



Household



Railway



Car Use



Marina



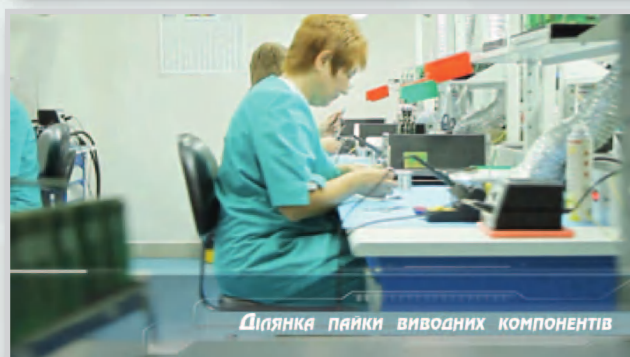
Network



Telecom

### У номері:

- Одноплатні комп'ютери Raspberry Pi Pico W
- Модулі камер Raspberry Pi
- Інтелект на межі
- Технологія розумної лікарні у відділеннях інтенсивної терапії
- Настанова для розробників безпроводового промислового смарт сенсора
- Перешкоди у системах телекомунікацій: види перешкод і методи боротьби з ними
- Електронні компоненти для захисту апаратури
- Аналіз роботи імпульсного джерела живлення: вибір підвищувального конденсатора
- **Автономні інвертори Mean Well**
- Програма моделювання аналогових та цифрових пристроїв QSPICE, частина 3



## 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**2024 липень-вересень  
№ 3 (247)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

**ТЕХНОЛОГІЇ ІНТЕРНЕТУ РЕЧЕЙ**В. Макаренко  
**Одноплатні комп'ютери Raspberry Pi Pico W** .....3В. Макаренко  
**Модулі камер Raspberry Pi** ..... 11Т. Бредікіч  
**Інтелект на межі** ..... 16В. Романов  
**Технологія розумної лікарні у відділеннях інтенсивної терапії** .....20Р. Анслоу  
**Настанова для розробників безпроводового промислового смарт сенсора**.....24**ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЇ**В. Романов  
**Перешкоди у системах телекомунікацій: види перешкод і методи боротьби з ними** .....30Л. Кастільо  
**Ефективний пошук зовнішніх перешкод у мобільних мережах** .....38Ф. Лесснер  
**Електронні компоненти для захисту апаратури різного призначення від перешкод, що викликають перевантаження по напрузі та струму** .....42  
**ДЖЕРЕЛА ЖИВЛЕННЯ**А. Ібрагем, К. Армійо, П. Дакер  
**Аналіз роботи імпульсного джерела живлення: синхронізація силових транзисторів і вибір підвищувального конденсатора** .....46В. Макаренко  
**Автономні інвертори Mean Well** .....51**МОДЕЛЮВАННЯ ЕЛЕКТРОННИХ ПРИСТРОЇВ**В. Макаренко  
**Програма моделювання аналогових та цифрових пристроїв QSPICE, частина 3** .....59Перепечатка опублікованих в журнале  
матеріалів допускається с дозволення редакції.  
За рекламну інформацію відповідальність несеєт  
рекламодаєтель.

## INTERNET OF THINGS TECHNOLOGIES

- V. Makarenko  
**Raspberry Pi Pico single board computerst** ..... 3
- V. Makarenko  
**Raspberry Pi Camera modules** ..... 11
- T. Bradicich  
**Intelligent Edge** ..... 16
- V. Romanov  
**Smart hospital technology in the icu: making healthcare more human** ..... 20
- R. Anslow  
**A Complete Guide to Designing Your Smart Wireless Industrial Sensor** ..... 24

## TELECOMMUNICATIONS

- V. Romanov  
**Interference in telecommunication systems and methods of suppressing them** ..... 30
- L. Castillo  
**IEfficiently finding External Interference in mobile networks**..... 38
- P. Lessner  
**Over-Voltage and Over-Current Protection Explained**..... 42

## POWER SOURCES

- A. Ibraheim, K. Armijo, P. Dhaker  
**Analysis of Switch-Mode Power Supply and Rectification: Transistor Timing & Boost Capacitor Issues**..... 46
- V. Makarenko  
**Mean Well stand-alone inverters** .....51

## MODELING OF ELECTRONIC DEVICES

- V. Makarenko  
**QSPICE is a free program for simulating analog and digital devices, part 3** ..... 59



## ELECTRONIC COMPONENTS AND SYSTEMS

July-September 2024  
No.3 (247)

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

# ОДНОПЛАТНІ КОМП'ЮТЕРИ RASPBERRY PI PICO W

## RASPBERRY PI PICO SINGLE BOARD COMPUTERS

У статті наведена коротка інформація про модуль Raspberry Pi Pico W призначений для використання у вбудованих системах Інтернету речей. Наведені основні характеристики модуля та наведені рекомендації з його програмування.

V. Makarenko

**Abstract** – This article provides brief information about the Raspberry Pi Pico W module designed for use in embedded systems of the Internet of things. The main characteristics of the module are given and recommendations for its programming are given.

V. Makarenko

Одноплатні комп'ютери все частіше використовуються в промислових проектах і в Інтернеті речей [1]. Як показують звіти дистриб'юторів, половина опитаних професійних інженерів використовують одноплатні комп'ютери (SBC, Single-Board Computer) в промислових виробках і пристроях Інтернету речей (IoT). Найпопулярнішою платою є Raspberry Pi, якій віддають перевагу 44% професійних користувачів. Друге місце зайняв Arduino (28 відсотків), а на третьому місці з 6 відсотками знаходиться плата Beagleboard, підтримувана Texas Instruments.

SBC використовуються на всіх етапах розробки і виробництва продукції, причому, як і слід було очікувати, 23% респондентів використовують їх для підтвердження концепції, а 35% – для створення прототипів. Хоча плати також використовувалися в дрібносерійному виробництві, опитування показало, що 22% встановлюють недорогі SBC у виробничому обладнанні; при цьому близько 20% такої продукції випускається в обсягах від 5 тис. або більше на рік, а 20% використовується для розробки випробувального обладнання та тестування.

Глобальне опитування проводилося з березня по травень 2021 року і збило майже 1500 відповідей від професійних інженерів, розробників і виробників, які працюють над рішеннями в області SBC. Три чверті респондентів були професійними користувачами, а лише чверть-любителями. Питання формулювалися таким чином, щоб зрозуміти, як популярні SBC від деяких провідних світових виробників використовуються в професійних продуктах і проектах.

Близько 24% професіоналів створюють власні плати для використання з SBC, демонструючи переваги стандартної обчислювальної платформи з користувацькими інтерфейсами вводу-виводу у багатьох додатках.

Однак лише 20% інженерів зараз використо-

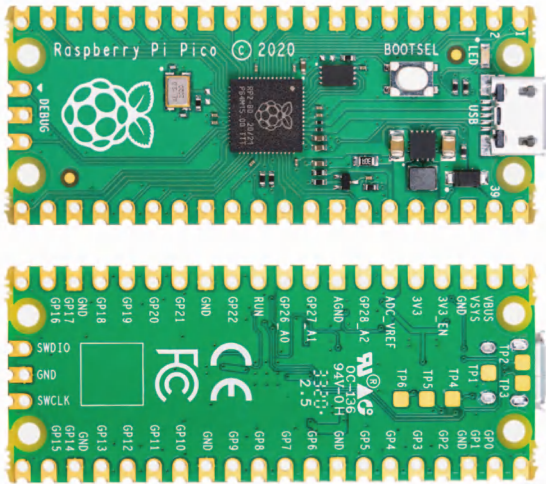
вують штучний інтелект (AI) та машинне навчання у своїх додатках на SBC, що може бути пов'язано з обмеженою продуктивністю плат. Найбільш поширеними побажаннями розробників до виробників SBC є підвищення продуктивності при вирішенні завдань AI і збільшення обсягу пам'яті.

Найпопулярнішим аксесуаром на сьогоднішній день, безумовно, є сенсорні екрани, проте також користуються попитом камери і комплекти для додаткового живлення від акумуляторів або сонячних батарей.

Використовувати плати, адаптовані до конкретного додатка, з більшою ймовірністю будуть професійні користувачі, ніж любителі. "Це дослідження чітко демонструє широке поширення SBC серед інженерів, які створюють комерційні, IoT та промислові програми. Успіх Raspberry Pi та Arduino зумовлений потужним поєднанням високої продуктивності, універсальності, функцій та аксесуарів, низької вартості та великої активної спільноти користувачів, що робить ці платформи дуже привабливими для інженерів, які прагнуть швидко розробляти та впроваджувати у виробництво широкий спектр додатків. Використання SBC в прототипах надає інженерам можливості значного зниження витрат і набагато більш швидкого виведення нових продуктів на ринок", – сказав Ромен Соро (Romain Soreau), керівник відділу одноплатних обчислювальних пристроїв компанії Farnell.

На сьогоднішній день Farnell продала понад 15 мільйонів одиниць і пропонує повний асортимент одноплатних комп'ютерів Raspberry Pi, включаючи випущений у 2020 році Raspberry Pi Pico на базі процесора RP2040 (рис. 1), а також аксесуари, включаючи чохла, блоки живлення, кабелі мікро-HDMI та камери високої чіткості Raspberry Pi.

Компанія Raspberry Pi активізувала розробку своїх чіпів, випустивши чотириядерний мікроконтролер з двома ядрами ARM Cortex-M33 і двома



**Рис. 1. Одноплатний комп'ютер Raspberry Pi Pico**

власними ядрами RISC-V. Планується до випуску плата Raspberry Pi Pico 2, що використовує мікроконтролер RISC-V RP2350, а безпроводову версію Pico 2 W з модемом від Infineon Technologies.

Процесор RP2350 вдвічі більший за розміром, має більш високу тактову частоту ядра (150 МГц), вдвічі більший обсяг пам'яті (520 кбайт SRAM в десяти банках) і нові функції безпеки в порівнянні з RP2040, випущеним більше трьох років тому, з двома ядрами M0+. Розмір матриці становить 5.3 мм<sup>2</sup> проти 2 мм<sup>2</sup> у RP2040, але найкомпактніша версія RP2350A буде всього на десять центів дорожче і буде коштувати 0.80 долара за 3400 одиниць або 1.1 долара за одиницю продукції.

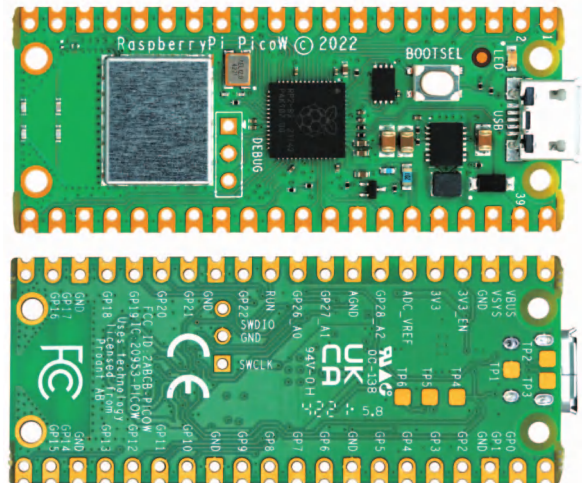
Крім ядер M33, в RP2350 додані два ядра RISC-V, які можуть бути виділені під час завантаження. Завантажувальний ПЗП автоматично визначає архітектуру для двійкового файлу другого рівня та перезавантажує чіп у відповідний режим.

На відміну від одного варіанту корпусу QFN56 розміром 7×7 мм для RP2040, RP2350 випускається у корпусі QFN60 розміром 7×7 мм (RP2350A) з роздільною здатністю 30 точок на дюйм або корпусі QFN80 розміром 10×10 мм (RP2350B) з роздільною здатністю 48 точок на дюйм, а також варіанти з 2 МБ вбудованою захищеною flash-пам'яттю QSPI (RP2354A і RP2354B).

Pico 2 і RP2350 підтримуються оновленою версією Pico SDK, а також новими образами MicroPython і CircuitPython. Метою проекту Trusted Firmware є створення RP2350 як еталонної апаратної платформи для випуску довгострокової підтримки Trusted Firmware-M 2.1.0, а TF-M надає еталонну реалізацію для сертифікованих чіпів Arm V8-

M, надаючи розробникам простий спосіб захистити пристрої від поширених атак.

Розглянемо основні особливості Raspberry Pi Pico W [2] з вбудованим модулем Wi-Fi (рис. 2). На рис. 3 наведено розташування виводів плати Raspberry Pi Pico W [3].



**Рис. 2. Одноплатний комп'ютер Raspberry Pi Pico W**

Основні характеристики Raspberry Pi Pico W:

- 32-розрядний двоядерний процесор Rp2040 Cortex-M0 + з частотою 133 МГц
- 2 МБ флеш-пам'яті Q-SPI
- 264 КБ SRAM-пам'яті
- 26 GPIO (сумісність з +3.3 В)
- вбудований 12-розрядний АЦП
- прискорені вбудовані бібліотеки обчислень з плаваючою комою
- вбудований односмуговий чіп Infineon CYW43439 (безпроводовий інтерфейс 2,4 ГГц (802.11 b/g/n) та Bluetooth® 5.4
- послідовний порт налагодження (SWD)
- порт Micro-USB (USB 1.1) для живлення (+5 В) і даних
- 2 × UART, 2 × I2C, 2 × інтерфейс шини SPI
- 16 каналів ШІМ
- 1 × таймер (з 4 будильниками), 1 × лічильник реального часу
- бортовий датчик температури
- вбудований світлодіод на GPIO, керований модулем 43439
- зазубрений модуль, що дозволяє припаювати безпосередньо до плат
- 8 програмованих кінцевих автоматів вводу-виводу (PIO)
- програмування на MicroPython, C, C++
- швидке програмування через USB

- номінальна напруга VBUS +5 В ±10 %
- діапазон напруги VSYS від +1.8 В до +5.5 В
- діапазон робочих температур від -20 до +85 °С.

Вбудовану 2 Мбайт Q-SPI-флеш-пам'ять можна перепрограмувати або за допомогою послідовного порту налагодження, або за допомогою спеціального USB-порту.

Найпростіший спосіб перепрограмувати флеш-пам'ять Pico – це використовувати USB. Для цього потрібно вимкнути живлення плати і потім, утримуючи кнопку BOOTSEL (біла кнопка на рис. 2) включити живлення плати. Після цього Pico буде відображатися як USB-накопичувач. Перетягування спеціального файлу '.uf2' на диск призведе до запису цього файлу на флешку та перезапуску Pico. Завантажувальний код USB зберігається в ПЗП (ROM) RP2040, тому його неможливо випадково перезаписати.

Плата сумісна з макетною платою (тобто відстань між контактами 0,1 дюйма), і після пайки контактів плату можна підключити до макетної плати для простого підключення до контактів GPIO за допомогою перемичок.

На одному краю плати знаходиться порт мікро-

USB для подачі живлення на плату і для програмування плати. Поруч з USB-портом знаходиться вбудований спеціальний світлодіод, який можна використовувати під час розробки програм. Поруч із цим світлодіодом знаходиться кнопка BOOTSEL (рис. 2), яка використовується під час програмування мікроконтролера. Поруч з чіпом процесора є 3 отвори, до яких можна зробити зовнішні підключення. Вони використовуються для налагодження програм за допомогою Serial Wire Debug (SWD). На іншому краю плати знаходиться однодіапазонний модуль Wi-Fi 2,4 ГГц (802.11n). Поруч з модулем Wi-Fi розташована бортова антена.

На рис. 2 наведено вид ззаду апаратного модуля Pico. На рис. 2 і 3 всі контакти GPIO позначені буквами і цифрами:

- GND – загальний джерела живлення (цифровий загальний)
- AGND – загальний джерела живлення (аналоговий загальний)
- 3V3 – живлення +3,3 В (вихід)
- GP0 – GP22 – цифрові виводи GPIO
- GP26\_A0 – GP28\_A2 – аналогові входи
- ADC\_VREF – опорна напруга АЦП

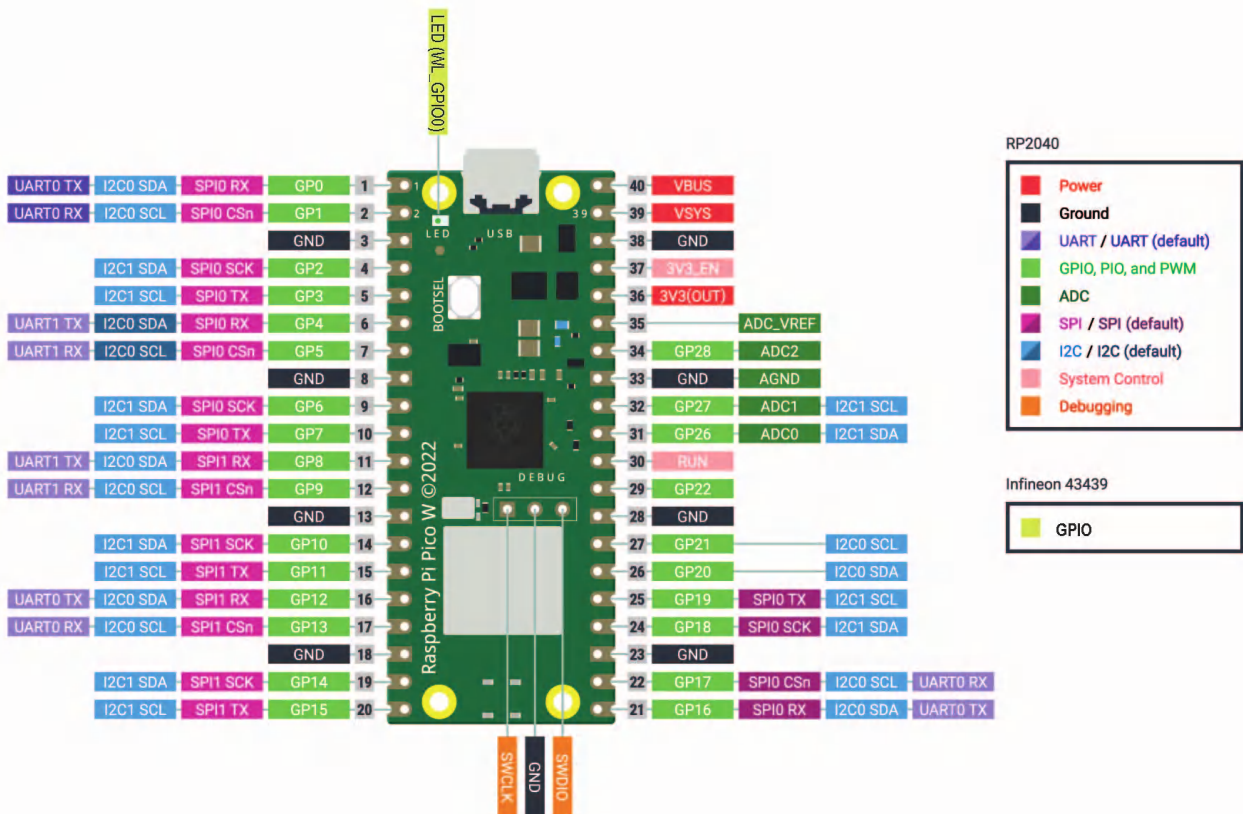


Рис. 3. Розташування виводів плати Raspberry Pi Pico

- TP1 – TP6 – контрольні точки
  - SWDIO, GND, SWCLK – інтерфейс налагодження
  - RUN – вивід RUN за замовчуванням, низький рівень для скидання
    - 3V3\_EN – за замовчуванням включає живлення +3,3 В (живлення можна відключити, підключивши цей контакт до загального)
    - VSYS – вхідна напруга системи (від 1.8 В до 5.5 В), для створення живлення +3.3 В для плати
    - VBUS – вхідна напруга micro-USB (+5 В).
- Деякі контакти GPIO використовуються для внутрішніх функцій плати:
- GP29 (input) – використовується в режимі АЦП (ADC3) для вимірювання VSYS / 3
  - GP24 (input) – вхід якщо рівень VBUS sense високий, якщо VBUS присутній, інакше низький
  - GP23 (output) – управляє виводом енергозбереження SMPS.

Вбудований імпульсний DC/DC-перетворювач +3.3 В використовується для живлення RP2040 в діапазоні вхідної напруги від 1.8 В до +5.5 В. Наприклад, 3 лужні батареї типу AA можуть використовуватися для забезпечення +4,5 В для живлення Pico.

Піко може житися кількома способами. Найпростіший спосіб-використовувати USB-порт комп'ютера або адаптер живлення + 5 В. Треба подати живлення на вхід VSYS (рис. 4) через діод Шотткі. Напруга на вході VSYS буде дорівнювати напрузі VBUS за вирахуванням падіння напруги на діоді Шотткі (близько 0.7 В). Виводи VBUS і VSYS можуть бути замкнені, якщо плата живиться від зовнішнього USB-порту +5 В. Напруга VSYS подається на SMPS через DC/DC-перетворювач RT6150, який формує фіксовану напругу +3.3 В для

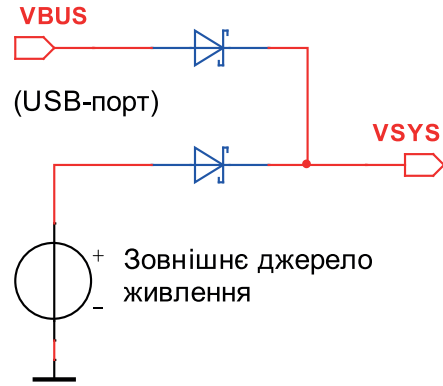


Рис. 4. Підключення зовнішнього джерела живлення

живлення процесора та інших частин плати. Напруга VSYS ділиться на три і доступна через аналоговий вхідний порт GPIO29 (ADC3), який легко контролювати. GPIO24 перевіряє наявність напруги VBUS і має високий логічний рівень, якщо напруга VBUS присутня.

На рис. 5 наведена принципова схема кола живлення модуля.

На рис. 6 наведена спрощена структура апаратного модуля Pico. Треба звернути увагу, що контакти GPIO безпосередньо підключені від мікросхеми процесора до роз'єму GPIO. GPIO26-28 можна використовувати або як цифровий GPIO, або як вхід АЦП. Входи АЦП GPIO26-29 мають зворотні діоди на 3 В, тому вхідна напруга не повинна перевищувати 3.6 В.

**Програмування Raspberry Pi Pico W**

Хоча Raspberry Pi Pico за замовчуванням налаштований для використання з потужними і популярними мовами C / C++, багатьом новачкам простіше використовувати MicroPython-версію

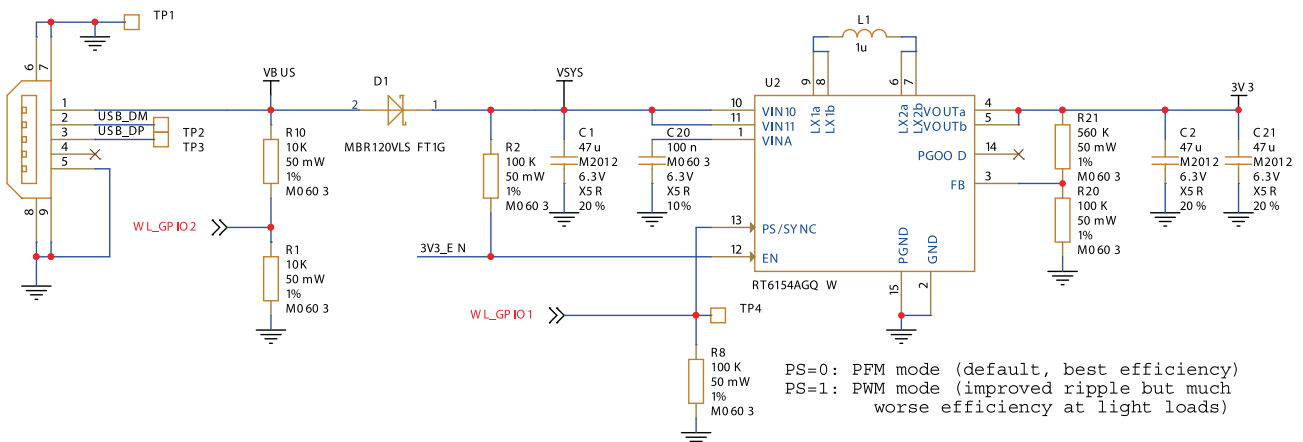
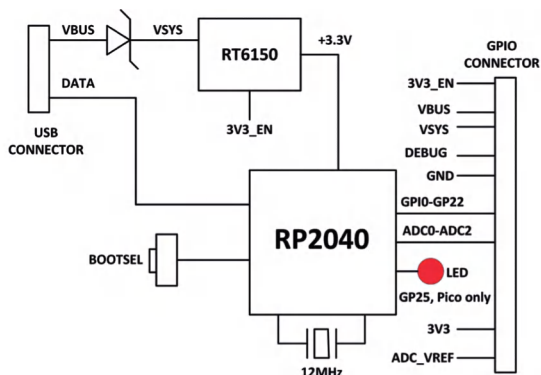


Рис. 5. Принципова схема кола живлення модуля Raspberry Pi Pico





**Рис. 6. Спрощена структура апаратного модуля Raspberry Pi Pico**

мови програмування Python, розроблену спеціально для мікроконтролерів.

Перед використанням плати потрібно встановити MicroPython на Raspberry Pi Pico W. Після встановлення MicroPython залишається на Pico, поки він не буде перезаписаний чимось іншим [4, 5]. Для встановлення MicroPython потрібне підключення до Інтернету, і це потрібно лише один раз. Це можна зробити або за допомогою Raspberry Pi (наприклад, Raspberry Pi 4), або за допомогою ПК. Завантажити MicroPython можна за посиланням [6].

Для встановлення MicroPython потрібно:

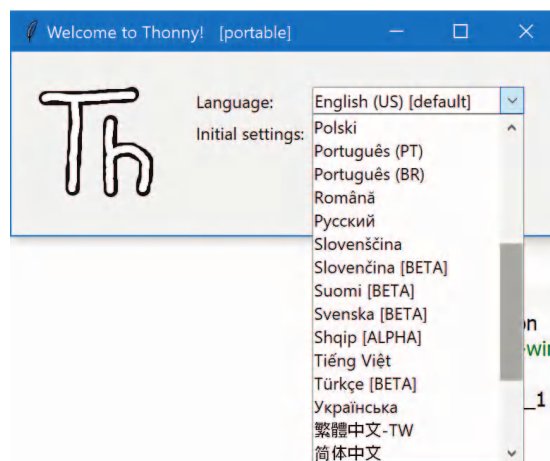
- натиснути і утримувати кнопку BOOTSEL на платі Pico
- підключити Pico до порту USB ПК за допомогою кабелю мікро-USB, утримуючи кнопку натиснутою
- зачекати кілька секунд і відпустити кнопку BOOTSEL (ви повинні побачити, що Pico відображається як знімний диск з ім'ям RPI-RP2)
- перетягнути завантажений файл MicroPython UF2 на диск RPI-RP2 (Raspberry Pi Pico перезавантажиться, і після цього можна використовувати MicroPython на Pico.

Після вимикання програма залишається у флеш-пам'яті. У джерелах [4...6] рекомендується встановити текстовий редактор Thonny з вбудованим інтерпретатором Python на ПК [7]. Завантажити останню портативну версію редактора можна за посиланням [8].

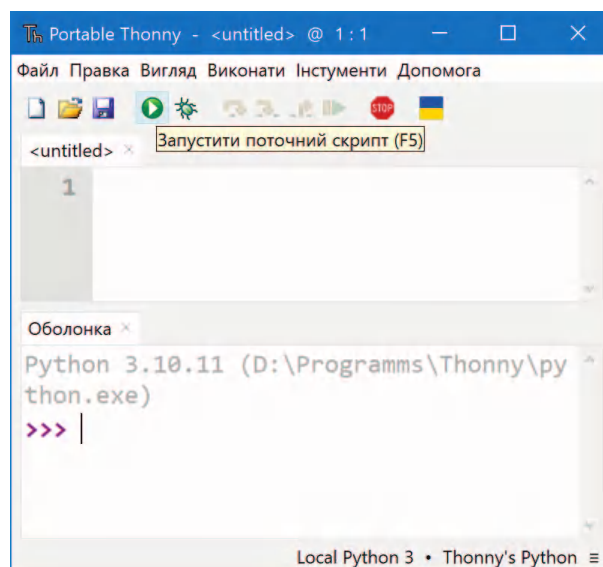
Після розпакування і запуску програми виводиться вікно (рис. 7) у якому можна обрати мову інтерфейсу.

Після вибору мови відкривається робоче вікно програми (рис. 8).

Для прикладу розглянемо просту програму обчислення середнього значення двох чисел (Average



**Рис. 7. Вибір мови інтерфейсу при першому запуску редактора Thonny**

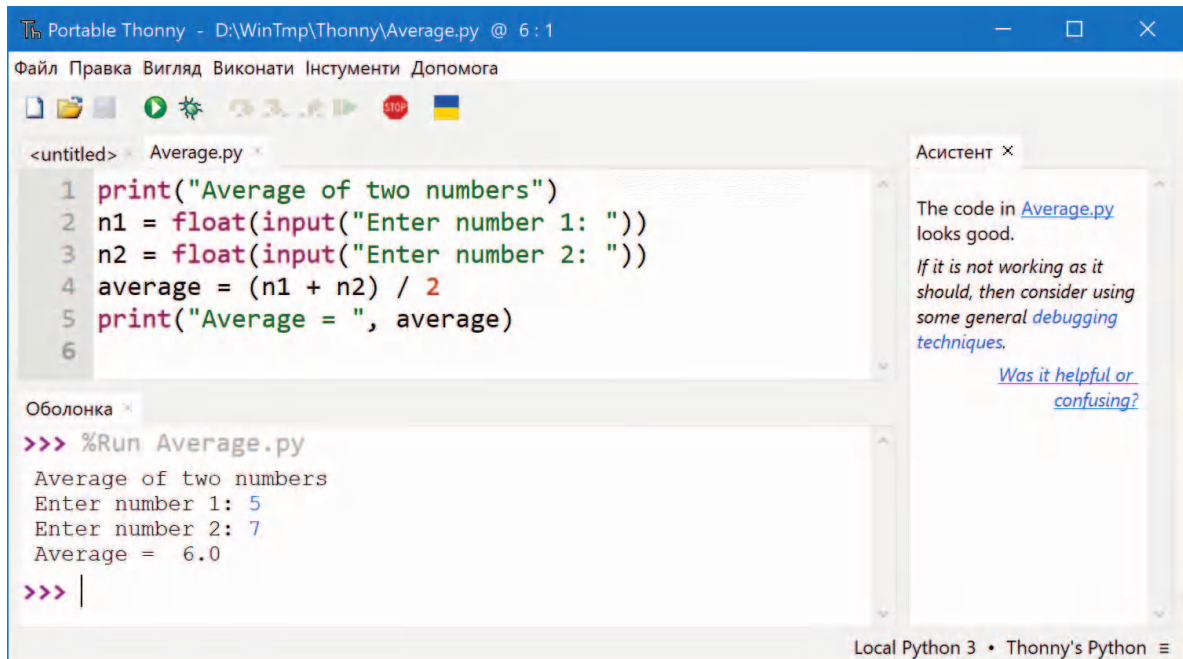


**Рис. 8. Робоче вікно редактора Thonny**

ge), що вводяться з клавіатури [10]. Результат виконання наведено на рис. 9.

**Приклад 2:** середнє значення 10 чисел, прочитаних з клавіатури У цьому прикладі з клавіатури зчитуються 10 чисел і відображається їх середнє значення. Мета цього прикладу-показати, як можна побудувати цикл у Python.

Програма називається Average 10 [10], а лістинг програми і приклад запуску програми показані на рис. 10. У цій програмі будується цикл, який виконується від 0 до 9 (тобто 10 разів). У середині цього циклу числа зчитуються з клавіатури, складаються один з одним і зберігаються в змінній sum. Потім обчислюється середнє значення і відображається шляхом ділення sum на 10. Зверніть увагу, що новий рядок не друкується після операторів друку,



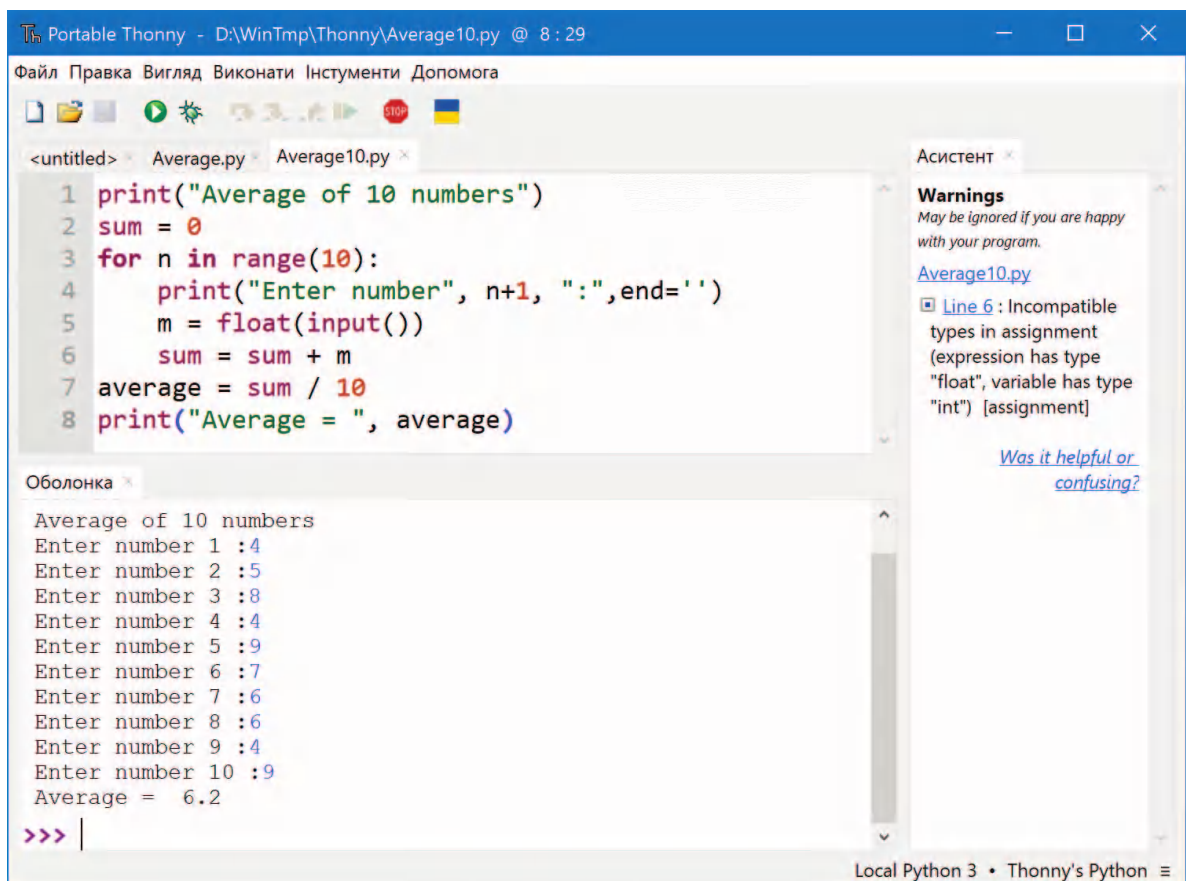
```
Portable Thonny - D:\WinTmp\Thonny\Average.py @ 6 : 1
Файл Правка Вигляд Виконати Інструменти Допомога
Average.py
1 print("Average of two numbers")
2 n1 = float(input("Enter number 1: "))
3 n2 = float(input("Enter number 2: "))
4 average = (n1 + n2) / 2
5 print("Average = ", average)
6

Оболонка
>>> %Run Average.py
Average of two numbers
Enter number 1: 5
Enter number 2: 7
Average = 6.0
>>> |

Асистент
The code in Average.py looks good.
If it is not working as it should, then consider using some general debugging techniques.
Was it helpful or confusing?

Local Python 3 • Thonny's Python
```

Рис. 9. Результат виконання програми Average



```
Portable Thonny - D:\WinTmp\Thonny\Average10.py @ 8 : 29
Файл Правка Вигляд Виконати Інструменти Допомога
Average.py Average10.py
1 print("Average of 10 numbers")
2 sum = 0
3 for n in range(10):
4     print("Enter number", n+1, ":", end='')
5     m = float(input())
6     sum = sum + m
7 average = sum / 10
8 print("Average = ", average)

Оболонка
Average of 10 numbers
Enter number 1 :4
Enter number 2 :5
Enter number 3 :8
Enter number 4 :4
Enter number 5 :9
Enter number 6 :7
Enter number 7 :6
Enter number 8 :6
Enter number 9 :4
Enter number 10 :9
Average = 6.2
>>> |

Асистент
Warnings
May be ignored if you are happy with your program.
Average10.py
Line 6 : Incompatible types in assignment (expression has type "float", variable has type "int") [assignment]
Was it helpful or confusing?

Local Python 3 • Thonny's Python
```

Рис. 9. Результат виконання програми Average

оскільки всередині оператора друку використовується опція `end=""`.

В [10, 11] наведена велика кількість прикладів

для першого знайомства з MicroPython.

Розглянемо ще один приклад що демонструє як зовнішній світлодіод можна підключити до Pico.

Схема підключення світлодіода наведена на рис. 11. На початку програми GP1 налаштований як ви-

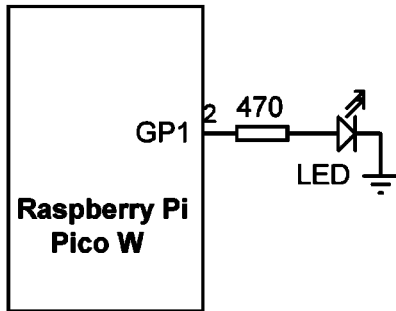


Рис. 11. Схема підключення світлодіода до Raspberry Pi Pico

хід. Потім формується цикл `while`, який виконується до тих пір, поки користувач не зупинить його. Всередині цього циклу світлодіод включається і вимикається з затримкою в одну секунду (рис. 12).

При відсутності зв'язку з Raspberry Pi Pico у вікні Асистент виводиться повідомлення про похибку. Тому при програмуванні потрібно мати підключе-

ний модуль для перевірки програми. Звісно, у рамках однієї статті розглянути всі аспекти роботи з модулем Raspberry Pi Pico неможливо. Більш детально з програмуванням на MicroPython з великою кількістю прикладів можна ознайомитись у [10, 11].

## ЛІТЕРАТУРА

1. Nick Flaherty Raspberry Pi launches its first RISC-V multicore chip. Technology News, August 9, 2024. / <https://www.eenewseurope.com/en/raspberry-pi-launches-its-first-risc-v-multicore-chip/>
2. RASPBERRY-PI RASPBERRY PI PICO W / <https://uk.farnell.com/raspberry-pi/raspberry-pi-pico-w/raspberry-pi-board-arm-cortex/dp/3996082>
3. Raspberry Pi Pico W Datasheet / [https://www.farnell.com/datasheets/3759470.pdf?\\_gl=1\\*1vnsnie\\*\\_gcl\\_au\\*Mzc0OTk4Mzg1LjE3MjQxNDQyNTA](https://www.farnell.com/datasheets/3759470.pdf?_gl=1*1vnsnie*_gcl_au*Mzc0OTk4Mzg1LjE3MjQxNDQyNTA).
4. Getting started with pico / <https://datasheets.raspberrypi.com/pico/getting-started-with-pico.pdf>

The screenshot shows the Thonny IDE interface. The main window displays a Python script named 'ExtFlash.py' with the following code:

```

11 #-----
12 from machine import Pin
13 import utime
14
15 LED = Pin(1, Pin.OUT) # LED at GP1
16
17 while True: # DO FOREVER
18     LED.value(1) # LED ON
19     utime.sleep(1) # Wait 1 second
20     LED.value(0) # LED OFF
21     utime.sleep(1) # Wait 1 second

```

The console window shows the following error message:

```

>>> %Run ExtFlash.py
Traceback (most recent call last):
  File "D:\WinTmp\Thonny\ExtFlash.py", line 12, in <module>
    from machine import Pin
ModuleNotFoundError: No module named 'machine'
>>>

```

The right-hand side of the window shows the 'Асистент' (Assistant) panel with the following error details:

```

ModuleNotFoundError:
No module named
'machine'
cp_back.py, line 353
No specific suggestions for
this error (yet).
[+] Let Thonny developers
know
[+] Search the web
Was it helpful or
confusing?
General advice on dealing
with errors.

```

Рис. 12. Лістинг програми та результат її виконання на ПЕ без підключеного модуля Raspberry Pi Pico

5. Beginner's Guide for Raspberry Pi Pico / [https://files.seeedstudio.com/wiki/Grove\\_Shield\\_for\\_Pi\\_Pico\\_V1.0/Beginner%27s-Guide-for-Raspberry-Pi-Pico.pdf](https://files.seeedstudio.com/wiki/Grove_Shield_for_Pi_Pico_V1.0/Beginner%27s-Guide-for-Raspberry-Pi-Pico.pdf)

6. Raspberry\_Pi\_Pico\_Advanced / [https://www.elecrow.com/download/product/RPK13250K/Raspberry\\_Pi\\_Pico\\_Advanced\\_Kit\\_tutorial\\_V1.0.pdf%3Fsrsltid%3DAfmBOoo3AfumIWhk-QYzJq73Um852U5Gm0PXvfkiZriQg8vBjhtSEBnF&ved=2ahUKEwid0\\_zYpIOIAxVYRvEDHeaqB-IQF-noECBIQAQ&usg=AOvVaw3XYDASG48IRTz3PA2Eu-qky](https://www.elecrow.com/download/product/RPK13250K/Raspberry_Pi_Pico_Advanced_Kit_tutorial_V1.0.pdf%3Fsrsltid%3DAfmBOoo3AfumIWhk-QYzJq73Um852U5Gm0PXvfkiZriQg8vBjhtSEBnF&ved=2ahUKEwid0_zYpIOIAxVYRvEDHeaqB-IQF-noECBIQAQ&usg=AOvVaw3XYDASG48IRTz3PA2Eu-qky)

7. MicroPython /

<https://www.raspberrypi.com/documentation/micro-controllers/micropython.html>

8. Thonny Python IDE for beginners / <https://thonny.org/>

9. <https://github.com/thonny/thonny/releases/tag/v4.1.4>

10. Dogan Ibrahim Raspberry Pi Pico W. Program, build, and master 60+ projects with the Wireless RP2040. – Elektor International Media B.V., 2022. – 310 p.

11. Gьnter Spanner's MicroPython for Microcontrollers. – Elektor International Media B.V., 2021. – 215 p.



## ДРУКОВАНІ ПЛАТИ

■ проектування

Проектування друкованих плат в НВФ VD MAIS – це:

- багаторічний досвід конструювання і знання специфіки:
  - . розробки електронних пристроїв
  - . технології виготовлення друкованих плат
  - . різних CAD-CAM систем проектування (P-CAD, Mentor Graphics, CAM-350 та ін.)
- повна реалізація можливостей виготовлення друкованих плат і контрактного виробництва VD MAIS
- система менеджменту якості фірми сертифікована на відповідність вимогам стандартів ISO 9001:2015, ISO 14001:2015, IATF 16949:2016 і ISO 13485:2016

[ Від ремесла до мистецтва ]

**VD MAIS**  
ДИСТРИБ'ЮЦІЯ +  
КОНТРАКТНЕ  
ВИРОБНИЦТВО

**VD MAIS**  
PCB Professionally

тел.: (0-44) 220-0101, info@vdmiais.kiev.ua, www.vdmiais.kiev.ua

# МОДУЛІ КАМЕР RASPBERRY PI

## RASPBERRY PI CAMERA MODULES

У статті наведена коротка інформація про модулі камер Raspberry Pi, сумісних з модулями Raspberry Pi з інтерфейсом CSI. Розглянуті основні характеристики камер 5, 8 та 12 мегапікселів та високоякісних HQ- та GS-камер, наведені характеристики чутливості деяких камер та рекомендації по програмуванню.

*В. Макаренко*

**Abstract** – This article provides brief information about Raspberry Pi camera modules that are compatible with Raspberry Pi modules with the CSI interface. The main characteristics of 5, 8 and 12 pixel cameras and high - quality HQ and GS cameras are considered, the sensitivity characteristics of some cameras and programming recommendations are given.

*V. Makarenko*

Компанія Raspberry Pi Foundation окрім модулів Raspberry Pi випускає модулі відеокamer. В даний час існує кілька офіційних модулів камери Raspberry Pi. Оригінальна 5-мегапіксельна модель була випущена в 2013 році, а потім 8-мегапіксельний модуль камери 2, який був випущений в 2016 році. Останньою моделлю камери є 12-мегапіксельний Camera Module 3, який був випущений в 2023 році. Оригінальний 5-мегапіксельний пристрій більше не доступний у Raspberry Pi [1], хоча придбати такі модулі ще можливо.

Усі ці камери випускаються у варіантах видимого світла та інфрачервоного випромінювання, тоді як модуль камери 3 також поставляється у стандартній або ширококутній комплектації у чотирьох різних варіантах.

Модулі камери Raspberry Pi сумісні з усіма комп'ютерами Raspberry Pi з роз'ємами SCSI, тобто з усіма моделями, крім Raspberry Pi 400 і версії Zero, випущеної у 2016 році.

Більшість цифрових камер (у тому числі і Raspberry Pi модулі) використовують рухливий затвор: вони сканують отримане зображення рядково, а потім виводять результати. Це може спричинити ефект спотворення при зйомках об'єктів що переміщуються з високою швидкістю (наприклад, при зйомці лопатів гвинта зображення мерехтять, а не виглядає як обертовий об'єкт).

Глобальний затвор, подібний до того, що встановлений у модулі Global Shutter Camera, фіксує світло від кожного пікселя в кадрі одночасно [2]. Це дає можливість легко знімати об'єкти що швидко рухаються, такі як лопаті повітряного гвинта. Також доступна можливість синхронізувати кілька камер, щоб зробити знімок в один і той же момент часу. У такого підходу є велика кількість переваг, напри-

клад, мінімізація спотворень при зйомці стереозображень. Людський мозок приходить в замішання, якщо який-небудь рух, що з'явився в лівому оці, ще не з'явився в правому. Камера Raspberry Pi з глобальним затвором також може працювати з більш коротким часом експозиції – до 30 мкс при достатньому освітленні. Це набагато менший інтервал в порівнянні з камерою з рухомим затвором, що робить її корисною для високошвидкісної зйомки.

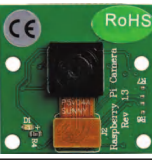



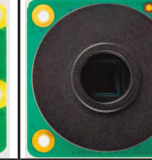
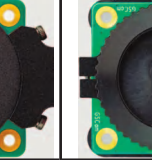
Сенсор зображення камери Global Shutter Camera має активну чутливу область діагоналлю 6.3 мм, яка за розміром аналогічна HQ (High Quality) камері Raspberry Pi. Однак пікселі матриці цієї камери мають більші розміри і вони забезпечують більш високу чутливість. Великий розмір і мала кількість пікселів цінні в додатках машинного зору – чим більше пікселів має сенсор, тим складніше обробляти зображення в режимі реального часу. Щоб обійти цю проблему, багато програм обрізають зображення. У камері з глобальним затвором і відповідним збільшенням об'єктива в цьому немає необхідності, оскільки низька роздільна здатність і великий розмір пікселя дозволяють отримати зображення в звичайному режимі.

Основні характеристики камер наведені в табл. 1.

Порядок підключення і налаштування камер наведено в [3]. "Посібник з алгоритму та налаштування камери Raspberry Pi" призначений для користувачів Комп'ютера Raspberry Pi з камерою (датчиком зображення), підключеною через порт камери Raspberry Pi CSI (Camera Serial Interface), наприклад, однією з наступних:

- камера v1 на базі Omnivision OV5647
- камера v2 на базі Sony imx219
- камера HQ на базі Sony imx477
- модуль камери 3 на базі Sony imx708

Таблиця 1. Основні характеристики камер Raspberry Pi

Параметр	Camera Module v1	Camera Module v2	Camera Module 3	Camera Module 3 Wide	HQ Camera	GS Camera
						
Розмір, мм	25×24×9	25×24×9	25×24×11.5	25×24×12.4	38×38×18.4 (виключаючи об'єктив)	38×38×19.8 (29.5 з адаптером і пілозахисним ковпачком)
Маса, г	3	3	4	4	30,4	34 (41 з адаптером і пілозахисним ковпачком)
Дозвіл, Мпiкс.	5	8	11,9	11,9	12,3	1,58
Роздільна здатність сенсора, пікс.	2592×1944	3280×2464	4608×2592	4608×2592	4056×3040	1456×1088
Режими відео	1080p30, 720p60, 640×480p60/90	1080p47, 1640×1232p41, 640×480p206	2304×1296p56, 2304×1296p30 HDR, 1536×864p120	2304×1296p56, 2304×1296p30 HDR, 1536×864p120	2028×1080p50, 2028×1520p40, 1332×990p120	1456×1088p60
Сенсор	OmniVision OV5647 1/4"	Sony IMX219 1/4"	Sony IMX708 1/2.43"	Sony IMX708 1/2.43"	Sony IMX477 1/2.3"	Sony IMX296 1/2.9"
Область зображення сенсора, мм	3.76×2.74	3.68×2.76	6.45×3.63	6.45×3.6	6.287×4.712	6.3 діагональ
Розмір пікселя, мкм	1.4×1.4	1.12×1.12	1.4×1.4	1.4×1.4	1.55×1.55	3.45×3.45
Фокусування	Фіксоване	Регульоване	Моторизоване	Моторизоване	Регульоване	Регульоване
Глибина різкості	1 м...∞	10 см...∞	10 см...∞	5 см...∞	–	–
Фокусна відстань, мм	3.6± 0.01	3,04	4,74	2,75	Залежить від об'єктива	Залежить від об'єктива
Горизонтальний кут огляду, град.	53.5±0.13	62,2	66	102	Залежить від об'єктива	Залежить від об'єктива
Вертикальний кут огляду, град.	41.41±0.11	48,8	41	67	Залежить від об'єктива	Залежить від об'єктива
Коефіцієнт фокусування (F- Stop)	F2.9	F2.0	F1.8	F2.2	Залежить від об'єктива	Залежить від об'єктива
Максимальний час експозиції, с	0,97	11,76	112	112	670,74	15,5

• камера з глобальним затвором на базі Sony imx296

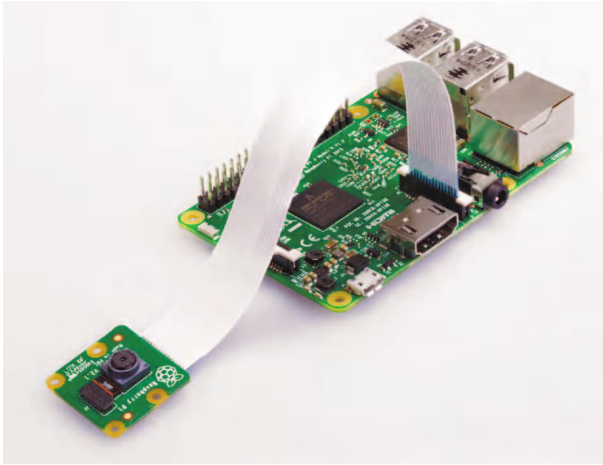
• також є ряд сумісних модулів камери від сторонніх виробників (наприклад IMX219 8MP [4]).

На рис. 1 наведено підключення плати камери через порт CSI.

Програмним забезпеченням, що керує системою камер, є libcamera. Досвід показує, що управляти складними системами камер безпосередньо за допомогою драйверів ядра (як правило, V4L2)

дуже складно, що часто призводить до появи великої кількості небажаного і сильно залежного від платформи прикладного коду. З цієї причини з'явився користувальницький стек libcamera набагато більш високого рівня, що забезпечує механізми інтеграції датчиків зображення та процесорів обробки сигналів зображення (ISP).

У [4] описано саме таку інтеграцію, показуючи, як можна написати драйвери для створення компонентів системи. наведено короткий огляд системи в ці-



**Рис. 1. Підключення плати камери через порт CSI-2**

лону, що містить інформацію про те, що вже передбачено в системі і що необхідно додати в плані драйверів датчиків зображення і алгоритмів управління інтернет-провайдером для отримання зображень. Детально розглянуто алгоритм управління Raspberry Pi, що забезпечує платформу алгоритмів управління. Описано також інструмент налаштування камери, який автоматизує більшу частину процесу налаштування алгоритмів управління ISP для різних датчиків зображення.

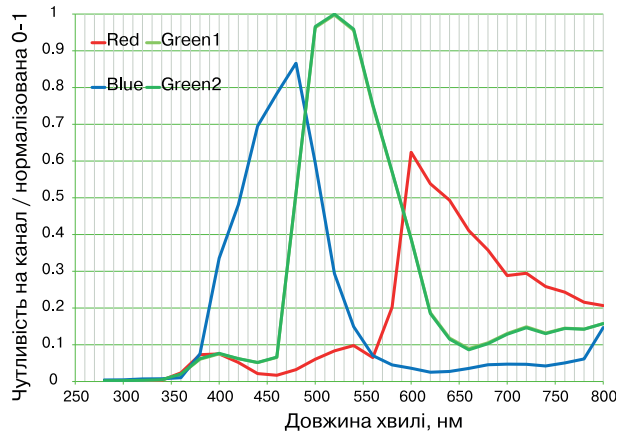
Для отримання додаткової інформації, крім [4], можна відвідати форум Raspberry Pi Camera Board за адресою <https://www.raspberrypi.org/forums>.

Система візуалізації Raspberry Pi працює з libcamera, концентруючись, зокрема, на процесах калібрування і налаштування інтернет-провайдера для ефективної роботи з різними датчиками зображення. Більш того, інтеграція з libcamera дозволяє уникнути використання будь-яких фірмових алгоритмів управління, що поставляються виробниками мікросхем. Швидше, Raspberry Pi надає свої власні алгоритми управління, що працюють безпосередньо на ARM-ядрах чіпа, у вигляді відкритого вихідного коду, який може бути легко перевірений і змінено користувачами. Для отримання додаткової інформації про роботу з libcamera треба скористатись джерелом [5].

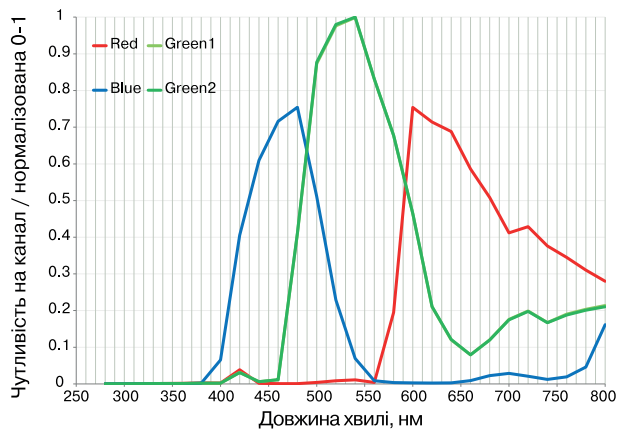
На рис. 2-4 наведені деякі характеристики чутливості доступні для модуля камери 3 та камер HQ та GS [6].

#### Література

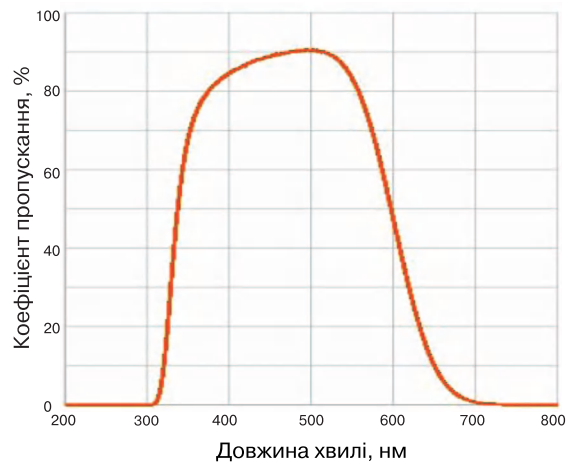
1. About the Camera Modules / <https://www.raspberrypi.com/documentation/accessories/camera.html>



**Рис. 2. HQ-камера без ІЧ-фільтра**



**Рис. 3. Raspberry Pi Global Shutter-камера без ІЧ-фільтра**



**Рис. 4. Крива пропускання ІЧ-фільтра для HQ-камер та камер GS**

[berrypi.com/documentation/accessories/camera.html](https://www.raspberrypi.com/documentation/accessories/camera.html)

2. The official Raspberry Pi camera guide / [https://raspberrypi.ru/files/camera\\_guide.pdf](https://raspberrypi.ru/files/camera_guide.pdf)

3. Raspberry Pi Camera Algorithm and Tuning Guide / <https://datasheets.raspberrypi.com/camera/rasp->

berry-pi-camera-guide.pdf

4. Raspberry Pi Camera Module / [https://www.arducam.com/downloads/modules/RaspberryPi\\_camera/RaspberryPi\\_IMX219\\_8MP\\_Camera\\_Module\\_DS.pdf](https://www.arducam.com/downloads/modules/RaspberryPi_camera/RaspberryPi_IMX219_8MP_Camera_Module_DS.pdf)

5. Getting Started / <https://libcamera.org/getting-started.html>

6. Розширена спектральна чутливість камери Raspberry Pi / [https://datasheets.raspberrypi.com/camera/camera-extended-spectral-sensitivity.pdf?\\_gl=1\\*q2g8rx\\*\\_ga\\*MTY3MDgzMjk5Ny4xNzIzNjA3NTgw\\*\\_ga\\_22FD70LWDS\\*MTcyNDY3MjM2My4xNi4xLjE3MjQ2NzIzNjYuMC4wLjA](https://datasheets.raspberrypi.com/camera/camera-extended-spectral-sensitivity.pdf?_gl=1*q2g8rx*_ga*MTY3MDgzMjk5Ny4xNzIzNjA3NTgw*_ga_22FD70LWDS*MTcyNDY3MjM2My4xNi4xLjE3MjQ2NzIzNjYuMC4wLjA)



**VD MAIS: 5000 кв.м  
друкованих плат за рік**

## 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](mailto:info@vdmiais.ua), [www.vdmiais.ua](http://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 сервевна пайка компонентів, що монтуються 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](mailto:info@vdmiais.ua), [www.vdmiais.ua](http://www.vdmiais.ua)

**VD MAIS**

**Контрактне  
виробництво  
електроніки  
(по стандарту IPC-A-610)**



- автоматизований монтаж ЕЛІО-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@vdmiais.ua](mailto:info@vdmiais.ua), [www.vdmiais.ua](http://www.vdmiais.ua)



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 сталючої арматурної проволочи.

# ІНТЕЛЕКТ НА МЕЖІ

## INTELLIGENT EDGES

У статті розглянуті основні переваги застосування Інтелекту на межі.

Т. Бредікич

The article discusses the main advantages of using Intelligent Edge.

T. Bradicich

**Інтелект на межі або Intelligent Edge** [1]. Фахівці використовують периферійні обчислення для створення "розумних" будівель, міст, робочих приміщень, "розумних" полів, теплиць, виробничих цехів тощо. Розглянемо, як Інтелект на межі допомагає швидше отримати більш глибоку інформацію, щоб трансформувати її у "розумні речі".

Термін "Intelligent Edge" перекладається по-різному, але найкраще розуміти його як місце дії, тобто край, границя або межа. Це може бути виробничий цех, будівля, місто, будинок, апартаменти, поле посівів, вітряна електростанція, нафтова вишка, телекомунікаційна станція, спортивна арена, поле бою, автомобіль і т. і. З наведеного випливає, що це місце, де функціонують Інтернет речі (IoT). Край або межа є "інтелектуальною", тому що на межі застосована розумна обчислювальна та контрольована інформаційна технологія. Важливо те, що Інтелект на межі надає аналітичні можливості, якими раніше володіли дистанційні або хмарні центри обробки даних.

Переваги Інтелекту на межі можна пояснити за допомогою трьох функцій, які отримали назву С-функції Connect, Compute, Control:

1. **Функція підключення** або Connect означає, що Інтернет речі підключаються до мережі. Це сприяє створенню нових джерел даних і їх обсягу.

2. **Функція обчислення** або Compute означає, що Інтелект на межі може обчислювати або обробляти ці дані, надавати доступ до програм і розкривати необхідні відомості про підключені Інтернет речей.

3. **Функція управління** або Control означає, що численні оброблені дані придатні для управління Інтернет речами на межі

**Приклади виконання цих функцій.** Роздрібний магазин підключає відомості про товар, наприклад, холодні напої, та цифрові табло цін на ці напої на полицях до мережі. Тепер роздрібний продавець може миттєво відстежувати запаси та бачити, скільки часу потрібно, щоб продати кожен напій. Цю інформацію в поєднанні з зовнішньою температурою та даними

про продажі з інших місць використовують для коригування та контролю цін на напої в реальному часі. У цьому додатку дисплей або табло напоїв і цін є Інтернет речам, підключеними до мережі. Це дозволяє роздрібному продавцю максимізувати продажі та мінімізувати витрати на доставку, одночасно забезпечуючи краще обслуговування клієнтів.

Ще один приклад: людина із програмою для смартфона, яка заходить у велику офісну будівлю із бездротовими службами визначення місцезнаходження, має можливість знайти конференц-зал, принтер або потрібних фахівців, не запитуючи нікого про потрібний напрямок чи приміщення. Це миттєве уявлення про те, де знаходиться необхідний працівник відносно інших пов'язаних речей значно покращує враження від такої інтелектуальної будівлі.

Медіа та телекомунікаційна індустрія стикаються зі зростаючим тиском розповсюдження відео через підвищення роздільної здатності. У результаті постачальники телекомунікаційних послуг починають розміщувати складні обчислювальні системи та системи керування на підприємствах і вдома. Ці розподілені інтелектуальні засоби роблять послуги більш конкурентоспроможними та покращують взаємодію з користувачами.

Інтелектуальні дані на цих межах продовжують удосконалюватись за підтримки нових галузевих стандартів і стеків програмного забезпечення, подібних до тих, що раніше були притаманні для віддалених центрів обробки даних або хмарних технологій. Таким чином, тенденція розподіленого обчислення зумовлена необхідністю надавати кращі послуги в точці їх споживання та уникати обмежень, які накладають віддалені центри обробки даних або хмари.

**Типи Інтелекту на межі.** Існує три типи засобів Інтелекту на межі: Інтелект на межі операційних технологій (OT), Інтелект на межі Інтернету речей (IoT) та Інтелект на межі інформаційних технологій (IT). Інтерфейси OT зазвичай містять інтелектуальні засоби та елементи управління, але традиційно вони обмежені у комунікаціях та обчислювальній потужно-

сті. Приклади межі ОТ включають електростанції, морські нафтові вишки і т.п. Інтелект на межі ІТ поширений в телекомунікаційній та медіа-індустрії для розподіленої передачі та обробки даних, а також для розподілених обчислень.

У багатьох випадках технологія Інтернету речей є об'єднанням операційних та інформаційних технологій. Для розробки системи Інтернету речей з Інтелектом на межі розглянемо узагальнену чотирирівневу структуру прийняття рішень. Інтернет речі підключені до сенсорів збору даних і виконавчих механізмів (актюаторів) для підтримки управління через дротові або бездротові мережі (рівень 1). Ці сенсори та виконавчі механізми підключаються до шлюзів, комутаторів і систем збору даних на рівні 2. Рівень 3 містить ІТ-систему, яка знаходиться на межі, а рівень 4 – це віддалений центр обробки даних або хмара. Не всі реалізації Інтернету речей включають усі чотири рівня або етапи прийняття рішень (наприклад, деякі з них включають прямий зв'язок датчика з хмарою).

Системи промислового Інтернету речей має значні переваги, коли використовується на складних виробництвах, наприклад, при зчитуванні даних з турбіни на електростанції. Фізичні дані, отримані з турбіни, такі як температура, вологість і вібрація, дають важливу інформацію про стан машини. Прогнозні аналітичні програми обробляють ці дані та визначають стан працездатності турбіни. Це забезпечує кращий контроль над процедурами технічного обслуговування та надає можливість передбачити несправності, пов'язані з перебоями або відключеннями складних механізмів, що може призвести до великих втрат та простоїв критичного обладнання.

**Сім переваг обчислювань за допомогою Інтелекту на межі.** Незважаючи на те, що всі три С-функції (підключення, обчислення та управління) сприяють використанню Інтелекту на межі, вдосконалення обчислень є особливо важливим, оскільки воно може давати миттєве, тобто у реальному часі, розуміння потрібної дії з управління на основі периферійних даних за відносно низьку вартість. Установи можуть використовувати обчислення на межі з метою:

1. **Мінімізувати затримку.** Існує багато програм, які вимагають негайного прийняття рішення та виконання управлінських дій. Для деяких критично важливих функцій обчислення мають виконуватися на межі, оскільки будь-яка затримка може бути неприпустимою. Так, наприклад, робот маніпулятор в цеховому виробничому процесі вимагає точних на-

лаштувань і калібрування для підтримки якості продукції. Якщо підприємство випускає 50 виробів за хвилину, важливо, щоб калібрування виробу проводилося в режимі реального часу, щоб мінімізувати можливі дефекти.

## 2. Зменшити необхідну пропускну здатність.

Надсилання (або отримання) великих масивів даних із Інтернету речей у хмару може потребувати величезну пропускну здатність каналу зв'язку. Обчислення на межі є найпростішим рішенням цієї проблеми.

3. **Знизити вартість.** Навіть якщо пропускну здатність достатня для обчислень, це може коштувати дорого. Ефективність є важливим елементом будь-якої стратегії в технології Інтернету речей.

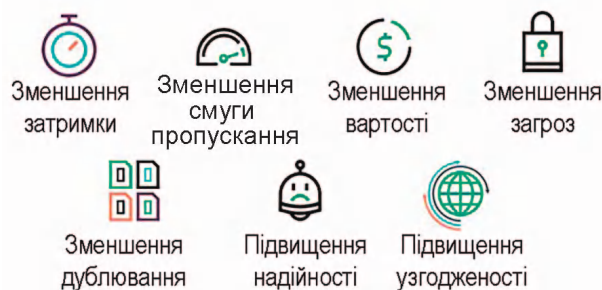
4. **Зменшити загрози.** Коли дані передаються на велику відстань, наприклад, через усю країну, ці дані простіше піддаються атакам. Обробка даних на межі може зменшити їх вразливість та підвищити кібербезпеку системи у цілому.

5. **Уникнути дублювання.** Якщо всі дані буде зібрано та надіслано до хмари, ймовірно, буде певне дублювання в пам'яті, сховищі, мережевому обладнанні та програмному забезпеченні. Якщо таке дублювання не потрібне, то пов'язані з цим збільшенням капітальні і операційні витрати є невиправданими.

6. **Підвищити надійність.** Навіть без зловмисної діяльності хакерів дані можуть бути пошкоджені самі по собі. Повторні спроби, розриви та пропущені з'єднання заважатимуть комунікаціям між віддаленими центрами обробки даних.

7. **Підтримати відповідність місцевому або корпоративному законодавству.** Віддалену передачу даних регулюють закони та корпоративні правила. Наприклад, деякі країни забороняють компаніям переміщувати персональні дані своїх громадян за межі своїх кордонів.

Переваги застосування Інтернету на межі наведені на рис. 1.



**Рис. 1. Переваги застосування Інтелекту на межі**

**Робота з інтелектуальними Інтернет речами.**

У наукових та інженерних установах рентабельність інвестицій може бути пов'язана з прискоренням інновацій. Спочатку треба визначити інженерні чи наукові переваги, які можна отримати від системи Інтернету інтелектуальних речей, Оцінити, як це вплине на роботу підприємства або іншого "розумного" об'єкта в разі успіху.

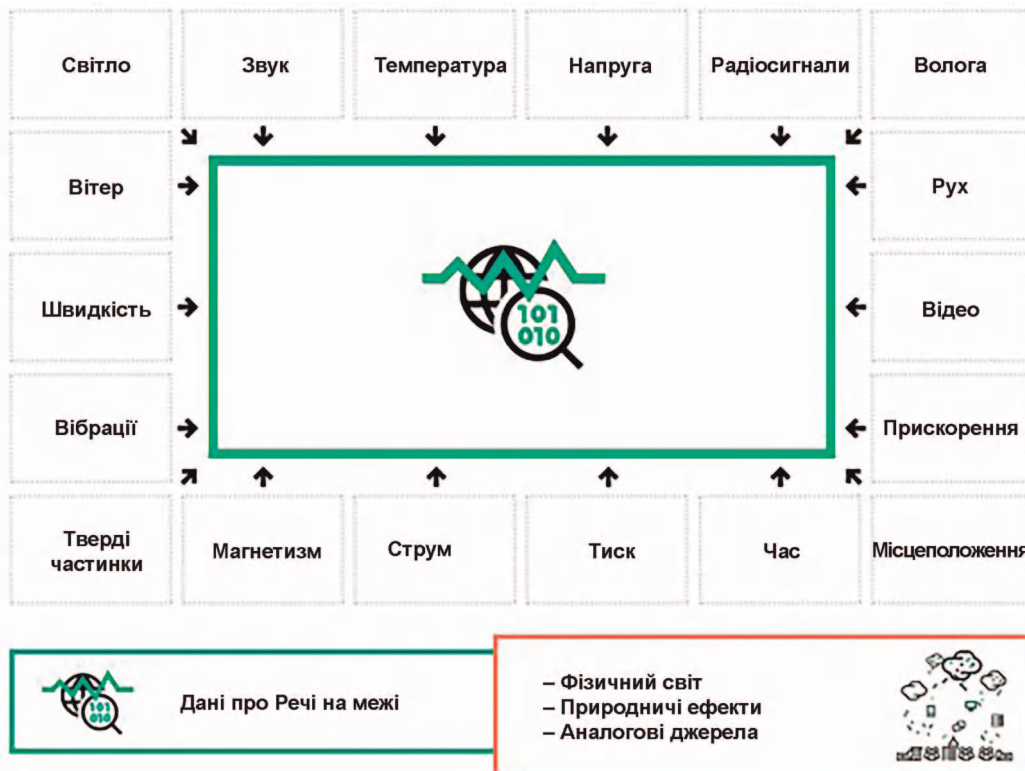
Важливо контролювати Інтернет речі, щоб покращити їх роботу або скорегувати технологічні процеси, перемістивши запаси, додавши персонал або змінивши ціни на продукти. Якщо невеликий проект виглядає багатообіцяючим, доцільно розширити його, додаючи більше відповідних Інтернет речей і збільшуючи збір додаткових даних. Потрібно сприяти конвергенції функцій ОТ та ІТ. Фахівці з комп'ютерної інженерії та ОТ повинні працювати пліч-о-пліч з ІТ-фахівцями.

**Прогнозування майбутнього.** Значна частина досвіду у роботі з Інтелектом на межі та системами Інтернету речей базується на постійному зв'язку з користувачами та станом навколишнього середовища. Це, у свою чергу, призводить до зростання обсягів і різновидів периферійних даних. Якщо необхідно працювати з великими даними, доцільно використовувати Інтелект на межі разом з Інтернетом

речей. Джерела даних на межі, як правило, традиційні, оскільки це переважно дані про стан зовнішнього середовища, такі як світло, звук, радіохвилі, місцезнаходження, час, тиск, швидкість та багато інших, як показано на рис. 2.

**ВИСНОВКИ**

Оскільки великі та різноманітні набори даних покращують точність прогнозів і висновків, можна очікувати більш надійні медичні прогнози, ясність щодо того, коли відбудуться збої обладнання, або точність щодо того, що люди будуть купувати, хто виграє на виборах, куди люди поїдуть у відпустку і т. і. У майбутньому з'явиться можливість точніше передбачати та прогнозувати майбутнє. Якщо спостерігачі зможуть відстежувати отримані моделі поведінки та споживання, а також різні коментарі, дописи та твіти, вони зможуть передбачити, що збираються робити ті, про кого отримані дані. Зростаючі різноманітні набори даних полегшать роботу таких спостерігачів. Інтелект на межі – це новий напрямок в розвитку інформаційних технологій. Установи, які розгорнули та впровадили проекти з технології Інтернету речей, вже отримали віддачу у вигляді економії коштів, підвищення ефективності та рівня за-



**Рис. 2. Дані для системи Інтернету речей**

доволеності користувачів. Настав час подумати про те, яку користь можна отримати від впровадження технології Інтелекту на межі.

1. <https://www.iiot-world.com/industrial-iot/connected-industry/the-intelligent-edge-what-it-is-what-its-not-and-why-its-useful/>

(Спочатку ця стаття була опублікована за наведеним у оригіналі посиланням.)



Автор – Tom Bradicich, VP

Dr. Tom Bradicich is Vice President and General Manager at Hewlett Packard Enterprise (HPE), leading the global business unit dense scalable servers and IoT Systems and Software, with P&L, worldwide product development, and customer experience ownership. He directs the HPE Discovery Labs and IoT Innovation Labs

in the US, Europe, and Asia, for partner and customer collaborations. Tom and his teams are noted for beating sales quotas, and developing innovative and first of a kind solutions that greatly enhance business outcomes for customers world wide.

(Томас Бредікіч є віце-президентом і генеральним директором компанії Hewlett Packard Enterprise (HPE), яка очолює глобальний бізнес-підрозділ щільних масштабованих серверів, систем і програмного забезпечення Інтернету речей, з прибутками та витратами, розробкою продуктів у всьому світі та володінням клієнтським досвідом. Він керує HPE Discovery Labs та IoT Innovation Labs у США, Європі та Азії для співпраці з партнерами та клієнтами.

Том і його команда відомі тим, що перевищують встановлені квоти продажів і розробляють інноваційні та перші в своєму роді рішення, які значно покращують бізнес-результати для клієнтів по всьому світу.



За мотивами картини  
В.О. Тропініна  
"Кружівниця"

[Від ремесла до мистецтва]

## 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

**VD MAIS**  
PCB Professionally

тел.: (044) 201-0202, [info@vdmiais.ua](mailto:info@vdmiais.ua), [www.vdmiais.ua](http://www.vdmiais.ua)

# ТЕХНОЛОГІЯ РОЗУМНОЇ ЛІКАРНІ У ВІДДІЛЕННЯХ ІНТЕНСИВНОЇ ТЕРАПІЇ \*

## SMART HOSPITAL TECHNOLOGY IN THE ICU: MAKING HEALTHCARE MORE HUMAN

У статті розглянуто перспективи застосування сучасних інформаційних технологій та штучного інтелекту у відділеннях інтенсивної терапії.

*В. Романов*

**Abstract** – The article examines the prospects of using modern information technologies and artificial intelligence in intensive care units.

*V. Romanov*



Пацієнти у відділеннях інтенсивної терапії перебувають у найважчих станах і потребують ретельного догляду. Таким чином, помилки у такому відділенні можуть мати важкі наслідки. Проте, незважаючи на високу вартість таких помилок, помилки все ще є поширеними через ручний робочий процес, нестачу персоналу та велике навантаження на працівників охорони здоров'я у відділеннях інтенсивної терапії. Інформаційні технології надають можливість зменшити кількість помилок, яких можна уникнути, і покращити догляд за пацієнтами.

Слід відмітити, що сучасні інформаційні технології допомагають запровадити передові інтелектуальні лікарняні технології у відділеннях інтенсивної терапії. Незалежно від того, чи це просто оптимізація розкладів для покращення робочих процесів, чи автоматизація безпосереднього догляду за пацієнтами, на сьогодні цифрові технології вже продемонстрували свій потенціал для підвищення ефективно-

сті лікування, зменшення кількості помилок і покращення позитивних результатів для пацієнтів.

**Епідемія помилок у відділеннях інтенсивної терапії.** Несприятливі наслідки для пацієнтів можуть початися з дрібних помилок: неправильні діагнози, пропущені кроки в процедурах або лікуванні, помилки в лікуванні, нездатність розпочати або припинити лікування в належний час або просто неправильне спілкування лікаря з пацієнтом [1].

У роботі [1] показано, що навіть у країнах з високим рівнем доходу один із 10 пацієнтів зазнавав негативного впливу під час лікування. Дослідження показало, що 15% витрат на лікарні пов'язані з помилками в догляді або зараженням пацієнтів під час перебування в лікарні [1] (рис. 1-3). Розумні лікарняні технології можуть допомогти лікарям і медсестрам уникнути таких помилок. Будь-який процес, який можна повністю або частково оцифрувати, дає можливість медичному персоналу приділяти вивільне-

\* Стаття підготовлена В. Романовим за результатами огляду Інтернет-публікацій.

ний додатковий час для безпосередньому догляду за пацієнтами.



**Рис. 1. 10% пацієнтів відчують побічні ефекти під час лікування, навіть у країнах з високим рівнем доходу**



**Рис. 2. Медикаментозні помилки становлять 78% серйозних медичних помилок у відділенні інтенсивної терапії**



**Рис. 3. 7% смертей у відділенні інтенсивної терапії потенційно можна уникнути [2]**

**Корінь помилок у відділеннях інтенсивної терапії.** У сфері охорони здоров'я ліки мають лікувати першопричину хвороби, а не лише боротися із симптомами. Те саме можна сказати про вирішення проблем у відділенні інтенсивної терапії: лікування повинно починатися з розуміння того, де і чому виникають помилки у відділенні інтенсивної терапії. Лише тоді цифрова трансформація зможе мати найбільший вплив на зменшення чи усунення помилок. Зараз 70% викликів медичної сестри у лікарні мають неклінічний характер, наприклад, від пацієнта, який не може знайти пульт до телевізора і т. п.

**Застаріли робочі процеси.** Багато лікарень все ще використовують ручні процеси, які можуть спричинити помилки та вплинути на ефективність лікування. Медичні працівники можуть витратити від однієї до двох годин наприкінці кожної зміни, просто

готуючи документи для передачі їх до наступної зміни [3]. Навіть заклади, які впровадили такі технології, як електронні медичні записи, часто можуть мати проблеми з сумісністю.

**Кадрові проблеми.** Величезне робоче навантаження, зростаюча нестача робочої сили та часті перерви створюють сприятливий ґрунт для помилок у медичному середовищі. Медсестер можуть переривати до 10 разів на годину, часто для немедичних викликів до ліжка пацієнта. Не дивно, що виснаження працівників призводить до того, що приблизно одна третина медсестер звільняється протягом перших трьох років роботи, особливо у відділенні інтенсивної терапії [3]. Всесвітня організація охорони здоров'я передбачає, що до 2030 року в усьому світі не вистачатиме 10 мільйонів медичних працівників [4].

**Підвищена складність догляду.** Пацієнти у відділенні інтенсивної терапії можуть одужувати після складних захворювань або травм, включаючи поліорганну недостатність. Інші можуть мати такі ускладнення, як хронічні захворювання або, просто, старіння організму. Навіть середньостатистичний пацієнт тепер генерує експоненціально більше даних, ніж будь-коли раніше [5]. Розумні лікарняні технології можуть допомогти медичним працівникам (або постачальникам послуг) збирати, керувати, аналізувати та ділитися даними пацієнтів з потрібними спеціалістами в потрібний момент часу.

**Технологія розумної лікарні для інтенсивної терапії.** Уявіть собі інтелектуальні лікарняні технології, які автоматизують безпосередньо догляд за пацієнтами і не потребують втручання лікаря, наприклад, введення або оновлення ліків на основі збору даних у реальному часі. Автоматизована та адаптивна механічна вентиляція є однією з таких терапевтичних технологій замкнутого циклу, яка вже використовується сьогодні [6]. Використовуючи передові технології моніторингу разом із штучним інтелектом, медичні технології можуть сприяти розумнішому, швидшому прийняттю рішень і точнішій діагностиці у випадках, де секунди чи хвилини часто мають значення. Ось кілька інтелектуальних лікарняних технологій, які допоможуть здійснити цю трансформацію:

**Моніторинг у реальному часі** (рис. 4). Цілісне уявлення про стан пацієнта в режимі реального часу сприяє ранньому виявленню істотних змін, а неінвазивний моніторинг може зменшити дискомфорт пацієнта на цьому шляху. Приклади включають безконтактні мініатюрні датчики руху (MEMS-сенсори) для аналізу рухливості та сну; мікроелектронні сенсори

для оцінки стану шкіри, які допомагають ідентифікувати пролежні, що часто зустрічаються у відділеннях інтенсивної терапії [7].



**Рис. 4. Сучасний моніторинг**

**Штучний інтелект** (рис. 5) суттєво розширює можливості носимих медичних сенсорів, покращуючи ефективність системи раннього попередження за допомогою постійного аналізу даних. Можливості штучного інтелекту до розпізнавання образів роблять його потужним інструментом для прийняття клінічних рішень і діагностичної підтримки, а також для розвитку нових тенденцій у сфері охорони здоров'я.



**Рис. 5. Штучний інтелект**

**Системи точного руху** (Precision Motion) відкривають можливості для автоматизації та оптимізації процесів безпосереднього догляду (рис. 6). Автоматизуючи повторювані рутинні процеси, медичні працівники можуть зосередитися на наданні розширеного високоякісного догляду за пацієнтами.



**Рис. 6. Системи точного руху**

**Платформа системних рішень** (рис. 7). Безпечна передача даних життєво важливих показників у режимі реального часу між пристроями може надати лікарям інформацію, необхідну для надання належної допомоги в потрібний момент часу. Щоб надати найкращу допомогу, лікарні повинні максимізувати системну інтеграцію та взаємодію комп'ютер-

них приладів та засобів в межах свого відділення та, в ідеалі, у межах всієї лікарні.



**Рис. 7. Платформи системних рішень**

Безпечні автентифікатори (рис. 8). Кібератака може поставити під загрозу як дані пацієнтів, так і пристрої безпосереднього догляду, такі як апарати штучної вентиляції легенів і медикаментозні насоси, піддаючи ризику життя пацієнтів [8]. Надійна кібербезпека потрібна як на рівні системи/мережі, так і на рівні периферійних засобів. Такі рішення, як мітки радіочастотної ідентифікації (RFID) і сканери, також можуть допомогти ідентифікувати підроблені фармацевтичні препарати для забезпечення безпеки ліків [9].



**Рис. 8. Безпечні автентифікатори**

**Оцифровка процесів у відділеннях інтенсивної терапії та гуманізація догляду** (рис. 9). Оцифровуючи процеси лікування у відділенні інтенсивної терапії, можна зробити охорону здоров'я більш гуманною та ефективнішою. Уявіть собі світ, де лікарі можуть реагувати на погіршення стану пацієнта ще до того, як у нього з'являться явні ознаки погіршення. Уявіть собі прогностичну допомогу, яка дозволяє знизити вартість на лікування хронічних захворювань. Інформаційна технологія може дозволити лікарям максимізувати час взаємодії з пацієнтом і мінімізувати помилки для підтримки позитивних результатів у лікуванні важко хворих пацієнтів.

## ВИСНОВКИ

На сьогодні інформаційні технології і штучний інтелект починають відігравати важливу роль у розширенні можливостей лікарів і медсестер. На наших очах створюються нові ефективні технології охорони здоров'я у сфері діагностики, неінвазивних оптич-





**Рис. 9. Гуманізація догляду**

них методів, розумних лікарняних ліжок, носимих медичних сенсорів і т. і., що дає змогу революціонізувати процеси лікування у відділеннях інтенсивної терапії та створити розумніше, здоровіше та ефективніше майбутнє для охорони здоров'я людини у цілому.

### ЛІТЕРАТУРА

1. "Transforming acute care through digitization."

Philips, 2019.

2. Schwab, Kristin E., et al. "Rapid Mortality Review in the Intensive Care Unit: An In-Person, Multidisciplinary Improvement Initiative." National Library of Medicine, 2021.

3. "Honeywell's Robert Robinson on healthcare digitalisation." Healthcare Digital Magazine, 2023.

4. "Health workforce." World Health Organization, accessed Oct. 2023.

5. "Health Data Volumes Skyrocket, Legacy Data Archives On the Rise." Harmony Healthcare IT.

6. "The dawn of physiological closed-loop ventilation—a review." BMC, March 29, 2020.

7. "Effectiveness of interventions to prevent pressure injury in adults admitted to intensive care settings: A systematic review and meta-analysis of randomised controlled trials." National Institutes of Health, 2021.

8. "The elephant in the room: cybersecurity in healthcare." National Institutes of Health, 2023.

9. "Critical Success Factors and Traceability Technologies for Establishing a Safe Pharmaceutical Supply Chain." National Institutes of Health, 2021.



<http://www.meanwell.com>

## Драйвери світлодіодів компанії MEAN WELL

**з вбудованим коректором коефіцієнта потужності в пластмасових корпусах IDLC/IDLV-25, ODLC/ODLV-45/65 і безкорпусні IDPC/IDPV-25**

**ODL**



- діапазон вхідних напруг 90...295 В (AC), 127...417 В (DC)
- ККД до 82%
- коефіцієнт потужності 0.9...0.95
- споживана потужність без навантаження 0,5 Вт
- вихідна напруга в режимі стабілізації струму 16,9...24/25,2...36/35...50/47...70
- номінальний вихідний струм, мА 1050/700/500/350
- вихідна потужність 25/45/65 Вт
- пульсації вихідного струму 0,05/ном
- захист від короткого замикання та перегріву
- відповідність вимогам стандартів UL8750, CSA C22.2 NO.250.13-12; ENEC EN61347-1 & EN61347-2-13, EN62384, GB19510.1, GB19510.14, EN55015, EN61000-3-2 (C), EN61000-3-3, GB17743, GB17625.1, EN61000-4-2, 3, 4, 5, 6, 8, 11; EN61547
- напруга ізоляції 3,7 кВ
- діапазон робочих температур -20...90 °C
- відносна вологість повітря 20...90%
- гарантія 3 роки

**IDP**



**VD MAIS** – офіційний дистриб'ютор компанії MEAN WELL в Україні

тел.: (044) 201-0202, [info@vdmiais.ua](mailto:info@vdmiais.ua), [www.vdmiais.ua](http://www.vdmiais.ua)

**VD MAIS**  
ДИСТРИБ'ЮТЕР + КОНТРАКТНЕ ВИРОБНИЦТВО

# НАСТАНОВА ДЛЯ РОЗРОБНИКІВ БЕЗПРОВОДОВОГО ПРОМИСЛОВОГО SMART СЕНСОРА

## A COMPLETE GUIDE TO DESIGNING YOUR SMART WIRELESS INDUSTRIAL SENSOR

У статті наведено огляд стандартів безпроводового зв'язку та оцінено придатність Bluetooth® Low Energy (BLE), SmartMesh (6LoWPAN через IEEE 802.15.4e) і Thread/Zigbee (6LoWPAN через IEEE 802.15.4) для використання в промислових жорстких радіочастотних середовищах. Надаються порівняльні показники, включаючи енергоспоживання, надійність, безпеку та загальну вартість мережі. Розглянуті сенсори для безпроводового моніторингу стану машин та механізмів в стандартах BLE та SmartMesh, включаючи новий безпроводовий сенсор із штучним інтелектом, який збільшує час роботи батареї для сенсорних вузлів.

Р. Анслоу

**Abstract** – This article provides an overview of wireless standards and assesses the suitability of Bluetooth® Low Energy (BLE), SmartMesh (6LoWPAN через IEEE 802.15.4e), and Thread/Zigbee (6LoWPAN через IEEE 802.15.4) for use in industrial harsh RF environments. Comparative metrics are provided, including power consumption, reliability, security, and total cost of ownership. SmartMesh time synchronization results in low power, and SmartMesh and BLE channel hopping result in higher reliability. SmartMesh wireless condition monitoring sensors are presented, including a new wireless sensor with edge artificial intelligence, which increases battery life for constrained edge sensor nodes.

R. Anslow

Очікується, що у недалекому майбутньому обсяг продажів смарт сенсорів для моніторингу систем з приводом двигуна зросте більш ніж удвічі (до 906 мільйонів доларів США) [1]. Очікується, що серед смарт сенсорів безпроводові та портативні пристрої будуть основними прискорювачами зростання. Моніторинг промислових машин та механізмів за допомогою безпроводових сенсорів (параметри моніторингу: температура, вібрації та інш.) має одну чітку мету: виявити, коли обладнання, що контролюється, виходить за межі нормальної роботи.

Для застосування промислових безпроводових сенсорів низьке енергоспоживання, надійність і безпека вважаються найважливішими вимогами. Інші

вимоги включають низьку загальну вартість (як правило, це мінімальна кількість шлюзів та вартість обслуговування), надійний зв'язок та протокол, здатний формувати сітку для заводських середовищ, які включають багато металевих перешкод. Мережні сітки допомагають зменшити можливий рівень екранування та відбиття на шляху інформативного сигналу.

На рис. 1 наведено огляд стандартів безпроводового зв'язку, а в табл. 1 показано рейтинг вибраних стандартів безпроводового зв'язку щодо основних промислових вимог. Зрозуміло, що стандарти BLE і SmartMesh (6LoWPAN через IEEE 802.15.4e) пропонують найкраще поєднання низького енергос-

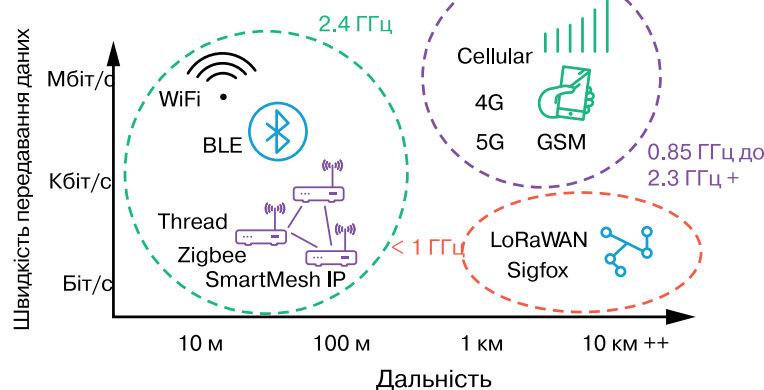


Рис. 1. Порівняння безпроводових стандартів

**Таблиця 1. Зіставлення безпроводових стандартів з вимогами промислового**

Стандарт	Відстань, м	Споживча потужність	Надійність	Стійкість	Вартість	Підтримка MESH-мережі	Безпека
Wifi (802.111 b, g)	100	Висока	Низька	Низька	Низька	Є	WPA*
BLE	20 - 100	Низька/Середня	Середня/Висока	Низька	Середня	Є	AES**
Zigbee, Thread (6LoWPAN через IEEE 802.15.4)	20 - 200	Низька/Середня	Низька	Низька	Середня	Є	AES
SmartMesh (6LoWPAN через IEEE 802.15.4e)	20 - 200	Низька	Висока	Висока	Низька	Є	AES
LoRaWAN	500 - 3000 Висока	Низька/Середня шлюзи високої	Низька	Низька	Висока	Немає, Топологія зірка	AES
* WPA - Wi-Fi Protected Access **AES - Advanced Encryption Standard							

поживання, надійності та безпеки для промислових застосувань. Стандарти Thread і Zigbee пропонують низьку споживчу потужність і безпечну реалізацію сітки, але мають нижчі показники надійності.

У табл. 2 наведено додаткові відомості про стандарти мереж Zigbee/Thread, SmartMesh і BLE. Стандарт SmartMesh містить протокол перемикання каналів із синхронізованим часом (TSCH), де всі вузли в мережі синхронізуються, а зв'язок регулюється за розкладом. Синхронізація часу призводить до низької потужності, а перемикання каналів забезпечує високу надійність. Стандарт BLE також включає перемикання каналів, але має деякі обмеження порівняно зі стандартом SmartMesh, включаючи вузли

маршрутизації з мережевим живленням (що впливає на збільшення вартості системи та потужності), причому синхронізація TSCH у стандарті BLE не підтримується. Як відмічено у табл. 2, стандарт Zigbee/Thread має низькі показники надійності та не пропонує багато переваг порівняно з BLE.

Стаття, у першу чергу, зосереджена на стандартах SmartMesh і BLE mesh як найбільш прийнятних стандартах безпроводового зв'язку для промислових сенсорів. У табл. 3 наведено огляд безпроводової платформи моніторингу вібрації у двигунах Voyager 3 і безпроводових сенсорів моніторингу двигунів нового покоління [1]. Двигун Voyager 3 використовує модуль SmartMesh (LTP5901-IPC). Сенсор

**Таблиця 2. Основні безпроводові стандарти та їх продуктивність для промислових застосувань**

Параметри та особливості	Zigbee, Thread (6LoWPAN через IEEE 802.15.4)	SmartMesh (6LoWPAN через IEEE 802.15.4e)	BLE Mesh
Частота, ГГц	2,4	2,4	2,4
Швидкість передачі даних, кбіт/с	250	250	1000, 2000
Відстань, м	20 - 200	20 - 200	20 - 150
Пропускна здатність, Мб/с	< 0.1	< 0.1	< 0.2
Топологія	Mesh, Star	Mesh, Star	Mesh, Star
Безпека	AES шифрування	AES шифрування	AES шифрування
Споживча потужність	Вузли маршрутизації з живленням від лінії	Для вузлів маршрутизації в середньому потрібно лише 50 мкА струму споживання	Вузли маршрутизації з живленням від лінії
Перемикання каналів із синхронізованим часом	немає	–	немає
Стійкість на канал	нестійкий	–	нестійкий
Надійність на канал	Одноканальний зв'язок	–	–
Сумісність стандартів	Є	В рамках стандарту	Є

вібрації містить мікроконтролер BLE. Обидва сенсори додатково включають сенсори температури та заряду акумулятора типу SOH.

Сенсори для двигунів Voyager 3 використовують MEMS-акселерометри для вимірювання амплітуди та частоти вібрації, які призначені для промислового обладнання. Зростаючі амплітуди та частоти вібрації визначаються за допомогою ШПФ, що може вказувати на такі несправності, як дисбаланс двигуна, зміщення та пошкоджені підшипники тощо.

**Таблиця 3. Прототипи безпроводових промислових сенсорів**

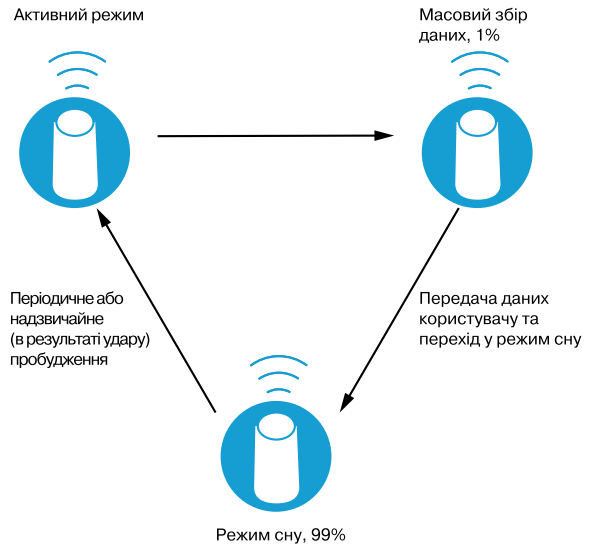
Параметри	Voyager 3	Сенсор нового покоління
Безпроводовий стандарт	SmartMesh	BLE
Штучний інтелект на межі з наднизьким споживанням	Немає	Є
Температурний сенсор	Є	Є
MEMS-акселерометр	Є, трьохосний, 1 кГц	Є, трьохосний, 8 кГц
SOH* моніторинг	Є	Є
*SOH - State of Health (ступінь працездатності акумулятора у відсотках)		

На рис. 2 наведено приклад типової роботи сенсору вібрації з підтримкою штучного інтелекту для моніторингу параметрів двигуна Voyager 3. Як і у багатьох промислових сенсорах, робочий цикл становить не більше 1% – більшу частину часу сенсор знаходиться в режимі низької потужності чи сну. Сенсор періодично прокидається для збору даних або робить це під час удару внаслідок високої амплітуди вібрації для надсилання користувачеві даних про аварійну ситуацію.

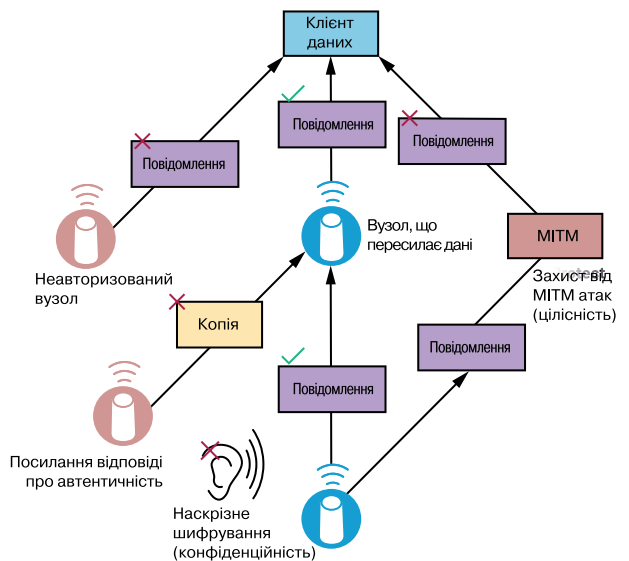
Зазвичай користувача сповіщають за допомогою прапорця, який повідомляє, що контрольований двигун, машина чи виріб справні або несправні, і користувачеві в останньому випадку надається можливість зібрати більше даних.

Мережі SmartMesh мають кілька рівнів безпеки, які можна класифікувати як забезпечення конфіденційності, цілісності і автентичності.

Короткий огляд рівнів безпеки мережі SmartMesh наведено на рис. 3. Конфіденційність досягається за допомогою наскрізного шифрування AES-128-біт, навіть якщо в мережі є кілька вузлів.



**Рис. 2. Типова операція безпроводового промислового сенсора для моніторингу параметрів двигуна Voyager 3**



**Рис. 3. Реалізація безпеки для мереж BLE і SmartMesh**

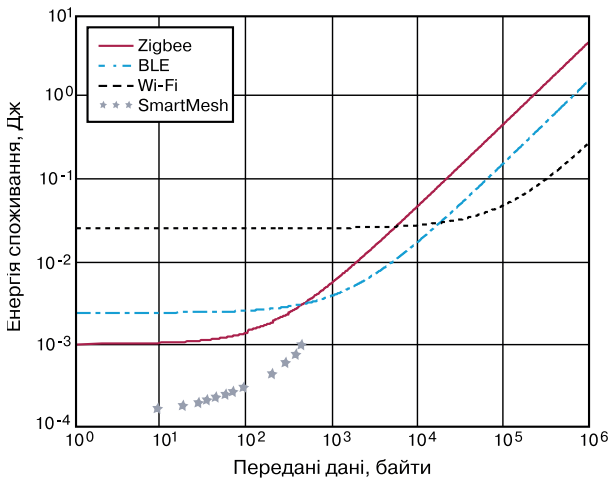
Передані дані захищені кодами автентифікації повідомлень (виконується перевірка цілісності повідомлення за вимогами MIC - message integrity check), щоб перевірити, що їх не було підроблено.

Дані також захищені від атак посередині мережі (виконується перевірка за вимогами MITM – Man-In-The-Middle attack), як показано на рис. 3 [2]. Можливі кілька рівнів автентифікації пристрою, що додатково запобігає додаванню в систему несанкціонованих сенсорів.

Пристрої, що працюють із версіями 4.0 і 4.1 стандарту BLE, є вразливими для безпеки, однак версії

4.2 і новіші включають розширений захист, як показано на рис. 3.

Сенсори, наведені у табл. 3, працюють із робочим циклом 1% з максимальним корисним навантаженням мережі даними розміром 90 байтів від двигуна Voyager 3, а також максимальним корисним навантаженням даними штучного інтелекту розміром 510 байт. На рис. 4 показано, що для даних 500-1000 байт мережа BLE споживає менше енергії порівняно з мережами Zigbee і Wi-Fi. Таким чином, мережа BLE добре підходить для використання в задачах промислового моніторингу з підтримкою штучного інтелекту.



**Рис. 4. Залежність енергії споживання від обсягу переданих даних [3]**

**Таблиця 4. Основні проблеми для безпроводових мереж у промисловому застосуванні та продуктивність мереж BLE/SmartMesh**

Переваги	Проблеми	Мережа SmartMesh	Мережа Bluetooth Mesh
Надійний зв'язок у мережах із щільним форматом	Вузли заважають один одному, сповільнюючи роботу мережі	Ефективне розподілення каналів усуває зіткнення	Покладається на колізії, які сповільнюють роботу мережі
Тривалий термін служби батареї, якщо сенсори встановлені в екранованих місцях	Потрібні енергоефективні підключення крайових вузлів, щоб відповідати специфікаціям терміну служби акумулятора	Вузли маршрутизації, що живляться від батареї, встановлюють підключення на близькій відстані до крайових вузлів	Вузли маршрутизації з мережевим живленням встановлюють з'єднання на близькій відстані до крайових вузлів
Надійні з'єднання в динамічних промислових середовищах	Рух обладнання або відкриття/закриття дверей спричиняють багатопроблемне невідбиття	Використовується перемикання каналів, щоб уникнути нульових повідомлень	Використовується перемикання каналів, щоб уникнути нульових повідомлень
Надійний зв'язок у переважаних радіодіапазонах	Перешкоди обмежують пропускну здатність трафіку даних у мережі	Перемикання каналів, щоб уникнути перешкод, ефективний розподіл смуги пропускання підтримує трафік	Призначена для невеликих мереж

лекту.

Мережа SmartMesh забезпечує наднизьке енергоспоживання, особливо для корисних даних розміром 90 байт або менше (як це використовується в сенсорі двигуна Voyager 3). Споживання енергії мережі SmartMesh оцінюється за допомогою інструменту SmartMesh Power and Performance Estimator, доступного на веб-сайті. Експериментально підтверджено точність оцінки потужності SmartMesh від 87% до 99% залежно від того, чи є сенсор маршрутним чи кінцевим вузлом.

Окрім споживчої потужності безпроводового передавання даних, необхідно враховувати загальний рівень споживання мережі в цілому. Як впливає з табл. 2, стандарти BLE і Zigbee працюють за допомогою одного шлюзу. Однак обидва також вимагають живлення від лінії для вузлів маршрутизації. Це збільшує рівень споживання електроенергії. Навпаки, вузли маршрутизації стандарту SmartMesh потребують у середньому лише 50 мкА струму, і вся мережа може працювати за допомогою одного шлюзу. Тому стандарт SmartMesh є більш енергоефективним.

Як згадувалося раніше, стандарт SmartMesh використовує синхронізацію TSCH, яка має такі характеристики:

- усі вузли в мережі синхронізовані
- спілкування організовано за розкладом
- синхронізація часу призводить до низької по-

тужності

- перемикання каналів забезпечує високу надійність
- запланований характер спілкування забезпечує високий рівень детермінізму.

Точність синхронізації знаходиться у межах не більше 15 мкс по всій мережі. Такий високий рівень синхронізації призводить до надзвичайно низької споживчої потужності. Середнє значення енергоспоживання складає 50 мкА, у 99% випадків струм споживання не перевищує це значення більше ніж на 1.4 мкА. У табл. 4 наведено деякі важливі проблеми застосування та як стандарти SmartMesh і BLE-mesh їх вирішують [4].

Стандарт SmartMesh працює краще для щільних мереж із великою кількістю вузлів. Обидва стандарти BLE і SmartMesh добре працюють у динамічних промислових середовищах [4]. Надійність мережі SmartMesh було перевірено на виробництві пластин для інтегральних мікросхем [5]. Це жорстке радіочастотне середовище з щільним металом і бетоном. Тридцять два безпроводові сенсорні вузли були розподілені в сітчасту мережу з чотирма переходами між найдалішим сенсорним вузлом до шлюзу. Чотири пакети даних надсилалися кожні 30 секунд від кожного сенсорного вузла. Протягом 83 днів із сенсорів було надіслано 26 137 382 пакети, отримано 26 137 381 пакет, що забезпечує надійність 99,999996%.

Бездротовий сенсор нового покоління включає мікроконтролер MAX78000 з апаратним прискорювачем на базі штучного інтелекту. Цей апаратний прискорювач мінімізує переміщення даних і використовує паралелізм для оптимального використання енергії та пропускної здатності. Бездротові промислові сенсори, які зараз доступні на ринку, зазвичай працюють із дуже короткими робочими циклами. Користувач встановлює тривалість сну сенсора, після чого сенсор прокидається та вимірює температуру та вібрацію, а потім надсилає дані по мережі до агрегатора даних користувача.

Комерційно доступні сенсори зазвичай вказують 5-річний термін служби батареї на основі одного збору даних кожні 24 години або одного збору даних кожні 4 години. Сенсори наступного покоління працюватиме подібним чином, але використовуватимуть переваги виявлення аномалій інтелектом на межі (Edge AI), щоб обмежити додаткове використання радіоканалу. Коли сенсор виходить із режиму сну та вимірює сигнали вібрацій, дані за результатами вимірювань надсилаються користувачеві лише у

разі виявлення аномалії у рівнях вібрації. Таким чином, час автономної роботи сенсора можна збільшити щонайменше на 20%. Виміряні аномалії під час роботи досліджуваного двигуна можна у подальшому використовувати для класифікації несправностей, викликаних вібраціями.

## ВИСНОВКИ

За результатами аналізу сучасних стандартів безпроводового зв'язку оцінено придатність стандартів BLE, SmartMesh і Thread/Zigbee для використання в умовах високих радіочастотних заводів. У порівнянні із стандартами BLE і Thread/Zigbee стандарт SmartMesh відрізняється надзвичайною надійністю та низьким енергоспоживанням. Мережі у стандарті BLE працюють надійніше та з меншою споживчою потужністю порівняно із стандартами Zigbee та Thread, які вимагають від 500 до 1000 байт передачі даних. Мікроконтролери з вбудованим штучним інтелектом забезпечують оптимальне прийняття рішень і довший термін служби батареї для безпроводових сенсорних вузлів.

## ЛІТЕРАТУРА

1. "Predictive Maintenance in Motor Driven Systems – 2020." Interact Analysis Market Study, April 2020.
2. Kris Pister and Jonathan Simon. "Secure Wireless Sensor Networks Against Attacks." Electronic Design, April 2014.
3. Khurram Shahzad and Bengt Oelmann. "A Comparative Study of In-sensor Processing vs. Raw Data Transmission Using ZigBee, BLE and Wi-Fi for Data Intensive Monitoring Applications." 11th International Symposium on Wireless Communications Systems (ISWCS), August 2014.
4. Thomas Watteyne, Joy Weiss, Lance Doherty, and Jonathan Simon. "Industrial IEEE802.15.4e Networks: Performance and Trade-offs." 2015 IEEE International Conference on Communications (ICC), June 2015.
5. Ross Yu. "Verifying SmartMesh IP >99.999% Data Reliability for Industrial Internet of Things Applications." Analog Devices, Inc. January 2016.



## Портативні осцилографи R&S®Score Rider RTH

R&S®Score Rider RTH забезпечує функціональність восьми приладів:

- осцилографа,
- логічного аналізатора,
- аналізатора протоколів
- реєстратора даних
- цифрового мультиметра
- аналізатора спектру
- аналізатора гармонік і частотоміра
- спеціальний режим для побудови XY-діаграм
- режим розгортання та випробування по масці
- користувальницькі сценарії

- максимальна частота дискретизації 5 ГГц
- максимальний обсяг пам'яті 500 тисяч відліків, 50 млн відліків сегментованої пам'яті
- швидкість захоплення даних 50 000 осцилограм/с
- роздільна здатність АЦП 10 біт
- ізольовані входи відповідають категоріям CAT IV 600 V/CAT III 1000 V
- кольоровий сенсорний дисплей 7.0", 800×480 пікселів
- ступінь захисту IP51, відповідно до IEC 60529/IP51
- аналіз цифрових сигналів (логічний аналізатор) по 8 каналах, смуга пропускання 250 МГц, частота дискретизації 1,25 ГГц, максимальний обсяг пам'яті 125000 відліків
- чутливість каналу вертикального відхилення від 2 мВ/под. до 100 В/под.

- діапазон зсуву до 200 В
- у 4-канальних моделях функція цифрового мультиметра по кожному з аналогових каналів
- 37 функцій автоматичного вимірювання
- збереження історії та режим сегментованої пам'яті
- аналіз протоколів шин I2C/SPI, UART, CAN/LIN, CAN-FD, SENT
- аналізатор спектру, аналізатор гармонік, частотомір
- безпроводова локальна мережа та Ethernet для дистанційного керування через Інтернет і швидкого доступу до даних
- просте налаштування параметрів поворотним регулятором

Осцилограф R&S®Score Rider поставляється з усім необхідним приладдям

# ПЕРЕШКОДИ У СИСТЕМАХ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙ: ВИДИ ПЕРЕШКОД І МЕТОДИ БОРОТЬБИ З НИМИ \*

## INTERFERENCE IN TELECOMMUNICATION SYSTEMS AND METHODS OF SUPPRESSING THEM

У статті розглянуті типи перешкод в апаратурі зв'язку і конструктивні методи боротьби з ними.

Abstract - The article discusses the types of interference in communication equipment and constructive methods of suppressing them.

В. Романов

V. Romanov

**Види радіоперешкод.** Радіоперешкода – це вплив електромагнітної енергії на прийом радіохвиль, викликаний одним або кількома факторами, а саме радіацією або індукцією, що проявляється в будь-якому зниженні якості зв'язку, помилках або втратах інформації, яких можна було б уникнути при відсутності впливу такої енергії.

Зовнішні перешкоди приймаються антеною разом з корисним (інформативним) сигналом і створюються:

- електромагнітними процесами, що відбуваються в атмосфері, іоносфері та космічному просторі
- електроустановками та сусідніми передавачами або радіостанціями
- засобами постановки навмисних (штучних) перешкод.

**Внутрішні перешкоди** локалізовані в різних елементах або вузлах телекомунікаційної системи. Це, як правило, флукуаційні шуми напівпровідникових приладів та ІМС, нестабільність напруги живлення, неякісні розводка та монтаж друкованої плати тощо. Характеристики внутрішніх перешкод приймального пристрою зазвичай перераховуються до його входу. Внутрішні та зовнішні перешкоди є адитивними, коли на вході приймача сигнал приймається у вигляді:

$$x(t)=S(t) + n(t),$$

де  $S(t)$  – це інформативний сигнал, що передається,  $n(t)$  – сигнал перешкоди.

**Адитивні перешкоди:** флукуаційні, імпульсні та синусоїдальні.

1. До **флукуаційних перешкод** відносяться шуми приймача і шуми середовища поширення сиг-

налу. Їх спектр на вході приймача зазвичай ширший смуги його пропускання. Щільність ймовірності флукуаційних перешкод часто є нормальною. Як правило, її приймають як адитивний білий шум.

2. **Імпульсні перешкоди** є неперіодичною послідовністю одиночних імпульсів. Вони створюються атмосферними та промисловими джерелами перешкод, а також сторонніми каналами зв'язку.

3. **Синусоїдальні перешкоди** – це перешкоди, зосереджені за спектром (ширина їх спектру досить мала в порівнянні зі смугою пропускання приймального тракту). Джерела синусоїдальної перешкоди наступні:

- джерела навмисних (штучних) перешкод
- генератори ВЧ сигналів
- радіостанції еталонних частот.

До синусоїдальних відносяться комбіновані перешкоди всередині самого приймача. Прийнято розрізняти зовнішні і внутрішні перешкоди, пасивні та активні, гладкі та імпульсні. Їх можна також класифікувати за природою походження: промислові, атмосферні, космічні, перешкоди від радіопередавачів, внутрішні перешкоди радіопристроїв.

**Промислові перешкоди** створюються в результаті роботи близько розташованих до телекомунікаційних систем електродвигунів, релейно-контактних потужних систем, апаратів дугового електрозварювання, електроплавильних печей, рентгенівської апаратури та багатьох інших електричних пристроїв, які створюють у навколишньому середовищі електромагнітні поля різної частоти. Ці поля заважають надійній роботі чутливої апаратури радіозв'язку.

**Атмосферні перешкоди** створюються природними електромагнітними процесами у земній атмосфері, наприклад, грозовими розрядами. Ці пере-

\* Статтю підготовлено В. Романовим за матеріалами Інтернет-публікацій.



шкоди також є електромагнітними полями різної частоти та інтенсивності.

**Космічні перешкоди** викликаються електромагнітними випромінюваннями та процесами за межами земної атмосфери.

**Перешкоди від радіостанцій** створюються звичайними радіомовними і спеціальними станціями перешкод, а також постійно діючими джерелами електромагнітного випромінювання постійної частоти або спектром частот.

**Внутрішні перешкоди** з'являються у тому самому пристрої, якому вони заважають нормально функціонувати. Ці перешкоди можуть бути найрізноманітнішого походження, зокрема, від іскроутворюючих контактів, внаслідок наявності паразитних електромагнітних полів від силових трансформаторів і дроселів згладжувальних фільтрів, через власні шуми транзисторів та ІМС, а також теплові шуми резисторів і т. д. Крім того, створювати внутрішні перешкоди (наведення) можуть паразитні індуктивні та ємнісні зв'язки між окремими ланцюгами пристрою.

**Активними перешкодами** називають ті, які викликані активними природними або штучними джерелами електромагнітних коливань. Що стосується пасивних перешкод, то до них належать ті перешкоди, які обумовлені переважно природними явищами і не пов'язані з дією сторонніх джерел електромагнітних хвиль. До пасивних перешкод, наприклад, можна віднести явища федингу (завмирання сигналу) хвиль, спорадичне (раптове) поглинання радіохвиль, виникнення ехосигналів тощо. У радіопристроях, дія яких не пов'язана з поширенням радіохвиль, наприклад, підсилювачах та подібних пристроях, майже немає потреби враховувати пасивні радіоперешкоди. Тільки в окремих випадках з ними доводиться рахуватися як непрямими факторами виникнення активних перешкод.

**Гладкими перешкодами** прийнято називати такі, які створюють напругу, що майже не змінюється за величиною. Точніше кажучи, коли максимальна амплітуда перешкод не перевищує їхнє середнє значення більше ніж у 3-4 рази.

**Імпульсні перешкоди** можуть створювати короткі імпульси в десятки разів більші за амплітудою, ніж їхнє середнє значення.

**Атмосферні перешкоди** можуть бути як гладкими, так і імпульсними. Промислові перешкоди най-

частіше мають імпульсний характер. Причому їхня дія на радіотехнічний пристрій зв'язку майже будь-якого виду значно сильніше впливає на його роботу в порівнянні з дією гладких перешкод. Це пов'язано з тим, що імпульсні перешкоди викликають власні коливання резонансних ланцюгів у вузлах телекомунікаційних систем. Такі коливання згасають не миттєво і можуть поширюватися на інші вузли телекомунікаційної системи.

**Захист апаратури систем телекомунікацій від впливу перешкод.** Надійність та достовірність роботи апаратури зв'язку та систем телекомунікацій залежать від їхньої перешкодозахищеності по відношенню до зовнішніх та внутрішніх перешкод, які можуть мати випадковий або регулярний характер. Від правильного розв'язання задачі забезпечення перешкодозахищеності елементів та вузлів такої апаратури залежать терміни її розробки, виготовлення та налагодження, а також надійне функціонування в процесі експлуатації. Приймачами перешкод є високочутливі підсилювачі, лінії зв'язку, магнітні елементи. Перешкоди проникають в апаратуру зв'язку:

- безпосередньо по провідниках (**гальванічна перешкода**)
- через електричне поле (**ємнісна перешкода**)
- через магнітне поле (**індуктивна перешкода**)
- через електромагнітне поле.

Численні провідники, що входять до складу будь-якої апаратури зв'язку, можна розглядати як приймальні антенні пристрої, що приймають або випромінюють електромагнітні поля.

Гальванічний зв'язок виникає в результаті протікання струмів і падіння напруги на електричних з'єднаннях по ланцюгах і шинах живлення. Тому провідники, що об'єднують вузли в єдину систему телекомунікацій, повинні бути по можливості короткими, а їх поперечні перерізи можливо більшими, що призводить до зменшення активного опору та індуктивності провідів. Радикальним способом ослаблення гальванічної перешкоди є усунення ланцюгів, якими проходять спільні струми живлення та землі, як чутливих до перешкод схем, так і порівняно потужних схем.

На сьогодні боротьба з перешкодами набуває все більшої актуальності з наступних причин:

1. Енергетичний рівень інформативних сигналів має тенденцію до суттєвого зменшення, а енерге-

тичний рівень зовнішніх перешкод постійно збільшується.

2. Збільшення взаємного впливу вузлів зв'язку через зменшення габаритних розмірів активних елементів та ліній зв'язку між ними, а також збільшення щільності їх розміщення на друкованій платі.

3. Зростання рівня перешкод через ускладнення систем телекомунікацій та розширення застосування зовнішніх телекомунікаційних пристроїв з великою кількістю електромеханічних вузлів.

4. Впровадження систем телекомунікацій у всі сфери діяльності людини.

Основні причини, що викликають спотворення інформативних сигналів в системах телекомунікацій, наступні:

- відбиття від неузгоджених навантажень та від різних неоднорідностей у лініях зв'язку
- погіршення фронтів та затримки, що виникають при включенні навантажень із реактивними компонентами
- затримки лінії, викликані кінцевою швидкістю поширення сигналу
- перехресні перешкоди;
- паразитний зв'язок між елементами через наведення від зовнішніх електромагнітних полів.

Ступінь впливу кожного з цих факторів на спотворення інформативних сигналів залежить від характеристик ліній зв'язку у системах телекомунікацій, від типів цифрових елементів, а також конструктивного виконання всієї системи телекомунікацій у цілому.

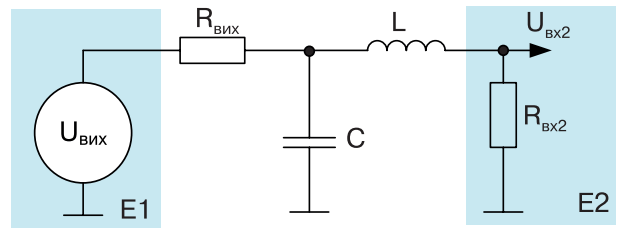
Способи ослаблення перешкод. Електричне з'єднання логічних та інших елементів апаратури зв'язку здійснюють сигнальними ланцюгами та ланцюгами живлення. По сигнальним зв'язкам інформація передається у вигляді імпульсів напруги і струму. Шини живлення служать для підведення енергії від джерел постійної напруги до компонентів апаратури зв'язку.

При групуванні елементів по вузлам апаратури зв'язку між ними утворюється велика кількість коротких і довгих зв'язків. "Короткою" називають лінію зв'язку, час поширення сигналу в якій набагато менше переднього фронту переданого по лінії імпульсу. Сигнал, відбитий від неузгоджених навантажень у цій лінії зв'язку, досягає джерела сигналу раніше, ніж встигне з'явитися новий вхідний імпульс. Властивості такої лінії можна описати зосередженими опорами, ємністю та індуктивністю.

"Довга" лінія зв'язку характеризується часом поширення сигналу, значно більшим за фронт імпуль-

су. У цій лінії відбитий від кінця лінії сигнал приходить до її початку після закінчення фронту імпульсу та спотворює його форму. Такі лінії слід розглядати як лінії із розподіленими параметрами.

У сучасних системах телекомунікацій мають місце як короткі так і довгі лінії зв'язку, причому частка довгих зв'язків із зростанням складності апаратури телекомунікацій постійно зростає. При аналізі процесів передачі сигналів коротку лінію зв'язку можна представити у вигляді еквівалентної схеми (рис. 1), що містить зосереджені індуктивність  $L$  і ємність  $C$  (омічним опором, як правило, нехтують), які затримують фронти сигналів і тим самим створюють затримки у спрацьовуванні наступних схемних компонентів.



**Рис. 1. Еквівалентна схема короткої лінії зв'язку**

Залежно від геометричних розмірів перерізів ліній, їх довжини, діелектричних властивостей ізоляційних матеріалів, той чи інший параметр лінії може переважати і надавати більший вплив на процеси передачі сигналу, ніж інші. Для зменшення затримки в лініях з індуктивним характером зв'язку слід збільшувати вхідний опір вузла  $E2$ , при ємнісному характері зменшувати вихідний опір вузла  $E1$ .

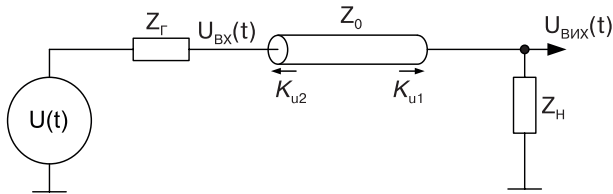
Зі зменшенням геометричних розмірів елементів і підвищенням щільності їх розміщення між сигнальними провідниками виникають ємнісний та індуктивний зв'язок, які також можна представити як зв'язок через взаємну ємність і взаємну індуктивність.

При перемиканні елементів у сигнальних ланцюгах протікають імпульсні струми з крутими фронтами, які внаслідок наявності паразитних зв'язків наводять на сусідніх сигнальних провідниках перешкоди. При цьому ємнісне наведення змінює потенціал всієї лінії зв'язку, а індуктивне – створює різницю потенціалів між входом і виходом лінії зв'язку.

Для зниження взаємних наведень необхідно зменшувати вихідний опір елементів, амплітуди струмів, довжину зв'язків та їх перетину, відстань між лініями зв'язку, застосовувати ізоляційні матеріали з достатніми діелектричними властивостями.

Довгу лінію зв'язку розглядають як однорідну лі-

нію з розподіленою ємністю і індуктивністю  $L_0$ . Перехідні процеси у таких лініях залежать від характеру перепаду напруги  $U_{вх}$  на вході лінії і співвідношення хвильового опору лінії  $Z_0$ , вихідного опору  $Z_r$  генератора імпульсів і вихідного опору  $Z_n$  (рис. 2).



**Рис. 2. Еквівалентна схема довгої лінії**

Якщо лінія з хвильовим опором  $Z_0$  навантажена на опір  $Z_n$  і  $Z_0 = Z_n$ , то таку лінію називають узгодженою, якщо  $Z_n$  і  $Z_0$  мають різні опори, то таку лінію називають неузгодженою. При цьому хвиля напруги, досягнувши кінця лінії, відбивається від нього.

Відбита хвиля, досягнувши початку лінії, згасає при  $Z_r = Z_0$ . Якщо  $Z_r$  та  $Z_0$  мають різні опори, хвиля знову відбивається від початку лінії.

Процес послідовного відбиття хвилі напруги від обох кінців лінії зв'язку йде з загасанням і триває доти, доки амплітуда відбитої хвилі не зменшиться до нуля. Відбиті хвилі напруги накладаються на падаючі. У результаті форма вхідного інформативного сигналу (напруги) може значно спотворитися. Аналогічні явища відбуваються з хвилею струму. Відбиття хвиль напруги і струму може бути не лише від неузгоджених навантажень на кінцях ліній, а й від різних неоднорідностей у ній самій.

Розглянуті процеси можуть спричинити досить великі викиди напруги. Для зменшення впливу викиду на параметри навантажених схем використовують діоди Шоттки як динамічні нелінійні опори. У міру виникнення паразитного викиду один із діодів починає відкриватися доти, доки його опір не стане приблизно рівним хвильовому опором лінії. Інший діод включений у зворотному напрямку і призначений для гасіння зворотного викиду.

В результаті енергія викидів швидко поглинається, що веде до підвищення стійкості до перешкод і надійності роботи схем. Особливо ефективно використання діодів Шоттки для довгих (до 1 м) ліній зв'язку, які зазвичай виконуються біфілярним дротом.

Якщо лінії зв'язку між елементами системи телекомунікацій не екрановані, то електромагнітні поля, що виникають при проходженні по них імпульсних височастотних сигналів, не локалізовані і тією чи

іншою мірою взаємодіють між собою. При цьому на лініях-приймачах виникають паразитні сигнали, форма і амплітуда яких залежать від характеристик лінії-приймача і лінії-індуктора, величини їх зв'язку між собою, параметрів сигналів, що передаються, і ступеня неузгодженості самих ліній. Відомо, що тільки при повному узгодженні обох ліній імпульс напруги, що наводиться, має мінімальні амплітуду і тривалість. Неузгодження лінії-приймача на одному з її кінців призводить до збільшення амплітуди і тривалості перешкоди, що наводиться.

У швидкодіючих системах зв'язку основну проблему може становити спосіб розведення ліній між окремими вузлами. На сьогодні існують три способи розведення: радіальний, з проміжними відводами, комбінований. При радіальному способі розведення кожен ІМС навантаження підключають до ІМС джерела сигналу індивідуальним зв'язком, при цьому ІМС джерело сигналу повинна мати вихідний опір, що дорівнює  $Z_0/n$ , де  $n$  – число навантажених на неї ІМС.

При великому  $n$  може знадобитися ІМС-джерело сигналу з недосажно малим вихідним опором. Інший недолік радіального способу полягає у необхідності окремої лінії зв'язку для кожного навантаження. Тому радіальний метод рекомендують лише для невеликої кількості навантажень. При способі розведення з проміжними відводами ІМС навантаження підключають до зв'язку-магістралі і далі до ІМС джерела сигналу через короткі провідники, при цьому навантажувальні ІМС повинні мати високі вхідні опори, інакше вони будуть перевантажувати лінії зв'язку.

Комбінований спосіб забезпечує узгодження у будь-якій точці лінії зв'язку шляхом розведення сигналів на навантаження, розміщені за різними напрямками. При цьому число провідників менше, ніж за радіальним способом, а вихідний опір джерела сигналів допускається порівняно високим. Якщо на лінії зв'язку знаходяться всього два навантаження, то ІМС джерело сигналу можна помістити в будь-якій точці вздовж неї.

При використанні одного джерела живлення до елементів напруга живлення підводиться за допомогою двох провідників: прямого та зворотного. Часто на ІМС потрібно подавати напругу від кількох джерел із різними номіналами. У цьому випадку для зменшення кількості шин живлення зворотні провідники об'єднують в одну шину землі, яку, як правило, з'єднують із корпусом системи телекомунікацій.

У статичному стані по ланцюгах живлення проті-

кають стаціонарні струми. Коли в апаратурі зв'язку відбувається вмикання одних елементів та включення інших, струм споживання по шинах живлення змінюється, що призводить до небажаних падінь напруги та паразитних наведень. У великих системах зміна струму в шині живлення внаслідок перемикання елементів незначна, так як у будь-який момент часу кількість включених елементів приблизно однакова.

У шинах живлення, що підводять енергію до великих систем зв'язку, перемикання елементів може призводити до значної зміни струму споживання від джерела напруги. У зв'язку з тим, що шини живлення мають паразитний ємнісний та індуктивний зв'язки з сигнальними шинами, то при перемиканні елементів на сигнальні шини наводяться порівняно великі перешкоди. За певних умов ці перешкоди можуть спричинити хибне спрацювання компонентів апаратури зв'язку.

Крім того, зміна струму в шині живлення призводить до виникнення перехідного процесу. Перехідний процес, у свою чергу, призводить до коливання напруги у компонентах апаратури зв'язку, що може змінювати їх режими роботи і параметри вихідних сигналів. Для зменшення наведень, пов'язаних із падінням напруги на шинах живлення та землі, а також з перехідними процесами в них, використовують різні методи.

Застосування згладжувальних конденсаторів. Їх встановлюють між шинами живлення та землі безпосередньо біля точок приєднання електронних пристроїв до цих шин. У мікроелектронній апаратурі використовуються два види згладжувальних конденсаторів. Перші підключаються безпосередньо до кожної ІМС, інші підключаються до групи ІМС у меж-

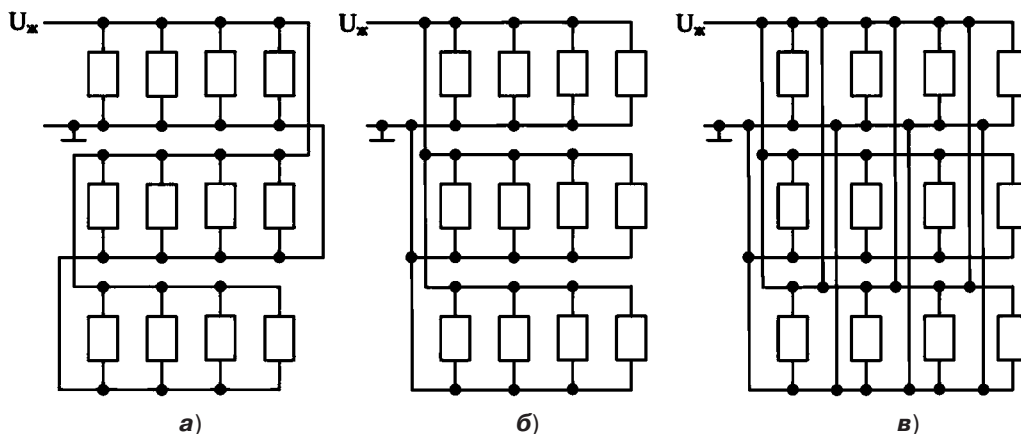
ах одного вузла чи модуля. У першому випадку конденсатори призначені для згладжування імпульсних перешкод у момент перемикання ІМС за рахунок локалізації ланцюга з протікання кидків струму безпосередньо в ІМС. Це, як правило, керамічні конденсатори, що мають мінімальну власну індуктивність. Ємність такого конденсатора вибирають, виходячи з умови рівності заряду, що накопичується конденсатором за час перемикання мікросхеми, і заряду, що переноситься викидом струму за час перемикання елемента.

У другому випадку згладжувальний конденсатор, який встановлюється на групу мікросхем і призначений для компенсації кидків струму в системі електроживлення. Це зазвичай електролітичні конденсатори великої ємності, що забезпечують виключення резонансних явищ у ланцюгах живлення.

Зменшення загальної площі протікання струмів від шин живлення до компонентів апаратури зв'язку полягає у встановленні додаткових перемичок у шинах живлення та землі, які зменшують довжину ліній протікання струмів до компонентів.

На рис. 3 представлені три варіанти з'єднання компонентів з шинами живлення та землі. У першому варіанті (а) швидке перемикання компонента (зміна струму споживання схеми), призводить до виникнення паразитного наведення в інших одинадцяти компонентах по шинах живлення та землі. У другому варіанті (б) ця перешкода в гіршому випадку впливає тільки на чотири компоненти, а в третьому варіанті (в) перешкода ще більше зменшується за рахунок введення додаткових перемичок (розпаралелювання).

Ефективним схемним методом ослаблення зовнішніх перешкод від мережі живлення є використан-



**Рис. 3. Зменшення площі протікання паразитних струмів за рахунок додаткового перемикання шин напруги живлення і землі**

ня перешкодослаблюючих фільтрів. Фільтри характеризуються частотою зрізу та коефіцієнтом фільтрації, рівним відношенню сигналу на вході та виході фільтра. Знаючи спектр частот корисного сигналу та перешкоди, і задаючись рівнем необхідного послаблення перешкоди (в ідеалі – до нуля), розробляють відповідні схеми фільтрів.

Мережеві фільтри призначені передавати тільки частоту напруги мережі і придушувати перешкоди від джерела електроживлення. Для захисту апаратури від перенапруги у схему мережевого фільтра вводять такі пристрої як газорозрядники, варистори, стабілітрони, запобіжники різних типів. Слід додати, що подібні пристрої можуть бути включені у систему внутрішнього блискавкозахисту. Така система блискавкозахисту складається із системи вирівнювання потенціалів та засобів захисту ІМС або інших компонентів апаратури зв'язку від імпульсних перенапруг.

Головна задача внутрішнього блискавкозахисту полягає у захисті обладнання, системи або компонентів мережі, включно апаратури зв'язку, від вторинних проявів блискавки, внаслідок яких можлива втрата даних, збій в роботі апаратури, її пошкодження, і навіть травмування оператора електричним струмом.

Використання металевого листа як шини землі. Цей метод застосовується для субблоків, блоків, панелей, інших вузлів апаратури зв'язку і полягає в установці в ці конструктивні елементи порівняно товстого металевого листа, до якого припаюють зворотні дроти від усіх закріплених компонентів апаратури зв'язку.

Використання суцільних металевих прокладок як шини напруги живлення. Цей метод застосовується у разі використання багат шарових друкованих плат для надшвидкодійної апаратури зв'язку. У таких платах окремі шари виготовляють з максимально великою площею металу і застосовують їх як шини напруги живлення, ці шари розміщують усередині багат шарової плати. При використанні суцільних металевих шарів значно зменшуються власний індуктивний опір шин напруги живлення, загальна площа протікання струмів від різних вузлів та збільшується взаємна ємність між шинами напруги живлення.

Застосування екранів в апаратурі зв'язку. При проходженні потужних сигналів у ланцюгах апаратури зв'язку остання стає джерелом електромагнітних полів, які, перетинаючи інші ланцюги апаратури зв'язку, можуть наводити в них додаткові перешко-

ди. Джерелами електромагнітних перешкод можуть бути потужні промислові установки, транспортні комунікації, двигуни і т.д. Пристрої, чутливі до статичних магнітних полів (наприклад, магнітні елементи з розімкненим магнітопроводом), можуть нестійко працювати навіть від таких слабких полів, як магнітне поле Землі.

Екрани включаються в конструкцію для ослаблення небажаного електромагнітного поля, що створює перешкоди. Можливі два варіанти захисту. У першому випадку екранована апаратура зв'язку розміщується всередині екрану, а джерело перешкод поза ним, у другому - екранується джерело перешкод, а апаратура, що захищається від перешкод, розташовується поза екраном. Перший варіант зазвичай використовують для захисту від зовнішніх перешкод, другий – від внутрішніх.

За принципом дії розрізняють електростатичне, магнітостатичне та електромагнітне екранування.

Електростатичне екранування застосовується при внутрішніх перешкодах. Екранувальний ефект полягає в шунтуванні на корпус більшої частини паразитної ємності, що є між джерелом наведень та приймачем. З метою покращення екранування особливо чутливих до перешкод сигнальних провідників (наприклад, для передачі синхроімпульсів) сигнальні та заземлені екранні провідники чергують таким чином, щоб проти сигнальної лінії, що проходить з одного боку плати, завжди була заземлена лінія з іншого боку плати. При цьому кожна сигнальна лінія буде оточеною трьома заземленими лініями, в результаті чого досягається не тільки ефективно екранування сигнальної лінії від зовнішніх перешкод, але і від внутрішніх наведень.

Екранування застосовується також для проводів вхідних та вихідних ліній, при цьому найчастіше виявляється достатнім екранувати лише вхідний ланцюг. Для усунення гальванічної перешкоди від земляної шини екрани проводів необхідно заземлювати тільки в одній точці. При виконанні ліній передачі друкованим способом вводяться додаткові доріжки, що екранують сигнальну лінію, причому ці доріжки з'єднані з шиною нульового потенціалу.

Магнітостатичне екранування. Задача екранування полягає в зменшенні або повному усуненні індуктивного зв'язку між джерелом і приймачем перешкоди. Якщо магнітний потік перетинає контур, утворений провідником, то у контурі наводиться перешкода. Для повного усунення або зменшення напруги перешкоди, що наводиться в контурі, необхідно:

- помістити контур у екран
- орієнтувати його так, щоб магнітні силові лінії поля не перетинали контур, а проходили вздовж нього
- зменшити площу контуру.

Магнітні екрани виконують з феромагнітних та немагнітних металів. Феромагнітні матеріали з великою магнітною проникністю мають малий магнітний опір, в результаті чого лінії магнітного поля будуть шунтовані матеріалом екрану, і апаратура всередині екрану не піддаватиметься впливу магнітного поля. Магнітне екранування тим ефективніше, чим більша магнітна проникність екрану і чим товщі екран.

При виборі матеріалу екрану необхідно пам'ятати, що магнітна проникність зі збільшенням частоти поля зменшується, і це впливає на ефективність екранування. Феромагнітні матеріали ефективно захищають апаратуру в діапазоні частот від 0 до 10 кГц.

Дія екрану з немагнітного металу заснована на витісненні зовнішнього магнітного поля з внутрішнього простору вузла або системи. Зовнішнє змінне магнітне поле створює індукційні вихрові струми в екрані, магнітне поле яких спрямоване назустріч зовнішньому полю всередині екрану. У екранів з немагнітних металів ефективність екранування підвищується з збільшенням товщини та провідності матеріалу екрану.

Магнітне поле частотою вище 10 МГц досить надійно екранується, якщо на діелектричний кожух наноситься мідне або срібне покриття товщиною не більше 100 мкм. Товщина немагнітного екрану може у кілька разів перевищити товщину феромагнітного екрану, що забезпечує на фіксованій частоті однакове ослаблення. Використання феромагнітного матеріалу дозволяє значно зменшити масу екрану. При екрануванні магнітного поля заземлення екрану не обов'язково, оскільки воно не впливає на якість екранування. Однак перед тим як застосовувати екранування, необхідно проаналізувати можливості більш простих і недорогих заходів з протидії перешкодам. Наприклад, зменшення площі контуру, що перетинається силовими лініями магнітного поля, досягають укладанням ізольованих сигнальних провідників безпосередньо по поверхні заземлених монтажних шин.

Електромагнітне екранування охоплює діапазон частот від 1 кГц до 1 ГГц. Дія електромагнітного екрану заснована на відбитті електромагнітної енергії на межах діелектрик-екран та її затуванні в товщі ек-

рану. Затування в екрані пояснюється тепловими втратами на вихрові струми в матеріалі екрану, відбиття - невідповідністю хвильових параметрів матеріалу екрану та навколишнього середовища.

Для нижньої границі частотного діапазону першорядне значення набуває відбиття, для верхньої границі - поглинання електромагнітної енергії у полосі частот від 1 кГц до 1 ГГц. Електромагнітне екранування виконується як немагнітними, так і магнітними металами. Немагнітні метали високої провідності можна ефективно використовувати в низько-частотній частині спектру, феромагнітні матеріали високої магнітної проникності та електричної провідності - у всьому частотному діапазоні електромагнітного поля. Товщина екрану має бути якомога більшою.

Для частот менше 1 МГц хороші результати дають мідні та алюмінієві екрани, а при частотах вище 1 МГц - екрани зі сталі. Однак найкращі результати можна отримати при застосуванні багат шарових екранів - з шарів магнітних і немагнітних металів, що послідовно чергуються. Можливі різні варіанти матеріалів таких шарів: мідь - пермалой - мідь, пермалой - мідь, мідь - сталь - мідь та ін.

Введення повітряних проміжків між шарами (20-40% від сумарної товщини екрану) покращує ефективність екранування. При захисті апаратури від зовнішнього поля матеріал з низькою магнітною проникністю поміщають назовні, з високою - всередину. Якщо екран захищає від джерела електромагнітного поля, то матеріал з низькою магнітною проникністю має бути внутрішнім шаром, а з високою - зовнішнім. Параметри деяких немагнітних матеріалів для екранування наведені у табл. 1, а феромагнітних матеріалів для екранування - у табл. 2.

**Таблиця 1. Немагнітні матеріали для екранування**

Матеріал	Щільність, кг/м <sup>3</sup>	Опір, Ом·мм <sup>2</sup> /м	Відносна вартість
Алюміній	2700	0,028	0,29
Латунь	8700	0,06	0,85
Мідь	8890	0,0175	0,6
Магній	1740	0,042	0,36
Срібло	10500	0,018	34,0
Цинк	7140	0,059	0,17

Аналізуючи дані табл. 1, 2, можна зробити такі висновки. З немагнітних матеріалів з позицій міні-

Таблиця 2. Феромагнітні матеріали для екранування

Матеріал	Щільність, кг/м <sup>3</sup>	Опір, Ом·мм <sup>2</sup> /м	Магнітна проникність $\mu \cdot 1,26 \cdot 10^{-6}$ , Гн/м	Індукція, Тл	Напруженість, А/м
Нікель	8900	0,1	20000	0,85	30
Сталь	7880	0,098	1000	1,70	27
Сталь E310	7750	0,5	1000	1,75	10
Пермалой 45Н	8180	0,55	2000	1,50	20
Пермалой 79НМ	8750	0,50	10000	0,75	5

мальної вартості і маси найкращими властивостями володіє магній, але він легко кородує, а шар оксиду, що утворюється, погіршує контакт екрану з корпусом виробу. Цинк дешевший за мідь, має меншу щільність, але він дуже м'який порівняно з іншими металами. Латунь за своїми параметрами займає середнє положення у ряді матеріалів, але завдяки відмінним антикорозійним властивостям та стабільності опору електричного контакту її можна рекомендувати для широкого застосування як матеріал екрану. В апаратурі зв'язку поширені екрани зі сталі та пермалою. Сталеві екрани з малою початковою магнітною проникністю забезпечують мале, але постійне екранування у діапазоні від низьких частот до приблизно 10 кГц. Екрани з пермалоїв з високою початковою проникністю дозволяють отримати ефек-

тивне екранування, але у вузькому діапазоні частот від нуля до кількох сотень герц. Зі збільшенням частоти зростають вихрові струми екрану, які витісняють магнітне поле з товщі екрану і зменшують його магнітопроникність, а це знижує ефективність екранування у цілому.

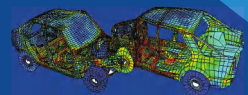
## ВИСНОВКИ

У статті розглянуто різні типи перешкод в апаратурі зв'язку і конструктивні методи їх ослаблення. Крім розглянутих методів існують методи ослаблення перешкод шляхом каналного кодування, шляхом відновлення інформативних сигналів, шляхом підвищення перешкодостійкості апаратури зв'язку, деякі з яких будуть розглянуті у наступних публікаціях.

## Датчики та системи для статичних та динамічних вимірювань прискорень та вібрацій



- подушки безпеки
- краш-тести
- вібровипробування
- авіація та ракетобудування
- автомобільний транспорт
- залізничний транспорт
- сейсмічний моніторинг
- вимірювання нахилів
- робототехніка



- вимірювання прискорень до 70 000 g
  - чутливість від 0.05 мВ/г
  - частотний діапазон від 0 до 20 000 Гц
  - діапазон робочих температур до 482 °C
- система аналізу суттєво нелінійних швидкоплинних процесів



VD MAIS – офіційний дистриб'ютор компанії Dytran в Україні

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



www.dytran.com

# ЕФЕКТИВНИЙ ПОШУК ЗОВНІШНІХ ПЕРЕШКОД У МОБІЛЬНИХ МЕРЕЖАХ \*

## EFFICIENTLY FINDING EXTERNAL INTERFERENCE IN MOBILE NETWORKS

Зовнішні перешкоди можуть серйозно вплинути на продуктивність мобільної мережі. Через це оператори мобільних мереж повинні постійно шукати механізми для ефективного та швидкого рішення цієї проблеми. У статті представлено загальний опис найпоширеніших типів зовнішніх перешкод у мобільних мережах, типовий процес їх виявлення та як оператори можуть використовувати такі прилади, як спектраналізатори, наприклад, типу CellSpectrum для прискорення цього процесу.

Л. Кастільо

Abstract – External interference situations can severely impact the performance of a mobile network, impacting the subscribers' experience. Because of this, mobile network operators should find mechanisms to mitigate this issues effectively and quickly. In this article we present a general description of the most common types of external interference in mobile networks, what is the typical process to find it and how can operators leverage the CellSpectrum solution to accelerate this process.

L. Castillo

**Що таке зовнішнє втручання в роботу мобільної мережі?** У кожній мобільній мережі є перешкоди. Усі мережі типу 5G, LTE, або UMTS застосовують повторне використання частоти однієї смуги, це означає, що всі UE, (де UE — це термін, який використовується в безпроводовому зв'язку для опису мобільного пристрою, наприклад, смартфона, планшета, ноутбука або іншого типу безпроводового пристрою, який має доступ до мережі) та базові станції передають дані через однакову смугу пропускання, що спричиняє внутрішні перешкоди. Си-

стема зв'язку розроблена таким чином, що допускає ці внутрішні перешкоди, і лише при дуже важкому трафіку або перекриття чарунок спостерігається значне погіршення взаємодії з користувачем. Проблеми, пов'язані з внутрішніми перешкодами в мережі, можна виявити за допомогою аналізу продуктивності мережі, трасування або драйв-теста, де драйв-тест – це перевірка якості роботи стільникового зв'язку за допомогою спеціального обладнання на місцевості, наприклад, сучасного спектраналізатора (рис. 1).

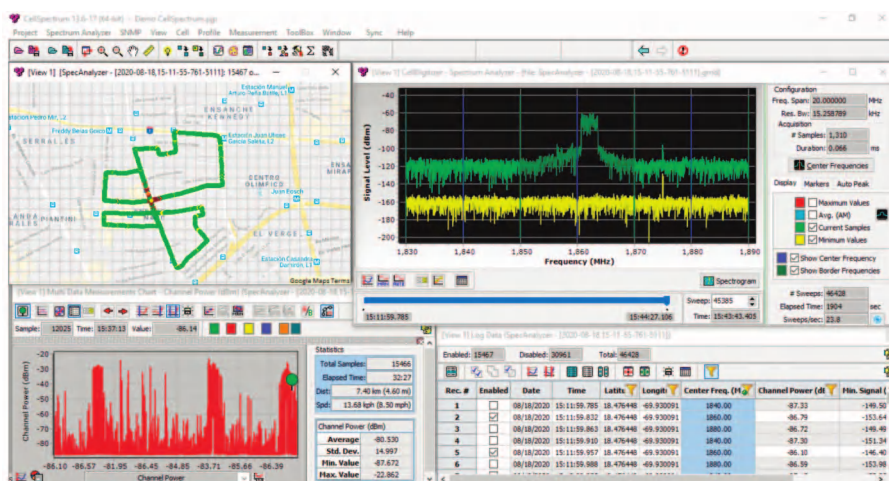


Рис. 1. Копія екрана спектраналізатора типу CellSpectrum з результатами виявлення перешкод у стільниковій мережі та місцеположення джерела перешкод

\* Castillo L. Efficiently finding External Interference in mobile networks. <https://ekspresa.com/efficiently-finding-external-interference/> / Скорочений переклад з англійської і коментарі В. Романова



Ситуація змінюється, коли перешкоди надходять не від мобільної мережі чи її користувача, а від зовнішніх джерел. У цьому випадку здатність мережі до саморегулювання суттєво знижується. Зовнішнє втручання або просто втручання пов'язане з наявністю джерела небажаної зовнішньої високочастотної енергії, яка погіршує нормальну роботу системи мобільного безпроводового зв'язку. Зовнішнє втручання може впливати на будь-яку частину спектру, але в стільникових мережах його вплив зазвичай є більш значним у висхідній лінії зв'язку. Зазначимо, що у стільникових мережах висхідна лінія зв'язку є каналом передачі даних від мобільного засобу (наприклад, мобільного телефону) до базової станції.

Цей вплив пов'язаний з обмеженнями, властивими висхідній лінії зв'язку, де типова максимальна потужність передачі мобільного пристрою становить 24 дБм. Навіть коли базові станції мають високочутливі приймачі, наявність сигналів перешкод може вплинути на їх здатність декодувати передані дані від любого мобільного пристрою. З іншого боку, у низхідній лінії зв'язку (це канал передачі даних у стільникових мережах від базової станції до мобільного засобу, наприклад, до мобільного телефону) чарунки 5G/LTE/UMTS/GSM передають дані із більшою потужністю, ніж типові джерела перешкод, що зменшує імовірність негативного впливу перешкод у цьому напрямку.

**Вплив зовнішніх перешкод.** Наслідки зовнішнього втручання зазвичай залежать від характеристик джерела перешкод і системи зв'язку, на роботу якої ці перешкоди впливають. Враховуючи адаптивний характер сучасних стільникових технологій, наявність перешкод може змусити систему використовувати більш надійні схеми модуляції з меншою швидкістю передачі даних (наприклад, QPSK). У цьому випадку користувач відчуває зниження швидкості передачі даних у висхідній або низхідній лінії зв'язку.

Серйозніші випадки спричиняють більш очевидні проблеми, такі як переривання викликів, збої доступу, погана якість голосу, переривання передачі даних або висока затримка. З боку мережі наявність перешкод призводить до зменшення доступної пропускної здатності радіоінтерфейсів. Це пов'язано зі збільшенням використання відповідних ресурсів, необхідних для подолання перешкод, і підтримки прийнятної частоти блокових помилок (Block Error Rate – BLER). Це ще іноді залежить від досвіду кінцевого користувача. Обидві ситуації небажані для операторів мобільного зв'язку. Ось чому потрібна

швидка та ефективна методологія боротьби з зовнішніми перешкодами.

**Найпоширеніші зовнішні джерела перешкод у мобільних мережах.** Зовнішні джерела перешкод можуть відрізнятися залежно від регіону чи діапазону частот. Наведено кілька найпоширеніших типів зовнішніх перешкод.

**Гармоніки та продукти інтермодуляції.** Гармоніки є нормальним продуктом усіх радіочастотних передавачів. Гармоніка – це проста копія оригінального сигналу, яка з'являється на частоті  $N$ , що у кілька разів вище вихідної частоти. Інтермодуляційні продукти створюються, коли два або більше сигналів різних частот (включаючи їх гармоніки) об'єднуються нелінійним способом. Інтермодуляційні продукти можуть бути викликані значними відстанями від джерела, а також, коли є декілька джерел передачі сигналів, наприклад, декілька антен чи фідерів у зоні мобільного зв'язку. Деяке радіообладнання також може передавати сигнали в заборонених діапазонах частот. Це можуть бути різні радіостанції або мікрохвильові канали зв'язку.

Слід відмітити, що майже всі електронні пристрої випромінюють енергію на різних частотах. Коли ці сигнали або їхні гармоніки мають достатню амплітуду то, потрапляючи у смугу стільникового зв'язку, вони викликають перешкоди. Це можуть бути підсилювачі, електронні лампи, неонові екрани, промислове обладнання тощо. Пристрої, які працюють у діапазонах, дозволених в одному регіоні, можуть створювати перешкоди в інших регіонах з іншими дозволеними діапазонами, наприклад, радіоапаратура, мікрофони, безпроводові телефони тощо.

Приватні організації можуть встановлювати антени-ретранслятори для покращення покриття в певному діапазоні. Якщо для цих елементів використовується надмірне посилення сигналів, вони можуть спричинити перешкоди. У деяких випадках приватні особи або державні установи зазвичай використовують пристрої перешкод для обмеження мобільного зв'язку в певній місцевості.

**Процедура "полювання" за зовнішніми перешкодами.** Необхідно спочатку виявити та усунути можливі внутрішні перешкоди, перш ніж прийти до висновку, що перешкоди викликані зовнішніми сигналами. Ось деякі внутрішні причини, які можуть спричинити підвищення перешкод висхідній лінії зв'язку:

- аномальне збільшення трафіку
- некоректні налаштування параметрів апаратури зв'язку

- мережеве втручання
- наявність ретрансляторів у мережі.

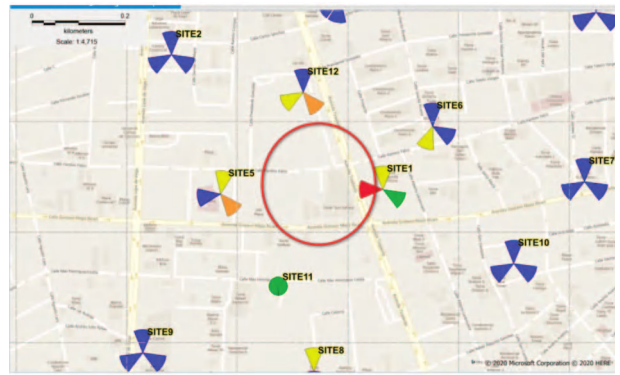
Після того, як оператор радіозв'язку визначив з певним ступенем впевненості наявність зовнішніх перешкод, необхідно вжити таких заходів:

**Крок 1: На цьому кроці необхідно охарактеризувати перешкоди:**

- перед тим, як здійснити вимірювання, оператор повинен мати чітке уявлення про характеристики сигналу перешкод
- необхідно отримати середнє значення перешкоди, яке отримує чарунка по висхідній лінії зв'язку. Це значення дає можливість оцінити рівень перешкод
- необхідно визначити, чи виникають перешкоди випадково, чи постійно у певний час доби. Залежно від часу появи сигналу перешкоди можна визначити можливі джерела його походження. Наприклад, якщо є перешкоди, які виникають між 19:00 і 7:00 годиною ранку, це, імовірно, пов'язано з системою освітлення, як показано на рис. 2.

Деякі постачальники обладнання пропонують виконувати моніторинг спектру сигналів перешкод з базової станції. За допомогою цього інструменту оператор може визначити характеристики сигналу перешкод з точки зору його смуги пропускання та інтенсивності. Є можливість створити карту, яка чітко показує, які сектори мобільної мережі постраждали від перешкод найбільше. Як можна бачити на карті (рис. 3), рівні шуму та можливий сигнал перешкоди знаходяться у виділеній червоним області.

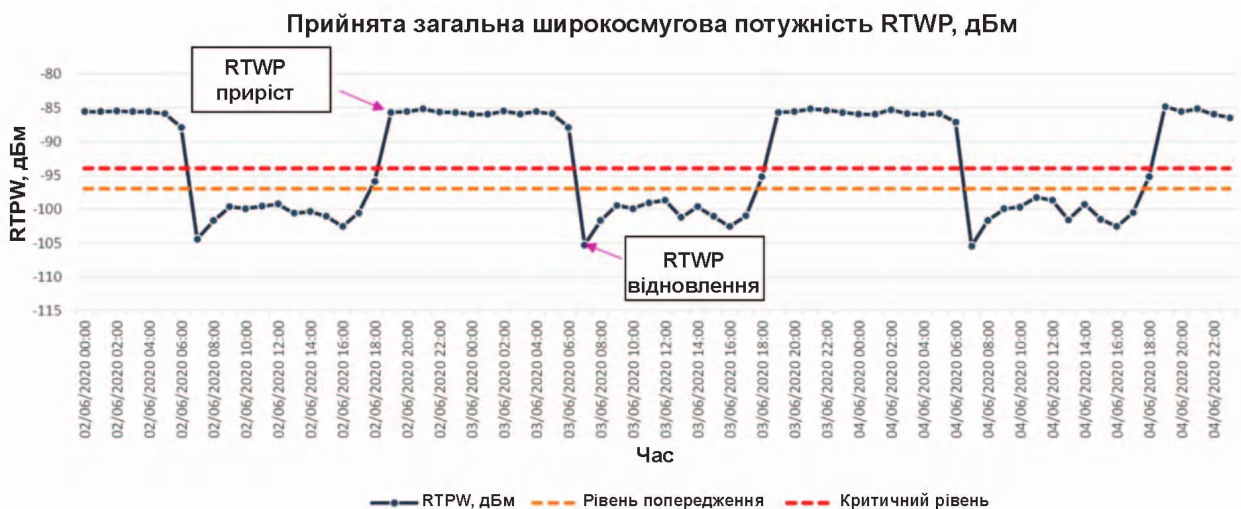
**Крок 2. На цьому кроці необхідно визначити загальне розташування джерел зовнішніх пере-**



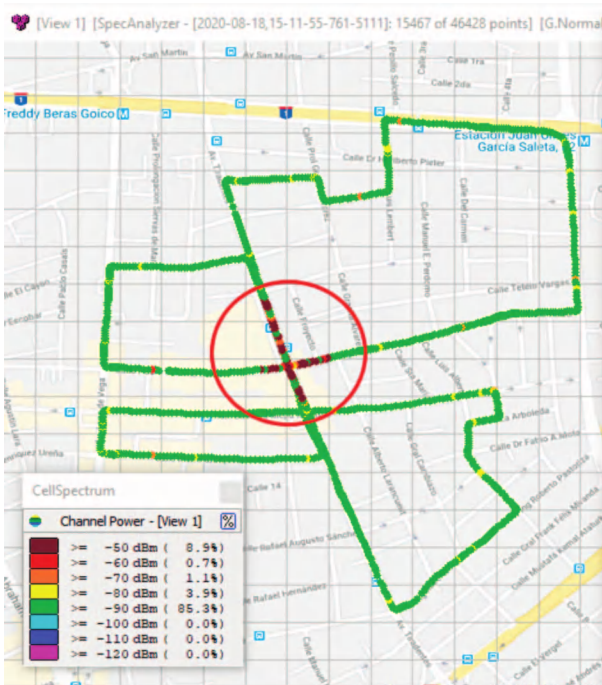
**Рис. 3. Відображення на карті рівнів перешкод у висхідній лінії зв'язку**

**шкод.** Після того, як дані були зібрані на кроці 1, оператор має достатньо інформації, щоб виконати відповідні вимірювання у площі покриття, щоб виявити сигнали перешкоди. Метою цього етапу є ідентифікація сигналів перешкоди у площині від 100 до 200 метрів. Для цього треба виконати драйв-тест у зоні ураження за допомогою приймача, наприклад, CellDigitizer та всеспрямованої антени. Метою цього драйв-тесту є створення теплової карти, на якій визначено конкретні області, де перешкоди аномально збільшуються. На рис. 4 наведена карта драйв-тесту, яку отримано за допомогою спектралізатора CellSpectrum (можна використовувати інший подібний прилад). Ця карта дозволяє звузити радіус пошуку джерел перешкод.

**Крок 3: На цьому кроці необхідно визначити конкретне місце джерела зовнішньої перешкоди.** Після того, як оператор звузить зону пошуку перешкод до площі приблизно 200 метрів або менше,



**Рис. 2. Збільшення перешкод у нічні години (Переклад: Прийнята загальна широкопasmова потужність RTWP)**



**Рис. 4 Карта з результатами драйв-тесту з виділеною червоним зоною з перешкодами, яку можна отримати за допомогою спектралізатора CellSpectrum або іншого подібного приладу**

наступним кроком є проведення вимірювань за допомогою спектралізатора та відповідної спрямованої антени наприклад, антени типу Yagi або Log-періодичної антени. Оператору треба виконати сканування перешкод в різних точках у виділеній зоні, записуючи координати і напрямок сигналу перешкоди, доки місцезнаходження джерела перешкоди не буде визначено (триангульовано), як показано на рис. 5.



**Рис. 5. Карта з прикладом виявлення (триангуляції) джерела зовнішніх перешкод**

Після виявлення джерела перешкод оператор

робить відповідні дії по вимкненню джерела сигналів перешкод. Паралельно він перевіряє наявність перешкод у зоні пошуку, щоб переконаватися, що перешкоди зникли і якість передачі сигналів у мережі відновилася. Для цього існує відповідний інструментарій. Прикладом таких засобів є сканер і спектралізатор типу CellDigitizer – Celplan.

Основні функції спектралізатора при пошуку перешкод:

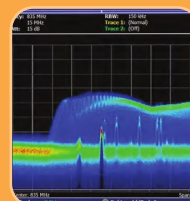
- підтримує широкий діапазон частот: від 0,1 МГц до 40 ГГц
- дозволяє записувати та відображати результати вимірювання перешкод з геоприв'язкою, що полегшує аналіз цих перешкод і визначення місцезнаходження джерела перешкод
- має широкий динамічний діапазон і захист від насичення
- містить засоби відображення спектрограми, що дозволяє ідентифікувати сигнали перешкод, які змінюються з часом
- за допомогою спектралізатора можливо виконувати драйв-тести і створювати карти щодо дії перешкод та місцезнаходження їх джерел.

## ВИСНОВКИ

Виявлення зовнішніх перешкод та їх джерел у мобільних мережах зв'язку є складною проблемою. Існує багато типів джерел перешкод, які впливають на роботу такої мережі. Оператори мобільного зв'язку повинні володіти методиками та мати відповідні інструменти, які дозволяють мінімізувати час для виявлення сигналів перешкод та місцезнаходження їх джерел. Сучасні спектралізатори та відповідні методики дозволяють досить швидко виявляти джерела перешкод та відновлювати надійний мобільний зв'язок.

### 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@vdmmais.ua, www.vdmmais.ua

# ЕЛЕКТРОННІ КОМПОНЕНТИ ДЛЯ ЗАХИСТУ АПАРАТУРИ РІЗНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ ВІД ПЕРЕШКОД, ЩО ВИКЛИКАЮТЬ ПЕРЕВАНТАЖЕННЯ ПО НАПРУЗІ ТА СТРУМУ \*

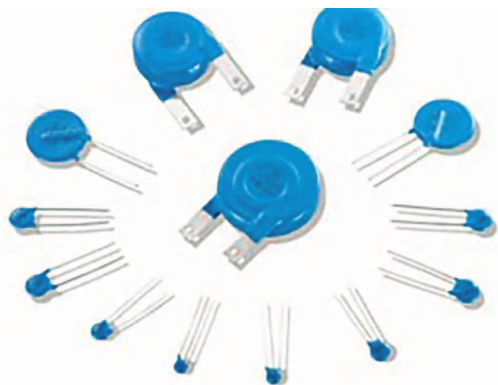
## OVER-VOLTAGE AND OVER-CURRENT PROTECTION EXPLAINED

Стаття містить основні принципи захисту апаратури різного призначення від дії перешкод, які викликають перевантаження по напрузі та струму.

Abstract - The article explains the basic principles of protection of equipment of various purposes against interference that causes voltage and current overload.

Ф. Лесснер

P. Lessner



У багатьох галузях електроніки, у тому числі, у засобах телекомунікацій слід уникати перенапруги та стрибків струму, які викликані перешкодами різного походження. Нормативні акти, як міжнародні, так і національні, чітко визначають безпеку експлуатації електронної апаратури та методи її забезпечення. Відповідні електронні компоненти захисту від перенапруги та перевантаження по струму суттєво знижують частоту відмов та витрати на обслуговування та ремонт електронної апаратури. Статичні розряди та перенапруга включно перехідні процеси можуть пошкодити апаратуру та зруйнувати ІМС.

Якщо стрибок напруги перевищує допустиму робочу напругу мікросхеми до небезпечного рівня, то для ослаблення її в ідеалі до потенціалу землі для захисту ІМС і апаратури у цілому використовують спеціальні захисні електронні компоненти. До них належать металооксидні варистори (Metal Oxide Varistors – MOV), придушувачі перехідної напруги або тиристри (Transient Voltage Suppressor – TVS), га-

зорозрядні трубки (Gas Discharge Tubes – GDT), діоди з електростатичним розрядом (Electrostatic Discharge Diodes – ESD), термістори з позитивним коефіцієнтом температурного опору (Polymeric Positive Temperature Coefficient – PPTC), термістори з негативним коефіцієнтом опору (Negative Temperature Coefficient – NTC), мікроперемикачі (TSS).

Методика захисту електронної апаратури полягає у наступному:

- використовується багаторівневий послідовний захист, що зменшує перенапругу та перевантаження по струму
- компоненти MOV/GDT/SPG/TSS використовують для первинного захисту від перенапруги
- компоненти TVS/ESD використовують для вторинного захисту від перенапруги
- термістори PPTC використовують для захисту від перевантажень по струму та розв'язки
- термістори NTC використовують для захисту від перевантажень по струму

Як ми бачимо, основний принцип цієї методики полягає у використанні кількох рівнів захисту для ослаблення перехідних перенапруг і надструмів. Такі компоненти, як MOV, GDT, SPG (застосовується у тому числі для захисту від іскрових перешкод) і TSS використовуються для захисту від перенапруги. Компоненти TVS і ESD забезпечують вторинний захист для ІМС. Термістори PPTC забезпечують захист від надструмів та виконують функцію розв'язки, тоді як термістори NTC використовуються для придушення надструмів.

\* Lessner P., *Over-Voltage and Over-Current Protection Explained*. <https://www.doeet.com/content/eee-components/passives/over-voltage-and-over-current-protection-explained/>  
Скорочений переклад з англійської та коментарі В. Романова

Варистори завдяки дуже малому часу реакції (не більше 20 нс) використовуються в багатьох пристроях для ослаблення коротких імпульсів перенапруг. Найпоширенішими з них є металоксидні варистори типу MOV. Це тому, що вони здатні поглинати вищі перенапруги, ніж, наприклад, діоди типу TVS.

Варистори виготовляються переважно з оксиду цинку і мають широкий діапазон ослаблення перенапруги від 18 до 1800 В, а також імпульсних струмів до 70 кА і вище. Діапазон робочих температур таких варисторів становить від -40 до +125°C. Крім широкого діапазону стрибків струму, варистори мають властивість послабляти імпульси напруги з параметрами 8/20 мкс.

Поєднуючи у схемі захисту від перешкод металоксидний варистор і термістор NTC, можна ефективно обмежувати як надструми, так і перенапруги. Недоліком варисторів типу MOV є те, що на відміну від TVS діодів вони швидко старіють. Це означає, що вони мають лише обмежений термін експлуатації, залежно від перехідних процесів, які вони поглинають. Щоб пом'якшити дію ефекту старіння, вони зазвичай використовуються послідовно з компонентами GDT або SPG (Spark gap protector – захисний іскророзрядник).

Діоди TVS гарантують швидке однонаправлене або двонаправлене блокування перешкод. Ці діоди, які також називають діодами-супресорами, або Transient Voltage Protectors, або ABD (Avalanche Breakdown Diodes) чи BOD (BreakOver Diodes), можуть ослабити небезпечні піки перенапруги в діапазоні декількох пікосекунд і обмежувати їх до безпечного значення для захисту ІМС від пошкоджень. Схема підключення TVS діода паралельно навантаженню наведена на рис. 1. Ці компоненти на сьогодні є одними з найкращих.

Основними перевагами діодів TVS є їх короткий час реакції та низька ємність, а також їх здатність забезпечувати однонаправлений або двонаправлений захист ІМС. Таким чином, вони ідеально підходять для джерел постійного струму, систем безпеки та спостереження, а також для телекомунікаційного та автомобільного обладнання.

Порівняння параметрів варисторів типу MOV з TVS діодами:

- варистори типу MOV мають високий рівень струму перевантаження, здійснюють захист від одичних імпульсів, є стійкими до перенапруги, але, як недолік, мають низький рівень обмеження напруги та нестабільні параметри у часі;
- діоди типу TVS мають високу точність, високий рівень обмеження перенапруги, обмежують багатоімпульсні перешкоди, мають стабільні параметри, але, як недолік, мають низький рівень обмеження стрибків струму.

Слід відмітити, що поширення електромобілів в світі помітно прискорило появу на ринку електронних компонентів нових засобів боротьби з перенапругою та надструмами. Саме в електромобілях діоди TVS з їх специфічними характеристиками особливо підходять для використання, як компоненти захисту мікроелектронних схем і вузлів на їх основі.

Матриці TVS діодів використовуються як пристрої захисту від електричного розряду з робочою напругою відповідно до діючих значень напруги живлення ІМС від 2,8 до 36 В. Вони мають низьку ємність (нижче 1 пФ) і призначені для високошвидкісних інтерфейсів передачі даних, таких як HDMI і USB 3.0. Іскрові розрядники SPG з сертифікацією UL використовуються для захисту від імпульсних надструмів від 300 до 3000 А (імпульсний струм у діапазоні 8/29 мкс), а також від іскрової напруги постійного струму від 140 до 5000 В. Вони мають опір ізоляції

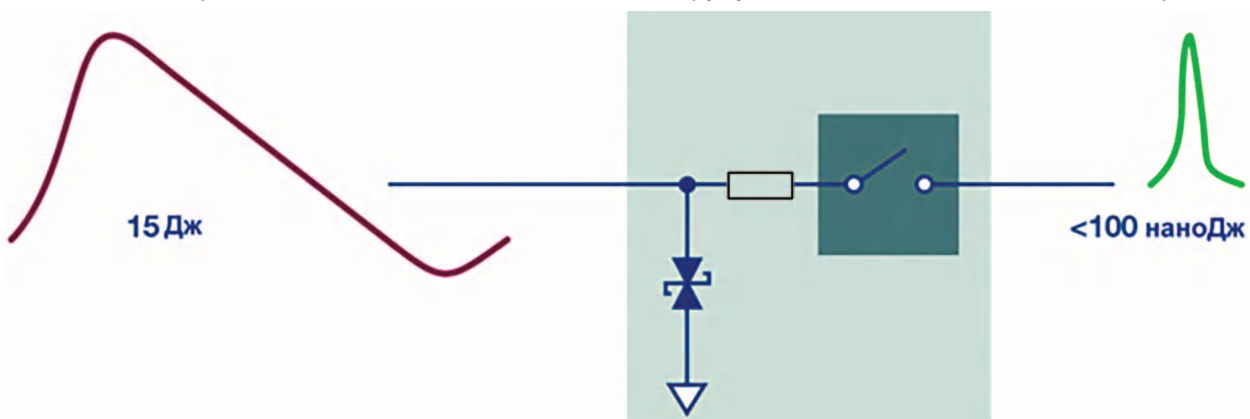


Рис. 1. Схема підключення захисного TVS діода паралельно навантаженню

більше 100 МОм у поєднанні з низьким ефектом старіння.

Газорозрядні трубки GDT із сертифікацією UL/VDE GDT використовуються для захисту від імпульсних надструмів від 500 до 100 кА (імпульсний струм у діапазоні 8/20 мкс), а також для захисту від іскроутворення постійного струму від 75 до 6000 В (імпульс іскроутворення до 7800 В). Ці газорозрядні трубки забезпечують опір ізоляції близько 1 ГОм. Їх типовими застосуваннями є коаксіальні кабелі та шини і інтерфейси мережі Ethernet.

Компоненти TSS (тиристорні ослаблювачі перенапруг) призначені для захисту телекомунікаційних систем і систем спостереження, інтелектуальних лічильників тощо. Їх рівень захисту від надструмів досягає кілька сотень ампер (імпульс 8/20 мкс).

Термістори можуть бути використані для тих самих застосувань, що й діоди TVS. За нормальних умов експлуатації вони мають дуже низький опір і не впливають на роботу ІМС, яку вони захищають. Швидкість їх реакції складає кілька мілісекунд.

Термістори NTC з їх винятковою довгостроковою

стабільністю ідеально підходять для адаптерів і джерел живлення (UPS). Типове використання розглянутих у статті захисних компонентів показано у табл. 1

## ВИСНОВКИ

Розвиток і поширення електронних засобів у різних сферах діяльності людини, а також у побуті, які працюють в умовах дії перешкод різного походження, призвели до появи на ринку електронних компонентів широкої номенклатури захисних пристроїв. Застосування того чи іншого захисного пристрою залежить від умов експлуатації засобів, які підлягають захисту від різних типів і параметрів перешкод, від відповідності параметрів захисних пристроїв характеру перешкод, а також від відповідності цих параметрів нормативним вимогам. Номенклатура, параметри і особливості використання сучасних захисних пристроїв, рекомендації щодо їх застосування представлені у цій публікації, що дає змогу розробникам електронної апаратури прискорити вибір оптимальних компонентів для боротьби з перешкодами різного походження.

**Таблиця 1. Типове використання розглянутих захисних компонентів відповідно до їхніх характеристик і нормативних вимог**

Застосування		TVS	MOV	ESD	GDT/SPG	TSS	PPTC	NTC
Лінії електропередачі	Струм постійний	+	+		+		+	+
	Струм змінний		+		+		+	+
Телекомунікації Мережі	Ethernet інтерфейс			+	+	+		
	PoE інтерфейс	+	+		+			
	BNC інтерфейс			+		+	+	
	USB 2.0/3.0			+			+	
	RS485							
	CAN шина							
	LIN інтерфейс			+				
	Антени			+	+			
	ВЧ інтерфейс			+	+			
HDMI інтерфейс			+					
Базові станції	+	+		+				
LED драйвери			+		+		+	+
Автомобільна електроніка	+	+	+	+			+	+
Мобільні телефони				+				
Комп'ютери	+	+	+				+	+
Побутова електроніка	+	+	+	+	+	+	+	+

# ВСТАНОВЛЮВАЧІ КОМПОНЕНТІВ SM СЕРІЇ



## Hanwha

– гнучке рішення будь-яких завдань  
монтажу електронних компонентів

Встановлювачі SM471 PLUS, SM481 PLUS, SM482 PLUS та SM485  
призначені для збирання складної продукції в умовах  
серійного, дрібносерійного та дослідного виробництва



VD MAIS – офіційний дистриб'ютор компанії Hanwha в Україні

тел.: (044) 220-0101, [info@vdmiais.ua](mailto:info@vdmiais.ua), [www.vdmiais.ua](http://www.vdmiais.ua)

# АНАЛІЗ РОБОТИ ІМПУЛЬСНОГО ДЖЕРЕЛА ЖИВЛЕННЯ: СИНХРОНІЗАЦІЯ СИЛОВИХ ТРАНЗИСТОРІВ І ВИБІР ПІДВИЩУВАЛЬНОГО КОНДЕНСАТОРА \*

## THE TRENDS OF PRINTED CIRCUIT BOARDS

Стаття має на меті розглянути ускладнення, які виникають із роботою силового каскаду імпульсних джерел живлення і зосереджена на роботі силових транзисторів і виборі параметрів підвищувального конденсатора.

А. Ібрагейм, К. Армійо, П. Дакер

**Abstract** – This article aims to address complications that arise with the power stage design of DC/DC switching regulators, focusing on the power transistors and the boost capacitor.

A. Ibraheem, K. Armijo, P. Dhaker

### Питання:

Чому виникають проблеми з отриманням регульованої вихідної напруги від імпульсного джерела живлення, коли значення напруги на вході та на виході близькі?

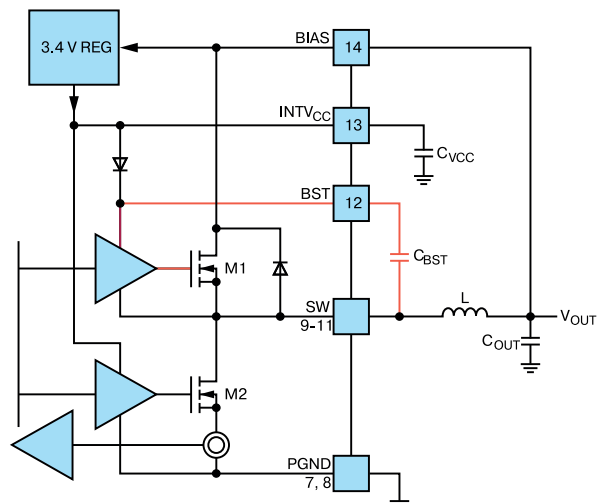


### Відповідь:

Наявність дуже великих або дуже малих робочих циклів, особливо на високих частотах перемикавання, може спричинити порушення синхронізації, що призведе до погіршення продуктивності джерела живлення у цілому.

Силові транзистори імпульсного джерела живлення мають мінімальну і максимальну частоту перемикавання, порушення яких може призвести до погіршення роботи джерела живлення. Крім того, якщо не оптимізувати вибір величини підвищувального конденсатором, транзистори не будуть працювати належним чином. Силові транзистори мають відповідний час увімкнення та вимкнення. Тому треба забезпечити належний заряд і розряд затворного конденсатора силових транзисторів, щоб вони повністю вмикалися та вимикалися. Якщо ігнорувати цей параметр (наприклад, для пришвидшення перемикавання), починають проявлятися проблеми у вигляді нестабільних вихідної напруги джерела живлення і спотворення частоти перемикавання. Крім того, величина підвищувального конденсатора є важливим параметром для підтримки роботи силових транзисторів. Відсутність підвищувального конденсатора означатиме, що силові транзистори взагалі не зможуть повністю включитися. Підвищувальний конденсатор відповідає за підтримку належної роботи верхнього N-канального MOSFET-транзистора, як показано на рис. 1.

Коли верхній N-канальний MOSFET-транзистор (рис. 1) закритий, перемикальний вузол джерела живлення SW, має приблизно той самий потенціал на виході, що й витік транзистора. Це означає, що напруга витіку верхнього MOSFET-транзистора вища за напругу затвора. Але без позитивної напруги на затворі транзистора відносно його витіку цей транзистор не може увімкнутися. Таким чином, підвищувальний конденсатор використовується, щоб завжди підтримувати напругу затвора вищу за на-

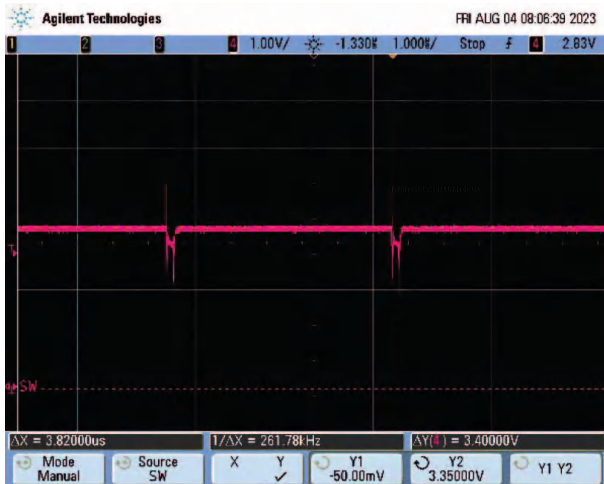


**Рис. 1. Структурна схема імпульсного джерела живлення з підвищувальним конденсатором (виділений червоним)**

\* Ibraheem A., Armijo K., Dhaker P. *Analysis of Switch-Mode Power Supply and Rectification: Transistor Timing & Boost Capacitor Issues*. Скорочений переклад з англійської і коментарі В. Романова



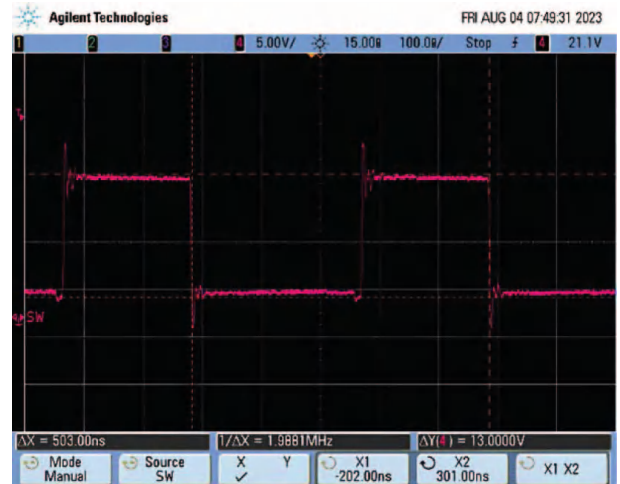
пругу витоку. Розробники не мають очевидних переваг відмовитися від підвищувального конденсатора, але можуть зробити це, щоб зменшити розмір специфікації та вартість виробу, не усвідомлюючи недоліків цього рішення – підвищувальний конденсатор необхідний, щоб забезпечити достатню напругу на затворі верхнього MOSFET-транзистора для його повного увімкнення. Осцилограма неповного увімкнення силового транзистора наведена на рис. 2.



**Рис. 2. Осцилограма вихідної напруги перемикального вузла без підвищувального конденсатора**

Якщо верхній N-канальний MOSFET-транзистор не включається повністю, джерело живлення не може регулювати вихідну напругу. N-канальний MOSFET-транзистор працюватиме у лінійній області, розсіюючи велику кількість енергії та нагріваючи ІМС імпульсного джерела живлення. Щоб це виправити, необхідно додати підвищувальний конденсатор. Якщо розробники не впевнені, яку ємність має мати підвищувальний конденсатор, вони повинні керуватися технічною документацією на найближчі аналоги імпульсного джерела живлення. При наявності підвищувального конденсатора перемикальний вузол забезпечує повну вхідну напругу на силових транзисторах, як це можна побачити на рис. 3.

Розробники часто вибирають вищі частоти перемикавання, щоб отримати меншу площу друкованої плати за рахунок зменшення енергії споживання на високі частоти перемикавання. Однак, коли пристрій має високу частоту, робочий цикл зменшується і тривалість робочого циклу може досягти рівня, нижчого за допустимий. Мінімальний робочий цикл  $D_{min}$  відображається рівнянням:



**Рис. 3. Осцилограма напруги на виході перемикального вузла з підвищувальним конденсатором**

$$D_{min} = t_{min-on} \times f_{switching},$$

де  $t_{min-on}$  визначається як мінімальна кількість часу, протягом якого котушка заряджається від вхідної напруги,  $f_{switching}$  – частота перемикавання ключів.

Вузол перемикавання має допустиме мінімальне значення робочого циклу, якого розробники повинні дотримуватися для забезпечення надійної роботи силових транзисторів, оскільки вони не можуть перемикатися миттєво. Розробники вільні у виборі частоти перемикаць. Однак, якщо задати занадто високу частоту перемикавання, час увімкнення силових транзисторів примусово встановлюється нижче мінімального значення. Коли час увімкнення примусово знижується до мінімального значення, індуктор розряджається швидше, ніж заряджається протягом одного періоду.

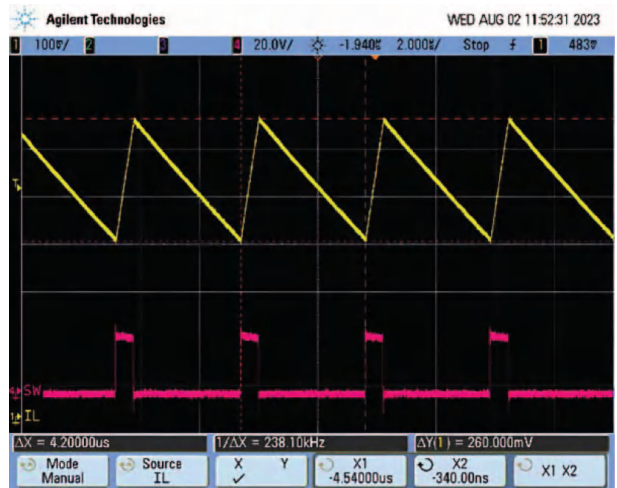
Коли починається новий період, початкова точка напруги буде нижчою, ніж початкова точка попередніх циклів, що має назву поточне падіння. Згодом і струм, і вихідна напруга падають настільки низько, що джерело живлення генерує довший робочий цикл з більшим часом увімкнення для регулювання вихідної напруги, як показано на рис. 4.

Цей спад пульсацій струму індуктора також має місце у вихідній напрузі джерела живлення. Пульсації вихідної напруги містять більше шуму, що може вплинути на чутливі елементи навантаження джерела живлення та погіршити електромагнітну сумісність виробу у цілому, як це можна побачити на рис. 5.

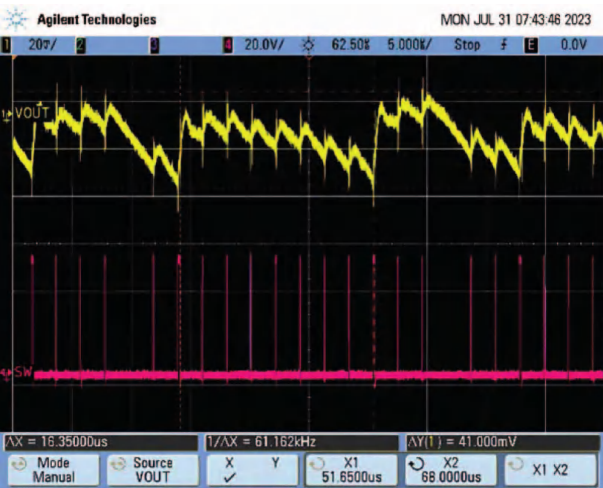
Розглянута проблема має легке вирішення. Оскільки на час увімкнення головним чином впливає ча-



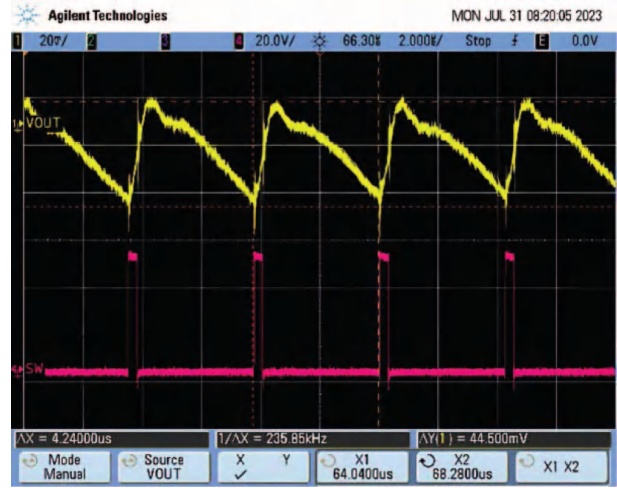
**Рис. 4. Осцилограма струму з порушенням мінімального часу включення силових транзисторів**



**Рис. 6. Осцилограма стабільних пульсацій струму імпульсного джерела живлення**



**Рис. 5. Осцилограма пульсацій вихідної напруги імпульсного джерела живлення внаслідок мінімального часу ввімкнення силового транзистора**



**Рис. 7. Осцилограма стабільних пульсацій на виході імпульсного джерела живлення**

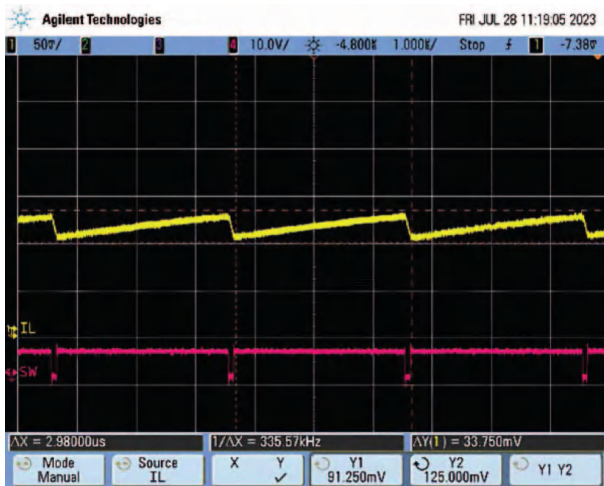
стота перемикачів, розробники можуть вирішити проблему, зменшивши частоту. Це відбувається за рахунок використання, насамперед, індуктора з більшою індуктивністю. Покращену роботу понижувального джерела живлення можна побачити при постійному часі ввімкнення між періодами, а також при стабільних пульсаціях струму, рис. 6, та при стабільних пульсаціях на виході, рис. 7.

Для деяких застосувань можуть знадобитися невеликі знижені норми робочого циклу, що може викликати мінімальний час простою перемикального вузла. Час  $t_{min-off}$  є доповненням до часу  $t_{min-on}$ , і це є мінімальний час, протягом якого індуктор не за-

ряджається вхідним струмом. Перетворювач має бути вимкнено на встановлений період, щоб забезпечити належне функціонування силових транзисторів. Величина мінімального часу вимкнення порушується, коли заданий робочий цикл перевищує максимально допустимий робочий цикл, визначений рівнянням:

$$D_{max} = 1 - (D_{min} = t_{min-on} \times f_{switching}).$$

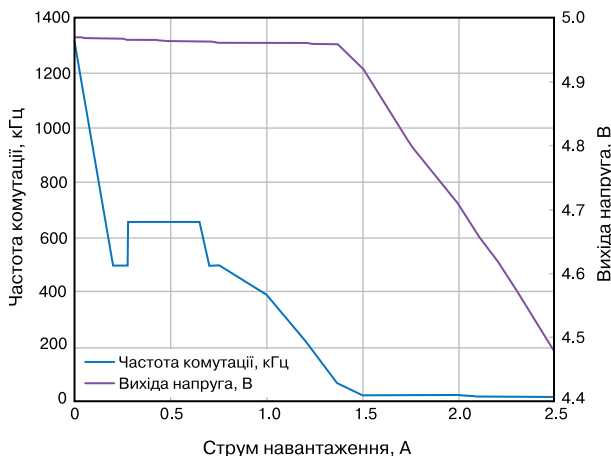
Якщо робочий цикл перевищує максимальне значення, схема зменшить частоту, на яку вона була налаштований, щоб уникнути порушення допустимого мінімального часу вимкнення. Це можна побачити на рис. 8. DC/DC-перетворювач спочатку було налаштовано на частоту перемикачів 2 МГц.



**Рис. 8. Осцилограма струму з порушенням мінімального часу вимкнення (частота зменшується до 335 кГц)**

На рис. 9. показано, що DC/DC-перетворювач зменшує частоту, щоб підтримувати постійну вихідну напругу зі збільшенням навантаження. DC/DC-перетворювач працював з вихідним струмом до 0,28 А, через що частота впала приблизно до 495 кГц, перш ніж знову піднятися до частоти 657 кГц. DC/DC-перетворювач може підтримувати належну роботу на частоті 657 кГц, доки навантаження не досягне 0,7 А. Частота зменшується, щоб підтримувати належну вихідну напругу, поки навантаження не досягне близько 1,4 А. Коли це станеться, DC/DC-перетворювач не зможе знизити частоту нижче 100 кГц, зберігаючи вихідну напругу, тому вихідна напруга починає падати.

Рішення цієї проблеми не таке просте, як міні-

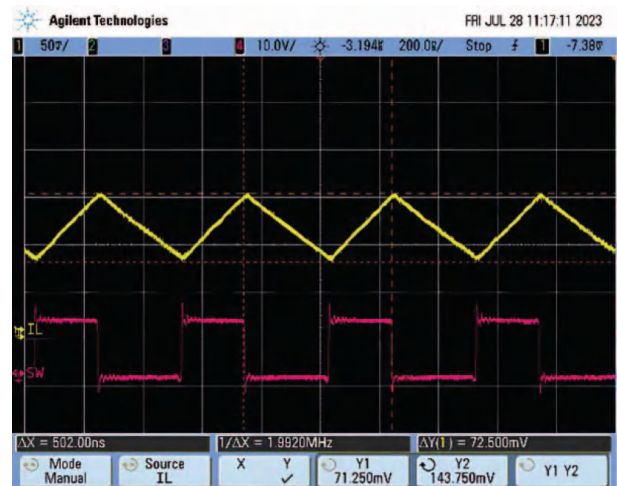


**Рис.9. Регулювання навантаження та частоти перемикання (при збільшенні навантаження частота зменшується, щоб підтримувати незмінною вихідну напругу)**

мальне порушення часу. Оскільки розробники часто мають задану вхідну напругу та задану вихідну напругу, робочий цикл не можна змінити, щоб забезпечити довший час вимкнення.

Якщо вони можуть забезпечити більшу вхідну напругу, DC/DC-перетворювач працюватиме на заданій частоті, оскільки менший робочий цикл не дозволить порушити мінімальний час вимкнення. Це можна побачити на рис. 10, де DC/DC-перетворювач працює на заданій частоті 2 МГц.

На відміну від мінімального часу включення, зни-



**Рис. 10. Осцилограма струму навантаження при мінімальному часі вимкнення (встановлена частота 2 МГц)**

ження частоти буде працювати тільки до певного навантаження. Якщо розробник не може достатньо знизити частоту перемикання, щоб запобігти порушенню заданого мінімального часу вимкнення, найкращий спосіб дії полягає у виборі іншої ІМС імпульсного джерела живлення, яка може працювати з більш високочастотними робочими циклами та коротшим часом увімкнення силових транзисторів.

## ВИСНОВОК

У статті проаналізовано і показано, що використання занадто високого або занадто низького робочого циклу перемикального вузла призводить до його дестабілізації, і як наслідок – до зниження частоти комутації, нерегульованої вихідної напруги та небажаної продуктивності індуктора відповідно до струму. Нехтування підвищувальним конденсатором може не тільки запобігти нормальній роботі силового транзистора, але також до виходу із ладу силового транзистора або ІМС джерела живлення.



## Цифрові осцилографи змішаних сигналів RTB2004 для учбових лабораторій

### Основні характеристики:

- 4 канали для дослідження аналогових сигналів
- смуга пропускання 70, 100, 200 та 300 МГц різних моделей
- частота дискретизації 1.25 ГГц/канал, 2.5 ГГц у режимі чергування
- 10-розрядний АЦП
- обсяг пам'яті 10 мільйонів відліків на канал
- максимальна чутливість каналу вертикального відхилення 1 мВ
- 10.1" емсійний сенсорний екран, 1280×800 пікселів
- підтримка жестів для масштабування та деталізації сигналів
- 16-канальний логічний аналізатор, частота дискретизації 1.25 ГГц
- можливість синхронізації зовнішніми сигналами
- аналіз сигналів у шинах I2C, SPI, UART/RS-232/RS-422/RS-485, CAN, LIN
- 4-розрядний генератор тестових послідовностей
- генератор сигналів: синус, прямокутні імпульси, меандр, трикутний, пилкоподібний, SinC, експоненціальний, сигнал довільної форми
- реєстрація сигналів у наступних режимах роботи: вибірка, огинаюча, пікове значення, висока роздільна здатність, усереднення результатів вимірювання, огинаюча + пікове значення
- збереження та поповнення бази даних форми сигналу довільної форми
- можливість налаштування інтерфейсу користувача
- розширений набір режимів синхронізації
- виконання основних математичних операцій над сигналами (+, -, \*, /), спектральний аналіз досліджуваних сигналів (ШПФ, 128 тис. точок)
- робота у локальній мережі
- документування у вигляді знімків екрана або налаштувань приладу, які зберігаються на зовнішній Flash-накопичувач
- автоматичний вибір налаштувань по вертикалі, горизонталі та синхронізації для оптимального перегляду активних сигналів

<https://www.rohde-schwarz.com>

## АВТОНОМНІ ІНВЕРТОРИ MEAN WELL

### MEAN WELL STAND-ALONE INVERTERS

У статті наведена коротка інформація про призначення та особливості інверторів. Детально розглянуто характеристики потужних інверторів компанії Mean Well серії NTN-5K. Інвертори цієї серії дозволяють здійснювати паралельне включення до 6 пристроїв, що дає можливість сформувати джерело живлення потужністю 30 кВт. Наведені основні параметри та схеми підключення інверторів..

В. Макаренко

**Abstract** – The article provides brief information about the purpose and features of inverters. The characteristics of Mean Well's powerful NTN-5k series inverters are considered in detail. Inverters of this series allow parallel switching on of up to 6 devices. this allows you to create a power source with a capacity of 30 kW. The main parameters and connection diagrams of inverters are given.

V. Makarenko

Інвертори напруги від компанії Mean Well представляють собою окремий клас пристроїв для перетворення постійної напруги в змінну.

За функціональністю інвертори можна розділити на два типи:

- інвертори з модифікованою синусоїдою, які мають відносно низьку вартість, але обмеження застосування залежить від типу навантаження.
- інвертори з чистою синусоїдою, які дорожчі за перші, але область їх використання майже необмежена.

Компанія Mean Well виробляє наступні типи інверторів:

- 100...2500 Вт – інвертори з модифікованою синусоїдою
- 200...3000 Вт – інвертори з чистою синусоїдою
- 1500...3000 Вт – інвертори з чистою синусоїдою та можливістю заряджання від мережі або сонячної батареї.

Модулі забезпечують високу ефективність, функції захисту від КЗ, перевантаження по струму та напрузі. Інвертори Mean Well знаходять широке застосування в різних побутових пристроях, пристроях енергозабезпечення, портативному та офісному обладнанні.

Автономний (off grid) – не підключаються до мережі, працює виключно всередині однієї замкнутої системи наприклад, будинку або підприємства. Виконує функції контролю заряду АКБ і постачання споживачів електроенергією.

Після успішного запуску автономних односпрямованих перетворювачів постійного струму в змінний потужністю 250...3200 Вт серії NTS/NTU, які отримали схвальні відгуки, для задоволення більш високих вимог до потужності був розроблений авто-

номний інвертор з чистою синусоїдою (True Sine) потужністю 5 кВт з вбудованою функцією зарядки акумуляторів серії NTN-5K [1].

Інвертори цієї серії – це пристрої "все-в-одному", які інтегрують зарядку від змінного струму, інвертування постійного струму в змінний струм та зарядку від альтернативних джерел енергії. Вони також підтримують зовнішні сонячні панелі та зарядні пристрої з контролерами MPPT\*.

\* Контролер MPPT, або мікропроцесорний регулятор струму та напруги – пристрій, який використовується у гібридних джерелах безперебійного живлення і забезпечує ефективну зарядку та контроль параметрів акумуляторів, підключених до сонячних батарей.

Гібридний інвертор є багатофункціональним пристроєм для автономного електропостачання об'єкту з вбудованим зарядним пристроєм з можливістю підключення бензинового або дизельного генератора, зовнішньої електричної мережі, АКБ великої місткості і спільною роботою з альтернативними джерелами живлення.

Гібридне ДБЖ (джерело безперебійного живлення) – універсальне інтелектуальне обладнання з можливістю налаштування режимів заряджання акумуляторних батарей.

Перший режим – сонячна енергія використовується як єдине джерело для заряджання акумуляторних батарей. Гібридний інвертор контролює процес заряджання, налаштовуючи параметри роботи акумуляторів для максимальної ефективності.

Другий режим, де основне джерело заряду АКБ – мережа 220 вольтів. У цьому випадку гібридний інвертор працює як класичний ДБЖ, переходячи в режим автономної роботи у разі відключення основно-

го джерела живлення. Переключення на автономний режим живлення від акумулятора відбувається автоматично.

Третій режим – гібридний, коли інвертор використовує спочатку сонячну енергію для живлення електроустаткування, потім – енергію, накопичену в акумуляторі, потім – мережу 220 В. У випадку, якщо генерація електрики від сонячних панелей неможлива (наприклад, у темний час доби), а акумулятор повністю розряджений, система автоматично перемикається на режим роботи від мережі. Гібридний інвертор одночасно з перемиканням електроустаткування на загальну мережу заряджає акумуляторну батарею.

Отже, гібридний ДБЖ з контролером MPPT можна використовувати у випадках, коли у в офісі або на виробництві не встановлено сонячні панелі. Тут використовується другий режим роботи. Крім того, побутовий сонячний гібридний ДБЖ із MPPT встановлюють у домашніх сонячних електростанціях, підключених до системи "зелений тариф".

Гібридні інвертори можуть мати декілька модифікацій:

1. Гібридний (hybrid) інвертор, що працює за принципом джерела безперебійного живлення. Тільки доданий контролер заряду акумуляторів, який дозволяє заряджати їх не тільки від мережі, але і від альтернативного джерела (наприклад, від сонячних панелей). Коли мережа є, такий інвертор живить споживача від мережі і заряджає акумулятори (як від мережі, так і від сонячних панелей). Коли мережа пропадає, інвертор перемикається на живлення навантаження від акумуляторів з їх дозарядом від альтернативного джерела. При критичній розрядці акумуляторів, інвертор відключить живлення споживачів до тих пір, поки не буде відновлена мережа. З гібридних це найпростіші і найдешевші інвертори.

2. Модифікацією інвертора першої групи є гібридний інвертор з функцією вибору пріоритету AC - DC . У режимі AC він працює як інвертор, описаний вище. При виборі пріоритету DC інвертор починає максимально використовувати енергію альтернативного джерела. Живлення навантаження і заряд батарей йде від альтернативного джерела. Коли потужність навантаження починає перевищувати потужність альтернативного джерела, починається розряд батарей з їх дозарядом (наприклад, від сонячних панелей). При критичному розряді інвертор перемикається на живлення споживача від основної мережі, поки не буде відновлений заряд акумуляторів. Такий режим дозволяє максимально використо-

увати енергію альтернативного джерела, але вимагає акумуляторів великої ємності (при циклах глибокої розрядки акумуляторів у значно скорочується термін служби). Такі гібридні інвертори стоять не на багато більше інверторів з першої групи, т. к. зазвичай така функціональність досягається перепрограмуванням контролера.

3. Найбільш сучасними і просунутими гібридними інверторами є інвертори з функцією "підмішування". Так звані line-interactive (що взаємодіє з мережею). Основний плюс такого інвертора - максимально використовувати енергію альтернативного джерела без розряду батарей, "підмішуючи" її в основну мережу (тобто брати максимум від сонячних панелей, а решта добирати з мережі). Це дозволяє дуже просто реалізувати мету економії електроенергії. Так само корисною буде функція підтримки мережі: коли потужності основної мережі не вистачає, інвертор буде компенсувати відсутню частину від акумуляторів. Подібні інвертори мають функцію короткочасного компенсування велике навантаження, коли потужність одночасно береться з основної мережі, альтернативного джерела і акумуляторів. Це необхідно при наявності устаткування з великими стартовими струмами (наприклад, електродвигун - компресор холодильника, насос, верстат). У такій ситуації інвертор може видавати потужність перевищує номінал в 3 рази, але дуже короткочасний термін (2-3 секунди). Дані інвертора є найбільш складними з названих і найдорожчими (при інших рівних умовах).

Наведений поділ інверторів трохи умовний, тому що з гібридного інвертора можна зробити автономний шляхом встановлення додаткових модулів.

При виборі інвертора варто звернути увагу на наступні характеристики:

- номінальна потужність – можлива сумарна потужність підключених навантажень (Вт або ВА)
- максимальна (пікова) потужність – показує, яке навантаження може короткочасно (протягом зазначеного проміжку часу) забезпечувати інвертор (в Вт або ВА);
- форма вихідного сигналу – параметр визначає якість інвертора: форма вихідного сигналу повинна бути максимально наближена до синусоїди (зазвичай вказується THD (він же КНС), який не повинен перевищувати 5%
- сила струму зарядного пристрою – визначає якої ємності і як швидко можна зарядити акумулятори;
- сплячий режим – можливість інвертора перехо-

дити в режим зниженого енергоспоживання при відсутності навантажень.

### Плюси і мінуси гібридних інверторів

Плюси гібридного інвертора включають в себе більш високу ефективність, можливість підмішування енергії від різних джерел, включаючи мережеву енергію і енергію від генераторів. Гібридний інвертор з підмішуванням дозволяє оптимізувати споживання енергії, зменшуючи таким чином рахунки за електрику.

Однак у гібридного інвертора є і свої мінуси. Зазвичай він коштує дорожче, ніж звичайні інвертори, і може вимагати більш складної схеми підключення. До того ж, трифазний гібридний інвертор, який забезпечує ще більш ефективне використання енергії, може бути ще дорожче.

### Схеми підключення гібридних інверторів

Гібридні Інвертори можуть бути включені в систему сонячної енергії різними способами залежно від конкретної конфігурації системи та типу інвертора. Ось дві найпоширеніші схеми підключення гібридного інвертора:

#### 1. Однофазне підключення

Це найбільш поширений тип підключення для домашніх систем. У цьому випадку гібридний інвертор підключається безпосередньо до сонячних панелей, акумуляторів та домашньої мережі. Інвертор перетворює постійний струм від сонячних панелей в змінний струм для використання в домашній мережі і управляє зарядом і розрядом акумуляторів.

#### 2. Трифазне підключення

У трифазних системах використовується гібридний інвертор, здатний обробляти енергію від трифазних джерел. Це з'єднання зазвичай використовується у великих або комерційних системах, де навантаження розподіляється між трьома фазами. Інвертор підключається до кожної фази і контролює потік енергії між сонячними панелями, акумуляторами та мережею на кожній фазі.

Розглянемо детально характеристики гібридного інвертора NTN-5K (рис. 1).



Рис. 1. Гібридний інвертор NTN-5K

NTN-5K підходить для аварійного живлення всередині приміщень під час перебоїв в подачі електроенергії або при відключенні від мережі на відкритому повітрі, наприклад, в домашніх господарствах, офісах, складах, транспортних засобах, човнах, віддалених гірських районах, на будівельних майданчиках і т. д.; здатний живити освітлення, комп'ютери, кондиціонери, холодильники, фени, аварійні пристрої, електроінструменти і т. д.

Це багатофункціональний пристрій "все в одному" (зарядний пристрій змінного струму + інвертор постійного струму для навантаження + паралельне включення декількох виходів змінного струму для збільшення можливого навантаження).

Основні особливості NTN-5K:

1. Вбудований потужний зарядний пристрій змінного/постійного струму

2. Модульна конструкція з одним модулем потужністю 5 кВт, що дозволяє гнучко підключати паралельно виходи змінного струму потужністю до 30 кВт (1 + 5 пристроїв) з можливістю гнучкого збільшення потужності.

3. Корпус висотою 2U, що забезпечує простоту установки і швидку збірку при установці в стандартну 19-дюймову стійку.

4. Використовує 3 однофазних виходи змінного струму, які можуть бути об'єднані для отримання потрійної потужності змінного струму.

Це дозволяє розробникам кінцевих систем швидко створювати малогабаритні системи безперебійного резервного живлення для зберігання енергії, мобільну зарядку, мобільну електростанцію і багато іншого (рис. 2).

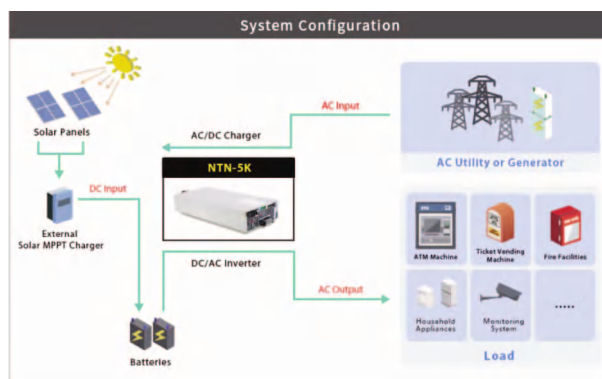


Рис. 2. Малогабаритні системи безперебійного резервного живлення

Інші характеристики NTN-5K:

- вбудований зарядний пристрій змінного / постійного струму високої потужності до 4520 Вт
- синусоїдальний вихідний сигнал з коефіцієнтом нелінійних спотворень THD < 3%

- миттєва пікова потужність змінного струму до 10 кВт
- до 6 блоків змінного струму можуть бути підключені паралельно, що збільшує потужність до 30 кВт (5 + 1 блок)
- використовуються 3 однофазних виходи змінного струму NTN-5K, що можуть бути об'єднані для отримання потрібної вихідної потужності
- діапазон робочих температур від -30 до +70 °C
- дистанційне керування включенням / вимиканням
- захист по входу постійного струму:
  - ◆ від зворотної полярності
  - ◆ попередження про низьку напругу і відключення
  - ◆ перенапруження
  - ◆ надмірного розряду батареї
- захист по виходу змінного струму від:
  - ◆ короткого замикання
  - ◆ перевантаження
  - ◆ перегріву
- вбудований модуль зв'язку по шинах Modbus або CANbus
- додатково можна придбати інтелектуальні контролери:
  - ◆ CMU2E (автономний вертикальний монтаж / монтаж на рейку)
  - ◆ CMU2E-R (установка в стійку)
- габаритні розміри 460×211×83.5 мм
- покриття друкованої плати для основного захисту від вологи / пилу / бруду
- сертифікати: CB / TUV / RCM / EAC / CE / UKCA / FCC

- сумісний зі свинцево-кислотними або літєвими батареями
- гарантія 5 років.

Структурна схема NTN-5K [2] наведена на рис. 3.

Гальванічно ізольований інтерфейс Modbus або CANbus дозволяє здійснювати керування інвертором від персонального комп'ютера. Здійснювати вмикання і вимикання інвертора можна безпосередньо на панелі управління інвертора (рис. 4).

Зв допомогою перемикачів SW2 можна змінювати величину і частоту вихідної напруги, як показано на рис. 5.

Перемикачі SW1 дають змогу встановити фазовий зсув вихідного сигналу інвертора (рис. 6).

У NTN-5K передбачена функція температурної компенсації для продовження терміну служби свинцево-кислотних акумуляторів. Діапазон температурної компенсації становить 0...40 °C. Датчик температури акумулятора, що поставляється разом із зарядним пристроєм, може бути підключений до пристрою для температурної компенсації напруги зарядки (рис. 7). Зарядний пристрій працює нормально і при відключеному датчику температури.

### Функція паралельного підключення виходів інверторів

NTN-5k має вбудовану функцію активного розподілу струму. До 6 пристроїв може бути підключено паралельно для забезпечення більш високої вихідної потужності змінного струму, як показано нижче на рис. 8,а. При паралельному підключенні інверторів потрібно виконувати наступні вимоги:

- інвертори повинні підключатись паралельно за допомогою коротких проводів великого діаметру, а

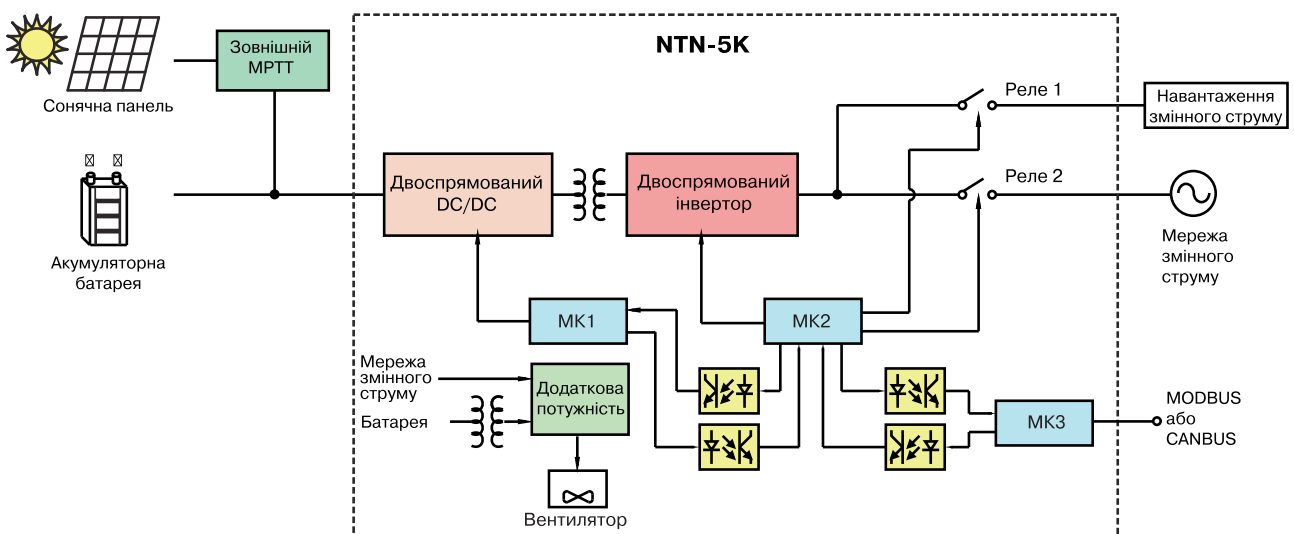


Рис. 3. Структурна схема NTN-5K





Рис. 4. Панель управління вихідною напругою змінного струму

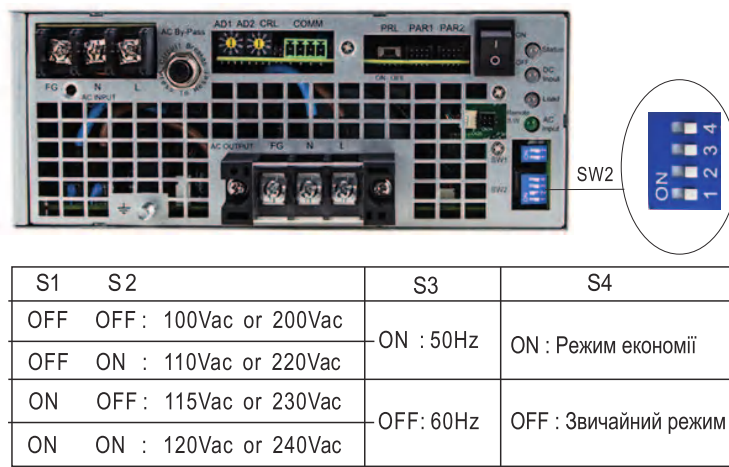


Рис. 5. Управління значенням частоти та значення вихідної напруги інвертора

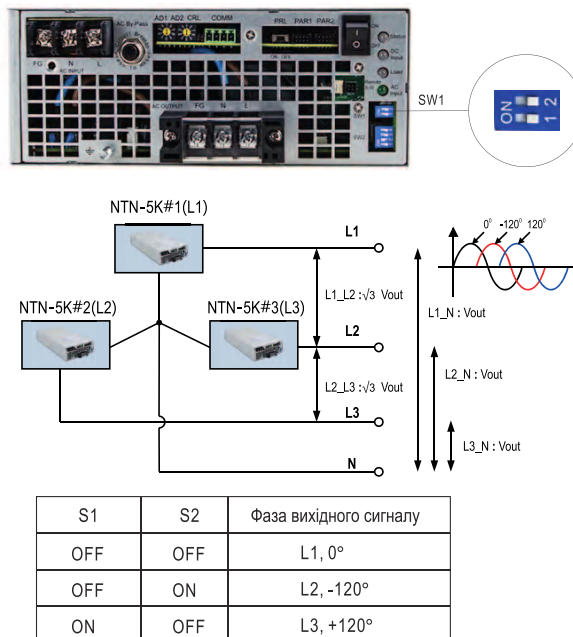
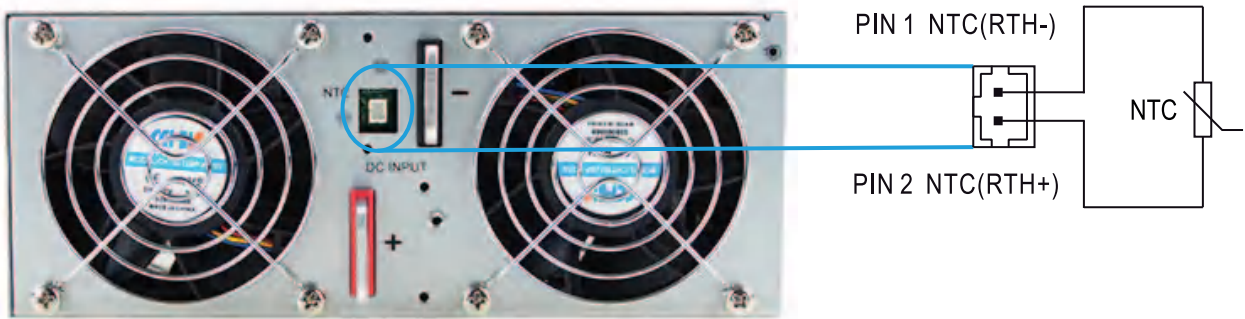


Рис. 6. Формування фази вихідної напруги змінного струму вибирається за допомогою SW1



**Рис. 7. Підключення датчика температури свинцево-кислотних акумуляторів**

потім підключатися до навантаження

- сумарний вихідний струм не повинен перевищувати значення, що визначається наступним рівнянням:

$$I_{\text{макс}} = 0.95 I_{\text{ном1}} \cdot N,$$

де  $I_{\text{ном1}}$  – номінальний вихідний струм одного інвертора,  $N$  – кількість інверторів, включених паралельно (при  $N < 6$ )

На рис. 8,б наведено з'єднання контактів роз'ємів PAR1 / PAR2 при паралельній роботі інверторів. Більш детальна інформація про призначення контактів PAR1 / PAR2 наведена в [3].

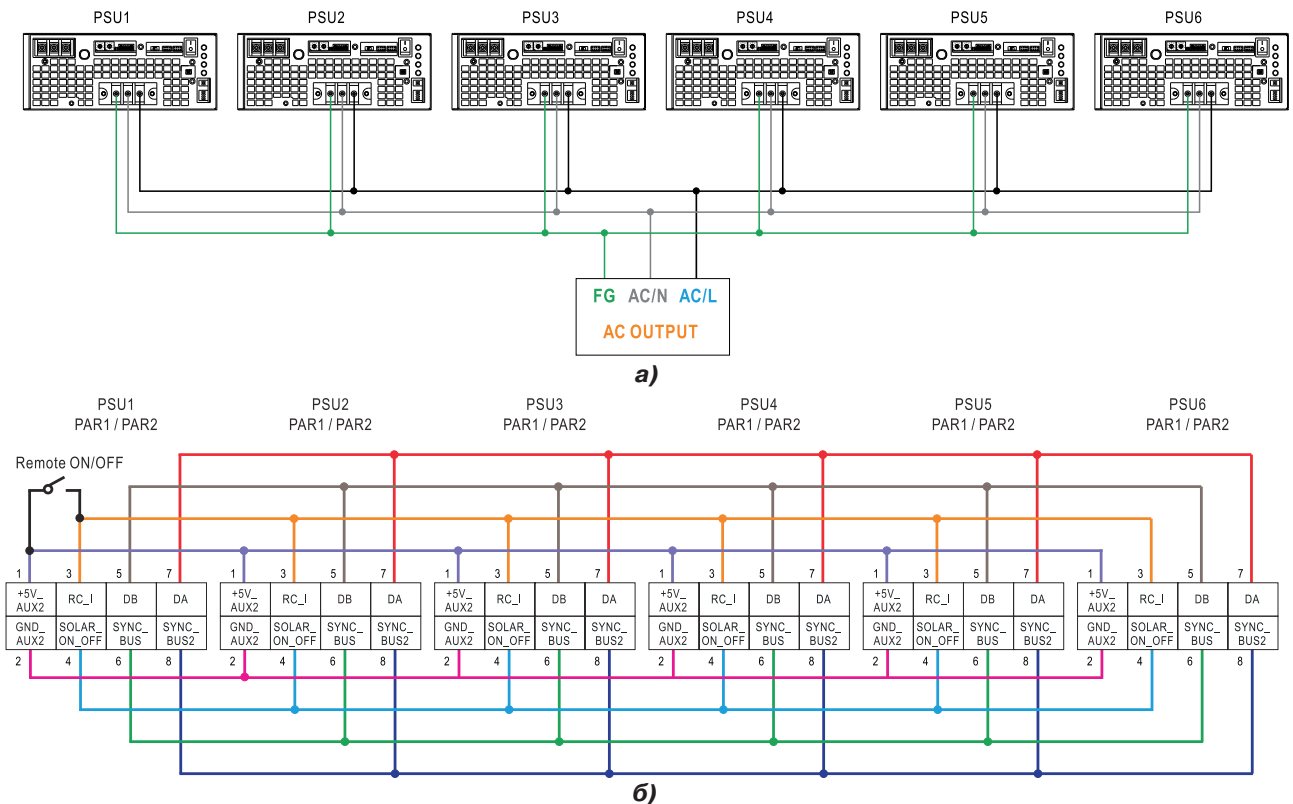
Призначення інших органів управління, контактів роз'ємів та перемикачів наведено в [2, 3].

У табл. 1 наведені характеристики інверторів різних модифікацій.

На рис. 9,а наведена залежність припустимого навантаження від температури навколишнього середовища, а на рис. 9,б – залежність вхідної напруги постійного струму від навантаження.

На рис. 10 наведені трьохступінчасті криві заряду акумуляторів. Такий режим встановлений по замовчуванню. При необхідності можна перейти на двоступінчастий режим заряду [3].

Зарядний пристрій NTN-5К забезпечує заряд



**Рис. 8. Схема з'єднання інверторів (а) та контактів PAR1 / PAR2 при паралельному підключенні інверторів**

свинцево-кислотних акумуляторів (залитих, гелевих і AGM) або літій-іонних.

Більш детальну інформацію по параметри і порядок інсталяції, про площу поперечного перерізу проводів для підключення інверторів, про формування адреси кожного інвертора і про інші питання можна знайти в [2, 3].

## ЛІТЕРАТУРА

- [1.https://www.meanwell.com/tr/newsInfo.aspx?c=1&i=1349](https://www.meanwell.com/tr/newsInfo.aspx?c=1&i=1349)
- [2.https://www.meanwell.com/webapp/product/search.aspx?prod=NTN-5K](https://www.meanwell.com/webapp/product/search.aspx?prod=NTN-5K)
- NTN-5KSeries Installation manual /

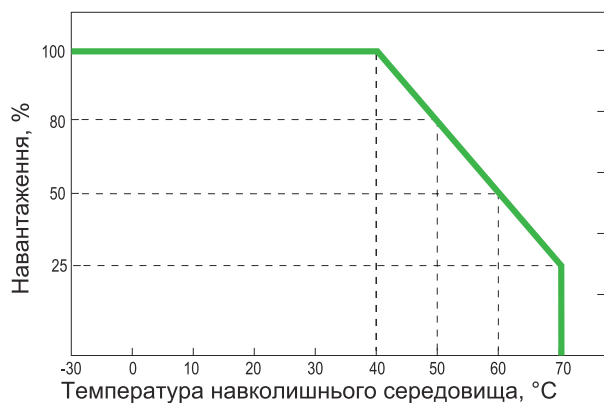
Таблиця 1. Параметри інверторів NTN-5K

Модель		NTN-5K-224	NTN-5K-248	NTN-5K-2380		
AC вихід	Номинальна потужність Pном	5000 Вт				
	Перевищення Pном (3 хв.)	5750 Вт				
	Пікова потужність (10 с)	7000 Вт	7500 Вт	7500 Вт		
	Імпульсна потужність (30 циклів)	8000 Вт	10000 Вт			
	Змінна напруга	по замовчуванню встановлена 230 В (AC)				
		200 / 220 / 230 / 240 В (AC) вибирається перемикачем SW2				
	Частота	по замовчуванню встановлена 50±0.1 Гц				
Форма сигналу sin	50/60 Гц вибирається перемикачем SW2					
Діапазон підстройки	коефіцієнт гармонік вихідної напруги не більше 3% ±3.0% при номінальній вхідній напрузі					
DC вхід	Постійна напруга	24 В (DC)	48 В (DC)	380 В (DC)		
	Діапазон зміни (тип.)	20 ~ 33 В (DC)	40 ~ 66 В (DC)	280 ~ 430 В (DC)		
	Постійний струм (тип.)	240 А	120 А	16 А		
	Без навантаження (тип.)	Звичайний	2.5 А	1.4 А	0.2 А	
		Режим економії	Вимкнено за замовчуванням, автоматичне визначення вихідного навантаження змінного струму P≤10 Вт (буде переведений в режим економії при P<25 Вт)			
	Струм у вимкненому режимі	≤ 2 мА				
	ККД (тип.)	91%	93%	94.5%		
	Тип акумулятора	Свинцево-кислотний або літій-іонний				
Захист	DC вхід	Низьке	Тривога	22±0.5 В (DC)	44±1 В (DC)	300±5 В (DC)
			Вимкнення	20±0.5 В (DC)	40±1 В (DC)	280±5 В (DC)
			Рестарт	25±0.5 В (DC)	50±1 В (DC)	335±5 В (DC)
		Високе	Тривога	31±0.5 В (DC)	62±1 В (DC)	420±5 В (DC)
			Вимкнення	33±0.5 В (DC)	66±1 В (DC)	430±5 В (DC)
			Рестарт	30±0.5 В (DC)	60±1 В (DC)	400±5 В (DC)
	Зворотна полярність	Пошкоджень немає, знову увімкніть живлення для відновлення після усунення несправності.			При розімкнутому внутрішньому запобіжнику	
	AC вихід	Перегрів	Напруга вимикається і автоматично відновлюється після зниження температури			
		Коротке замикання	Напруга вимикається і автоматично відновлюється після усунення короткого замикання			
		Перевантаження (тип.)	105...115% 180 с, 115%...140% 10 с	105...115% 180 с, 115%...150% 10 с		
Автоматичний вимикач		Тип захисту: відключення напруги, повторне включення живлення для відновлення 35 А				
Функції	Дистанційне керування	Дистанційне керування включенням-вимкненням живлення за допомогою роз'єму з розімкнутим сухим контактом на передній панелі. Дистанційне вимкнення; коротке замикання; нормальна робота				
	Комунікаційний інтерфейс	MODBus-RTU (RS-485) / CANBus				
Режим роботи БДЖ	Діапазон вхідної змінної напруги	200/220/230/240 В (AC)±16%, відновлення ±13%				
	Діапазон частот	45 ~ 65 Гц				
	Час перемикачів	10 мс інвертор – AC обхідний шлях				
Зарядний пристрій змінного струму	Підвищена напруга заряду	За замовчуванням 28.8 В (DC)	За замовчуванням 57.6 В (DC)	За замовчуванням 400 В (DC)		
	Плаваюча напруга заряду	За замовчуванням 27.6 В (DC)	За замовчуванням 55.2 В (DC)	За замовчуванням 385 В (DC)		
	Діапазон напруги зарядки	21...30 В (DC)	42...60 В (DC)	290...400 В (DC)		
	Постійний струм	135 А	70 А	11.3 А		
	Максимальна потужність заряду	4050 Вт	4200 Вт	4520 Вт		
	Температурна компенсація	Зовнішній датчик NTC				
	Коефіцієнт потужності	PF>0.98/230 В (AC) при повному навантаженні				
	ККД (тип.)	91%	93%	94%		
	Змінний струм (тип.)	25 А/230 В (AC)				
	Пусковий струм (тип.)	50 А/230 В (AC)				
	Струм витоку (піковий)	4.7 мА/264 В (AC)				
Навколишнє середовище	Діапазон робочих температур	-30...+70 °C				
	Відносна вологість	20...90% без конденсації				
	Температура/вологість зберігання	-30...+70 °C /10...95% без конденсації				
Вібрації	10...500 Гц, 3G 10 хв./цикл, 60 хв. по кожній з осей X, Y, Z					

**продовження табл. 1**

Безпека та електромагнітна сумісність	Стандарти безпеки	CB IEC62368-1, CSA C22.2 No. 62368-1, TUV BS EN/EN62368-1, AS/NZS 62368.1, EAC TP TC 004 approved		
	Витримувана напруга	DC I/P - AC:3.0K В (AC) AC - FG:1.5K В (AC)		
	Опір ізоляції	DC I/P - AC O/P, DC I/P - FG, AC O/P - FG: 100 МОм / 500 В (DC) / 25 °C / 70% RH		
	Електромагнітне випромінювання	Параметр	Стандарт	Тестовий рівень / Примітка
		Випромінювання	BS EN/EN55032(CISPR32)	Class A
		Кондуктивні завади	BS EN/EN55032(CISPR32)	Class A
		Гармоніки струму	BS EN/EN61000-3-2	Class A
	Електромагнітна захищеність	Мерехтіння напруги	BS EN/EN61000-3-3	---
		Параметр	Стандарт	Тестовий рівень / Примітка
		Електростатичний розряд	BS EN/EN61000-4-2	Level 3, 8KV air ; Level 2, 4KV contact
		Випромінювання	BS EN/EN61000-4-3	Level 2
		EFT / Burst *	BS EN/EN61000-4-4	Level 2, 1KV
Імпульсна перенапруга		BS EN/EN61000-4-5	Level 3, 1KV/Line-Line 2KV/Line-Earth	
Кондуктивні завади		BS EN/EN61000-4-6	Level 2	
Магнітне поле		BS EN/EN61000-4-8	Level 1	
Перепади напруги і перебої в роботі	BS EN/EN61000-4-11	>95%-ний спад за 0,5 періоду, 30%-ний спад за 25 періодів, >95%		
Інше	MTBF	200.9 тис. годин мін. Telcordia TR/SR-332 (Bellcore) ; 17.8 тис. годин мін. MIL-HDBK-217F (25 °C)		
	Габаритні розміри	460×211×83,5 мм		
	Маса	10,5 кг		

\* випробування на стійкість, шляхом подачі серії імпульсів з коротким часом наростання та високою частотою повторення для забезпечення відповідності вимогам до надійності

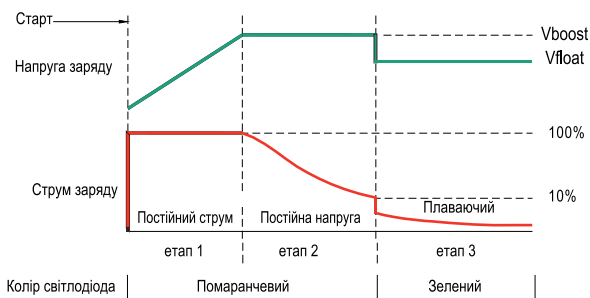


**а)**



**б)**

**Рис. 9. Залежності припустимого навантаження від температури навколишнього середовища (а) та вхідної напруги постійного струму від навантаження (б)**



По замовчуванню 3-ступінчасті криві зарядки

Модель	Напруга Vboost (за замовчуванням)	Напруга Vfloat	Струм зарядки	Регулюється за допомогою MODBUS / CANBus
124	28,8 В (DC)	27.6 В	120 А (макс.)	21...30 В
224			135 А (макс.)	
148	57.6 В (DC)	55.2 В	60 А (макс.)	42...60 В
248			70 А (макс.)	
380 В	400 В (DC)	385 В	11,3 А (макс.)	290...400 В

Підходить для свинцево-кислотних акумуляторів (залитих, гелевих і AGM) або літій-іонних

**Рис. 10. Трьохступінчасті криві заряду акумуляторів**

**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, Essentec, 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

# ПРОГРАМА МОДЕЛЮВАННЯ АНАЛОГОВИХ ТА ЦИФРОВИХ ПРИСТРОЇВ QSPICE, частина 3

## QSPICE IS A FREE PROGRAM FOR SIMULATING ANALOG AND DIGITAL DEVICES, part 3

У статті наведена коротка інформація про пристрої формування сигналів у безкоштовній програмі моделювання аналогових та цифрових пристроїв QSPICE від компанії Qorvo. Показані особливості налаштування та роботи з пристроями.

**Abstract** – The article provides brief information about signal generation devices in the free analog and digital device modeling program QSPICE from Qorvo. Features of setting up and working with devices are shown.

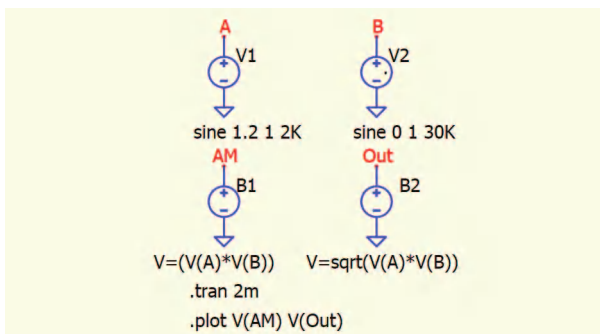
В. Макаренко

V. Makarenko

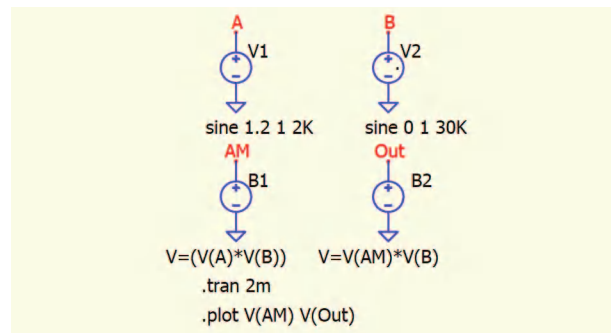
У третій частині статті розглянемо приклади використання розглянутих пристроїв та інші пристрої програми QSPICE.

На рис. 1 наведена модель амплітудного модулятора та детектора АМ-сигналів на основі довільного джерела напруги. З сигналів генераторів напруги V1 (джерела модулюючого коливання) та V2 (джерела носійного коливання) за допомогою довільного джерела напруги B1 формується АМ-сигнал, а за допомогою B2, яке виконує функцію вилучення квадратного кореня, формується однополярний сигнал (рис. 2). Нагадаємо параметри генератора напруги: sine 1.2 1 2K – синусоїдальний сигнал з постійним зміщенням 1.2 В, амплітудою 1 В та частотою 2 кГц.

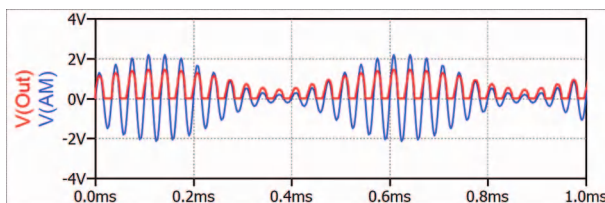
На основі генератора довільної форми можна побудувати синхронний детектор шляхом множення АМ-сигналу на сигнал носійної частоти. На рис. 3 генератор B2 виконує функцію аналогового перемножувача напруги. Результат детектування наведений на рис. 4.



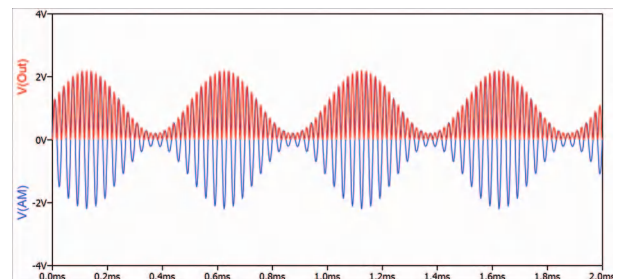
**Рис. 1. Амплітудний модулятор та детектор АМ-сигналів на основі довільного джерела напруги**



**Рис. 3. Синхронний детектор на основі генератора B2**

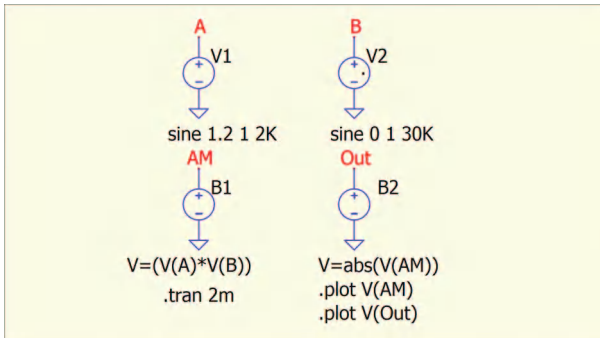


**Рис. 2. Сигнали на виходах АМ-модулятора та детектора АМ-сигналів (червоний)**

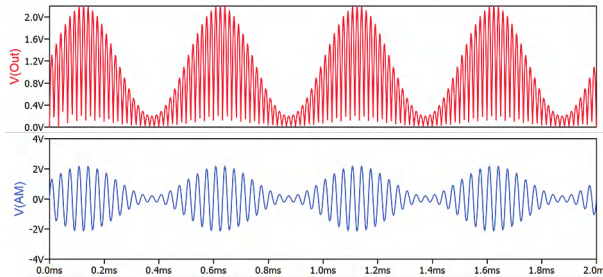


**Рис. 4. Сигнали на виходах АМ-модулятора та синхронного детектора АМ-сигналів (червоний)**

На основі генератора довільної форми можна побудувати детектор іншим способом. На рис. 5 генератор B2 виконує функцію знаходження абсолютної величини. Результат детектування наведений на рис. 6.

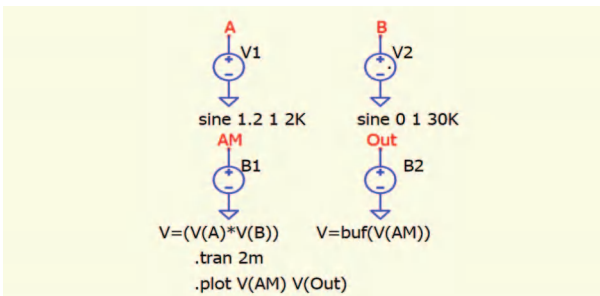


**Рис. 5. Детектор на основі генератора B2 з використанням функції abs(x)**



**Рис. 6. Сигнали на виходах АМ-модулятора та детектора АМ-сигналів (червоний), побудованого з використанням функції abs(x)**

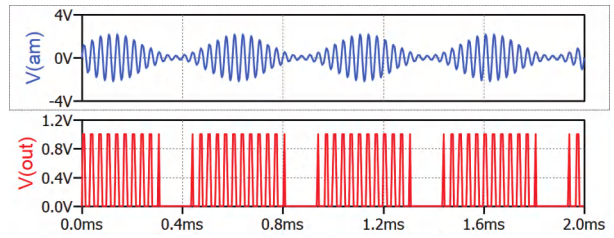
Ще одна функція довільного джерела напруги – buf. Ця функція формує на виході генератора напругу з рівнем 1 В при умові, що  $x > 0.5$ , а в усіх інших випадках формує 0. Модель з використанням функції buf наведена на рис. 7, а результат виконання моделювання – на рис. 8. Коли амплітуда АМ-сигналу перевищує 0.5 В, на виході B2 формується пакет імпульсів з частотою носійного коливання амплітудою 1 В.



**Рис. 7. Використання генератора довільної форми з функцією buf**

Перелік функцій, що реалізуються генераторами довільної форми:

- abortsim(x) – симуляція зупиняється коли  $x > 0.5$ , в іншому випадку повертає значення  $x$



**Рис. 8. Результат формування сигналу на виході генератора довільної форми при використанні функції buf**

- abs(x) – абсолютне значення  $x$
- acos(x), arccos(x) – arccos(x)
- acosh(x) – повертає гіперболічний косинус

числа  $x$

- asin(x) – arcsin(x)
- arcsin(x) – синонім asin()
- asinh(x) – гіперболічний арксинус числа  $x$
- atan(x) – arctn(x)
- arctan(x) – синонім atan()
- atan2(y,x) – чотирьохквadrantний arctn  $y/x$
- atanh(x) – гіперболічний arctn

- buf(x) – 1 при  $x > 0.5$ , в інших випадках 0

- ceil(x) – ціле число, рівне або більше  $x$

- cos(x) – косинус  $x$

- cosh(x) – гіперболічний косинус  $x$

- ddt(x) – похідна за часом від  $x$

- delay(x,y) –  $x$  затримується на  $y$

- delay(x,y,z)2 –  $x$  затримується на  $y$ , але зберігає історію не більше ніж на  $z$

- dlim(x,y,z) –  $x$ , обмежений  $y$ , до якого він асимптотично починає наблизитися при  $y + z$  як до першого ряду Лорана зворотного порядку

- exp(x) –  $e^x$

- floor(x) – ціле число, рівне або менше  $x$

- hypot(x,y) –  $\sqrt{x^2 + y^2}$

- idt(x,y,z) – інтеграл часу від  $x$  з початковою умовою, скидається у 0 коли  $z > 0.5$

- if(x,y,z) – якщо  $x > 0.5$ , то  $y$ , інакше  $z$

- int(x) – перетворює  $x$  у ціле число

- inv(x) – 0 якщо  $x > 0.5$ , в іншому випадку 1

- limit(x,y,z) – проміжне значення  $x$ ,  $y$  і  $z$

- ln(x) – натуральний логарифм від  $x$

- log(x) – альтернативний синтаксис для ln()

- log10(x) – логарифм за основою 10

- max(x,y) – найбільше зі значень  $x$  або  $y$

- min(x,y) – найменше зі значень  $x$  або  $y$

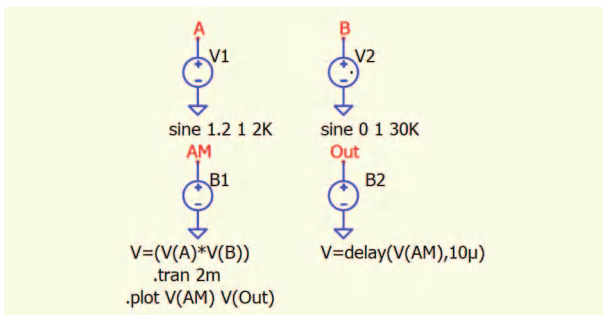
- pow(x,y) –  $x^y$

- pwr(x,y) – abs(x)<sup>y</sup>

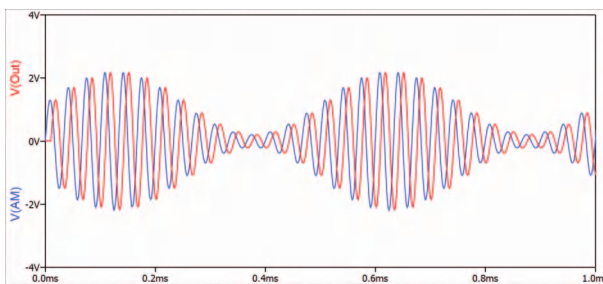
- pwrs(x,y) – sgn(x)·abs(x)<sup>y</sup> – повертає представлення числа  $y$  вигляді значення типу Integer (String), яке позначає знак числа abs(x)<sup>y</sup>

- `random(x)` – випадкове число від 0 до 1 в залежності від цілого значення `x`, інтерполяція між випадковими числами лінійна для нецілих значень `x`
- `resetwave(x)` – очищає дані форми сигналу, якщо `x > 0.5`
- `sin(x)` – синус `x`
- `sinh(x)` – гіперболічний синус `x`
- `sqrt(x)` – квадратний корінь з `x`
- `state(n,x)` – значення часу, що пройшов `x` `n` кроків назад, `n` округлюється до найближчого цілого числа і обмежується діапазоном від 0 до 3
- `table(x,a,b,c,d,...)` – інтерполяція `x` з довідкової таблиці, представленої у вигляді набору пар постійних значень
- `tan(x)` – тангенс `x`
- `tanh(x)` – гіперболічний тангенс `x`
- `ulim(x,y,z)` – `x`, обмежений `y`, до якого він асимптотично починає наблизитися в точці `y-z` як до першого ряду Лорана зворотного порядку.

Наведемо ще одну модель в якій використано функцію `delay` (рис. 9). На рис. 10 наведено результат затримки АМ-сигналу (червона крива) на 10 мкс.



**Рис. 9. Використання функції `delay` для затримки сигналу**



**Рис. 10. Результат затримки АМ-сигналу (синій) на 10 мкс**

Всі функції перелічені вище використовуються також у генераторах струму.

**Пристрій F – джерело струму що управляється струмом**

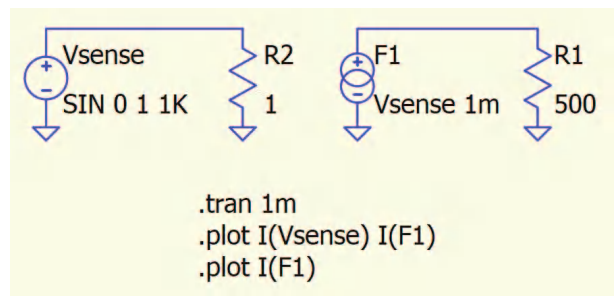
F-пристрій визначає струм в пристрої <назва> і передає струм між вузлами N+ і N-.

Синтакс `Fnnn N+ N- <назва> <підсилення>`.

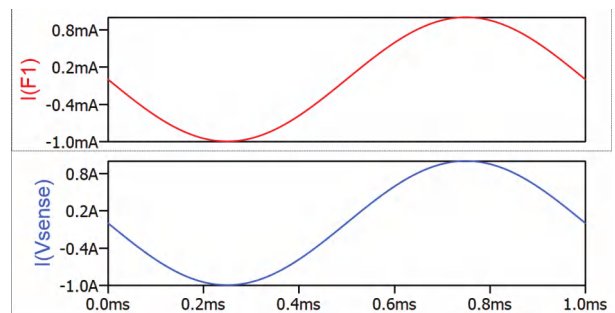
Відношення вихідного струму до вимірюваного струму задається за допомогою коефіцієнта підсилення <gain>. Чутливим елементом може бути будь-який елемент, внутрішньо представлений у вигляді еквівалентної схеми, тобто E, H, L або V-пристрої. V-пристрій також може використовуватися в якості чутливого елемента, якщо V пристрій формує напругу.

F-пристрій було реалізовано в SPICE для того, щоб застосувати теорію модифікованого вузлого аналізу до всіх можливостей лінійно залежних джерел. Однак немає фізичних електронних компонентів, які поведуться як F-пристрій. Зазвичай найкращим підходом є використання B, G, G', T та J пристроїв, або навіть транзисторів, оскільки вони можуть бути сконфігуровані так, щоб вести себе як реальні пристрої.

На рис. 11 наведено приклад моделі з використанням F пристрою, а на рис. 12 – результат моделювання.



**Рис. 11. Приклад використання джерела струму, що управляється струмом**



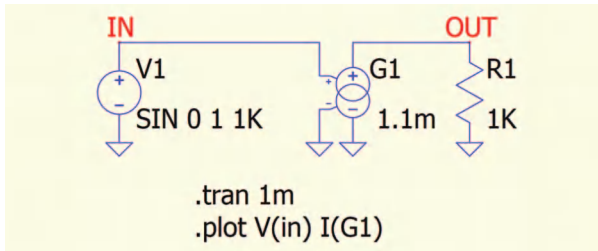
**Рис. 12. Результат формування струму джерелом струму F1**

**Пристрій G – джерело струму, що управляється напругою**

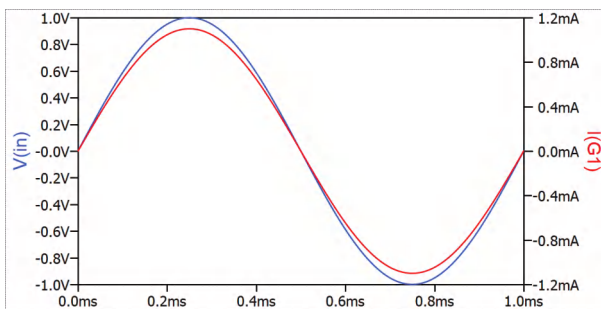
G-пристрій (рис. 13) визначає вхідну напругу між вузлами NC+ і NC- і визначає струм між вузлами N+ і N-.

Синтаксис: Gnnn N+ N- NC+ NC- <провідність>  
[Rpar=<опір>]

Відношення вихідного струму до вимірюваної напруги визначається параметром <провідність>. Результат формування струму джерелом струму, що управляється напругою наведено на рис. 14.



**Рис. 13. Приклад використання джерела струму, що управляється напругою**



**Рис. 14. Результат формування струму джерелом струму, що управляється напругою**

G-пристрої є найбільш корисними з лінійно залежних джерел у SPICE, оскільки вони представлені найбільш аналогічно транзисторам у модифікованому вузловому аналізі SPICE. Краще використовувати G-джерела замість E, F або H пристроїв.

Можна додати частотну залежність до G-джерела, вказавши передавальну функцію Лапласа:

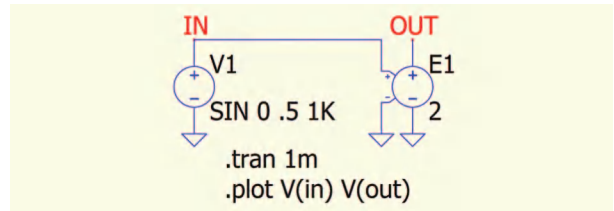
Синтаксис: Nnn N + N-NC + NC - <провідність>  
[Rpar=<опір>] LAPLACE=<вираз у S-області>.

**Пристрій E – джерело напруги, що управляється напругою**

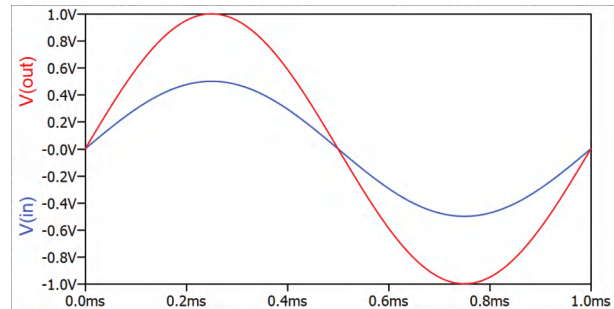
Синтаксис: Ennn N + N-NC + NC - <коефіцієнт підсилення> [RSER=<послідовний опір>]

Електронний пристрій (рис. 15) визначає вхідну напругу між вузлами NC+ і NC- і формує напругу між вузлами N+ і N-. Відношення вихідної напруги до вимірюваного визначається параметром <коефіцієнт підсилення>. Вказівка внутрішнього послідовного опору є необов'язковою.

Можна додати до джерела електронного зв'язку залежність від частоти, вказавши передавальну функцію Лапласа:



**Рис. 15. Джерело напруги E1, що управляється напругою**



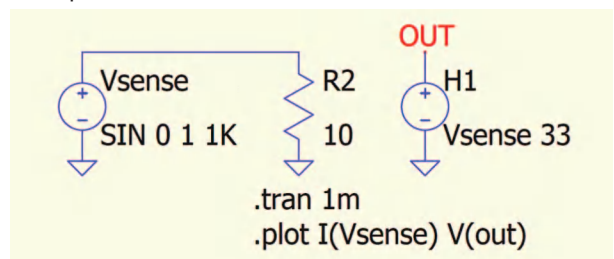
**Рис. 16. Вихідна наруга (червона крива) джерела напруги E1, що управляється напругою**

Синтаксис: Ennn N + N-NC + NC - <коефіцієнт підсилення> LAPLACE=<вираз у S-області>

**Пристрій H – джерело напруги, що управляється струмом**

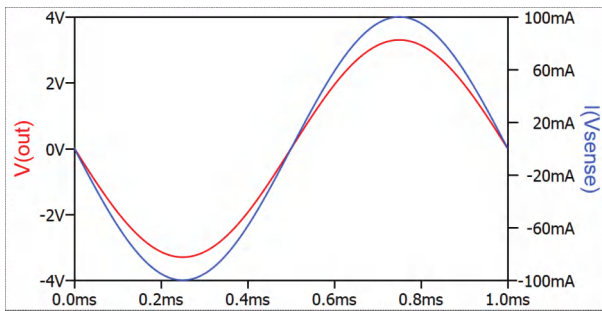
Синтаксис: Hnnn N + N - <назва> <перехідний опір>

H пристрій (рис. 17) визначає струм в пристрої <назва> і встановлює напругу між вузлами N+ і N-. Відношення вихідної напруги до вимірюваного струму визначається параметром <перехідний опір>. Вимірювальним пристроєм може бути будь-який елемент, внутрішньо представлений у вигляді еквівалентної схеми Тевеніна, тобто E, H, L або V пристрої. Пристрій V також може бути використаний як чутливий елемент, якщо цей V пристрій формує напругу. Вихідна напруга джерела напруги H, що управляється струмом, та струм управління наведено на рис. 18.



**Рис. 17. Джерело напруги H, що управляється струмом джерела Vsense**





**Рис. 18. Вихідна напруга джерела напруги  $H$ , що управляється струмом, та струм управління (синя крива)**

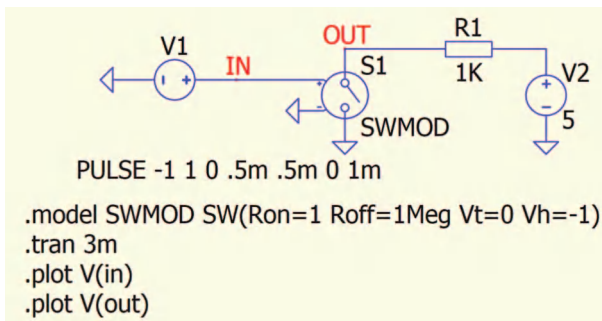
$H$ -пристрій було реалізовано в SPICE для того, щоб застосувати теорію модифікованого вузлового аналізу до всіх можливостей лінійно залежних джерел. Оскільки не існує фізичних електронних компонентів, які насправді поведуться як  $H$ -пристрій, він знаходить обмежене застосування на практиці.

#### Пристрій $S$ – аналоговий ключ що управляється напругою

Синтаксис: Nnn N1 N2 NC+ NC- < модель> [параметри моделі]

Напруга між вузлами NC+ і NC- управляє опором ключа між вузлами N1 і N2. На рис. 19 наведена модель ключа, що управляється генератором трикутної напруги V1 (рис. 20). Параметри моделі:

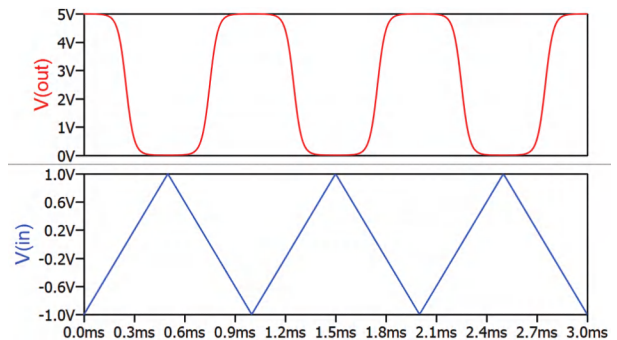
- OFF – ключ закритий за замовчуванням
- ON – ключ відкритий за замовчуванням
- Ron – опір ключа у відкритому стані
- Roff – опір ключа у закритому стані
- Vh – ширина петлі гістерезиса
- Vt – порогова напруга.



**Рис. 19. Модель для ілюстрація роботи ключа з гістерезисом**

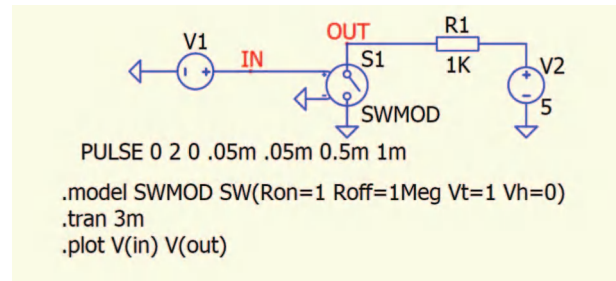
Ключ відкривається, коли керуюча напруга стає новить  $V_t+V_h$ , і закривається при  $V_t-V_h$ . Пристрій дозволяє визначити, наскільки точно слід визначити час перемикання. Якщо напруга гістерезису  $V_h$  негативна, ключ плавно переходить від  $R_{on}$  до  $R_{off}$ , що

ілюструє рис. 20. Це є стандартною поведінкою при моделюванні схем, оскільки більшість аналогових симуляторів не можуть обчислювати схеми з розривами.

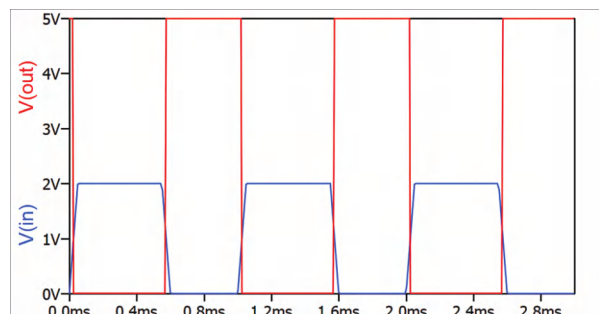


**Рис. 20. Результат моделювання роботи ключа з гістерезисом**

Більш наочно ілюструє роботу ключа модель на рис. 21, результати роботи якої наведено на рис. 22. Напруга керування задана в діапазоні 0...2 В, пороговий рівень спрацювання ключа – 1 В, гістерезис відсутній.

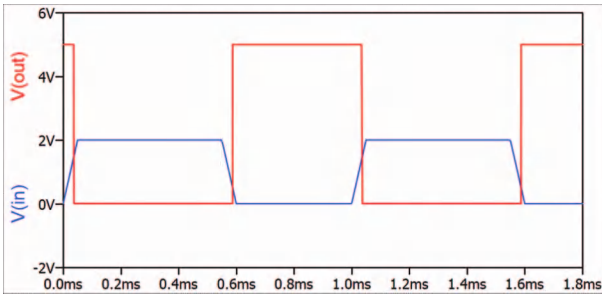


**Рис. 21. Модель з використанням ключа без гістерезиса**



**Рис. 22. Результат моделювання роботи ключа без гістерезиса**

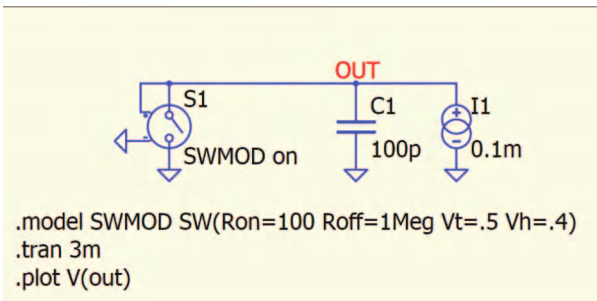
Як впливає з рис. 22, пороговий рівень спрацювання ключа дорівнює 1 В. На рис. 23 наведено результат моделювання при заданому значенні гістерезиса  $V_h=0.5$  В.



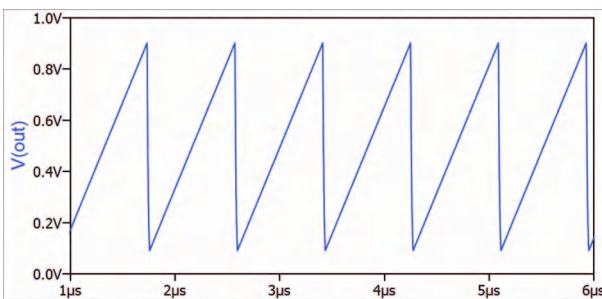
**Рис. 23. Результат моделювання роботи ключа з гістерезисом 0.5 В**

Використання гістерезиса дає змогу імітувати роботу тригера Шмітта.

Ще один приклад використання ключа наведено на рис. 24. Це генератор пилоподібної наруги. Результат моделювання роботи генератора наведено на рис. 25.



**Рис. 24. Модель генератора пилоподібної наруги з використанням аналогового ключа**



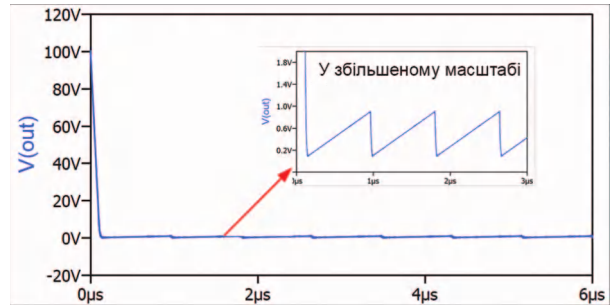
**Рис. 25. Сигнал на виході генератора пилоподібної наруги з атрибутом SWMOD on**

Конденсатор C1 заряджається струмом 0.1 мА від джерела струму I1. Вхід управління ключа підключений до виходу джерела струму. Коли ключ закритий конденсатор C1 заряджається. При досягненні порогу спрацьовування ключа  $V_t + V_h = 0.5 + 0.4 = 0.9$  В він відкривається і конденсатор швидко розряджається через відкритий ключ до величини  $V_t - V_h = 0.5 - 0.4 = 0.1$  В (рис. 25), при якій ключ закривається. Цикл заряду/розряду повторюється.

Змінюючи співвідношення між  $V_t$  і  $V_h$ , можна регулювати амплітуду і початковий рівень вихідного

сигналу такого генератора.

Для ілюстрації впливу параметра ключа ON/OFF на його поведінку скористаємось моделлю наведеною на рис. 24, замінивши атрибут SWMOD on на SWMOD off.



**Рис. 26. Сигнал на виході генератора пилоподібної наруги з атрибутом SWMOD off**

Як впливає з рис. 26, зміна атрибута ключа призведе тільки до зміни масштабу відображення сигналу на виході генератора.

**ЛІТЕРАТУРА**

- <https://www.qorvo.com/design-hub/blog/spicier-spice-free-fast-circuit-simulation-for-mixed-analog-and-digital>
- <https://www.qorvo.com/design-hub/design-tools/interactive/qspice>

**VD MAIS**  
Розробка та серійне виробництво електроніки

- розробка електричних схем
- проекування та виготовлення друкованих плат
- комплектация виробів електронними компонентами та конструктивами
- контрактне виробництво (за стандартом IPC-A-600J):
  - автоматизований монтаж SMD-компонентів, автоматизована селективна 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@vdmmais.ua, www.vdmmais.ua

**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 паління, 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, Essentec, KIC, Kolver, LPKF, Magic Ray, Miele, Nordson, Optilla, 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



# Технологічні матеріали фірм AIM та Electrolube



[www.aimsolder.com](http://www.aimsolder.com)



[www.electrolube.com](http://www.electrolube.com)

**VD MAIS**  
ДИСТРИБ'ЮЦІЯ +  
КОНТРАКТНЕ  
ВИРОБНИЦТВО

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

тел.: (044) 201-0202, [info@vdmαιs.ua](mailto:info@vdmαιs.ua), [www.vdmαιs.ua](http://www.vdmαιs.ua)

# EKіC

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](mailto: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