на 8,7% протягом прогнозованого періоду (з 2023 по 2026 рік). Датчики вологості є невід'ємною частиною систем IoT і стають все більш важливими для чутливих до вологості застосувань у таких галузях, як охорона здоров'я, виробництво продуктів харчування, напоїв та у текстильній промисловості. Правила, встановлені урядами розвинених країн, регламентують використання таких датчиків у таких галузях, як харчова промисловість, поліграфія та текстильна промисловість. Наприклад, використання цих датчиків у харчовій промисловості та виробництві напоїв необхідно, оскільки більш високий рівень вологості може вплинути на якість продуктів харчування.

Ще одним фактором, який, за прогнозами, підтримуватиме зростання ринку, є зростання впровадження безпроводових датчиків у різних додатках, таких як тепличне господарство для моніторингу клімату. Мініатюризація електронних пристроїв також є однією із значних тенденцій на світовому ринку датчиків вологості.

TE Connectivity (TE) виробляє ряд датчиків, які вимірюють відносну вологість (RH). Засновані на надійній емнісній технології ці датчики вологості забезпечують вимірювання точки роси і абсолютної вологості з точністю до 2% в діапазоні відносної вологості (RH) в діапазоні 10...95%. Ці датчики можуть використовуватися для контролю якості повітря у застосуваннях, у яких потрібна компенсація вологості.

Емнісні датчики вологості широко використовуються в сучасному промисловому обладнанні, побутовій техніці та телеметричних системах збору

метеорологічних даних.

Такі датчики конструктивно складаються з підкладки, на якій розташований полімерний тонкоплівковий або металооксидний шар між двома провідними електродами. Чутлива поверхня покрита пористим металевим електродом для захисту від забруднення та конденсату. Підкладка зазвичай виготовляється зі скла, кераміки чи кремнію. Інкрементальні зміни в діелектричній константі емнісного датчика вологості практично прямо пропорційні відносній вологості навколишнього повітря.

При коливанні вологості на 1% ємність змінюється на 0.2...0.5 пФ, а за 50% вологості (25 °C) коливання ємності можуть сягати 100...500 пФ.

Емнісні датчики вологості характеризуються низьким температурним коефіцієнтом, можливістю роботи при високих температурах (аж до 200 °C), можливістю повного відновлення від попадання конденсату і помірною стійкістю до хімічних випарів. Час відгуку датчиків становить від 30 до 60 с для кроку зміни вологості 63%.

Типовий клас точності емнісних датчиків становить $\pm 2\%$ відносної вологості в діапазоні від 5 до 95% при калібрування по двох точках. Слід враховувати, що емнісні датчики мають обмеження робочої відстані, чутливий елемент може бути розташований далеко від схеми посилення сигналу, щоб уникнути паразитних ефектів з'єднувального кабелю (рівень коливань ємності датчика не великий). Відстань має бути меншою за 3 метри. Тому датчики з інтегрованими елементами підсилення та перетворення в цифровий код значно зручніше використовувати.

Компанія TE Connectivity випускає як аналогові

так і цифрові датчики відносної вологості.

Аналоговий датчик відносної вологості HS1101LF

Датчик HS1101LF [1] призначений для вимірювання вологості великих обсягів повітря і може використовуватись в системах автоматизація офісів, управління промисловими процесами, кондиціонування повітря в салоні автомобіля та у побутовій техніці (рис. 1).



Рис. 1. Аналоговий датчик відносної вологості HS1101LF

Основні параметри датчика HS1101LF:

- висока надійність і довгострокова стабільність
- запатентована тверда полімерна структура
- малий час відгуку
- низький температурний коефіцієнт
- повна взаємозамінність без калібрування
- миттєва десатурація після тривалих періодів фази насичення
- сумісний із автоматизованим монтажем, включаючи пайку вільною хвилею Pb і процесів оплавлення
- індивідуальне маркування на відповідність вимогам простежуваності
- можна промивати дистильованою водою
- діапазон вимірювання відносної вологості 1...99%
- діапазон робочих температур від -40 до 140 °C
- напруга живлення 10 В
- номінальна ємність при температурі 25 °C 177...183 пФ
- час відновлення після 150 годин конденсації не більше 10 с
- гістерезис при вимірюванні вологості $\pm 1\%RH$
- довгострокова стабільність $\pm 0.5\%RH$ на рік
- постійна часу (при 63% вологості, нерухоме повітря) при зміні вологості від 33% до 80% від 3 до 5 с
- відхилення від типової кривої відгуку (від 10% до 90% RH) не більше $\pm 2\%RH$.

Принципова схема простого пристрою для вимірювання відносної вологості з використанням HS1101LF і виходом по частоті наведена на рис. 2.

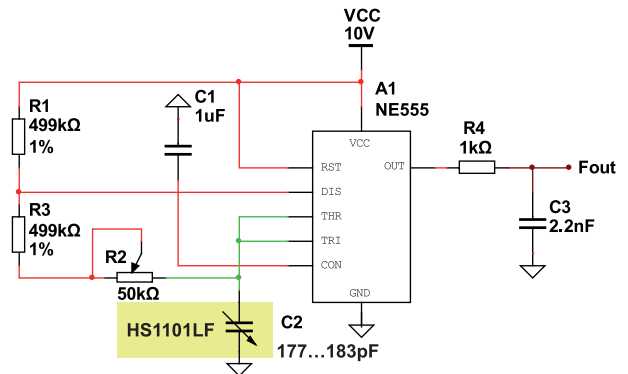


Рис. 2. Принципова схема пристрою для вимірювання відносної вологості з використанням HS1101LF і виходом по частоті

На інтегральному таймері NE555 побудовано мультивібратор частота якого обернено пропорційна ємності конденсатора датчика. Фільтр нижніх частот (ФНЧ) згладжує викиди на фронтах вихідного сигналу. Формули для розрахунку елементів мультивібратора наведені в [1].

Оскільки ємність HS1101LF доволі мала, то паразитна ємність, що утворюється проводами, може суттєво вплинути на похибку вимірювання. На рис. 3 наведені графіки залежності похибки вимірювання від паразитної ємності при вимірюванні різних рівнів вологості.

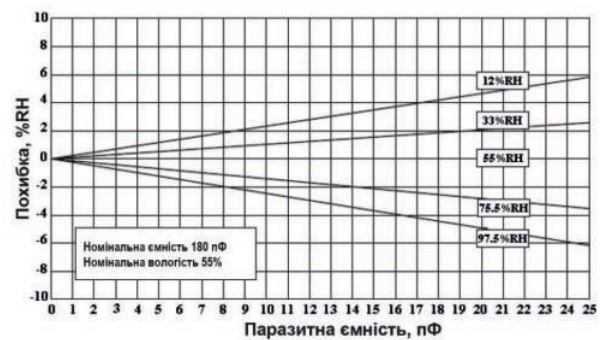


Рис. 3. Графіки залежності похибки вимірювання від паразитної ємності

З рис. 3 випливає необхідність розташування електронної частини датчика на мінімально можливій відстані від HS1101LF.

Комбінований аналоговий датчик вологості та температури HTU21P RH/T

HTU21P(F) [2] – це комбінований датчик волого-

сті та температури у корпусі DFN з габаритними розмірами розмірами 3×3×0.9 мм (рис. 4). Цей датчик формує на виході широтно-імпульсно модульований (ШИМ) сигнал з носійною частотою 120 Гц. Сигнал даних передається по лінії SDA (DATA). Зміною рівня (високий або низький) на лінії SCK здійснюється перемикавання між вимірюванням вологості (високий рівень) та температури. За секунду датчик здійснює два вимірювання. За допомогою ФНЧ ШИМ сигнал можна перетворити на напругу.

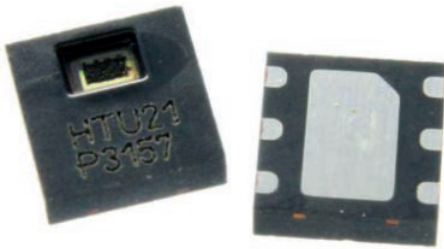


Рис. 4. Зовнішній вигляд датчика HTU21P

Додатковий фільтр/мембрана у датчику HTU21P(F) захищає датчики вологості від дії пилу та води, а також проти забруднення іншими дрібними частинками. Використання фільтру/мембрани забезпечує захист за стандартом IP67 і не впливає на час необхідний для вимірювання.

Основні характеристики датчика HTU21P(F):

- напруга живлення від 1.5 до 3.6 В
- струм споживання 5 мкА
- розсіювана потужність 15 мкВт
- частота носійного колювання ШИМ-сигналу 108...132 Гц
- температурний дрейф $-(0.07...0.12)$ Гц/°С
- дані на виході при рівні сигналу на лінії SCK:
 - відносна вологість (RH) при високому рівні
 - температура при низькому рівні
- роздільна здатність 10 біт, типове значення 0.04%RH
- діапазон вимірювання відносної вологості від 0 до 100%RH
- похибка вимірювання не більше $\pm 2\%$ RH
- температурний коефіцієнт в діапазоні температур 0... 80 °С не більше -0.15% RH/°С
- час відновлення після 150 годин конденсації не більше 10 с
- довгостроковий дрейф 0.5%RH/рік.

Схема включення датчика наведена на рис. 5.

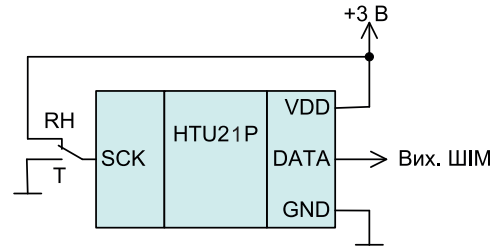


Рис. 5. Схема включення датчика HTU21P

Комбінований цифровий датчик вологості та температури HTU21D RH/T

Цифрові датчики вологості HTU21D(F) [3] – це спеціальні перетворювачі вологості та температури, призначені для OEM-додатків, де потрібні надійні та точні вимірювання. Прямий інтерфейс із мікроконтролером можливий завдяки модулю цифрових виходів. Зовнішній вигляд і габаритні розміри датчика аналогічні датчику HTU21P.

Кожен датчик індивідуально відкалібрований і протестований. Ідентифікація партії друкується на датчику, а електронний ідентифікаційний код зберігається на чіпі, який можна зчитувати за командою. Датчик автоматично виявляє зниження напруги живлення нижче припустимої величини (при роботі від батареї низький заряд батареї). Для підвищення надійності передавання даних одночасно передається контрольна сума. Роздільна здатність цих цифрових датчиків вологості може бути змінена командою від 8/12 біт до 12/14 біт для RH/T.

Як і у датчика HTU21P випускається модифікація з фільтром/мембраною HTU21D(F) який забезпечує ступінь захисту IP67.

Основні параметри датчика HTU21D при вимірюванні відносної вологості:

- цифровий інтерфейс I2C
- діапазон напруги живлення від 1.5 до 3.6 В
- струм споживання 450 мкА
- струм споживання в режимі сну не більше ніж 0.14 мкА
- розсіювана потужність не більше 0.5 мкВт в режимі сну
- розсіювана потужність не більше 1.8 мВт в активному режимі
- роздільна здатність при кількості розрядів 12 біт 0.04%RH
- роздільна здатність при кількості розрядів 8 біт 0.7%RH
- діапазон вимірювання відносної вологості від 0

до 100%RH

- похибка вимірювання вологості не більше $\pm 2\%RH$
- температурний коефіцієнт в діапазоні температур 0... 80 °C не більше $-0.15\%RH/^{\circ}C$
- гістерезис $\pm 2\%RH$
- час вимірювання відносної вологості при кількості розрядів:
 - 12 біт – не більше 16 мс (типове значення 14 мс)
 - 11 біт – не більше 8 мс (типове значення 7 мс)
 - 8 біт – не більше 3 мс (типове значення 2 мс)
- час відновлення після 150 годин конденсації не більше 10 с
- час відгуку при зміні відносної вологості від 33 до 75% не більше 10 с (типове значення 5 с).

Параметри датчика HTU21D при вимірюванні температури:

- роздільна здатність при кількості розрядів 14 біт $0.01^{\circ}C$
 - роздільна здатність при кількості розрядів 12 біт $0.04^{\circ}C$
 - похибка вимірювання температури не більше $\pm 0.3^{\circ}C$
 - час вимірювання температури при кількості розрядів:
 - 14 біт – не більше 50 мс (типове значення 44 мс)
 - 13 біт – не більше 25 мс (типове значення 22 мс)
 - 12 біт – не більше 13 мс (типове значення 11 мс)
 - 11 біт – не більше 7 мс (типове значення 6 мс)
 - довгостроковий дрейф $0.04^{\circ}C/рік$.
- Схему підключення датчика можна переглянути у [3].

Комбінований датчик вологості та температури HTU31

Випускається дві модифікації датчиків [4]:

- HTU31D – цифровий датчик
- HTU31V – аналоговий датчик.

Зовнішній вигляд датчика HTU31 наведений на рис. 6.

HTU31 є одним із найменших і найточніших датчиків вологості на ринку – $2.46 \times 2.46 \times 0.9$ мм.

Основні параметри датчика HTU31D при вимірюванні відносної вологості:

- цифровий інтерфейс I2C
- діапазон напруги живлення від 3 до 5.5 В
- максимальний струм споживання 414 мкА
- струм споживання в режимі сну не більше

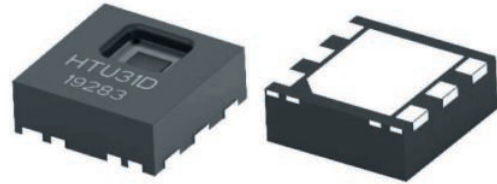


Рис. 6. Зовнішній вигляд датчика HTU31D

1.04 мкА

- розсіювана потужність не більше 2.0 мкВт в режимі сну
- розсіювана потужність не більше 2.07 мВт в активному режимі
- час увімкнення 1 мс
- час програмного перезавантаження 15 мс
- час вимірювання відносної вологості при роздільній здатності:
 - $0.007\%RH$ – не більше 7.8 мс
 - $0.010\%RH$ – не більше 3.9 мс
 - $0.014\%RH$ – не більше 2 мс
 - $0.020\%RH$ – не більше 1 мс
- час вимірювання температури при роздільній здатності
 - $0.012^{\circ}C$ – не більше 12.1 мс
 - $0.016^{\circ}C$ – не більше 6.1 мс
 - $0.025^{\circ}C$ – не більше 3.1 мс
 - $0.040^{\circ}C$ – не більше 1.6 мс
- діапазон вимірювання відносної вологості від 0 до 100%RH
- похибка вимірювання вологості не більше $\pm 2\%RH$
- похибка вимірювання температури не більше $\pm 0.2^{\circ}C$
- довгостроковий дрейф $< 0.1^{\circ}C/рік$
- температурний коефіцієнт в діапазоні температур 0... 80 °C не більше $-0.15\%RH/^{\circ}C$
- гістерезис $\pm 2\%RH$
- час відновлення після 150 годин конденсації не більше 3 с
- ESD HBM (Human Body Model) ± 8 кВ
- ESD CDM (Charged Device Model) 750 В

Аналоговий датчик HTU31V

Деякі параметри трохи відрізняються від параметрів цифрового датчика:

- максимальний струм споживання 511 мкА
- роздільна здатність при вимірюванні темпера-

тури тільки 0.016 °C

- довгостроковий дрейф <0.04 °C/рік
- вихідний струм буферного каскаду ±200 мкА
- максимальна ємність навантаження буферного каскаду 5 нФ
- час включення 10 мс.

Окремі виходи напруги температурного датчика та датчика вологості (рис. 7).

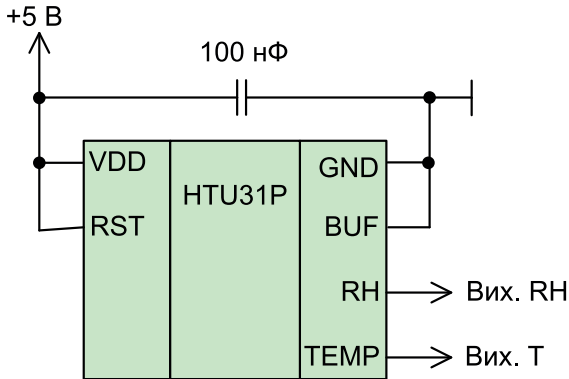


Рис. 7. Схема підключення датчика HTU31V

З вихідної напруги VRH , яка оновлюється кожні 250 мс, відносна вологість у %RH визначається за наступною формулою

$$RH(\%) = -12.5 + 125(V_{RH}/V_{DD}).$$

Залежність відносної вологості від співвідношення вихідної напруги до напруги живлення наведена на рис. 8. Оскільки напруга живлення в кожний момент часу постійна величина, то залежність відносної вологості від вихідної напруги має лінійний характер.

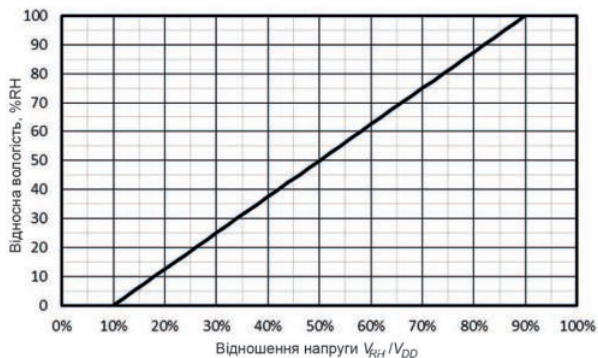


Рис. 8. Залежність відносної вологості від співвідношення вихідної напруги на виході RH до напруги живлення

З вихідної напруги VT , яка оновлюється кожні 250 мс, температура T у °C визначається за формулою

$$T(^{\circ}C) = -60.625 + 206.25(V_T/V_{DD}).$$

Залежність температури від співвідношення вихідної напруги до напруги живлення наведена на рис. 9.

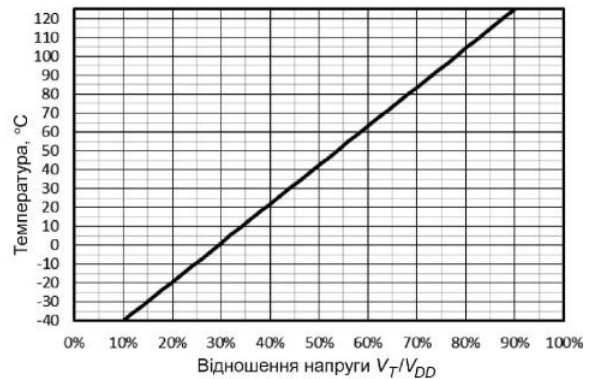


Рис. 9. Залежність температури від співвідношення вихідної напруги на виході TEMP до напруги живлення

Цифровий датчик HTU20D має параметри дуже схожі на параметри датчика HTU20D. Більш детально ознайомитись з ними можна у [5].

Окрім датчиків вологості компанія випускає модулі для вимірювання відносної вологості.

Аналоговий модуль вимірювання відносної вологості HM1500LF

Зовнішній вигляд модуля HM1500LF наведений на рис. 10.



Рис. 10. Зовнішній вигляд аналогового модуля HM1500LF

Основні параметри аналогового модуля HM1500LF:

- діапазон вимірювання відносної вологості від 0 до 100%
- роздільна здатність 0.4%RH
- похибка вимірювання ±3%RH
- вихідна напруга 2.48 В при відносній вологості 55%RH
- чутливість 26 мВ/%RH
- діапазон робочих температур від -30 до 80 °C
- температурний коефіцієнт 0.05%RH/°C

- гістерезис вимірювання вологості $\pm 1\%RH$
- напруга живлення 5 В (максимальне значення 10 В)
- струм споживання 1.4 мА (типове значення)
- час включення 150 мс
- вихідний опір 70 Ом
- постійна часу (при 63% вологості, нерухоме повітря) при зміні вологості від 33% до 80% 10 с.

Залежність вихідної напруги модуля HM1500LF від відносної вологості наведена на рис. 11.

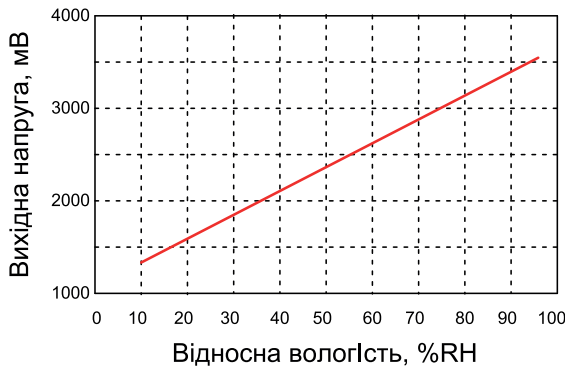


Рис. 11. Залежність вихідної напруги модуля HM1500LF від відносної вологості

Розрахувати вихідну напругу модуля можна за формулою

$$V_{out} = 25.68RH + 1079,$$

а обчислити RH за виразом

$$RH = 0.03892V_{out} - 42.017,$$

де V_{out} виражено в мВ, а RH у %.

Цифрові датчики відносної вологості, тиску та температури

Ще більш універсальні датчики, що дозволяють вимірювати відносну вологість, температуру та тиск, теж випускаються компанією TE Connectivity [7]. До таких датчиків відносяться цифрові датчики серії HTD2800P1B11C6 STD (рис. 12) в якій налічується 5 типів датчиків:

- TRICAN 5V HTD2800P1B11C6 STD
- TRICAN 5V HTD2800P1B11C6 500kbps
- TRICAN 5V HTD2800P1B11C6 250kPa
- TRICAN 12V HTD2800P1B11C6STD
- TRICAN 24V HTD2800P1B11C6STD.

З назви датчиків витікають відмінності їх характе-

ристик. Для прикладу розглянемо параметри стандартного датчика TRICAN 5V HTD2800P1B11C6 STD.

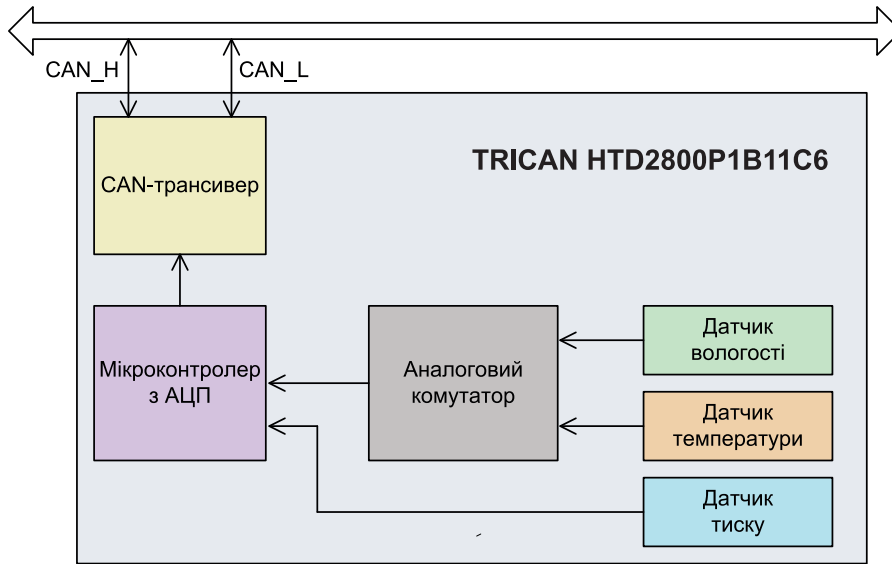
Датчик TRICAN HTD2800 має надійну конструкцію для застосувань в важких умовах експлуатації транспортних засобів. В першу чергу розроблений для контролю надходження повітря в двигуни. Також підходить для паливних елементів.



Рис. 12. TRICAN HTD2800

Основні характеристики датчика TRICAN HTD2800:

- інтерфейс зв'язку CAN2.0
 - напруга живлення 5, 12 або 24 В
 - швидкість передавання даних по шині CAN 250 Кбіт/с, 500 Кбіт/с
 - діапазон вимірюваного тиску 130 кПа, 250 кПа
 - діапазон робочих температур від -40 до 105 °C
 - діапазон вимірювання відносної вологості від 0 до 100%
 - роздільна здатність 0.4%RH
 - похибка вимірювання $\pm 3\%RH$
 - температурний коефіцієнт 0.05%RH/°C
 - гістерезис $\pm 1\%RH$
 - довготривала стабільність $\pm 0.5\%RH/рік$
 - діапазон вимірювання тиску від 1 до 130 кПа (1...250 для версії 250кПа)
 - похибка вимірювання тиску $\pm 1.8\%FS$ (повної шкали)
 - роздільна здатність ± 0.5 кПа
 - постійна часу 1 с
 - довготривала стабільність ± 0.5 кПа/рік
 - діапазон вимірювання температури від -40 до 105 °C
 - похибка вимірювання температури ± 0.5 °C
 - постійна часу при вимірюванні температури 10 с
 - довготривала стабільність ± 0.3 °C /рік.
- Параметри шини CAN:
- тактовий інтервал 1 мкс
 - швидкість зростання вихідної напруги 7 В/мкс
 - максимальне значення напруги ± 36 В



Структурна схема датчика TRICAN HTD2800P1B11C6

Структурна схема датчика TRICAN HTD2800P1B11C6 наведена на рис. 13.

На рис. 13 аналогові датчики вологості та температури через аналоговий комутатор підключені до входу АЦП мікроконтролера. Датчик тиску цифровий і підключений до одного з портів мікроконтролера. Мікроконтролер здійснює зв'язок з шиною CAN з шиною CAN через CAN-трансивер.

З характеристика інших датчиків відносної вологості TE Connectivity можна ознайомитися на сайті компанії [8].

ЛІТЕРАТУРА

1. <https://www.te.com/usa-en/product-CAT-HSC0006.html?q=HS1101LF>
2. <https://www.te.com/usa-en/product-CAT-HSC0005.html>
3. <https://www.te.com/usa-en/product-CAT-HSC0004.html>
4. <https://www.te.com/usa-en/product-CAT-HSC0007.html>
5. <https://www.te.com/usa-en/product-CAT-HSC0002.html>
6. <https://www.te.com/usa-en/product-HPP805A031.html>
7. <https://www.te.com/usa-en/product-CAT-HSA0004.html>
8. <https://www.te.com/usa-en/plp/humidity-sensors/YG2Ae.html>

VD MAIS
Вимірювальні пристрої

- осцилографи ▪ генератори ▪
- логічні аналізатори
- аналізатори спектра
- вимірювачі параметрів відеосигналів
- джерела живлення ▪ частотоміри
- мультиметри ▪ тепловізори
- вібретри

Дистрибуція та прямі поставки:
Tektronix, Fluke, Keithley, Rohde @ Schwarz, Hameg, Uni-Trend

Україна, 03061 Київ, вул. М. Донця, 6
Тел.: (0-44) 201-0202, 492-8852, факс: (0-44) 202-1110
e-mail: info@vdmajs.ua, www.vdmajs.ua

VD MAIS
Контрактне виробництво електроніки
(по стандарту IPC-A-610)

- автоматизований монтаж ЕЛ/Ю-компонентів (до 2,5 млн на добу)
- автоматизоване селективне паяння компонентів, що монтуються в отвори
- монтаж прототипів друкованих плат
- 100% автоматичний оптичний контроль якості монтажу
- виготовлення дослідних зразків виробів
- дрібно- та великосерійне виробництво
- 10-річний досвід контрактного виробництва
- гарантія якості

Сертифікація на відповідність вимогам стандартів ISO 9001:2015, ISO 14001:2015, IATF 16949:2016 і ISO 13485:2016.
Ціни оптимальні.

Україна, 03061 Київ, вул. М. Донця, 6
Тел.: (0-44) 201-0202, 492-8852, факс: (0-44) 202-1110
e-mail: info@vdmajs.ua, www.vdmajs.ua



Технологічні матеріали фірм AIM та Electrolube



www.aimsolder.com



www.electrolube.com

VD MAIS
ДИСТРИБ'ЮЩА +
КОНТРАКТНЕ
ВИРОБНИЦТВО

VD MAIS – офіційний дистриб'ютор компаній AIM та Electrolube в Україні

тел.: (044) 201-0202, info@vdmαιs.ua, www.vdmαιs.ua

EKIC

ЕЛЕКТРОННІ КОМПОНЕНТИ І СИСТЕМИ

Науково-технічний журнал.
Призначений для розробників
та виробників електронної
та електротехнічної апаратури,
засобів телекомунікацій, комп'ютерних
та керуючих систем, промислової
та транспортної електроніки.
Видається із 1996 року.
Засновник та видавець журналу –
НВФ VD MAIS.

НВФ VD MAIS

Центральний офіс:

03061 Київ
вул. М. Донця, 6
Тел.: (+38-044) 201-0202, 492-8852
Факс: (+38-044) 202-1110
E-mail: info@vdmajs.ua
[http:// www.vdmajs.ua](http://www.vdmajs.ua)

Ukraine
03061 Kyiv, M. Dontsia St. 6
tel.: (+38-044) 201-0202, 492-8852
fax: (+38-044) 202-1110