

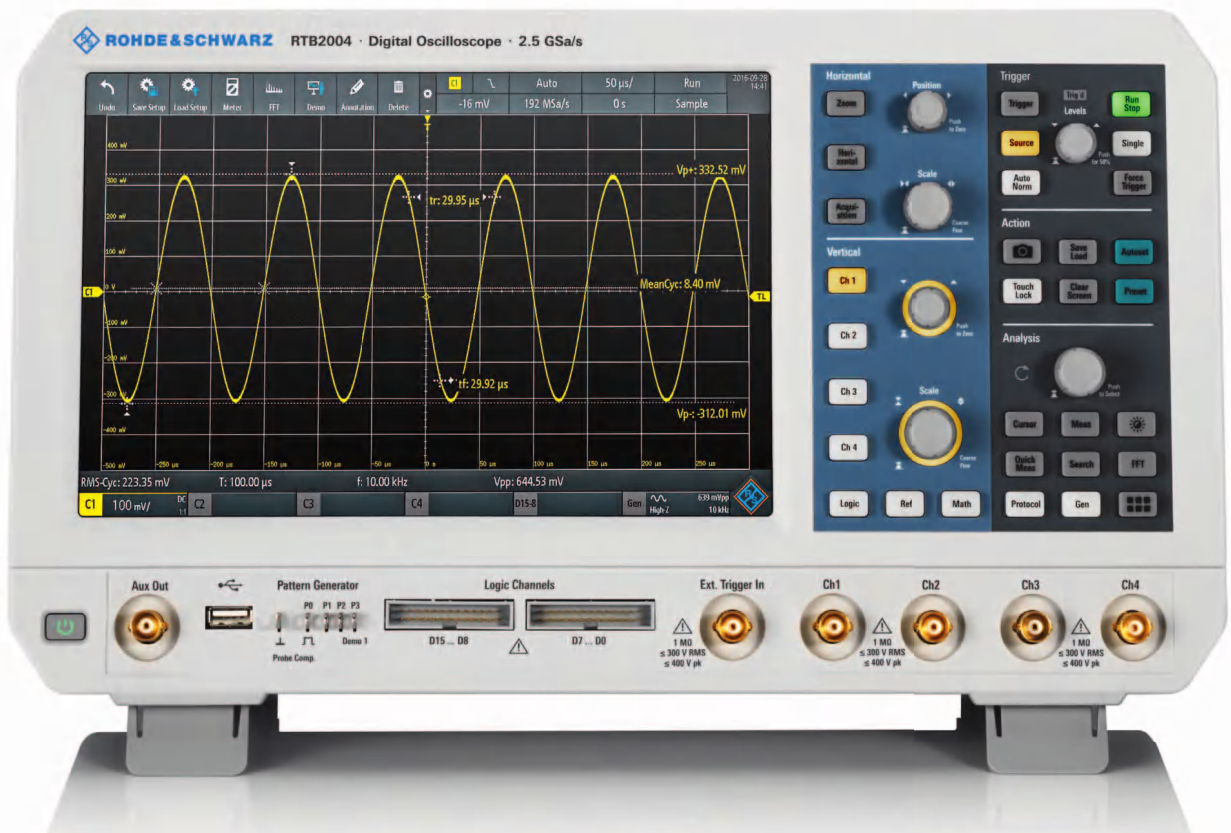


**Панельні ПК Winmate  
в корпусах із нержавіючої сталі**

**Ступінь захисту IP69**

### **У номері:**

- П'ять провідних тенденцій Інтернету військових речей (IoMT)
- Високоєфективні інерційні сенсори для Інтернету рухомих речей
- Апаратний захист вузлів Інтернету речей від кібератак
- Військовий стандарт MIL-STD-810
- Військовий стандарт MIL-STD-461
- Як захистити систему живлення від відмов або збоїв
- **Панельний комп'ютер W24IT3S-SPA269-P1 238**  
**зі ступенем захисту IP69**
- Кабелі TE Connectivity для передачі високошвидкісних та цифрових даних
- Перспективи розвитку друкованих плат
- Особливості проектування та виробництва високочастотних друкованих плат
- Програма моделювання аналогових та цифрових пристроїв QSPICE



## 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" емнісний 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, пілкоподібний, 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>

**ЕЛЕКТРОННІ  
КОМПОНЕНТИ  
І СИСТЕМИ**2024 січень-березень  
№ 1 (245)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. Романов  
**П'ять провідних тенденцій розвитку Інтернету військових речей** .....3Б. Скэннелл  
**Високоєфективні інерціальні сенсори для Інтернету мобільних речей** .....5С. Віто, Р. Мучсел, Д. Луміс  
**Апаратний захист вузлів Інтернету речей від кібератак** ..... 12**СТАНДАРТИ**В. Романов  
**Військовий стандарт MIL-STD-810: призначення та особливості застосування** ..... 16В. Романов  
**Військовий стандарт MIL-STD-461: призначення та особливості застосування** ..... 18**ДЖЕРЕЛА ЖИВЛЕННЯ**Т. Х'юнх, Р. Назаді  
**Як захистити систему живлення від відмов або збоїв** .....23**ПРОМИСЛОВІ КОМП'ЮТЕРИ**В. Макаренко  
**Панельний комп'ютер W24IT3S-SPA269-P1 238 зі ступенем захисту IP69** .....31**КАБЕЛІ**В. Макаренко  
**Кабелі TE Connectivity для передачі високошвидкісних та цифрових даних** .....36**ДРУКОВАНІ ПЛАТИ**В. Романов  
**Перспективи розвитку друкованих плат** .....40В. Макаренко  
**Особливості проєктування та виробництва високочастотних друкованих плат** .....44**МОДЕЛЮВАННЯ ЕЛЕКТРОННИХ ПРИСТРОЇВ**В. Макаренко  
**Програма моделювання аналогових та цифрових пристроїв QSPICE, частина 1** .....54Перепечатка опублікованих в журнале  
матеріалів допускається с розрешення редакції.  
За рекламную інформацію відповідальність несеєт  
рекламодаєтель.

**INTERNET OF THINGS TECHNOLOGIES**

V. Romanov  
**5 Leading Trends in Internet of Military Things ..... 3**

B. Scannell  
**High Performance Inertial Sensors Propelling the Internet of Moving Things ..... 5**

S. Vito, R. Muchsel, D.Loomis  
**Technical Approaches to Defend and Protect IoT Nodes.... 12**

**STANDARDS**

V. Romanov  
**Military standard MIL-STD-810: purpose and features of application ..... 16**

V. Romanov  
**Military standard MIL-STD-461: purpose and features of application ..... 18**

**POWER SOURCES**

T. Huynh, R. Nathadi  
**How to Protect Your Power System Designs Against Faults .....23**

**INDUSTRIAL COMPUTERS**

V. Makarenko  
**Panel computer W24IT3S-SPA269-P1 238 with degree of protection IP69 ..... 31**

**CABLES**

V. Makarenko  
**TE Connectivity cables for high-speed and digital data transmission ..... 36**

**PRINTED CIRCUIT BOARDS**

V. Romanov  
**The trends of printed circuit boards .....40**

V. Makarenko  
**Features of design and production of high-frequency printed circuit boards..... 44**

**MODELING OF ELECTRONIC DEVICES**

V. Makarenko  
**QSPICE is a free program for simulating analog and digital devices, part 1 ..... 54**



**ELECTRONIC COMPONENTS AND SYSTEMS**

January-March 2024  
 No.1 (245)

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



# П'ЯТЬ ПРОВІДНИХ ТЕНДЕНЦІЙ РОЗВИТКУ ІНТЕРНЕТУ ВІЙСЬКОВИХ РЕЧЕЙ (ІОМТ)

## 5 LEADING TRENDS IN INTERNET OF MILITARY THINGS (IOMT)

Статтю підготовлено за матеріалами іноземних публікацій..

В. Романов

Abstract – The article was prepared based on the materials of the foreign publications.

V. Romanov

Інтернет військових речей (ІоМТ) – це напрямок, що зараз активно розвивається і включає в себе інтеграцію різних військових пристроїв, складної мережі взаємопов'язаних об'єктів для підвищення оперативних можливостей, бойових операцій і ведення бойових дій. Поряд із аналітикою, кібербезпекою та штучним інтелектом, Інтернет військових речей відіграє значну роль у зростаючій інфраструктурі кращих армій світу.

Деякі з основних застосувань ІоМТ включають тактичну розвідку, інтелектуальне управління ресурсами, логістику, у тому числі відстеження обладнання та поставок, моніторинг та гібридну війну даних. Передбачається, що пристрої різних категорій ІоМТ будуть відігравати важливу роль в інтелектуальній підготовці та навчанні військовослужбовців. Пристрої ІоМТ можна класифікувати як пристрої передачі і збору даних, сенсори і приводи, мережі, а також пристрої з власними автономними функціями. Слід відмітити, що системи ІоМТ знаходяться ще на ранній стадії розвитку, але ці системи включають сегмент оборонних інженерних технологій, який зараз найшвидше розвивається.

Нижче наведені п'ять провідних тенденцій розвитку Інтернету військових речей, рис. 1, які можуть суттєво підвищити рівень захисту людського життя та удосконалити дію військових підрозділів на основі отриманих у реальному часі необхідних даних.

**1. Перспективні сенсорні мережі.** Розвиток військової цифрової інфраструктури йде одночасно з удосконаленням особового складу, мобільних пристроїв і транспортних засобів. Ці складні інструменти вимагають більшої кількості джерел отримання даних для належного моніторингу та підтримки за допомогою найсучасніших мережевих рішень. Системи ІоМТ з великою кількістю сенсорів та пристроїв дозволяють розгортати сенсорні мережі під час військових операцій. Сенсорні мережі надають дані в реальному часі про різні параметри, такі як місцезнаходження, умови навколишнього



**Рис. 1. П'ять провідних тенденцій розвитку Інтернету військових речей**

середовища та активність противника. Використовуючи сенсорні мережі, військовослужбовці можуть покращити ситуаційну обізнаність і приймати більш обґрунтовані рішення на полі бою у реальному часі. Існують різні типи сенсорів, які розгортаються для посилення можливостей систем ІоМТ. До них належать оптичні та інфрачервоні сенсори, які можуть працювати в складних кліматичних умовах, а також радары з фазованою решіткою, які можуть одночасно і точно збирати розвідувальні дані на землі, воді та у повітрі.

**2. Інтеграція штучного інтелекту.** Штучний інтелект відіграє важливу роль у забезпеченні ефективного аналізу величезних обсягів даних, що надходять з багатьох віддалених пристроїв і сенсорів. Розвідувальна інформація, яка пов'язана з безпекою або обороною, надходить у формі логістики, даних розвідки разом із розвідувальними даними з поля бою. Технології штучного інтелекту, такі як машинне навчання, у поєднанні з аналітикою великих даних можуть здійснювати обчислення більшого обсягу даних для підтримки прогнозного аналізу, включаючи автономне прийняття рішень. Така інтеграція покращує військові можливості, забезпечуючи ефективно виявлення загроз і швидший час реагування.

**3. Кібербезпека та захист даних.** На полі бою

існують серйозні проблеми щодо зростання кількості кібератак у зв'язку з розширенням і розвитком систем IoT. Використання інтелектуальних пристроїв і зростаюча залежність їх від мережі зв'язку можуть потенційно поставити під загрозу військові мережі та системи зв'язку у цілому. Крім того, порушення кібербезпеки може виникнути на будь-якому рівні, наприклад, у додатках, у мережі, у віддалених пристроях і сенсорах, а також у сховищі даних. Інновації в техніці шифрування, у безпечних протоколах зв'язку та системах виявлення загроз розробляються для захисту критично важливих військових систем з метою захисту конфіденційної інформації від ворогів.

**4. Сумісність та мережева інтеграція.** Система IoT об'єднує широкий спектр пристроїв, платформ і систем від різних виробників і військових підрозділів. Забезпечення сумісності між різноманітним обладнанням є життєво важливим для безперебійного обміну даними, але в той же час це досить важко здійснити на практиці. Один із підходів полягає в стандартизації форматів даних, протоколів зв'язку та мережевої архітектури, що полегшує інтеграцію різних пристроїв у складі системи IoT, забезпечуючи ефективну координацію та взаємодію між військовими підрозділами.

**5. Граничні обчислення та хмарна інфраструктура.** Система IoT генерує величезні обся-

ги даних, які потрібно обробляти, аналізувати та зберігати. Щоб вирішити цю проблему, периферійні обчислення та хмарна інфраструктура набувають все більшого значення. Тактичні периферійні обчислення – це децентралізований підхід до хмарних обчислень, який фактично відокремлює технологічні ресурси від централізованої хмари. Це дозволяє обробляти дані на межі мережі, зменшуючи таким чином затримку та дозволяючи приймати рішення в реальному часі. З іншого боку, хмарна інфраструктура пропонує масштабоване сховище та великі обчислювальні ресурси, а також полегшує агрегацію даних та віддалений доступ до важливої інформації.

## ВИСНОВКИ

Впровадження Інтернету військових речей у сучасних арміях дозволить зробити революцію у військових операціях з використанням вдосконалених сенсорів, штучного інтелекту та обробки даних. Для оборонних структур системи IoT вже сьогодні перетворюється на необхідну інфраструктуру для сучасного поля бою. За допомогою таких систем можна передбачувати майбутні кризові ситуації і локалізувати їх за допомогою швидших протидій у реальному часі.

**VD MAIS**  
Друковані плати



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

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

Ціни оптимальні.

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

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



- автоматизований монтаж ЕЛ/Ю-компонентів (до 2,5 млн на добу)
- автоматизоване селективне паяння компонентів, що монтується 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@vdm.ais.ua, www.vdm.ais.ua

**VD MAIS**  
Вимірювальні пристрої



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

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@vdm.ais.ua, www.vdm.ais.ua

# ВИСОКОЕФЕКТИВНІ ІНЕРЦІАЛЬНІ СЕНСОРИ ДЛЯ ІНТЕРНЕТУ МОБІЛЬНИХ РЕЧЕЙ \*

## HIGH PERFORMANCE INERTIAL SENSORS PROPELLING THE INTERNET OF MOVING THINGS

У статті розглянуті вимоги до сенсорів для систем Інтернету мобільних речей.

Б. Сканнелл

Abstract – The article discusses the requirements for sensors for IoT.

B. Scannell

Розумні сенсори, об'єднані з засобами збору та обробки даних стають все більш автономними та мобільними. Точне захоплення руху та відстеження розташування сенсорного вузла стають ключовими для їх використання у наземних та повітряних транспортних засобах для ефективного управління на основі геолокаційних сенсорів з елементами штучного інтелекту. Нове покоління високопродуктивних промислових сенсорів руху здатне підтримувати високу точність геолокації та наведення, а також забезпечує необхідні масогабаритні показники.

**Драйвери для інтелектуального зондування (Intelligent Sensing) в промислових системах** мають спільні властивості, а саме високу точність, надійність, безпеку, вони підтримують інтелектуальну обробку даних, як показано у табл. 1.

Сенсори різних типів стають центральними вузлами проектування у сучасних системах Інтернету мобільних або рухомих речей IoT. Складність таких систем призводить до вимоги щодо якості та на-

дійності сенсорів у різноманітних умовах експлуатації. У той час як у деяких галузях є можливість вибрати сенсори з міркувань простоти та зручності (наприклад, використовувати набір сенсорів, які вже є в мобільному телефоні і т.і.), в інших – необхідно визначити набір сенсорів з нуля, вибираючи їх за точністю, розумно поєднуючи їх параметри з вимогами до надійного покриття запланованих станів системи у цілому.

**Розумні сенсори.** Завдяки розумним сенсорам інтелектуальні системи швидко розвиваються, перетворюючи сільське господарство на «розумне» сільське господарство, інфраструктуру на «розумну» інфраструктуру, міста – на «розумні» міста, апартаменти – на «розумні» апартаменти і т.п. Оскільки сенсори розгортаються для збору відповідних даних у цих середовищах, виникають нові складності в управлінні базами даних і зв'язку, що вимагає більш складного об'єднання не лише між сенсорами, але й між платформами (наприклад, з хмарними аналітич-

Таблиця 1. Системні драйвери для інтелектуального зондування

Вимоги	Застосування	Потреби
Ефективність використання ресурсів	Прецизійне землеробство; інтелектуальне промислове спостереження; прогнозне обслуговування обладнання	Багатопараметричне інтелектуальне зондування; геолокація; бази даних
Критична точність	Промислова робототехніка; хірургічні інструменти; будівництво; супровід автомобіля	Точність, стабільність; повторюваність; робота в усіх умовах експлуатації
Підвищена безпека	Безпілотні транспортні засоби; моніторинг стану обладнання; автономні машини; перші служби реагування (пожежники, поліція, медики)	Надійність; екологічний імунітет; міцність; прогнозний аналіз; безвідмовні режими експлуатації

\* Scannell B. High Performance Inertial Sensors Propelling the Internet of Moving Things. [www.analog.com/TechnicalArticle](http://www.analog.com/TechnicalArticle). Скорочений переклад з англійської та коментрі В. Романова.

ними інфраструктурами, об'єднання у часі, або за умовами та схемами руху), як показано на рис. 1.

**У яких системах Інтернету речей визначення руху має важливе значення.** У більшості випадків системи IoT – це динамічні або мобільні системи, які знаходяться в русі. Навіть якщо це стаціонарна промислова камера безпеки, точне її наведення важливе, також важлива фіксація у часі небажаних рухів (зловживань). Дрон, який знімає зображення сільськогосподарських культур, може забезпечити кращі та швидші результати збору даних, якщо зможе підтримувати точні кути наведення оптичної системи в складних умовах польоту, також він може вико-

нати порівняння даних і їх зміну у часі, якщо отримані дані точно нанесено на геокарту.

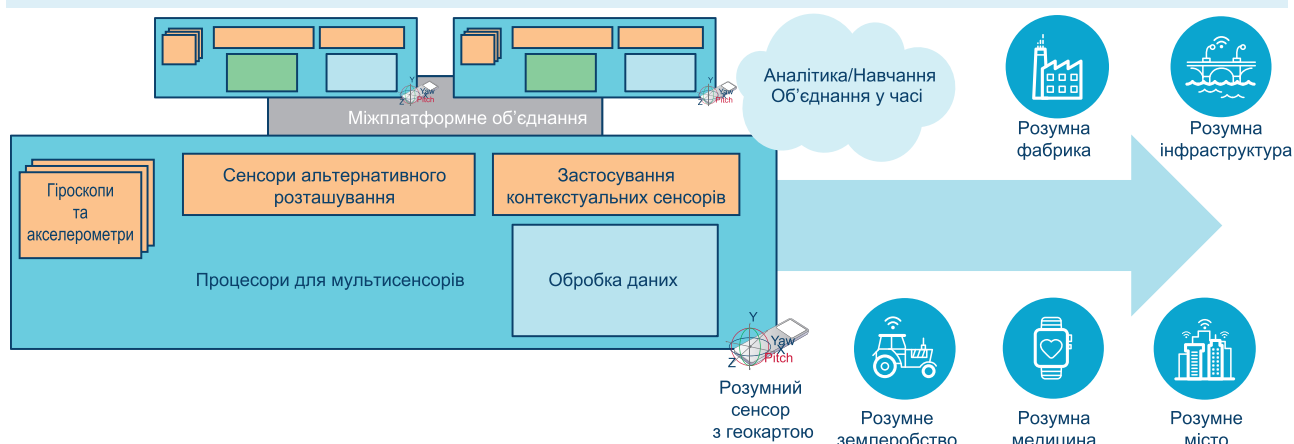
Розумні транспортні засоби, будь то наземні, повітряні чи морські, дедалі більше покладаються на навігаційні GPS-системи. Однак GPS-системи також піддаються дедалі більшому впливу техногенного чи природного походження (будівлі, дерева, тунелі, завади тощо). За умови правильного вибору додаткові чи альтернативні сенсори можуть надійно корегувати дані у проміжках між відключеннями чи збоями у роботі системи GPS-спостереження. У табл. 2 наведені приклади таких можливостей у системах Інтернету мобільних речей або IoT.

**Таблиця 2. Актуальність руху розумного промислового обладнання**

Промислове обладнання	Актуальність руху промислового обладнання
Розумні трактори	Геолокація, стабілізація антени
БПЛА/дрони	Геолокація, роїння, вказівка корисного навантаження
БПЛА/дрони	Геолокація, роїння, вказівка корисного навантаження
Активи високої вартості*	Геолокація, контроль інвентаризації
Поїзди, інший транспорт	Геолокація, безпека
Доповнена реальність**	Геолокація, наведення
Розумні транспортні засоби	Геолокація, сенсорне позиціонування, динаміка
Робототехніка, техніка	Геолокація, управління, стабілізація
Антени, камери	Кут наведення, встановлення/калібрування, стабілізація

\* Високоцінний актив — це інформаційна система, яка є настільки критичною для організації, що пошкодження цієї системи або втрата доступу до неї матиме серйозний вплив на здатність організації виконувати свою місію.

\*\* Доповнена реальність — термін, що позначає всі проекти, спрямовані на доповнення реальності будь-якими віртуальними елементами. Доповнена реальність є складовою частиною змішаної реальності, в яку також входить "доповнена віртуальність" (коли реальні об'єкти інтегруються у віртуальне середовище).



**Рис. 1 . Нові вимоги до інтелектуальних промислових багаторівневих платформ**



Значимість отриманих у реальному часі даних про стан системи підвищується, якщо надається можливість для фіксації руху обладнання, і її можна належним чином об'єднати з наявною контекстною інформацією, як це показано у табл. 3.

**Надійність та безпечність вузлів IoT.** Достовірність і значення вихідних даних вузла IoT найбільшою мірою залежать від якості основних сенсорів і їхньої здатності працювати під управлінням програм у реальному часі. Додаткова обробка даних з сенсорів необхідна для безперервних коригувань цих даних та моніторингу динаміки стану за даними усіх сенсорів системи IoT. Обробка на рівні програми оптимізована відповідно до особливостей середовища, включаючи задані граничні умови. Незважаючи на те, що більшість таких систем автономні, у деяких випадках, наприклад, у безпілотних транспортних засобах, сенсорні вузли можуть бути об'єднані спільною програмою. У цих випадках можуть бути розгорнуті захищені канали зв'язку для надійної передачі захищених унікальних ідентифікаторів, як показано на рис. 2.

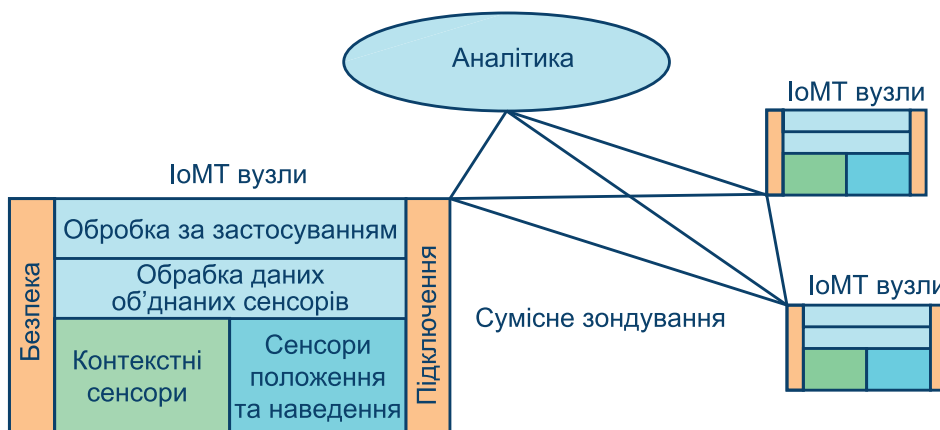
**Сенсори як основа автономної роботи системи IoT.** Автономний вузол IoT реагує на численні вхідні сигнали для отримання необхідної інформації,

щоб діяти незалежно та оптимізувати свої результати обробки до випадкових і навіть непередбачених заздалегідь подій, покращуючи з часом функції управління. Як зазначено в табл. 4, перехід від базового вимірювання до управління та автономності вимагає функціонування в умовах підвищеної складності з урахуванням об'єднання різних сенсорів і використання вбудованого інтелекту. Оскільки ці вузли досягають високих рівнів взаємозв'язку та володіють можливістю адаптивного навчання, вони мають тенденцію до конвергенції людини та машини.

**Локалізація без інфраструктури.** GPS є практично у всіх сучасних інформаційних системах. Методи бездротового визначення дальності досягли високої точності. Показання магнітного поля практично є завжди. Інерція – унікальна властивість рухомих об'єктів. Зазвичай, інерціальні MEMS-сенсори мають свої недоліки (наприклад, часовий дрейф), але ними можна управляти. Нове покоління промислових інерціальних вимірювальних пристроїв (IMU) забезпечує високу стабільність і виконане у невеликих, економічно ефективних корпусах. Інерціальні MEMS-сенсори призначені для безпосереднього визначення, вимірювання та інтерпретації

**Таблиця 3. Сенсори положення як мультиплікатор цінності системи IoT**

Сенсори положення		Сенсори за параметрами	
Інерціальні GPS Магнітометри Барометри Сенсори діапазону Інші	+	Температурні Оптичні Хімічні Газові Вібросенсори Інші	=IoT



**Рис. 2. Об'єднання сенсорних вузлів у системі IoT**

Таблиця 4. Типи сенсорів від одиничних чутливих елементів до інтелектуальних у системах IoT

Тип сенсору	Використання	Вимірювання	Управління	Автономність	Ковергенція людини/машини
Сенсор	Базовий одиничний, чутливий елемент	•			
Мультисенсори	Кілька типів сенсорів відповідно до потреб застосування	•			
Об'єднані сенсори	Використання одного сенсора для коригування іншого або управління режимом перемикання між сенсорами	•	•		
Розумні сенсори	Локалізована вбудована обробка даних, яка підтримує аналіз прийняття рішень у реальному часі	•	•	•	
Сенсори з каналами зв'язку	Комунікаційні канали підтримують міжплатформний обмін інформацією	•	•	•	
Інтелектуальні сенсори	Ідентифікація використання інформації протягом часу (наприклад, хмара, база даних) для адаптації/навчання	•	•	•	•

руху, як правило, у формі лінійного прискорення ( $g$ ) або кутового обертання ( $^{\circ}/c$  або швидкості), як видно з рис. 3. Оскільки всі такі пристрої мають численні ступені свободи (по суті, рух може відбуватися по будь-якій осі), вимірювання прискорення  $g$  і швидкості повинні бути зафіксовані для кожної з осей:  $x$ ,  $y$  та  $z$ ; або, в деяких випадках ці вісі мають назву вісі крену, чи тангажу або повороту. Разом їх іноді називають інерціальними одиницями вимірювання шести ступенів свободи.

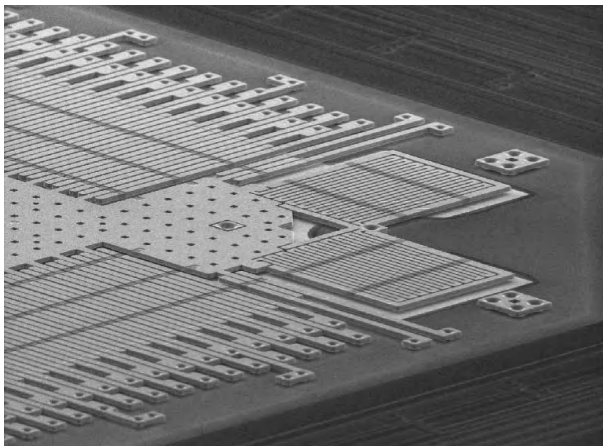


Рис. 3. Мікроелектронна структура інерціального MEMS-сенсора

У той час як економіка спонукає розробників MEMS використовувати найменшу площу створення кількох типів датчиків ( $g$ , швидкість) на кожній осі ( $x$ ,  $y$ ,  $z$ ), більш збалансований погляд на проектування інерціальних MEMS-сенсорів більш необхідний для сучасних промислових потреб. Існують структури MEMS, які намагаються виміряти пара-

метри руху на всіх шести осях за допомогою однієї інерціальної маси.

Перш ніж досліджувати обґрунтованість такого підходу до високопродуктивного зондування, важливо розуміти, що, хоча існують рухи, для захоплення яких потрібен MEMS-сенсор, не менш важливо, щоб той самий сенсор був захищений від дії помилкових рухів. Наприклад, гіроскоп на базі MEMS-сенсорів вимірює кутову швидкість, але він також повинен мати можливість ігнорувати прискорення або вплив гравітації на вимірювання кутової швидкості. Простий MEMS-сенсор, за допомогою однієї простої структури якого намагаються виміряти всі параметри руху, може бути повністю сприйнятливий до небажаних помилкових рухів. Зрештою, це може призвести до помилок у програмі навігації чи наведення.

Щоб система IoT виконувала необхідні функції, вона повинна відповідати вимогам безпеки або критичної точності, яким, як правило, не відповідають прості MEMS-сенсори, що використовуються у сучасних мобільних пристроях.

Проектування з високим рівнем продуктивності означає розробку для кожного режиму та кожної осі незалежного сенсора з подальшою їх інтеграцією. Важливо мати на увазі, що проектування для підвищення продуктивності не обов'язково повинно відбуватися за рахунок досягнення економічної ефективності.

Деякі застосування можуть принести значну користь від додавання функцій орієнтації або перемикання режимів, які відносно легко реалізувати за допомогою простих MEMS-пристроїв. Промисловий

або професійний пристрій може бути більш придатним для вимірювання, оскільки він має можливість більш точної орієнтації або більш точного розпізнавання, працюючи, наприклад, у середовищі з високою вібрацією.

Відмінності в продуктивності між сенсорами низького та високого класу, насправді, досить значні, щоб вимагати ретельного розгляду під час вибору компонентів. Кінцеве застосування визначатиме необхідний рівень точності, а якість вибраного сенсора визначатиме, чи можна це досягти.

У табл. 5 порівнюються два варіанти рішення, що ілюструють важливість вибору сенсора не лише для процесу проектування, але й для точності обладнання. Сенсор низької точності насправді може бути придатним, якщо на нього покладаються лише в обмежених випадках, якщо він не критичний для безпеки чи життя, або якщо невисока точність є достатньою.

Хоча більшість сенсорів споживчого рівня має низький рівень шуму та належним чином працює у сприятливих умовах, вони не підходять для використання в обладнанні, яке піддається динамічному руху, включаючи вібрацію, яку в низькопродуктивному інерціальному вимірювальному пристрої неможливо відокремити від простого лінійного прискорення чи нахилу. Щоб досягти точності вище одного градуса під час роботи в промисловому середовищі, вибір зосереджується на сенсорах, які розроблені спеціально для усунення похибок від впливу вібрації або температури. Тоді такий високоточний сенсор здатний підтримувати більший діапазон очікуваних станів експлуатації протягом більш тривалого часу.

Розробники прецизійного приладобудування за-

звичай найбільше зацікавлені в роботі з інерціальними вимірювальними вузлами, які видають відкалібровані параметри прискорення  $g$  і швидкості, а не кут або пройдену відстань, оскільки ця інформація на системному рівні в значній мірі залежить від розробленої програми.

Проблема полягає в тому, щоб визначити, наприклад, точність наведення за таблицею специфікацій інерціального сенсора. У табл. 6 наведено характеристики промислового інерціального пристрою середнього рівня в порівнянні з типовим споживчим сенсором, який можна знайти в мобільному телефоні. Зауважимо, що зараз також доступні промислові пристрої вищого класу, які на порядок кращі за наведені в табл. 6.

Більшість недорогих споживчих пристроїв не містять специфікацій для таких параметрів, як ефект лінійного прискорення, виправлення вібрації, кутове випадкове блукання та інші важливі параметри, які насправді можуть бути найбільшими джерелами похибок у промислових застосуваннях.

Наведені у табл. 6 параметри промислових MEMS-пристроїв, які розроблені для використання в умовах відносно швидкого або екстремального переміщення ( $2000^\circ/\text{с}$ ,  $40\text{ g}$ ), де вихід сенсора з широкою смугою пропускання також є критичним для забезпечення найкращого розрізнення сигналу. Мінімальний дрейф зсуву під час роботи (стабільність під час роботи) необхідний, щоб зменшити залежність від використання більшого набору додаткових сенсорів для корекції критичних параметрів. Акселерометри з низьким рівнем шуму використовуються разом із гіроскопами, щоб розрізнити та скорегувати будь-який дрейф, пов'язаний із визначенням прискорення  $g$ . Без корекції вирівнювання (згладжу-

**Таблиця 5. Підвищення якості за рахунок об'єднання сенсорів**

Якість інерціального сенсора	Характеристики	Переваги об'єднання сенсорів	Точність після об'єднання сенсорів	Призначення
Для прецизійних сенсорів	Наднизький рівень шуму, стабільність в умовах експлуатації	Основний датчик, надійний, здатний підтримувати важкі/непередбачувані умови експлуатації.	$\sim 0.1^\circ$	Складний рух, довгий термін служби, критична місія.
Для сенсорів невисокої точності	Шум від низького до помірного, низька стабільність, невизначений дрейф під впливом вібрацій, температури, ударів	Резервний датчик з низькою вагою, обмеженою надійністю.	$3..5^\circ$	Простий рух, короткий термін служби, стійкий до помилок.

Таблиця 6. Порівняльні параметри промислових та покращених споживчих М MEMS-пристроїв-

Параметри MEMS-пристрою	Типовий промисловий MEMS-пристрій	Одиниці виміру параметра	Покращений споживчий MEMS-пристрій
Гіроскопи			
Динамічний діапазон	До 2000	°/sec	~
Щільність шуму	0.004	°/sec/ Hz rms	2×
Кутове випадкове блукання	0.2	°/ Hr	2×
Стабільність під час роботи	6	°/hr	3×
Повторюваність зміщення	0.2	°/sec	100×
Частота зрізу	465	Hz	2×
Акселерометри			
Динамічний діапазон	До 40	g	3×
Щільність шуму	25	µg/ Hz	10×
Кутове випадкове блукання	0.03	m/s/Hr	10×
Стабільність під час роботи	10	micro-g	10×
Повторюваність, зміщення	25	mg	100×
Частота зрізу	500	Hz	2×
Осьове вирівнювання	0.05	deg	20×
Ефект лінійного прискорення	0.01	°/sec/g	10×
Згладжування вібрацій	0.004	°/sec/g <sup>2</sup>	10×
Чутливість до впливу температури	25	ppm/°C	10×
Температурний дрейф зсуву	0.007	°/s/°C	10×

вання) характеристика типового багатоосьового MEMS-пристрою, навіть інтегрованого у єдину мікросхему, може бути зміщена до такої міри, що стане основним джерелом похибок.

Чи можуть об'єднані сенсори виправити параметри окремого сенсора низької якості? Як правило, ні. Об'єднання сенсорів – це ще фільтрація та спеціальні алгоритми, які об'єднують або управляють групою сенсорів відносно середовища, динаміки руху та стану програми.

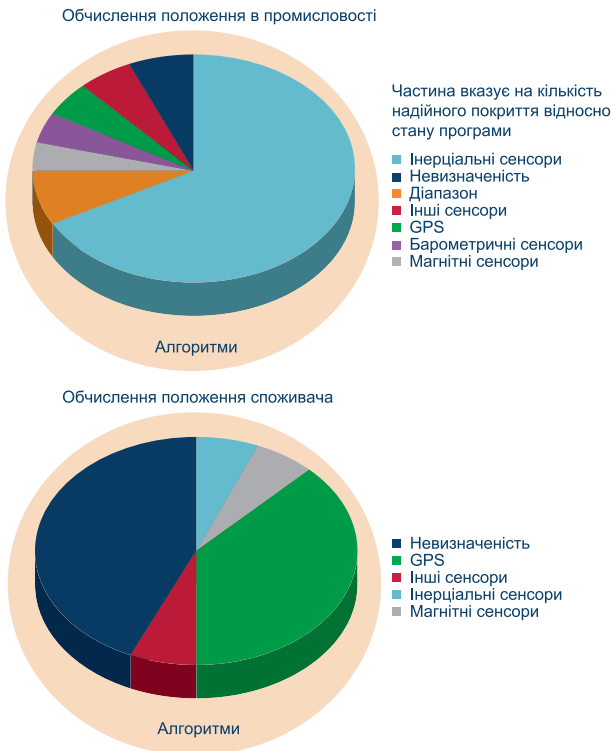
Об'єднані сенсори можуть забезпечити детерміновані поправки, такі як температурна компенсація, і управління перемиканням сенсорів на основі інформації про стан системи. Однак вони не виправляють похибки окремих сенсорів. Найважливішим завданням у розробці об'єднаних сенсорів є глибоке знання предметної області застосування систе-

ми. Вибір відповідних сенсорів для певного застосування супроводжується детальним аналізом, щоб зрозуміти їхню відповідність на різних етапах роботи системи Інтернету речей.

У прикладі MEMS-пристрою для пішоходів (рис. 4) рішення продиктовано насамперед доступним обладнанням (наприклад, вбудованими у смартфон сенсорами). Таким чином, GPS у смартфоні значною мірою покладається на інші доступні сенсори, такі як вбудовані інерціальні або магнітні сенсори, які забезпечують лише невеликий відсоток внеску у визначення інформації про місцеположення пішохода. Це досить добре працює на вулиці, але в складних міських умовах або в приміщенні GPS практично недоступний, а якість інших доступних сенсорів низька, що залишає досить велику невизначеність інформації про місцеположення. Хоча вдосконалені



фільтри та алгоритми зазвичай використовуються для об'єднання сенсорів, але без додаткових сенсорів або сенсорів кращої якості програмне забезпечення мало що зробить для фактичного усунення невизначеності у місцеположенні, як це показано на рис. 4.



**Рис. 4. Точність системи Інтернету мобільних речей визначає якість сенсорів**

\* *Обчислення шляху (Dead Reckoning)* - це автономний метод визначення місцеположення, який використовували до появи супутникової навігації. Щоб визначити поточну позицію, інтегрували пройдену відстань та напрямок руху щодо відомого початкового розташування.

Промисловий сценарій визначення місцеположення розроблений на основі вибору компонентів з конкретними вимогами до їх точності. Значно краща якість сучасних інерціальних сенсорів дозволяє їм взяти на себе головну роль у визначенні місцеположення, а інші сенсори використовуються для зменшення рівня невизначеності.

Алгоритми зосереджені на оптимальному зважуванні, передачі та взаємній кореляції між сенсорами, а також на інформації про стан навколишнього середовища та динаміку руху в реальному часі, ніж на оцінці положення за показаннями сенсорів. Точ-

ність локалізації положення можна підвищити за допомогою сенсорів покращеної якості, і хоча фільтрація сигналів сенсорів і алгоритми є критично важливою частиною системи, вони самі по собі не усувають похибки сенсорів невисокої якості. Нові класи промислових сенсорів забезпечують точність, майже рівну тій, що мають сенсори для наведення ракет.

На базі сенсорів, які були призначені для надійного та точного використання в автомобільних додатках, створені нові промислові сенсори з унікальними за співвідношенням продуктивності, вартості та масогабаритних показників параметрами, а саме промислові сенсори типу ADIS1647x і ADIS1646x, які мають шість ступенів свободи і призначені для роботи у складних динамічних середовищах.

## ВИСНОВКИ

Об'єднання сенсорів в системах Інтернету мобільних речей – це процес об'єднання даних, отриманих за допомогою об'єднаних сенсорів. Методи об'єднання сенсорів зазвичай включають використання сенсорів для визначення параметрів навколишнього середовища, таких як температура, відносна вологість, освітлення, CO<sub>2</sub> і т.п., з іншими типами сенсорів, у тому числі тих, що визначають динамічні параметри мобільної системи. Порівняно з сенсорними системами, які використовують лише один спосіб вимірювання (один тип сенсору) для заданого параметру, методи об'єднання сенсорів мають перевагу у використанні кількох способів вимірювання одного і того ж параметру. За допомогою відповідних алгоритмів обробки даних об'єднані сенсори можуть зменшити кількість помилкових спрацьовувань та інших похибок шляхом перевірки узгодженості вихідних даних від різних сенсорів.

## VD MAIS

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



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

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

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

# АПАРАТНИЙ ЗАХИСТ ВУЗЛІВ ІНТЕРНЕТУ РЕЧЕЙ ВІД КІБЕРАТАК \*

## TECHNICAL APPROACHES TO DEFEND AND PROTECT IOT NODES

У статті розглянуті особливості та переваги апаратного захисту вузлів Інтернету речей від кібератак

C. Vito, P. Muchsel, D. Loomis

Abstract – The article presents the features and advantages of hardware storage of nodes in the Internet of Things against cyberattacks.

S. Vito, R. Muchsel, D. Loomis

Сьогодні у світі підключено більше десяти мільярдів вузлів Інтернету речей (IoT), що в десять разів більше, ніж десять років тому, і така тенденція за прогнозами буде зберігатися і в майбутньому. З цим зростанням відбувається таке ж зростання кібератак на системи Інтернету речей. Орієнтовна річна вартість втрат від таких кібератак коливається від десятків мільярдів доларів до понад трильйона, і вона також продовжує зростати. Таким чином, для продовження успішного розвитку IoT суттєво важливим є питання їх безпеки. Безпека IoT починається з безпеки їх вузлів. Жодна компанія не хоче, щоб її систему IoT «було зруйновано, а дані клієнта було вкрадено». Більше того, на підключені і діючі пристрої IoT поширюються державні норми безпеки, такі як правила FDA, Європейський закон про захист кібернетичної інформації, вимоги США та ЄС щодо кібербезпеки для критично важливої інфраструктури Industry 4.0, а також останні стандарти для автомобільної промисловості. Ці документи вимагають високого рівня безпеки, але не передбачають явного використання апаратної безпеки IoT. Враховуючи те, що вузли IoT, як правило, є складними, оптимізованими за ціною пристроями, це створює проблеми з оптимізацією безпеки та вартості.

**Створення безпечних вузлів IoT за допомогою технології "притулку довіри" (Roof of Trust).** Як можна створити економічно ефективний, та одночасно безпечний вузол IoT? Створення захищеного вузла IoT починається з "притулку довіри". Апаратний засіб "притулок довіри" (рис. 1), є основою, від якої залежать усі безпечні операції обчислювальної системи. Він містить ключі, які використовуються

для криптографічних функцій, і забезпечує безпечний процес завантаження. Це може бути інтегральна мікросхема (IMC), яка призначена для надання послуг, пов'язаних із безпекою, для вузла IoT. Прикладами таких функцій є шифрування даних для збереження конфіденційності та цифрові підписи для забезпечення автентичності та цілісності інформації. Кінцевою метою "притулку довіри" є забезпечення захисту секретних ключів, які використовуються для шифрування даних або цифрових підписів від розголошення.



Рис. 1. Концепція апаратного захисту "коріння довіри"

Найбільшою проблемою для IMC "притулку довіри" є їх стійкість проти фізичних атак, таких як пряме сканування та атаки по бічному або хибному каналу. На жаль, технології організації пам'яті, які зазвичай використовуються в мікроконтролерах загального призначення (наприклад, EEPROM або Flash),

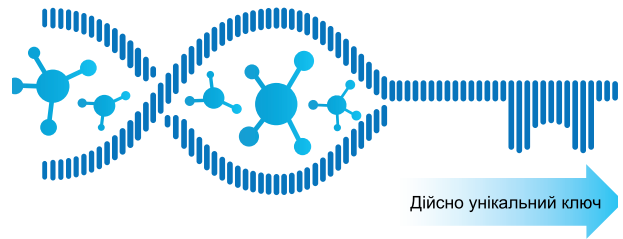
\* Vito S., Muchsel R., Loomis D.D. Technical Approaches to Defend and Protect IoT Nodes. [www.analog.com/TechnicalArticle](http://www.analog.com/TechnicalArticle), January, 2024. Скорочений переклад з англійської та коментри В. Романова.

не є безпечними. Зловмисник може безпосередньо спостерігати за вмістом пам'яті за допомогою скануючої електронної системи. Напівпровідникова промисловість розробила технологію фізично неклонованої функції (PUF), щоб зменшити цей ризик (рис. 2). Фізично неклонована функція – це функція, що не підлягає клонуванню (або – фізичний об'єкт, операція якого не може бути відтворена (клонована) фізичним способом). Таким чином, ця функція служить унікальним ідентифікатором для пристрою, що підлягає захисту від кібератак. У випадку апаратного захисту вузла IoT функція PUF використовується для отримання унікального ключа, виходячи з внутрішніх властивостей ІМС захисту. Це робить практично неможливим вилучення секретного ключа через пряме сканування. У деяких випадках ключ, отриманий за допомогою PUF, шифрує решту внутрішньої пам'яті "притулку довіри" і, отже, захищає всі інші ключі та облікові дані, що зберігаються у пристрої.

**Атаки з бічних або хибних каналів.** Ці атаки використовують той факт, що ІМС, як правило, пропускають сигнатуру даних, якими вони маніпулюють, наприклад, через джерело живлення, теплове або радіовипромінювання. Висока кореляція між вимірними сигналами та обробленими даними може призвести до успішного визначення секретного ключа після не досить складного статистичного аналізу, коли ІМС використовує цей ключ, наприклад, для дешифрування даних. Технологія на базі "притулку довіри" призначена для запобігання такому витoku даних за допомогою різних контрзаходів.

**Приклад застосування ІМС безпеки.** Перева-

Захисні ключі, що не піддаються клонуванню



Різні ІМС можуть мати непередбачувані (приховані) побічні дефекти, пов'язані з процесом виробництва

- ▶ Унікальні для кожного виробу
- ▶ Стабільні у часі
- ▶ Важко піддаються виявленню

**Рис. 2. Технологія PUF, що знижує ризик від прямого сканування ІМС захисту**

ги апаратного "притулку довіри" стають очевидними у захищених засобах, один з яких наведено на рис. 3. У таких ІМС використовується простий протокол автентифікації виклик/відповідь, а саме:

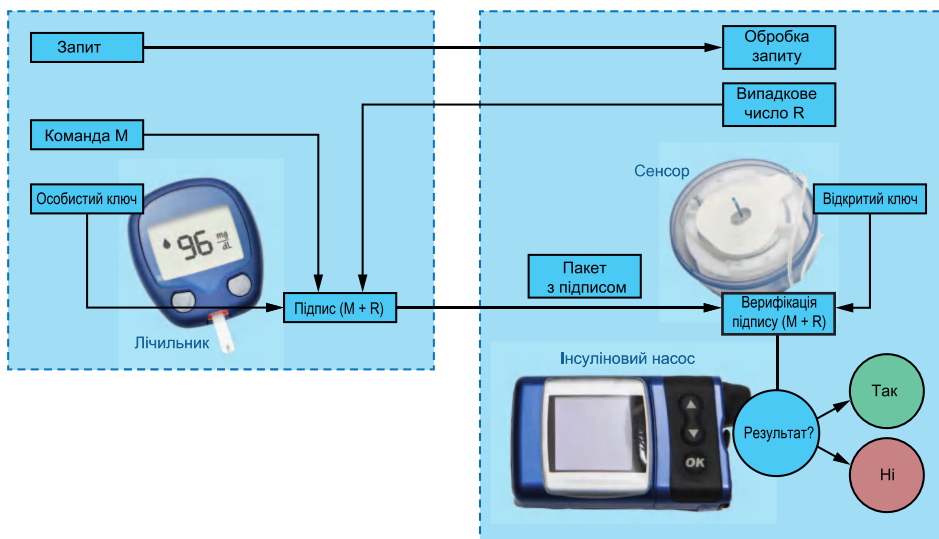
1. Лічильник запитує відповідь від інсулінового насоса, готуючись до надсилання команди.

2. Інсуліновий насос звертається до лічильника (запитувача) за допомогою випадкового числа R.

3. Лічильник використовує свій особистий ключ для підпису команди, випадкового числа R і деякого фіксованого доповнення. Ця операція переноситься у ІМС "притулку довіри" лічильника.

4. Інсуліновий насос перевіряє правильність підпису та те саме випадкове число R, яке було надіслано раніше, щоб уникнути повторного надсилання правильної команди. Ця операція переноситься у ІМС "притулку довіри" інсулінового насоса.

Крім того, що кожна нова спроба надіслати



**Рис. 3. Автентифікація інсулінового насоса – спрощений приклад роботи ІМС "притулку довіри"**

команду вимагає нового випадкового числа, безпека даного протоколу залежить від секретності закритого ключа, який використовується для авторизації команд, і цілісності відкритого ключа, який використовується для перевірки авторизації. Якби ці ключі зберігалися всередині звичайних мікроконтролерів, їх можна було б вилучити або маніпулювати ними, а також виготовити підроблені лічильники чи насоси, що потенційно загрожує безпеці пацієнтів. У наведеному прикладі використання ІМС "притулку довіри" значно ускладнює маніпулювання обліковими даними або підробку протоколу зв'язку.

Переваги мікросхем безпеки. Загалом, надійний захист пристрою призведе до того, що вартість його зламу буде набагато вищою, ніж потенційна винагорода для зловмисника. Переваги апаратної реалізації захисту, що покладаються на ІМС безпеки, суттєві, а саме:

1. Організація безпеки IoT – це постійна боротьба між кібератакою і протидією. Методи атак постійно вдосконалюються, але в той же час постачальники ІМС безпеки продовжують покращувати нові засоби протидії. Тому злам ІМС безпеки залишається надзвичайно складним та дорогим для зловмисників. Безпеку підключеного пристрою можна постійно підвищувати шляхом модернізації ІМС безпеки. Це не так складно та не потребує великих витрат.

2. Концентрація критично важливих функцій у надійному, захищеному від несанкціонованого доступу фізичному середовищі, відокремленому від процесора, дозволяє легше перевірити безпеку під час оцінки відповідності нормативним вимогам. Апаратна ізоляція потоків даних також ускладнює використання слабких місць у процесорі пристрою, які дуже важко виявити та повністю усунути у процесі виробництва. Таким чином, організація безпеки вузла Інтернету речей протягом усього життєвого циклу буде простішою, якщо виробник обладнання завчасно вбудує в нього ІМС безпеки. Клонування вузлів такого обладнання стає набагато складнішим для зловмисників.

## ВИСНОВКИ

У системах Інтернету речей багато складних компонентів, їх захист від кібератак доцільно забезпечувати ще на етапі проектування та виробництва. Апаратний захист вузлів IoT не є єдиним кроком в організації безпеки системи Інтернету речей в цілому, але цей крок є необхідним для надійного захисту таких систем від кібератак.

## VD MAIS

The Professional Distributor

### Модулі живлення Rescom для IoT



R-78S

#### DC/DC-перетворювачі серії R-78S

- діапазон вхідної напруги 0.65...3.15 В
- ККД 93%
- вихідна напруга 3.3 В
- макс. вихідний струм 100 мА
- вихідний струм в режимі очікування 7 мкА
- споживана потужність 600 мкВт, в режимі очікування 20 мкВт
- напруга ізоляції 3 кВ
- захист від КЗ
- відповідність вимогам IEC/EN62368-1
- габаритні розміри 11.6×8.5×10.4 мм
- маса 2 г



RAC-GA

#### AC/DC-перетворювачі 1...2 Вт RAC-GA

- діапазон вхідної напруги 85...264 В (AC)
- ККД до 72%
- один вихід, вихідна напруга 5/12 В
- макс. вихідний струм 200/83 мА RAC01-GA, 400/167 мА RAC02-GA
- напруга ізоляції 3 кВ
- захист від КЗ
- відповідність вимогам безпеки EN60335, EN60950 і EN60335
- відповідність вимогам EMC стандарту EN55022, клас В
- діапазон робочих температур -25...80 °C
- габаритні розміри 33.7×22.2×19.0 мм
- маса 12 г



RAC-SE/277



RAC-SE/277/W

#### AC/DC-перетворювачі 2 Вт RAC-SE

- діапазон вхідної напруги 80...305 В (AC)
- ККД до 76%
- один вихід, вихідна напруга 3.3/5/12/24 В
- макс. вихідний струм 600/400/167/83 мА
- напруга ізоляції 3 кВ
- захист від КЗ
- відповідність вимогам безпеки EN60335, EN60950 і EN60335
- відповідність вимогам EMC стандарту EN55022, клас В
- діапазон робочих температур -40...85 °C
- габаритні розміри 33.7×22.2×17.75 мм
- маса 24.5 г



RAC-SE/277



RAC-SE/277/W

#### AC/DC-перетворювачі 3 Вт RAC-SE

- діапазон вхідної напруги 80...305 В (AC)
- ККД до 76%
- один вихід, вихідна напруга 3.3/5/12/24 В
- макс. вихідний струм 900/600/250/125 мА
- напруга ізоляції 3 кВ
- захист від КЗ
- відповідність вимогам безпеки EN60335, EN60950 і EN60335
- відповідність вимогам EMC стандарту EN55022, клас В
- діапазон робочих температур -40...85 °C
- габаритні розміри 38.25×24.35×17.4 мм
- маса 28 г



RAC03-xxSER

#### AC/DC-перетворювачі 3 Вт RAC03-xxSER

- діапазон вхідної напруги 85...305 В (AC)
- ККД до 76%
- один вихід, вихідна напруга 3.3/5/12/24 В
- макс. вихідний струм 900/600/250/125 мА
- напруга ізоляції 3 кВ
- захист від КЗ
- відповідність вимогам безпеки EN55024, EN60950 і EN60335
- відповідність вимогам EMC стандарту EN55022, клас В
- діапазон робочих температур -40...85 °C
- габаритні розміри 50.3×50.3×11.0 мм
- маса 41 г

RECOM

<https://www.recom-power.com/ru/emea/iot.html>

VD MAIS  
ДИСТРИБ'ЮЩА -  
КОНТРАКТНЕ  
ВИРОБНИЦТВО

VD MAIS – офіційний дистриб'ютор  
компанії Rescom в Україні

ISO 9001:2015, ISO 14001:2015,  
IATF 16949:2016 і ISO 13485:2016



# Драйвери світлодіодів LCM-40TW з настроюванням колірної температури білого кольору



## Основні особливості драйверів:

- доступні пристрої DALI типу 6 (DT6) и типу 8 (DT8)
- вихідний струм регулюється DIP-перемикачем в діапазоні 500...1050 мА
- дискретне регулювання яскравості (колірної температури) однією кнопкою – 256 градаций
- вихідна потужність 40 Вт
- пластиковий корпус, виконання класу II без захисного заземлення
- вбудований активний коректор коефіцієнта потужності
- потужність, споживана без навантаження, не перевищує 0.5 Вт
- відсутність мерехтіння світла
- мінімальний рівень затемнення 0.2%
- захист від короткого замикання, перевантаження і перегріву
- строк служби >50 000 годин
- діапазон робочих температур -30...80 °С
- гарантія 5 років



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

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

# ВІЙСЬКОВИЙ СТАНДАРТ MIL-STD-810: ПРИЗНАЧЕННЯ ТА ОСОБЛИВОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ



## MILITARY STANDARD MIL-STD-810: PURPOSE AND FEATURES OF APPLICATION

У військовому стандарті MIL-STD-810 сформульовано вимоги до контролю характеристик підсистем та обладнання військового або комерційного призначення, яке працює у жорстких умовах природного чи техногенного навантаження.

В. Романов

V. Romanov

**Abstract** – The military standard MIL-STD-810 defines requirements for control of the characteristics of subsystems and equipment of military or commercial purpose, which works under harsh conditions of natural or man-made load.

Розроблений Міністерством оборони США (Department of Defence, USA), стандарт MIL-STD-810 є військовим стандартом США, в якому основна увага приділяється адаптації екологічних умов (умов навколишнього середовища) та меж випробувань військового обладнання до умов, у яких воно буде використовуватися протягом усього терміну служби. Цей стандарт спрямовано на створення методів випробувань у лабораторних умовах для врахування впливу навантажень навколишнього середовища або техногенних навантажень на обладнання протягом усіх етапів його служби. Стандарт MIL-STD-810 розроблений для військових застосувань, але також використовується для комерційних виробів, які призначені для роботи у важких умовах експлуатації.

Методи випробувань відповідно до стандарту MIL-STD-810H спрямовані на:

- визначення послідовності навантаження навколишнього середовища або техногенного навантаження на тривалість та рівні життєвого циклу обладнання
- розробку критеріїв аналізу та випробувань, адаптованих до життєвого циклу обладнання та навколишнього середовища.
- оцінку продуктивності обладнання, коли воно піддається під час життєвому циклу стресів навколишнього середовища
- виявлення недоліків та дефектів у конструкції обладнання, матеріалах, виробничих процесах, методах упаковки та методах обслуговування.

Повна назва стандарту, що розглядається, виглядає наступним чином: MIL-STD-810, Екологічні інженерні вироби та лабораторні випробування (Environmental engineering constructions and laboratory tests).

Широкий спектр умов довкілля, включених до

стандарту MIL-STD-810H, містить:

- низький тиск для висотних випробувань
- плюс температурний стрес до високих та низьких температур на складах та під час використання
- дощі, включаючи вітер, і крижаний дощ
- волога, грибок та соляний туман для випробування на появу іржі
- вплив піску та пилу
- вибухонебезпечна атмосфера
- витоки
- прискорення
- транспортні навантаження
- вібрація від стрілянини
- загальна вібрація

Стандарт MIL-STD-810 описує важливі процеси управління зовнішнім середовищем та інженерні процеси, що стосуються загальної довговічності обладнання чи матеріалів. Він включає в себе методи військового планування та проектування для виявлення впливу зовнішнього середовища на обладнання на всіх етапах його терміну служби. Починаючи з часу набрання чинності, стандарт зазнав багато змін, уточнень і доповнень, наведених у табл. 1, що пов'язано з посиленням умов використання обладнання. Усі зміни стандарту MIL-STD-810 доступні в мережі Інтернет.

Перелік стандартних тестів в останній версії стандарту MIL-STD-810H:

- 500.5 Низький тиск (Висота)
- 501.5 Висока температура
- 502.5 Низька температура
- 503.5 Температурний удар
- 504.1 Забруднення рідинами
- 505.5 Сонячна радіація
- 506.5 Дощ
- 507.5 Волога

**Таблиця 1. Версії стандарту MIL-STD-810 і терміни набрання ними чинності\***

Назва документу	Дата набрання чинності
Версія H	18-05-2022
Версія G	15-04-2014
Версія F	05-05-2003
Версія E	31-07-1995
Версія D	19-07-1983
Версія C	10-03-1975
Версія B	21-09-1970
Версія A	23-06-1964
Базовий стандарт	14-06-1962

\* Проміжні зміни версій стандарту MIL-STD-810 у табл.1 не вказані

- 508.6 Пліснява
- 509.5 Соляний туман
- 510.5 Пісок і пил
- 511.5 Вибухова хвиля
- 512.5 Тест на герметичність (на витоки)
- 513.6 Стійкість до механічного прискорення
- 514.6 Вібрація
- 515.6 Шум
- 516.6 Механічний удар і падіння
- 517.1 Піротехнічний удар
- 518.1 Кислотний вплив
- 519.6 Стрілецьке озброєння
- 520.3 Температура, вологість, вібрація і висота
- 521.3 Замороження и зледеніння
- 522.1 Балістичний удар
- 523.3 Віброакустика/Температура
- 524 Замороження – розмерзання
- 525 Сигнали по реплікації
- 526 Залізничні впливи
- 527 Вібрації по різним осям
- 528 Механічні вібрації корабельного обладнання.

Методи випробувань, які не передбачені стандартом MIL-STD-810:

- електромагнітні перешкоди (emi)
- блискавка і магнітні ефекти
- ядерний, біологічний, хімічний впливи або їх наслідкові ефекти
  - специфічні аспекти випробувань боєприпасів і піротехнічної безпеки
  - компоненти, такі як болти, джгути, транзистори та інтегральні мікросхеми

- продуктивність або дизайн упаковки
- прийнятність предметів одягу або тканин, описаних у конкретних специфікаціях
- екологічні методи та процедури скринінгу
- тестування на надійність
- тестування безпеки
- область за межами атмосфери.

Екологічні випробування - це випробування для визначення стійкості різного обладнання та системи, що використовуються у військових і громадянських цілях, до природних умов навколишнього середовища, з якими вони можуть використовуватися протягом свого життєвого циклу. У стандарті MIL-STD-810 застосовуються наступні тести для цих випробувань:

1. Випробування на вологість: за допомогою цього випробування визначається стійкість обладнання або матеріалу до вологи зовнішнього середовища (MIL-STD-810H, метод 507). Застосовується для обладнання та систем, які знаходяться під впливом вологи в умовах зберігання та роботи.

2. Випробування при високій температурі: за допомогою цього випробування визначається стійкість досліджуваного обладнання до високої температури у природних умовах навколишнього середовища (MIL-STD-810H, метод 501). Застосовується для обладнання та систем, яке знаходиться під впливом високих температур в умовах зберігання та роботи.

3. Перевірка при низькій температурі: за допомогою цього випробування визначається стійкість досліджуваного обладнання або системи до низької температури в природних умовах навколишнього середовища (MIL-STD-810H, метод 502). Застосовується для обладнання та систем, яке знаходиться під впливом високих температур в умовах зберігання та роботи.

4. Перевірка температурного удару: за допомогою цього тесту визначається стійкість досліджуваного обладнання або системи до температурного удару у природних умовах навколишнього середовища (MIL-STD-810H, метод 503). Застосовується для матеріалів і систем, які працюють в умовах температурного удару.

5. Випробування при тиску (висоті): за допомогою цього випробування визначається стійкість випробуваного обладнання або системи до низького тиску у природних умовах навколишнього середовища (MIL-STD-810H, метод 500). Застосовується для всіх матеріалів і систем, які працюють в умовах низького тиску.

6. Випробування на дощ: за допомогою цього ви-



пробування визначається стійкість випробовуваного обладнання або системи до впливу дощу (MIL-STD-810H, метод 506). Застосовується для всіх матеріалів і систем, які працюють у дощових умовах.

7. Випробування в соляному тумані: за допомогою цього випробування визначається стійкість випробовуваного обладнання або системи до дії соляного туману в умовах природного середовища (MIL-STD-810H, метод 509). Застосовується для всіх матеріалів і систем, які працюють в умовах соляного туману.

Вимогам стандарту MIL-STD-810 повинні також відповідати не тільки військові системи чи обладнання, які застосовуються збройними силами США, але й військові системи та обладнання збройних сил

усіх країн НАТО.

## ВИСНОВКИ

Якщо розроблений сервер, робоча станція, мобільний комп'ютер або інше нове електронне обладнання як військового, так і комерційного призначення, застосовуються для роботи в умовах дії жорстких кліматичних або техногенних навантажень, сертифікація такого обладнання на відповідність вимогам стандарту MIL-STD-810 є обов'язковою. Тестові випробування обладнання за методиками, наведеними у стандарті MIL-STD-810, виконуються сертифікованими лабораторіями.

# ВІЙСЬКОВИЙ СТАНДАРТ MIL-STD-461: ПРИЗНАЧЕННЯ ТА ОСОБЛИВОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ



## MILITARY STANDARD MIL-STD-461: PURPOSE AND FEATURES OF APPLICATION

У військовому стандарті MIL-STD-461 сформульовано вимоги до контролю характеристик електромагнітних перешкод підсистем та обладнання військового призначення.

Abstract – Military standard MIL-STD-461 defines requirements for the control of electromagnetic interference characteristics of military subsystems and equipment.

*В. Романов*

*V. Romanov*

Сфера застосування стандарту: стандарт MIL-STD-461 встановлює вимоги до контролю характеристик випромінювання електромагнітних перешкод (EMI) і характеристик сприйнятливості електронного, електричного та електромеханічного обладнання та підсистем, розроблених або закуплених для використання в установах Міністерства оборони США (Department of Defence, USA). Таке обладнання та підсистеми можуть використовуватися самостійно або як складова частина інших підсистем або систем.

Цей стандарт слід застосовувати для елементів, які мають такі характеристики: електронні корпуси, які не перевищують стійку для обладнання, електричні з'єднання, які являють собою окремі джугти проводів між корпусами, і вхідну електроенергію, отриману від основних джерел живлення.

Цей стандарт не слід застосовувати безпосередньо до таких елементів, як модулі, розташовані все-

редині електронних корпусів або цілих платформ. Принципи, викладені в цьому стандарті, можуть бути корисними як основа для розроблення відповідних вимог для цих програм.

Відповідальні виконавці:

1. Агентство оборонних інформаційних систем (DISA), США.
2. Центр управління життєвим циклом ВПС – авіаційні системи, США.
3. Командування розвитку бойових можливостей протиракетної зброї, Авіаційно-ракетний центр, США.
4. Командування повітряних систем ВМС США.

MIL-STD-461 є чинним документом з 1967 року і за ці роки зазнав багатьох серйозних змін. Ці зміни (версії) в значній мірі викликані швидко зростаючим використанням електроніки і досягненнями в технологіях. У табл. 1 наведені відповідні назви модифікованих стандартів (версій) і терміни набрання ними



чинності.

Стандарт MIL-STD-461 визначає конкретні випробування військових систем та обладнання.

У табл.2 наведено класифікацію систем та обладнання, а також перелік тестів повністю застосованих, застосованих на обмеженій основі та тестів, що вимагають додаткової документації. Тести у табл. 2 позначаються буквено-цифровою системою кодування.

**Таблиця 1. Версії стандарту MIL-STD-461 і терміни набрання ними чинності\***

Назва документа	Терміни набрання чинності
Версія G	11-12 -2015
Версія F	10-12-2007
Версія E	20-08-1999
Версія D	11-01-1993
Версія C	04-08-1986

#### Категорії тестів

Діапазони частот для тестів, зазначених у табл. 2, такі:

- кондуктивне випромінювання: від 10 кГц до 40 ГГц
- випромінювання: від 30 МГц до 18 ГГц
- кондуктивна сприйнятливості: від 10 кГц до 18 ГГц

- сприйнятливості до випромінювання: від 30 МГц до 18 ГГц

Межі для додаткових тестів на чутливість такі:

- сприйнятливості до електростатичного розряду: від 2 до 30 кВ
- сприйнятливості до струму обладнання: від 50 до 100 А.

Методи тестування MIL-STD-461:

Випробування кондуктивних випромінювань (CE). Ці тести включають вимірювання кількості електромагнітних перешкод (EMI), які поширюються вздовж проводів, джгутів і кабелів.

• CE101: Аудіочастотні струми та джгути живлення – тест гарантує, що електромагнітне випромінювання від обладнання, що тестується (Equipment Under Test – EUT), залишається в межах визначених обмежень для вхідних джгутів живлення, включаючи зворотні струми. Для джгутів живлення вказаний діапазон становить від 30 Гц до 10 кГц.

• CE102: Радіочастотні потенціали та джгути живлення – тест гарантує, що електромагнітне випромінювання від EUT залишається в межах визначених обмежень для вхідних джгутів живлення, включаючи зворотні струми. Діапазон частот цього тесту становить від 10 кГц до 10 МГц.

• CE106: порт антени – тест перевіряє, чи кондуктивні випромінювання на порту антени EUT не перевищують визначених вимог. Порти антени можуть бути для передавачів, приймачів і підсилювачів. Діапазон частот для цього тесту становить від 10 кГц

**Таблиця 2. Класифікація обладнання та перелік тестів за стандартом MIL-STD-461**

Перелік систем та обладнання, які підлягають тестуванню	Вимоги до застосування																		
	CE101	CE102	CE106	CS101	CS103	CS104	CS105	CS109	CS114	CS115	CS116	CS117	CS118	RE101	RE102	RE103	RS101	RS103	RS105
Надводні кораблі	A	A	L	A	S	L	S	L	A	S	A	L	S	A	A	L	L	A	L
Підводні човни	A	A	L	A	S	L	S	L	A	S	L	S	S	A	A	L	L	A	L
Літаки армійської авіації	A	A	L	A	S	S	S		A	A	A	L	A	A	A	L	A	A	L
Літаки повітряних сил	L	A	L	A	S	S	S		A	A	A	L	A	L	A	L	L	A	L
Літаки ВМФ		A	L	A	S	S	S		A	A	A	L	A		A	L		A	
Космічні системи, включаючи системи запуску		A	L	A	S	S	S		A	A	A	L			A	L		A	
Армійські системи		A	L	A	S	S	S		A	A	A	S	A		A	L	L	A	
Системи ВМФ		A	L	A	S	S	S		A	A	A	S	A		A	L	L	A	L
Системи повітряних сил		A	L	A	S	S	S		A	A	A		A		A	L		A	

Умовні позначення:  
 А: Застосовний. L: Обмежений як зазначено у відповідних підрозділах стандарту. S: Застосовний за вимогою.

до 40 ГГц.

**Кондуктивні тести на чутливість (CS).** Ці тести вимірюють, наскільки електронне обладнання (EUT) чутливе до електромагнітних перешкод від інших пристроїв через джгути та кабелі.

- CS101: Джгути живлення – тест визначає здатність EUT протистояти сигналам, що підключаються до вхідних джгутів живлення. Це стосується обладнання та підсистем змінного струму зі струмом до 30 А на фазу та вхідних джгутів постійного струму (за винятком зворотних) у діапазоні частот від 30 Гц до 150 кГц. Для випробовуваного обладнання, що працює від постійного струму, цей тест охоплює діапазон частот від 30 Гц до 150 кГц. У випадку EUT, що працюють від мережі змінного струму, він застосовується від другої гармоніки частоти живлення EUT до 150 кГц.

- CS103: Порт антени та інтермодуляція – тест визначає спотворення інтермодуляції, спричинені небажаними сигналами на вхідних портах антени EUT. Ці тести охоплюють діапазон частот від 15 кГц до 10 ГГц.

- CS104: Порт антени та відхилення небажаних сигналів – тест виявляє помилкові реакції через небажані сигнали на вхідних портах антени EUT. Випробування відбуваються в діапазоні від 30 Гц до 20 ГГц.

- CS105: Порт антени та крос-модуляція – тест визначає спотворення крос-модуляції через небажані сигнали на портах антени EUT. Це стосується виключно приймачів, які зазвичай обробляють амплітудно-модульовані радіочастотні сигнали, як зазначено в специфікації закупівлі. Тест охоплює діапазон частот від 30 Гц до 20 ГГц.

- CS109: Перехідні процеси та джгути живлення – тест гарантує, що EUT може витримувати структурні струми (струми у чотирьохпровідному колі). Цей тест охоплює діапазон частот від 60 Гц до 100 кГц. Портативне обладнання не підлягає цьому тесту.

- CS114: Введення бухти кабелю – тест гарантує, що EUT може витримувати радіочастотні сигнали, підключені до відповідної бухти кабелю. Випробування проводяться від 10 кГц до 200 МГц для всіх з'єднувальних кабелів, включаючи кабелі і джгути живлення.

- CS115: Введення бухти кабелю та імпульсне збудження – тест перевіряє здатність EUT протистояти імпульсним сигналам у відповідних кабелях.

- CS116: Затухаючі синусоїдальні перехідні процеси, кабелі та джгути живлення – тест гарантує, що

EUT може витримувати затухаючі синусоїдальні перехідні процеси на відповідних кабелях та джгутах живлення. Ця вимога до тестування визначає діапазон частот від 10 кГц до 100 МГц.

- CS117: Перехідні процеси, викликані блискавкою, кабелі та джгути живлення – тест перевіряє здатність EUT витримувати перехідні процеси, викликані блискавкою, на відповідних кабелях і джгутах живлення. Це стосується з'єднувальних кабелів, які використовуються з критичним для безпеки обладнанням, включаючи кабелі чи джгути повного живлення та окремі кабелі живлення високої сторони. Це також стосується обладнання, яке не має критичного значення для безпеки, якщо його з'єднувальні кабелі або електричні інтерфейси інтегровані з критичним для безпеки обладнанням або пов'язані з ним. У деяких випадках його можна поширити на обладнання, яке виконує важливі функції, не пов'язані з безпекою, якщо це чітко визначено органом, що здійснює закупівлі.

- CS118: Електростатичний розряд, що переноситься персоналом – тест гарантує, що EUT може витримувати електростатичний розряд, який переноситься персоналом (ESD) під час увімкнення.

**Тести на випромінювання (RE).** Ці тести вимірюють рівень електромагнітних випромінювань, які поширюються через повітря у вигляді електромагнітних хвиль.

- RE101: Магнітне поле – тест перевіряє, чи випромінювання магнітного поля від EUT та його електричних інтерфейсів відповідає встановленим вимогам у діапазоні від 30 Гц до 100 кГц.

- RE102: Електричне поле – тест перевіряє, що випромінювання електричного поля від EUT і пов'язаних з ним кабелів відповідають визначеним вимогам.

- RE103: Виходи паразитних і гармонічних сигналів антени – тест гарантує, що паразитні та гармонічні випромінювання передавачів не перевищують встановлених обмежень.

- Тести на сприйнятливості до випромінювання (RS) визначають, наскільки електронне обладнання чутливе до електромагнітних перешкод від інших пристроїв через повітря.

- RS101: Магнітне поле – тест визначає здатність EUT протистояти випромінюванню магнітним полям.

- RS103: Електричне поле – тест оцінює здатність EUT і пов'язаних кабелів протистояти електричним полям. Діапазон частот для тестування RS103 наведений у табл. 3

- RS105: Перехідне електромагнітне поле – тест

перевіряє стійкість корпусу EUT до перехідних електромагнітних полів. Діапазон частот для тестування наведений у табл. 3.

**Таблиця 3. Діапазон частот для тестування обладнання**

Розташування обладнання	Частота
Наземне розташування	Від 2 МГц до 18 ГГц
Надводні човни	Від 10 МГц до 18 ГГц
Підводні човни	Від 10 МГц до 18 ГГц
Літаки сухопутних сил і ВМФ	Від 10 МГц до 18 ГГц
Літаки повітряних сил	Від 2 МГц до 18 ГГц
Космічні системи і засоби запуску	Від 10 МГц до 18 ГГц

Вимогам стандарту MIL-STD-461 повинні також відповідати не тільки військові системи чи обладнання, які застосовуються збройними силами США, але й військові системи та обладнання збройних сил усіх країн НАТО.

## ВИСНОВКИ

Якщо розроблений сервер, робоча станція, мобільний комп'ютер або інше нове електронне обладнання як військового, так і комерційного призначення, застосовуються для роботи в умовах дії електромагнітних перешкод, сертифікація такого обладнання на відповідність вимогам стандарту MIL-STD-461 є обов'язковою. Тестові випробування обладнання за методиками, наведеними у стандарті MIL-STD-461, виконуються сертифікованими лабораторіями.



За мотивами картини  
В.О. Тропініна  
"Кружевниця"

[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, 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 сталюї арматурної проволочи.



# ЯК ЗАХИСТИТИ СИСТЕМУ ЖИВЛЕННЯ ВІД ВІДМОВ АБО ЗБОЇВ \*

## HOW TO PROTECT YOUR POWER SYSTEM DESIGNS AGAINST FAULTS

У статті наведена коротка інформація про способи захисту джерел живлення від несприятливих факторів.

Abstract – The article provides brief information on ways to protect power sources from adverse factors.

Т. Х'юнь, Р. Назаді

T. Huynh, R. Nathadi



### Питання:

Чи є простий спосіб захистити систему живлення від відмов або збоїв?

### Відповідь:

Так, наприклад, за допомогою багатофункціональних ІМС, таких як MAX17613 і MAX17526.

Час безвідмовної роботи є критично важливим показником надійності, продуктивності та рентабельності у таких застосуваннях, як промислова автоматика, автоматизація будівель, управління рухом, виробничими процесами і т.і. Прості обладнання, як правило, викликані необхідністю обслуговування, людськими помилками та збоями і відмовами.

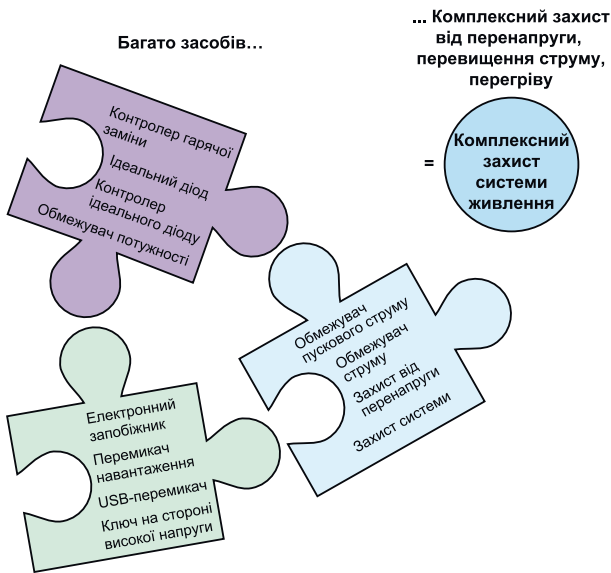
Вартість ремонту та втрата продуктивності, яка пов'язана з простоями, може бути дуже високою залежно від галузі та характеру відмов. Простоям, пов'язаним з обслуговуванням і людськими помилками, важко запобігти, але більшості відмов, пов'язаних з обладнанням, запобігти можливо. Ця стаття присвячена простоям обланьня, які спричинені збоями чи відмовами живлення, та способам їх

усунення за допомогою багатофункціональних ІМС захисту систем живлення.

Системи живлення піддаються різним стресам і збоям. Це можуть бути стрибки напруги та перехідні процеси через удари блискавки чи перемикавання навантаження, пускові струми через початкову зарядку накопичувальних конденсаторів та зворотні напруги через помилки проводки або випадкові КЗ, перевантаження по струму та перегрів, які викликають деградацію або незворотні пошкодження. Необхідно створювати систему захисту навколо навантаження, щоб протистояти цим подіями. Розглянемо типи збоїв в системах живлення, традиційні рішення протидії цим збоям і відмовам, а також особливості нових ІМС для захисту систем живлення.

Існує безліч інтегрованих рішень, які забезпечують однофункціональний захист систем живлення. Наприклад, захист від перенапруги, який захищає від стрибків напруги; контролер гарячої заміни (або обмежувач пускового струму), який може захистити від підвищення пускового струму; контролер ORing (або ідеальний діодний контролер), який може захистити від зворотної напруги, а також забезпечити розподіл джерел живлення; eFuse (або запобіжник чи обмежувач струму), який може захистити від КЗ або перевантаження; обмежувач потужності (перемикач навантаження або USB-перемикач, або селектор живлення), який забезпечує управління системою з декількома вхідними джерелами живлення або кількома навантаженнями. На рис. 1 показано всі ці засоби, які мають спільну мету: забезпечити захист системи живлення. Однак кожний з них забезпечує захист лише частково, наприклад, від перепадів напруги або струму, або темпера-

\*Huynh T., Nathadi R. How to Protect Your Power System Designs Against Faults. Analog Dialogue, Vol. 57, N 3, September, 2023. [www.analog.com](http://www.analog.com). Скорочений переклад з англійської і коментар В. Романова



**Рис. 1. Ооднофункціональні засоби захисту системи живлення**

тури і т.д. Щоб забезпечити повний захист системи живлення, необхідне комплексне рішення.

На рис. 2 показано загальний розподіл живлення системної плати. Плата отримує живлення від трьох окремих джерел живлення, заряджає накопичувальний конденсатор великої ємності, організує живлення для власного використання та передає живлення ще двом периферійним пристроям. Ця плата потребує кількох функцій захисту та розподілу живлення на входах і на виходах.

Захист на вході плати включає: захист від перенапруги, зниження напруги, запобіжник, обмеження пускової напруги, захист від зворотної напруги.

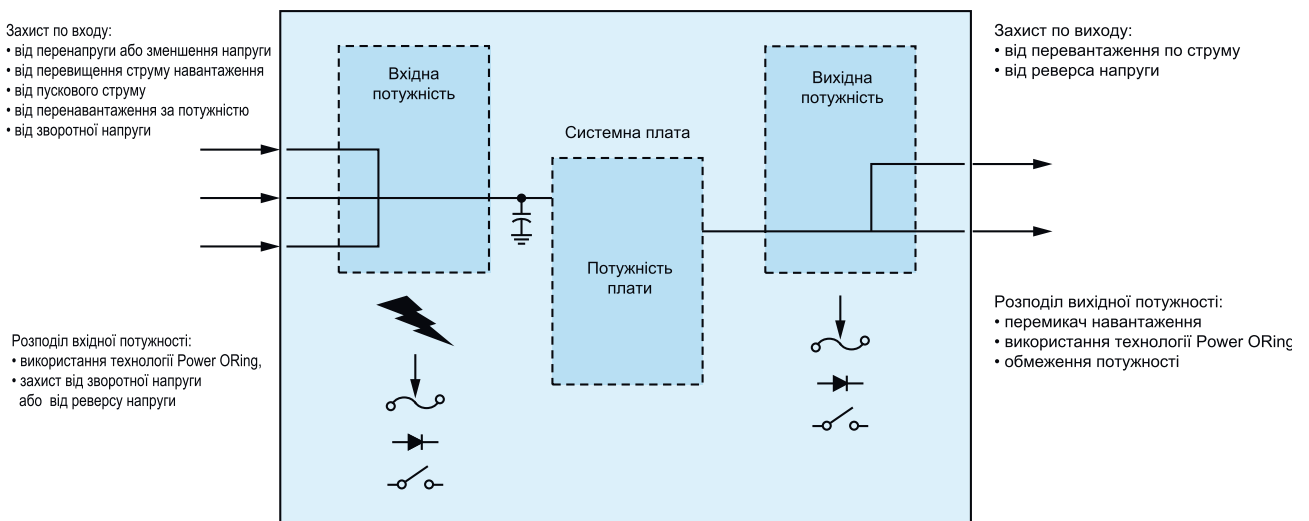
Якщо ця плата живиться від джерела з обмеженою потужністю, то їй теж потрібна функція обмеження потужності. Оскільки плата отримує живлення від трьох різних джерел, вона потребує мультиплексування живлення або використання так званої системи PowerORing, яка автоматично вибирає джерело живлення для плати з найвищою напругою, тоді як мультиплексування живлення забезпечує вибір будь-якого джерела живлення, незалежно від напруги, якщо вона знаходиться в межах робочого діапазону. Плата також потребує захисту від зворотної напруги.

Захист на виході плати включає: захист від перевантаження або КЗ, захист від зворотної напруги від випадкового КЗ на шину більш високої напруги. Щоб керувати розподілом вихідної потужності, платі потрібен перемикач навантаження, система ORing і обмеження потужності.

**Три основні типи системних збоїв живлення.**

Існує три основні типи відмов або збоїв системи живлення, як показано на рис. 3, відхилення напруги, відхилення струму, відхилення температури від заданих параметрів. Розглянемо кожний вид відмови окремо.

**Збої напруги:** вхідна напруга може бути вищою та/або нижчою за звичайний діапазон напруги постійного струму через низку випадків, таких як удари блискавки, перегорання запобіжників, КЗ, гаряча заміни та індуктивний дзвін кабелю. Удар блискавки може спричинити стрибок напруги високої потужності, який зазвичай ослабляється TVS-діодами і вхідним фільтром. TVS-діоди – це кремнієві пристрої, призначені для захисту апаратури від стрибків на-



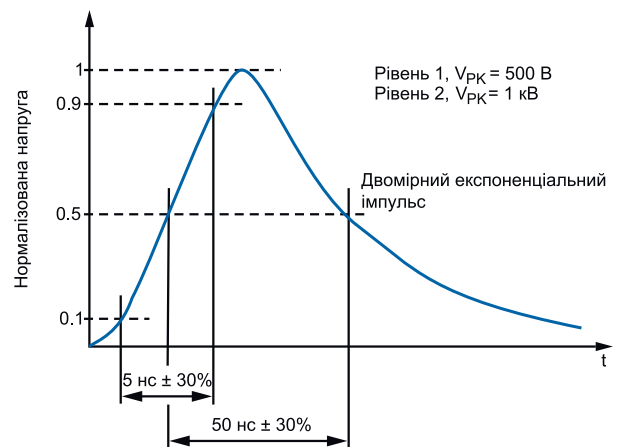
**Рис. 2. Розподіл живлення системної плати**



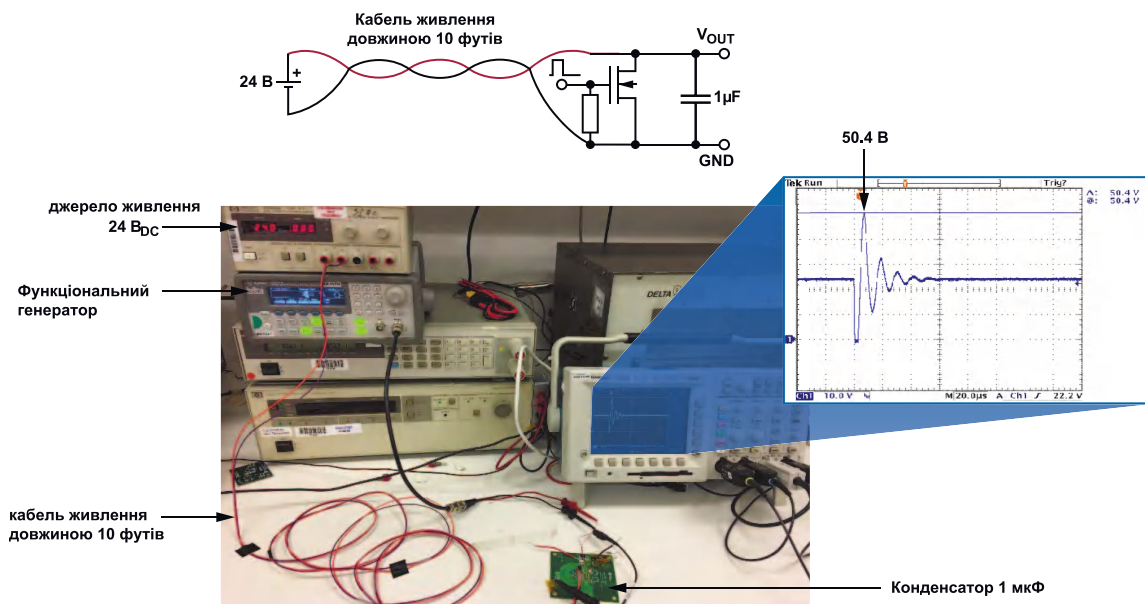
**Рис. 3. Три основні типи системних збоїв або відмов**

пруги, що перевищують заданий максимальний рівень. На рис. 4 наведено діаграму тесту на стійкість апаратури до швидких електричних перехідних процесів згідно стандарту IEC 61000-4-4. Слід відмітити, що після TVS і вхідного фільтра залишковий стрибок напруги на рівні системної плати все ще може бути досить великим, іноді в 2-3 рази вищий від номінальної вхідної напруги постійного струму.

На рис. 5 показано результат дії КЗ, яка призводить до дзвону на кінці 10-футового кабелю при максимальному рівні напруги до 50.4 В, що у двое перевищує номінальну напругу 24 В постійного струму. Напруга дзвону знижується приблизно до 11 В. Захищена система, як правило, продовжуватиме працювати протягом цього дзвону. Подібний дзвін напруги може статися під час перемикання індуктивного навантаження, під час гарячої заміни



**Рис. 4. Діаграма тесту на стійкість апаратури до швидких електричних перехідних процесів згідно стандарту IEC 61000-4-4**



**Рис. 5. Дзвін кабелю внаслідок КЗ**

плати під напругою, або коли перегорає запобіжник в системі.

Помилкове підключення системи трапляється рідко, але, тим не менш, може статися. Наприклад, у системі для монтажу в стійку користувач може підключити плату навпаки або підключити кабель живлення, помилившись з полярністю. Коли вхідна напруга раптово падає внаслідок КЗ, вихідний конденсатор буде мати вищий потенціал, що спричиняє появу зворотної напруги. Зворотна напруга також може виникнути, коли вихід раптово замикається на шину з вищою напругою. Хоча несправності, що призводять до зворотної напруги, трапляються рідко, у разі, якщо вони трапляються, то можуть призвести до важкого пошкодження системи.

Відмови у каналі струму – перевантаження виходу та КЗ є дві складові відмов у каналі струму. Перевантаження призводить до перевищення граничної для системи потужності. КЗ може призвести до виходу зі строю компонентів системної плати. Коли периферійна плата з розрядженими конденсаторами підключається до об'єднувальної плати під напругою, виникає стрибок струму, який заряджає конденсатор. Неконтрольований стрибок струму можна представити рівнянням:

$$I = C dV/dt,$$

де:  $I$  – надлишковий струм;  $C$  – ємність,  $dV/dt$  – швидкість зміни напруги конденсатора з часом.

Якщо розряджений конденсатор (при напрузі 0 В) підключити до об'єднувальної плати під напругою 24 В,  $dV/dt$  у цьому випадку є миттєвим, тобто  $I = \infty$ . Цей стрибок струму може пошкодити роз'єми, призвести до вибуху запобіжників та спричинити дзвін напруги на об'єднувальній платі. Коли виникає зворотна напруга, струм у зворотному напрямку може завдати серйозної шкоди системі. Рис. 6 ілюструє дію КЗ та зворотного струму.

**Температурний збій:** якщо система спроектована належним чином, вона повинна працювати без будь-яких температурних збоїв. Але тривале перевантаження, відмова системного вентилятора, випадкове блокування входу/виходу повітря в системі або відмова кондиціонера у приміщенні можуть викликати температурний збій у роботі системи. Щоб запобігти пошкодженню та потенційним проблемам, пов'язаним із пожежею, захист від перегріву вимикає систему, коли її температура або температура одного із її компонентів досягає небезпечного рівня. Порівняно з відключенням від перегріву, теп-

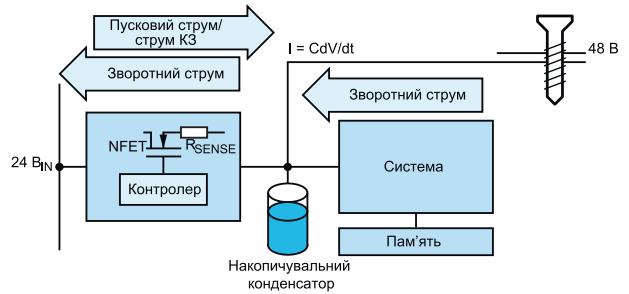


Рис. 6. Приклад дії КЗ та зворотного струму

ловий захист (термозахист) більш гнучкий.

Коли температура перевищує норму під час роботи системи через відмови, термозахист надає системі попереджувальні команди. Наприклад, система може автоматично відключитись від некритичних навантажень, щоб розсіювати менше потужності. У результаті вона може уникнути повного відключення через перегрів за рахунок зниження продуктивності, доки не буде усунено причину, яка викликала перегрів.

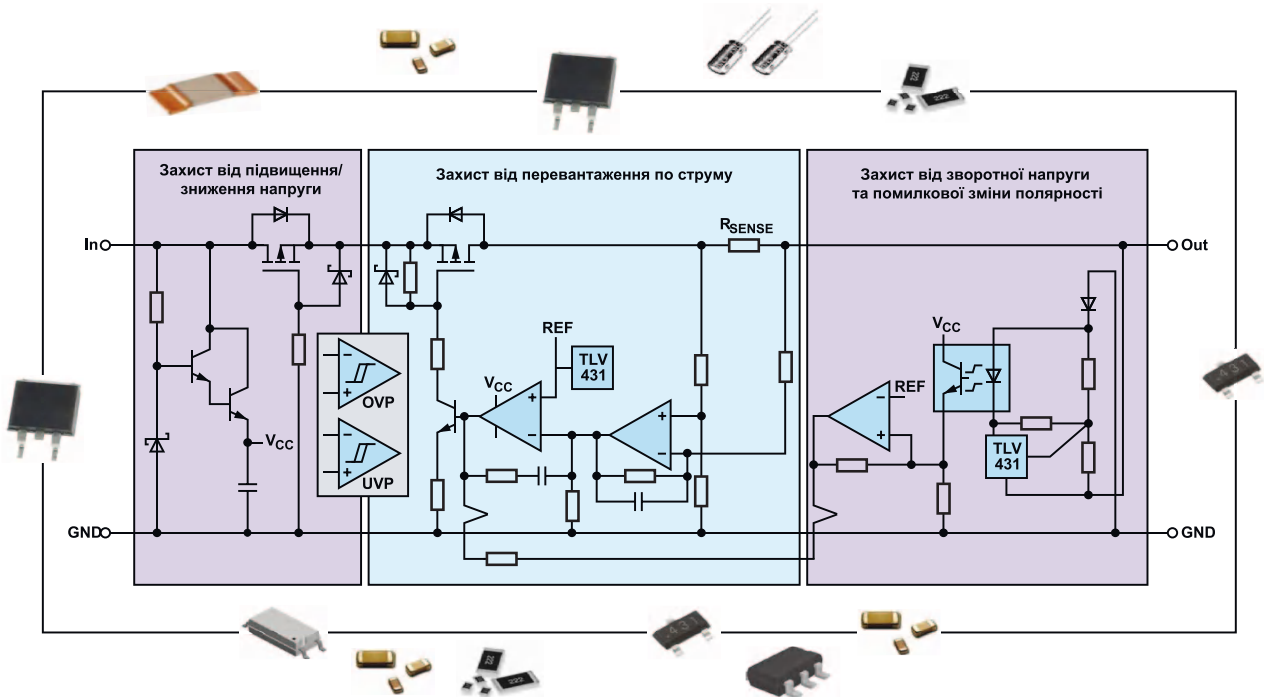
Через те, що більшість електричних систем періодично зазнають збоїв чи відмов, нехтування надійним захистом може перешкодити успішному просуванню проекту системи вже на етапі випробувань. Ще гірший наслідок від помилки проектування може, наприклад, викликати зупинку конвеєру на заводі. Схеми захисту для забезпечення комплексного захисту від відмов та збоїв, що призводять до пошкодження обладнання, спрямовані на підвищення часу безвідмовної роботи системи.

Розробники, які займаються захистом своїх виробів, стикаються з проблемами проектування засобів захисту. Для реалізації захисту крім ІМС використовується багато зовнішніх компонентів.

На рис. 7 показано рішення системи захисту живлення з використанням 40 окремих компонентів. Набір допусків на параметри для такої кількості компонентів важко проаналізувати. Крім того, важко перевірити та гарантувати їх безвідмовність з часом, а також досягти необхідної точності роботи в системі та швидкого реагування на збої та відмови такої кількості компонентів.

Тому традиційні способи реалізації захисту за допомогою дискретних схем або ІМС малої інтеграції зараз відходять у минуле. Сучасні системи мають коротші терміни розробки та обмежені бюджетні кошти. З огляду на це, яке ж рішення захисту є найбільш прийнятним для сучасних систем? Це рішення на сьогодні являє собою високоінтегровану велику ІМС захисту (рис. 8), яка включає такі функції як ви-



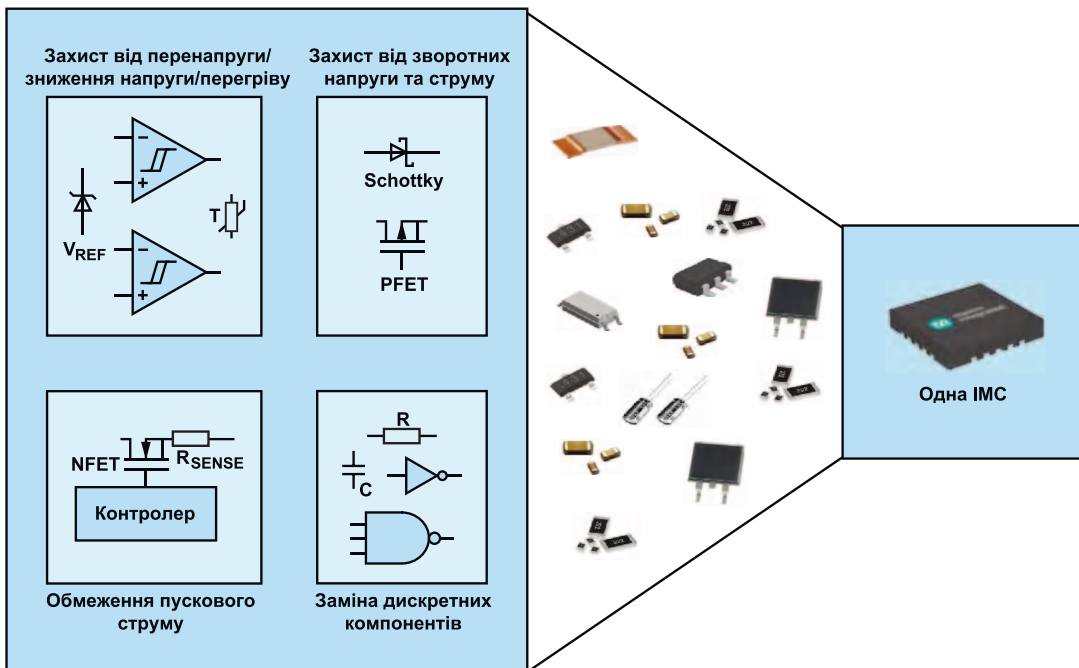


**Рис. 7. Схема захисту живлення з використанням 40 дискретних компонентів та малих ІМС**

значення/обмеження струму, обмеження потужності, тепловий захист та захист від зниженої напруги або перенапруги. Крім того, така ІМС повинна відповідати вимогам до безпеки Міжнародної електротехнічної комісії (UL/IEC). Таким чином, більш висока інтеграція в поєднанні з відповідним сертифікатом безпеки забезпечує надійний захист сучасних си-

стем.

Мікросхеми MAX17613 і MAX17526 є прикладом комплексного захисту, який відповідає вимогам сучасних систем. ІМС MAX17613 – це мікросхема захисту у діапазоні 60 В/3 А (рис. 8), яка має всі необхідні компоненти та функції, такі як програмований датчик струму, захист від перегріву, програмо-



**Рис. 8. Велика ІМС для багатофункціонального захисту системи**



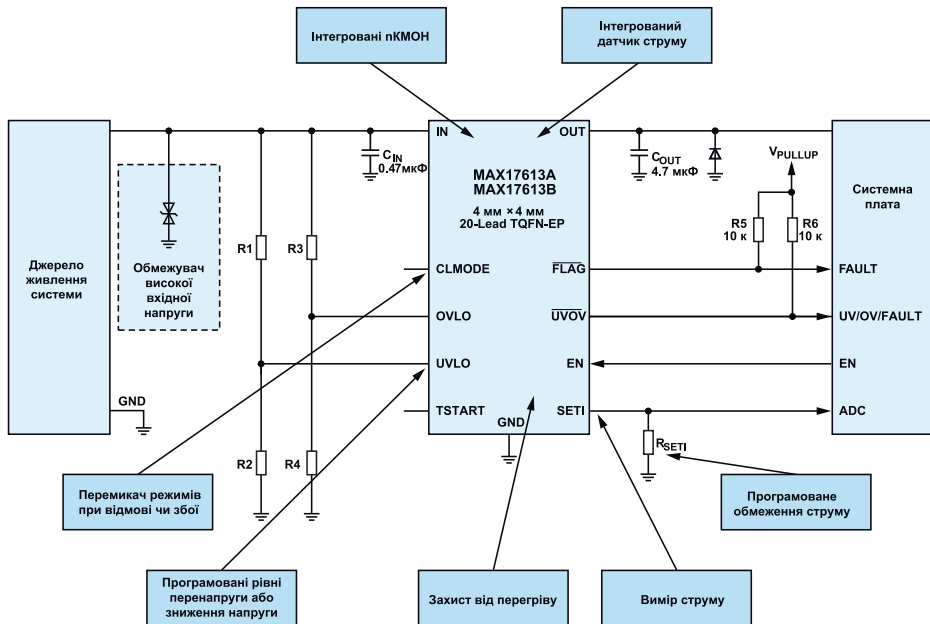
ване блокування від зниженої напруги (UVLO) і блокування від перенапруги (OVLO). ІМС також має контакт CLMODE для вибору режиму реагування на поточні збої та відмови, а саме для вибору між безперервним режимом, режимом блокування та автоматичним перезапуском усіх чи тільки тих функцій системи, в яких виявлено збій.

ІМС MAX17526 (рис. 10) – це мікросхема захисту у діапазоні 60 В/6 А, яка також є повністю інтегрованою багатофункціональною мікросхемою. Крім того, вона має додаткові функції захисту, такі як обмежен-

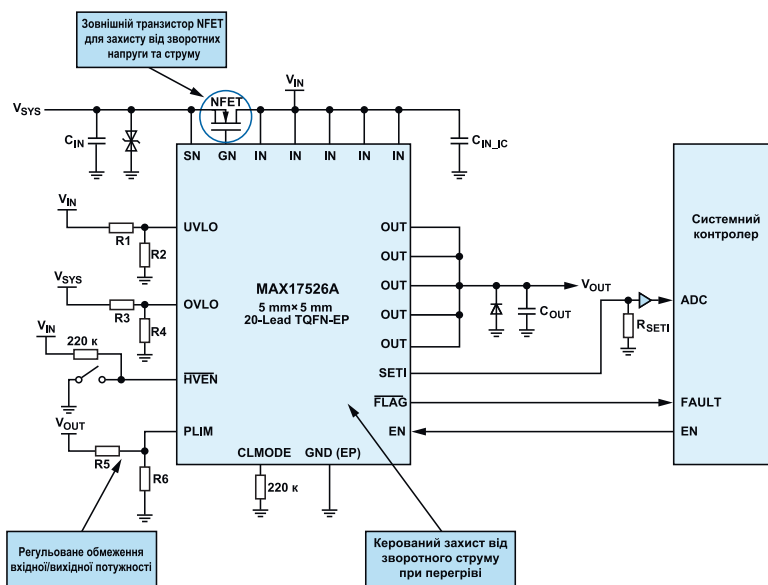
ня потужності та температурний контроль струму.

Як показано на рис. 11, ІМС MAX17526 вимірює споживний струм системи, результати виміру поступають до системного контролера. Передбачено, що резистором RSETI можна налаштувати рівень обмеження струму відповідно до системних вимог.

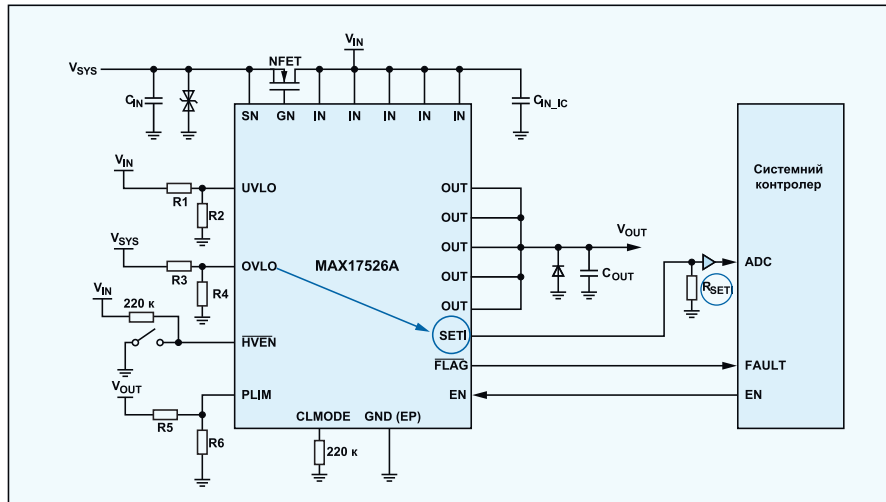
На рис. 12. наведені діаграми роботи ІМС MAX17526 з функцією обмеження пускового струму під час увімкнення живлення системної плати. У момент увімкнення живлення конденсатор COUT ємністю 1000 мкФ заряджається струмом з граничним



**Рис. 9. Функції захисту ІМС MAX17613**



**Рис. 10. Функції захисту ІМС MAX17526**

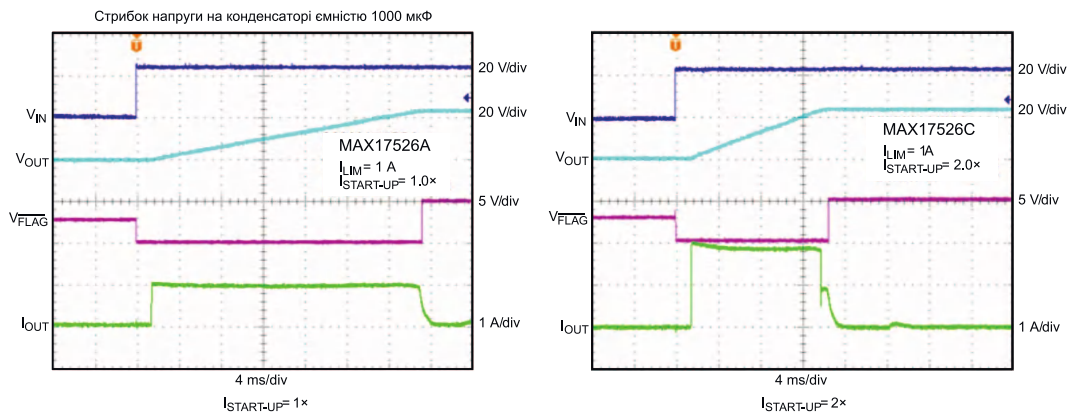


**Рис. 11. ІМС MAX17526 з функціями моніторингу збоїв і відмов та з можливістю обмеження струму на вході системної плати**

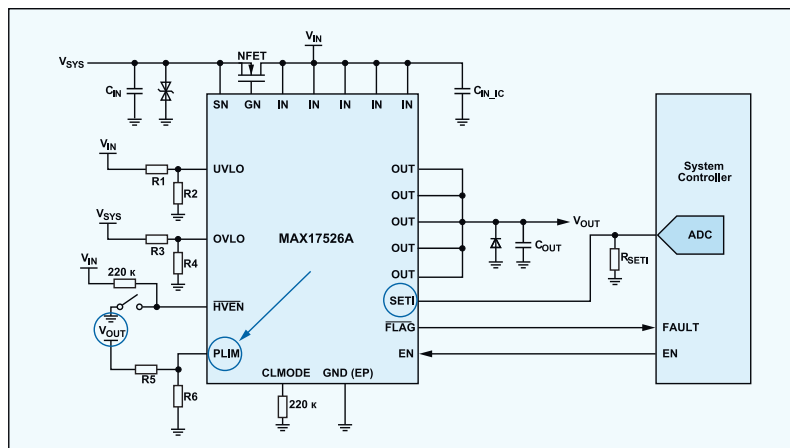
значенням (діаграма ліворуч) і струмом, у двічі більшим проти граничного значення (діаграма праворуч), без збою чи відмови напруги джерела живлення.

На рис. 13 наведено приклад обмеження потужності за допомогою ІМС MAX17526. Це використо-

ується для обмеження вхідної або вихідної потужності системної плати залежно від того, чи підключено ІМС MAX17526 до джерела вхідної напруги VIN, чи до джерела вихідної напруги VOUT цієї плати. ІМС MAX17526 динамічно регулює обмеження



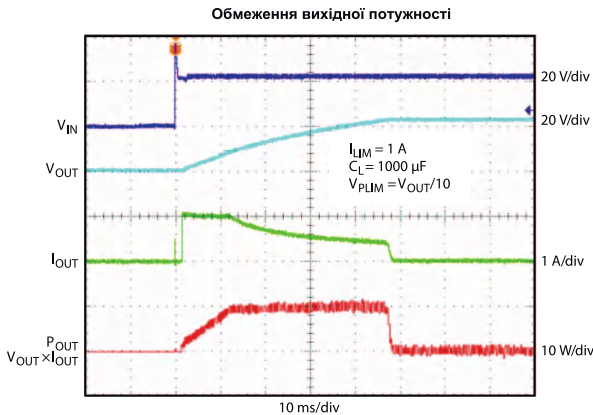
**Рис. 12. Діаграми захисту від пускового струму системної плати під час увімкнення живлення**



**Рис. 13. Приклад обмеження потужності системної плати за допомогою ІМС MAX17526**

струму для забезпечення обмеження вхідної або вихідної потужності.

На рис. 14 наведено діаграму обмеження вихідної потужності системної плати на рівні 10 Вт за допомогою ІМС MAX17526.



**Рис. 14. Діаграма обмеження вихідної потужності системної плати за допомогою ІМС MAX17526**

Таким чином, у сучасних системах можуть успішно використовуватися переваги багатофункціональних ІМС, які забезпечують їх захист від збоїв та відмов. ІМС для забезпечення захисту, які відповідають

вимогам стандартів UL 2367, IEC 60950 або IEC 62368, крім того, дають можливість зменшити витрати та терміни, пов'язані з сертифікацією нового виробу. До таких ІМС відносяться розглянуті мікросхеми MAX17608 і MAX17613.

## ВИСНОВКИ

Системи живлення є критично важливими вузлами будь-якого обладнання. Відмова та збоєм в електроживленні можна запобігти, запровадивши належний апаратний або програмно-апаратний захист. Це необхідно для ефективного використання та продуктивної роботи обладнання різного призначення. У порівнянні з традиційними дискретними або однофункціональними мікроелектронними компонентами захисту, сучасні багатофункціональні ІМС підтримують комплексний захист систем. Крім того, деякі з цих ІМС захисту, забезпечують не тільки контроль працездатності, але й виконують функції моніторингу та діагностики системи у цілому. Використання сучасних ІМС захисту обладнання є надійною гарантією від його виходу із строю або довготривалого простою.




<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/н.ом
- захист від короткого замикання та перегріву
- відповідність вимогам стандартів UL8750, CSA C22.2 NO.250, 13-12; ENEC EN61347-1 & EN61347-2-13, EN62384, GB 19510, 1, GB 19510, 14, EN55015, EN61000-3-2 (C), EN61000-3-3, GB 17743, GB 17625.1, 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**  
ДИСТРИБ'ЮТЕР  
КОНТРАКТНЕ  
ВИРОБНИЦТВО

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

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

## ПАНЕЛЬНИЙ КОМП'ЮТЕР W24IT3S-SPA269-P1 238 ЗІ СТУПЕНЕМ ЗАХИСТУ IP69

У статті наведена коротка інформація про промислові панельні комп'ютери компанії Winmate в корпусах із нержавіючої сталі зі ступенем захисту IP69 призначені для використання у харчовій та хімічній промисловості. Наведені основні характеристики комп'ютерів.

В. Макаренко

### PANEL COMPUTER W24IT3S-SPA269-P1 238 WITH DEGREE OF PROTECTION IP69

Abstract - The article provides brief information about Winmate's industrial panel computers in stainless steel housings with IP69 degree of protection designed for use in the food and chemical industries. The main characteristics of computers are given.

V. Makarenko

Плоскі панельні ПК компанії Winmate W24IT3S-SPA269-P1 в корпусах із нержавіючої сталі призначені для застосування в додатках з високими гігієнічними вимогами. Комп'ютери серії IP69K мають повністю водонепроникний корпус із рівнем захисту IP69K, що дозволяє легко його чистити та стерилізувати. Серія ПК IP69K призначена для використання в харчовій промисловості та виробництві напоїв, включаючи операції обробки та пакування продуктів харчування, у хімічному виробництві та у багатьох інших промислових застосунках.

Зовнішній вигляд W24IT3S-SPA269-P1 наведено на рис. 1 [1].

Основні характеристики панельного ПК W24IT3S-SPA269-P1:

- процесор Intel® Core™ i5-1135G7 2.4 ГГц (макс. 4.2 ГГц)
- корпус з нержавіючої сталі SUS 316 / AISI 316 для харчової та хімічної промисловості
- водонепроникний корпус зі ступенем захисту IP69K
- висока стійкість до корозії
- плоска передня поверхня, яка легко очищається
- плоский мультисенсорний екран 23.8 дюйма
- роздільна здатність 1920×1080 пікселів



Рис. 1. Зовнішній вигляд панельного ПК W24IT3S-SPA269-P1



- пам'ять 1xSO-DIMM, DDR4 3200 МГц, 4 Гбайт, по замовленню 8/16/32 Гбайт
- жорсткий диск SSD, 128 Гбайт, по замовленню 256/512/1025 Гбайт
- модуль безпеки TPM 2.0
- операційна система Windows 11 IoT Enterprise (64 біт), по замовленню Windows 11 Pro 64 біт, Windows 10 IoT Enterprise 64 біт або Linux Ubuntu 22.04
- різноманітні рішення для кріплення – кріплення YoKe і VESA
- багато входів/виходів, включаючи USB 2.0, послідовний порт RS-232 і RJ45 (порт 10/100/1000 LAN), 1xHDMI 1.4
- водонепроникні порти з адаптерними кабелями для зовнішнього підключення
- підтримує роботу у режимі дощу/рукавичок
- живлення від мережі змінного струму через адаптер 12 В/80 Вт
- відносна вологість 10%...90% RH, без конденсації
- діапазон робочих температур 0...45 °C
- температура зберігання -20...60 °C
- габаритні розміри 620x390x56 мм
- маса 10 кг.

Окрім ПК з екраном 23.8" компанія Winmate ви-

пускає панельні комп'ютери серії P з діагоналлю екрану 15", 19" і 21.5".

Панельний ПК оснащений чотирма водонепроникними роз'ємами типу M12. Кабель для підключення панельного ПК до джерела живлення наведено на рис. 2.

Кабель послідовного інтерфейсу наведено на рис. 3 а інтерфейсу Ethernet – на рис. 4.

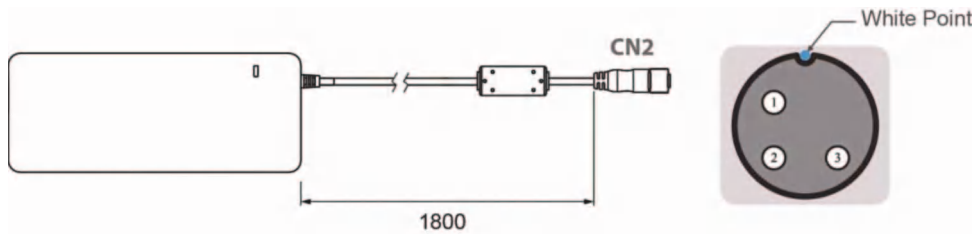
Для підключення до інтерфейсу USB використовується кабель з розгалужувачем на два роз'єми (рис. 5).

Компанія Winmate випускає цілий ряд комп'ютерів у корпусах з нержавіючої сталі [2]. Серед них:

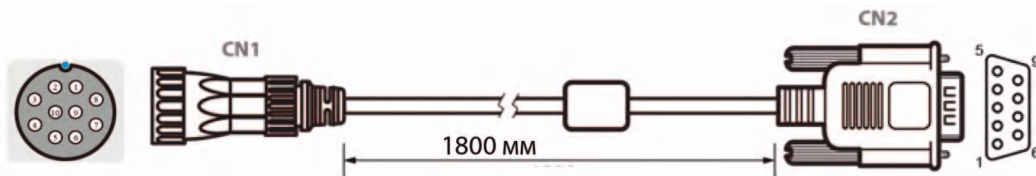
1. ПК серії В з кнопками і ступенем захисту IP65. У серії налічується 8 моделей з діагоналлю екрану від 10" до 21.5" (рис. 6).

2. Панельні ПК Winmate із нержавіючої сталі IP69K серії P розроблені для задоволення унікальних потреб галузей, які потребують високопродуктивних обчислювальних рішень у суворих умовах експлуатації. Панельні ПК серії P спеціально розроблені, щоб витримувати миття та вплив хімічних очисних засобів, що робить їх ідеальними для використання в харчовій і хімічній промисловості.

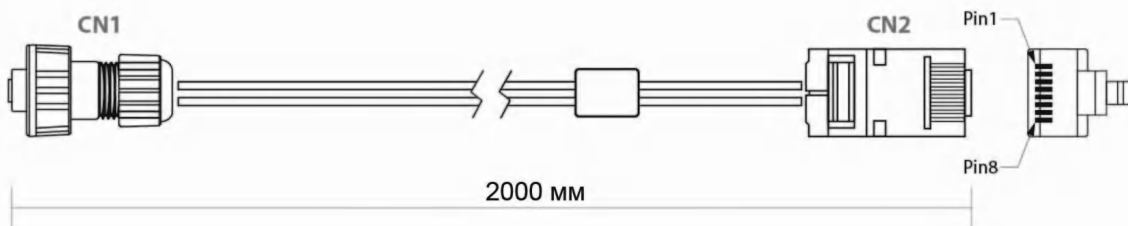
Серія IP69K Stainless P поставляється з водоне-



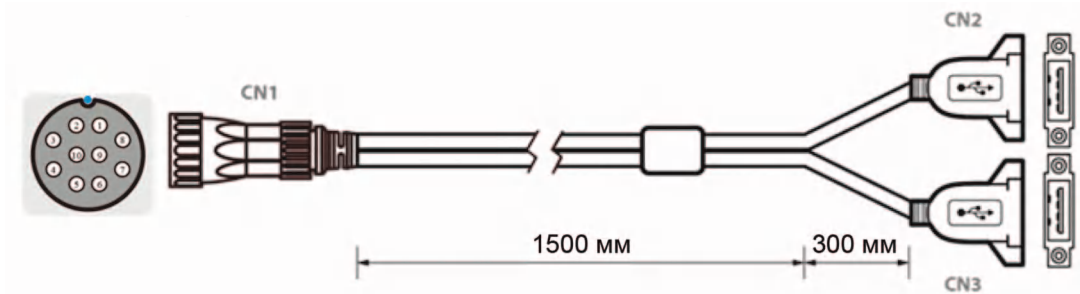
**Рис. 2. Адаптер живлення з герметичним роз'ємом**



**Рис. 3. Кабель послідовного інтерфейсу**



**Рис. 4. Кабель інтерфейсу Ethernet**



**Рис. 5. Кабель з розгалужувачем на два роз'єми USB**



**Рис. 6. ПК серії В з кнопками і ступенем захисту IP65**

проникною трубою, яка забезпечує додатковий захист кабелю. Ця функція гарантує, що панельний ПК захищений від води та інших шкідливих речовин навіть у найсуворіших умовах що робить їх придатними для використання в застосунках, які вимагають високого рівня захисту від води та пилу.

Панельний ПК легко налаштувати за допомогою варіантів кріплення VESA або Yoke. Варіант кріплення VESA забезпечує швидке та просте встановлення, тоді як варіант кріплення на хомуті забезпечує більш надійне рішення для кріплення. Ця гнучкість варіантів монтажу гарантує, що панельні ПК серії Р можна встановити в будь-якому місці, незалежно від середовища. Крім того, панельні ПК Winmate із нержавіючої сталі IP69K серії Р доступні в різних розмірах і конфігураціях, щоб задовольнити унікальні потреби конкретної галузі.

Ці панельні ПК створені з використанням новітніх процесорів Intel® Core™ і операційних систем Windows 11 IoT Enterprise або Windows 10 IoT Enterprise, що забезпечує високу продуктивність і надійність. Панельні комп'ютери серії Р також оснащені низкою розширених функцій, включаючи технологію про-

екційного ємнісного дотику, екран з антивідблиско-вим покриттям та пряме оптичне з'єднання, щоб забезпечити плавну та точну роботу при дотику. Завдяки цим функціям дисплеї ідеально підходять для використання на відкритому повітрі або в суворих умовах, де чіткість і видимість мають вирішальне значення.

На додаток до міцної конструкції, панельні ПК серії Р мають сучасний дизайн, який дозволяє їм легко інтегруватися в будь-яке промислове застосування. Вони прості в установці та обслуговуванні, що робить їх економічно ефективним рішенням для промислового застосування.

У серії випускаються 4 моделі з діагоналлю екрану від 15" до 23.8".

3. Панельні ПК із шасі з нержавіючої сталі PCAP (рис. 7) оснащені великою кількістю портів вводу-виводу, включаючи USB 2.0, RS232 і RJ45-10/100/1000 LAN, для забезпечення підключення та сумісності.



**Рис. 7. ПК із шасі з нержавіючої сталі PCAP**

Всі вони мають ступінь захисту IP69K. Ці панельні ПК розроблено відповідно до високих стандартів харчової промисловості та виробництва напоїв, де чистота має вирішальне значення, що робить їх придатними для промивання під високим тиском, гарантуючи, що панельний ПК витримує навіть найсуворіші умови. ПК повністю відповідає стандарту захисту від води та пилу IP69K, щоб витримувати бризки під час процесів очищення та суворих гігієнічних вимог у харчовій промисловості, виробництві напоїв і фармацевтичній промисловості (рис. 8).



**Рис. 8. Використання ПК серії PCAP у хімічній та фармацевтичній промисловості**

У серії випускається 12 моделей з діагоналлю екрану від 17" до 21.5".

Всі панельні ПК IP69K в корпусах із нержавіючої

сталі мають сенсорний емнісний багатоточковий екран (рис. 9).



**Рис. 9. Екран з технологією P-CAP**

Більш детально з продукцією компанії Winmate можна ознайомитись у [2].

**ЛІТЕРАТУРА**

1. [www.winmate.com/product/exportHtml/W24IT3S-SPA269-P1](http://www.winmate.com/product/exportHtml/W24IT3S-SPA269-P1)
2. [https://www.winmate.com/ProductCategory/Detail/Panel\\_PC\\_Stainless\\_IP69K\\_Series](https://www.winmate.com/ProductCategory/Detail/Panel_PC_Stainless_IP69K_Series)



**VD MAIS: 5000 кв.м друківаних 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'ЮЩА +  
КОНТРАКТНЕ  
ВИРОБНИЦТВО

**VD MAIS**  
PCB Professionally

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





## Портативні осциллографи R&S®Scope Rider RTH

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

- осциллографа,
- 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 60529IP51
- 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

Осциллограф R&S®Scope Rider поставляється з усім необхідним приладдям



## КАБЕЛІ TE CONNECTIVITY ДЛЯ ПЕРЕДАЧІ ВИСОКОШВИДКІСНИХ ТА ЦИФРОВИХ ДАНИХ

### TE CONNECTIVITY CABLES FOR HIGH-SPEED AND DIGITAL DATA TRANSMISSION

У статті наведена коротка інформація про високошвидкісні кабелі компанії TE Connectivity

Abstract - The article provides brief information about TE Connectivity's high-speed cables.

В. Макаренко

V. Makarenko

Лінійка кабелів для передачі високошвидкісних і цифрових даних включає продукцію провідних виробників кабельної продукції та аксесуарів до неї, таких як AMP, Greerac, Raychem, Microdot, Precision Interconnect і TE [1]. Компанія TE Connectivity об'єднала їх у єдиний набір коаксіальних продуктів, які обслуговують ринки автомобільної, широкосмугової, медичної, контрольно-вимірювальної, безпроводової інфраструктури, військової та аерокосмічної. На сайті компанії доступний каталог коаксіальних кабелів Cheminaх від TE Connectivity [2].

Коаксіальні кабелі Cheminaх призначені для вирішення проблем з'єднання в електроніці таких систем як комп'ютери, військове обладнання та багатьох інших, де потрібні кабелі що відповідають виконання більш строгим специфікаціям, ніж стандартні радіотехнічні кабелі та роз'єми. Опції включають коаксіальний кабельні конструкції, які менші та легші, мають покращені електричні характеристики, є більш гнучкими, мають краща стійкість до впливу рідини та розширений діапазон температур,

у порівнянні зі стандартними кабелями. Спеціально розроблені радіочастотні роз'єми із узгодженим імпедансом і розміром, що відповідає коаксіальним кабелям Cheminaх. TE є також може запропонувати повні збірки з використанням коаксіальних кабелів та радіочастотних роз'ємів.

Особливості кабелів Cheminaх:

- висока продуктивність
  - ◆ низька ємність і затухання
  - ◆ покращена швидкість розповсюдження
  - ◆ розширений діапазон температур
- підвищена зручність використання
  - ◆ покращена гнучкість
  - ◆ мала вага, невеликий діаметр
- застосування кабелів
  - ◆ літаки/аерокосмічна промисловість
  - ◆ ракети
  - ◆ авіоніка
  - ◆ радіочастотні пристрої та мікрохвильова печі
  - ◆ комп'ютери, системи безпеки та відеоспостереження



## Система нумерації

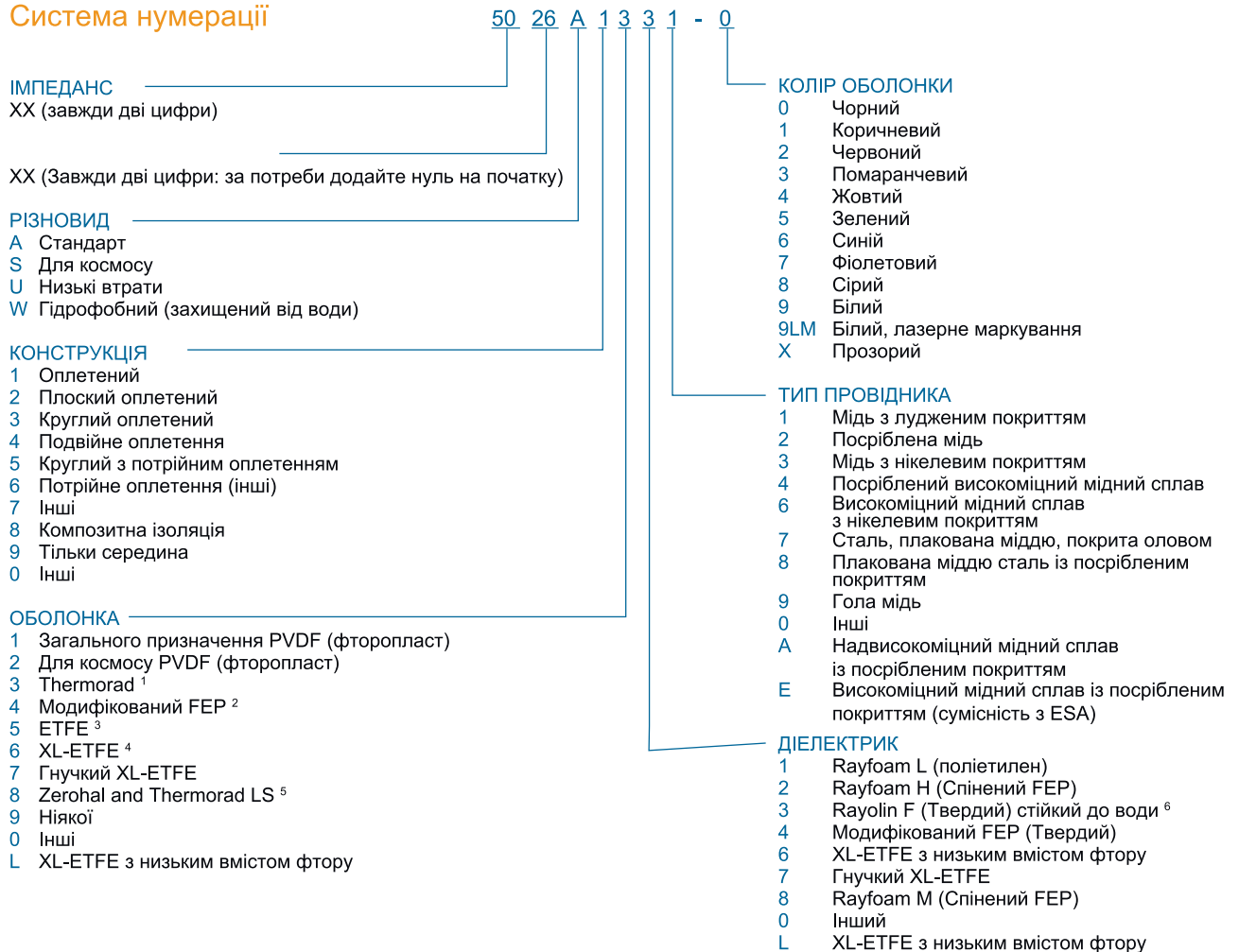


Рис. 1. Система нумерації кабелів TE Connectivity

- ◆ пристрої телекомунікації.

На рис. 1 наведена система нумерації кабелів TE Connectivity.

Примітки (до рис. 1):

AWG – американська система маркування товщини дротів, що використовується з 1857 року переважно в США. У цій системі меншому числовому значенню відповідає товстіший дріт.

<sup>1</sup> Thermorad – матеріал оболонки загального призначення, на який не впливає більшість поширених хімікатів і розчинників. Має високу вогнестійкість і загальний баланс фізичних і хімічних властивостей. Діапазон робочих температур -55...125 °C.

<sup>2</sup> FEP – Fluorinated ethylene propylene (тефлон), стійкий до низьких та високих температур.

<sup>3</sup> ETFE (етилен тетрафторетилен) – пластик на основі фтору.

<sup>4</sup> XL-ETFE (Cross-Linked Extruded Ethylene Tetrafluoroethylene) – зшитий екструдований етилентет-

рафторетилен. Механічно міцний і вогнестійкий кабель, забезпечує високу стійкість до рідин, масла та вологи.

<sup>5</sup> Zerohal and Thermorad LS – кабельна оболонка без галогенів, низькі показники пожежонебезпеки, стійка до хімікатів і розчинників.

<sup>6</sup> Rayolin F – стійкий до занурення у воду, для підводних кабельних з'єднань, діапазон робочих температур -55...95 °C.

В табл. 1 наведені характеристики деяких коаксіальних кабелів Cheminaх. Більш детальну інформацію про кабелі можна знайти в [1, 2].

Щоб отримати детальну інформацію про кабель та аксесуари до нього треба у рядку пошуку на сайті TE Connectivity ввести марку кабелю. Наприклад при пошуку кабелю RG 174 [3] виводиться вікно, що наведено на рис. 2 з посиланням на даташит.

У даташит наведені сумісні з цим кабелем аксесуари (рис. 3) і детальні інформація про кабель.

Таблиця 1. Характеристики високошвидкісних коаксіальних кабелів Cheminaх

## 50 Ом кабелі Cheminaх



Номер	Провідник	Матеріал ізоляції / Ø дюйм (мм)	Тип екрану / Ø дюйм (мм)	Матеріал оболонки / Ø дюйм (мм)	Діапазон температур (°C)	Ном. вага Фунт./1000 фут. (кг/км)	Номінальна. ємність пФ/фут (пФ/м)	Примітки	
RG-58 19 Провідів	RG-58	TC (21 AWG)	PE 0.116 (2.95)	1 TC Braid 0.150 (3.53)	XL-PE 0.195 (4.95)	-30 – +85	23.7 (38.69)	30.8 (101.1)	Промисловий стандарт
	5021D1831	TC (21 AWG)	Rayolin 0.113 (2.87)	1 TC Braid 0.134 (3.40)	Zerohal 0.184 (4.67)	-30 – +105	23.7 (35.27)	31.3 (102.7)	Без галогену
	5021F1031	TC (21 AWG)	Rayolin 0.113 (2.87)	1 TC Braid 0.134 (3.40)	FEP 0.195 (4.95)	-65 – +105	29.7 (44.20)	30.7 (100.7)	Висока стійкість до рідини
	5021D1331	TC (21 AWG)	Rayolin 0.117 (2.97)	1 TC Braid 0.138 (3.51)	Themorad S 0.188 (4.78)	-65 – +105	23.2 (34.52)	32.0 (105)	Розширений темп. діапазон
	5021K1011	TC (21 AWG)	Rayfoam L 0.083 (2.11)	1 TC Braid 0.114 (2.90)	XL-ETFE 0.134 (3.40)	-65 – +120	14.2 (21.11)	25.0 (82.0)	Менша вага
RG-142 Твердий	RG-142	SCCS (19 AWG)	PTFE 0.115 (2.95)	2 SC Braids 0.166 (4.22)	FEP 0.195 (4.95)	-55 – +200	48.5 (72.2)	29.3 (96.1)	Промисловий стандарт
	5019G3818	SCCS (19 AWG)	Rayfoam L0.116 (2.95)	2 SC Braids 0.158 (4.01)	Zerohal 0.184 (4.67)	-30 – +105	35.8 (53.3)	29.0 (95.4)	Без галогену
	5019D3318	SCCS (19 AWG)	Rayfoam L0.101 (2.57)	2 SC Braids 0.139 (3.53)	Themorad S 0.175 (4.45)	-65 – +120	25.1 (37.35)	27.1 (88.9)	Менша вага
RG-142 19 Провідів	5018A3812	SCCS (18 AWG)	Rayfoam L0.137 (3.48)	2 SC Braids 0.171 (4.34)	Zerohal 0.205 (5.21)	-30 – +105	32.7 (48.7)	26.7 (87.6)	Без галогену Менша вага
	5018A3022	SCCS (18 AWG)	Rayfoam L0.125 (3.18)	2 SC Braids 0.167 (4.24)	FEP0.187 (4.75)	-65 – +200	37.4 (55.7)	25.0 (82.0)	Покращені електричні характеристики
	5020A3422	SCCS (20 AWG)	Rayfoam L0.105 (2.27)	2 SC Braids 0.139 (3.53)	FEP0.169 (4.29)	-65 – +200	25.1 (37.4)	25.5 (83.7)	Менша вага
RG-174 19 Провідів	RG-174	CCS (26 AWG)	PE 0.060 (1.52)	1 TC Braid 0.088 (1.98)	XLPE 0.110 (2.79)	-40 – +80	10.0 (13)	30.8 (101.1)	Промисловий стандарт
	5024A1311	TC (24 AWG)	Rayfoam L 0.067 (1.70)	1 TC Braid 0.084 (2.13)	TH,RAD S 0.104 (2.64)	-65 – +120	7.9 (11.8)	27.5 (90.2)	Розширений темп. діапазон
	5024A1811	TC (24 AWG)	Rayfoam L 0.067 (1.70)	1 TC Braid 0.084 2.13)	Zerohal 0.106 (2.69)	-30 – +105	8.5 (12.7)	25 (82.0)	Без галогену Менша вага
RG-174 7 Провідів	5026A1331	TC (26 AWG)	Rayolin 0.058 (1.45)	1 TC Braid 0.075 (1.91)	TH,RAD S 0.095 (2.41)	-65 – +105	6.9 (10.30)	31.5 (103.3)	Розширений темп. діапазон
	5026A1631	TC (26 AWG)	Rayolin 0.057 (1.45)	1 TC Braid 0.074 (1.88)	XL-ETFE 0.090 (2.29)	-65 – +120	6.9 (10.3)	31.3 (102.7)	Висока стійкість до рідини Розширений темп. діапазон
	5026A1811	TC (26 AWG)	Rayfoam L 0.047 (1.19)	1 TC Braid 0.064 (1.63)	Zerohal 0.086 (2.18)	-30 – +105	6.0 (8.9)	26 (85.3)	Без галогену Покращені електричні характеристики
	5026A1314	SHSCA (26 AWG)	Rayfoam L 0.047 (1.19)	1 TC Braid 0.064 (1.63)	TH,RAD S 0.084 (2.19)	-65 – +120	5.6 (8.3)	27.1 (88.9)	Менша вага
	5026D1424	SHSCA (26 AWG)	Rayfoam H 0.051 (1.30)	1 TC Braid 0.068 (1.73)	FEP 0.088 (2.24)	-65 – +150	7.6 (11.3)	27.6 (90.6)	Висока стійкість до рідини Розширений темп. діапазон
RG-178 7 Провідів	RG-178	SCCS (30 AWG)	PTFE 0.033 (0.84)	1 SC Braid 0.054 (1.37)	FEP 0.071 (1.80)	-55 – +200	5.7 (8.5)	30 (98.4)	Промисловий стандарт
	CLFH-178	SCCS (30 AWG)	Rayfoam L 0.032 (0.82)	1 TC Braid 0.047 (1.2)	Zerohal 0.071 (1.80)	-30 – +105	4.0 (6.0)	29.9 (98.4)	Без галогену
	5030A1444	SHSCA (30 AWG)	FEP 0.032 (0.82)	1 TC Braid 0.045 (1.14)	FEP 0.059 (1.50)	-65 – +150	3.7 (5.5)	29.4 (96.5)	Менша вага Менший загальний діаметр кабелю
	5030A1314	SHSCA (30 AWG)	Rayfoam L 0.031 (0.79)	1 TC Braid 0.044 (1.12)	Themorad S 0.062 (1.57)	-65 – +120	3.0 (4.5)	28.6 (93.8)	Розширений темп. діапазон Менша вага
	5028A1314	SHSCA (28 AWG)	Rayfoam L 0.036 (0.61)	1 TC Braid 0.053 (1.35)	Themorad S 0.071 (1.80)	-65 – +120	4.2 (6.3)	27.5 (90.2)	Розширений темп. діапазон, менша вага, покращені електричні характеристики
	5028G1424	SHSCA (28 AWG)	Rayfoam H 0.034 (0.86)	1 SC Braid 0.051 (1.30)	FEP 0.067 (1.70)	-65 – +200	4.6 (6.8)	26.4 (86.6)	Розширений темп. діапазон, менша вага, покращені електричні характеристики
RG-213 7 Провідів	RG-213	BC (12 AWG)	PE 0.285 (7.24)	1 BC Braid 0.323 (8.31)	XL-PE 0.405 (10.29)	-40 – +80	115 (171)	32.2 (105.6)	Промисловий стандарт
	5012E1839	BC (12 AWG)	Rayolin 0.285 (7.24)	1 BC Braid 0.314 (7.98)	Zerohal 0.376 (9.55)	-30 – +105	94.8 (141)	30 (98.4)	Без галогену Розширений темп. діапазон
	5012E1632	SC (12 AWG)	Rayolin 0.285 (7.24)	1 SC Braid 0.314 (7.98)	XL-ETFE 0.334 (8.48)	-30 – +105	77.7 (115.6)	30.3 (99.4)	Висока стійкість до рідини Розширений темп. діапазон
	5012E1339	BC (12 AWG)	Rayolin 0.285 (7.24)	1 BC Braid 0.314 (7.98)	Themorad S 0.403 (10.24)	-65 – +105	109 (162)	30 (98.4)	Розширений темп. діапазон
	5012E1112	SC (12 AWG)	Rayfoam L 0.231 (5.87)	1 SC Braid 0.257 (6.53)	XL-PVF 20.285 (7.24)	-65 – +125	53.7 (79.9)	25.7 (84.3)	Розширений темп. діапазон, менша вага, менші озіри



TE Internal #: 2360001-3

TE Internal Description: MATE-AX/FAKRA II,CABLE ASSY

Cable Type : RG 174

Operating Temperature Range : -40 – 105 °C [-40 – 221 °F]

Shielded : Yes

Cable Assembly Length : 2 m [ 6.56 ft ]

Sealable : No

[Add to List](#) | [Similar Products](#) | [Digital Datasheet](#)

Рис. 2. Сторінка з основними характеристиками кабелю RG 174

## Compatible Parts



Рис. 3. Сумісні з кабелем RG 174 аксесуари

## ЛІТЕРАТУРА

- <https://www.te.com/usa-en/products/wire-cable/high-speed-digital-and-data-cable.html?tab=pgp-story>
- [https://www.te.com/commerce/DocumentDelivery/DDEController?Action=srchrtv&DocNm=6-1773459-0\\_cheminax&DocType=DS&DocLang=EN](https://www.te.com/commerce/DocumentDelivery/DDEController?Action=srchrtv&DocNm=6-1773459-0_cheminax&DocType=DS&DocLang=EN)
- <https://www.te.com/usa-en/product-2360001-3.datasheet.pdf>

## VD MAIS

Електромеханічні компоненти і компоненти систем автоматизації



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

Дистрибуція та прямі поставки:

Acme-Portable, AMP Netconnect, Belden, Dopla, Eaton, EBM-Papst, HARTING, Hoffman, Kroy, Lapp Group, Molex, Phoenix Contact, Rittal, Schroff, Siemens, TE Connectivity, TKD, Wago

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



# ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ ДРУКОВАНИХ ПЛАТ

## THE TRENDS OF PRINTED CIRCUIT BOARDS

У статті розглянуті перспективи розвитку друкованих плат і технологій їх виробництва. Стаття підготовлена за матеріалами Інтернет-видань.

В. Романов

Abstract - The trends of printed circuit boards and manufacturing technologies are considered. The article was prepared based on the materials of Internet publications.

V. Romanov

У 2021 році світовий ринок друкованих плат становив понад 78 мільярдів доларів, очікується, що до 2030 року він досягне 128 мільярдів доларів. Таке зростання пояснюється тим, що практично усі сучасні електронні пристрої містять друковані плати. Швидкий розвиток цієї галузі означає, що у подальші роки друковані плати будуть розвиватися у наступних напрямках, а саме:

- збільшиться використання гнучких друкованих плат
- будуть інтегровані у виробництво друкованих плат технології Інтернету речей (IoT) та штучного інтелекту (ШІ)
- пошириться 3D-друк друкованих плат.

Зростання виробництва та використання гнучких друкованих плат (рис. 1) є фактором швидкого зростання цього ринку особливо для мобільних пристроїв, таких як ноутбуки, смартфони та планшети. Носимі пристрої також стають потужним напрямком для виробництва гнучких друкованих плат. Гнучкість цих плат дозволяє виробникам згинати друковану плату в потрібну для складного виробу форму. Гнучкі друковані плати набувають широкого поширення завдяки багатьом перевагам перед жорсткими друкованими платами. Вони дозволяють зменшити розмір електронного пристрою, оскільки ці плати легко скласти у потрібну форму, яка заощаджує місце, що є однією з їх найбільших їх переваг. Гнучкі друковані плати також зменшують ризик пошкодження під час збирання. Крім того, їх гнучкість дає можливість мати значно більше шарів, ніж жорсткі друковані плати.

Найпоширеніші напрямки застосування гнучких друкованих плат включають:

- авіоніку
- системи подушок безпеки
- антиблокувальні гальма
- обладнання для штрихового кодування
- акумуляторні блоки

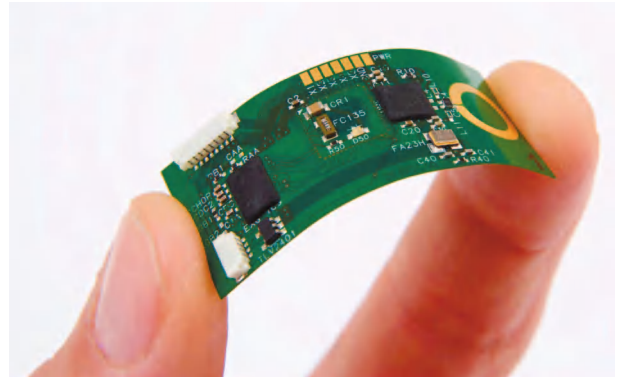


Рис. 1. Гнучка друкована плата

- фотоапарати
- паливні насоси
- системи управління рухом
- супутники
- напівпровідникові прилади
- ультразвукові зонди.

Недоліки виготовлення гнучких друкованих плат, як правило, пов'язані з більшою різноманітністю матеріалів, які використовуються в їх конструкції, оскільки виробники повинні враховувати багато факторів при виборі матеріалів для їх виготовлення. Наприклад, відмінності в коефіцієнті теплового розширення можуть спричинити розшарування ламінованих матеріалів при зміні температури. Тому виробники повинні використовувати армуючі плати для точного вирівнювання шарів друкованої плати під час ламінування.

Інтеграція Інтернету речей і ШІ у технологію друкованих плат швидко трансформує цю галузь, забезпечуючи більшу ефективність і функціональність завдяки підвищенню автоматизації практично усіх технологічних процесів. Мобільні телекомунікації, засновані на технології IoT, використовують кілька рівнів високошвидкісного підключення, особливо для бездротових мереж. Гнучкі плати широко вико-

ристовуються у мобільних пристроях, розумних холодильниках, розумних годинниках, носимих медичних пристроях, наприклад, для визначення тиску, зчитування кардіограми, вимірювання рівня цукру у крові і т.і. Багато галузей отримують переваги від використання технології Інтернету речей, особливо це стосується медичної галузі, промислової автоматики та носимих пристроїв різного призначення. Користувачі часто застосовують цю технологію для дистанційного управління та моніторингу. Ось перелік деяких галузей, які отримують суттєві переваги від використання технології Інтернету речей:

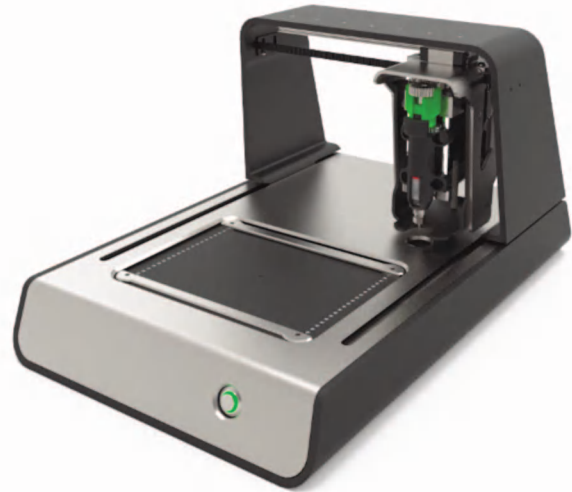
- охорона здоров'я
- промислова автоматика
- індустрія носимих пристроїв
- обробна промисловість
- транспорт і логістика.

Штучний інтелект більш пов'язаний з програмним забезпеченням, яке вже може виконувати завдання, які, як правило, притаманні людям. Виробники друкованих плат можуть використовувати ШІ для збору даних з кількох сенсорів. Потім за допомогою машинного навчання можна аналізувати накопичені дані та використовувати їх для підвищення ефективності при виготовленні друкованих плат та для зменшення витрат на виробництво без шкоди для якості.

Крім того, ШІ має високий потенціал для підвищення рівня автоматизації у виробництві друкованих плат. Цей процес певною мірою вже автоматизований, але раніше було складно забезпечити високу якість продукції без безпосередньої участі людини у цьому процесі. Усі ці переваги, як очікується, забезпечать у майбутньому використання ШІ в безлюдній автоматизованій збірці друкованих плат.

3D-друк зробив революцію у проектуванні та виробництві друкованих плат. Ця технологія, яку називають адитивним виробництвом, створює тривимірний об'єкт із цифрової 3D-моделі за допомогою програмного забезпечення для автоматизованого проектування друкованої плати. Виробники використовують 3D-друк у різних процесах, які передбачають нанесення матеріалу під керуванням програмного забезпечення (рис. 2). Найбільш часто використовувани матеріали включають рідини, пластмаси та порошкові зерна, які зазвичай додаються шар за шаром. Переваги 3D-друку в цій галузі включають зниження витрат, розширене налаштування та покращену продуктивність.

3D-друк для виготовлення друкованих плат зазвичай передбачає друк підкладки по одному шару



**Рис. 2. 3D-принтер для виробництва друкованих плат**

за раз, додаючи спочатку рідину, а потім необхідні компоненти для поверхневого монтажу. Це зменшує кількість відходів, роблячи друк економічно ефективним і не шкідливим для навколишнього середовища.

Тривимірний друк також стає більш вигідним із збільшенням складності кінцевого виробу. Інноваційні застосування 3D-друку у проектуванні та виробництві друкованих плат включають одночасне осадження кількох матеріалів.

Ця техніка має вирішальне значення для виготовлення друкованих плат за допомогою 3D-друку, оскільки вона має друкувати провідники та напівпровідникові матеріали одночасно. Нещодавно були надруковані експериментальні взірці систем на кристалі із пам'яттю, що в 7000 разів перевищує об'єм пам'яті на гнучких друкованих платах, виконаних за традиційною технологією.

Подібні програми 3D-друку для друкованих плат, ймовірно, включатимуть у майбутньому сенсори навколишнього середовища та інші функціональні вузли. Системи на базі 3D-друку можуть використовуватися також для створення різних електронних компонентів, а саме діодів, світлодіодів і тонкопліткових транзисторів з органічних полімерів. Потім розробники можуть масштабувати ці виробы по горизонталі та вертикалі для отримання бажаної конфігурації контактів та напівпровідникового переходу. Полімери легко легувати та функціоналізувати, що дозволяє налаштувати їхні електронні та оптичні властивості відповідно до вимог друкованої плати.

Потенційні проблеми 3D-друку для створення друкованих плат включають обмеження як до матеріалів, так і можливостей проектування. Наприклад, виробникам потрібні жорсткі напівпровідникові матеріали для оптимізації їх параметрів до різних діапазонів частот.

Зведення до мінімуму паразитної ємності за допомогою різних полімерів робить 3D-друк конкурентоспроможним з нітридом галію для виготовлення систем на кристалі. Ці полімери вже використовуються для створення друкованих плат, тому застосування їх у напівпровідникових пристроях є додатковим розширенням технології друку. Підвищення роздільної здатності є ще однією вимогою до 3D-друку для друкованих плат. Поточним обмеженням для цієї технології є роздільна здатність в один мік-

рон, але для конкуренції з найкращими традиційними технологіями потрібно знизитися до субмікронного рівня.

## ВИСНОВКИ

Розвиток нових інформаційних технологій, а саме технологій Інтернету речей та штучного інтелекту внесли суттєві зміни в технологію виробництва друкованих плат. Поява 3D-друку для виготовлення друкованих плат, а також безлюдних виробництв на базі штучного інтелекту дозволила суттєво підвищити ефективність їх виробництва, підвищити складність виробів, зменшити їх масу і габарити.



[ Від ремесла до мистецтва ]

# 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



# VD MAIS

PCB Professionally

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

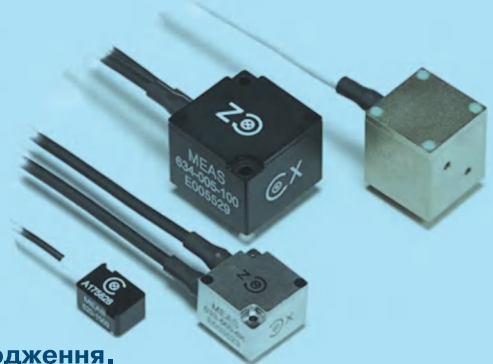


## Датчики TE Connectivity для систем промышленного Интернета вещей

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

### Датчики:

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



<https://www.te.com>



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



# ОСОБЛИВОСТІ ПРОЄКТУВАННЯ ТА ВИРОБНИЦТВА ВИСОКОЧАСТОТНИХ ДРУКОВАНИХ ПЛАТ

## FEATURES OF DESIGN AND PRODUCTION OF HIGH-FREQUENCY PRINTED CIRCUIT BOARDS

У статті наведена коротка інформація про призначення, особливості проектування та виробництва високочастотних друкованих плат.

Abstract – The article provides brief information on the purpose, capabilities of designing and manufacturing high-frequency printed circuit boards.

В. Макаренко

V. Makarenko

Насамперед необхідно визначитися з терміном високочастотна друкована плата і чим вона відрізняється від високошвидкісної. Під високошвидкісним пристроєм розумітимемо пристрій із сигналами, що мають дуже малі тривалості фронтів і спадів. А високочастотні пристрої працюють із сигналами, що мають мале значення періоду сигналу. Ці відмінності і визначають різницю між високочастотною та високошвидкісною друкованою платою.

Звичайно, не існує точного визначення різниці між високошвидкісною друкованою платою та високочастотною друкованою платою. Навіть основні матеріали, які використовуються виготовлення таких плат, однакові [1]. Тому не слід зважати на визначення назви плати. Основним критерієм є забезпечення цілісності сигналу на платі. Здебільшого діапазон частот сигналів цих друкованих плат становить від 500 МГц до 6 ГГц (рис. 1). Найбільш поширені програми, в яких використовуються такі друковані плати, включають мобільні телефони, мікрохвильові печі та інші пристрої, що працюють у діапазоні частот. Високочастотні друковані плати зазвичай використовують високочастотні ламінати, які важко виготовити. І це пов'язано з кількома факторами.

Щоб мінімізувати затримки при передачі високочастотного сигналу плати, основний матеріал пластини друкованої плати повинен мати низьку діелектричну проникність ( $D_k$ ) і низький коефіцієнт діелектричних втрат ( $D_f$ ). Чим менше значення  $D_k$ , що впливає швидкість поширення сигналу по друкованій платі, і  $D_f$ , що визначає рівень втрат в діелектрику, тим краще для ефективної передачі високочастотних сигналів.

Діелектрична проникність ( $D_k$ ) підкладки високочастотних друкованих плат має бути малою величи-

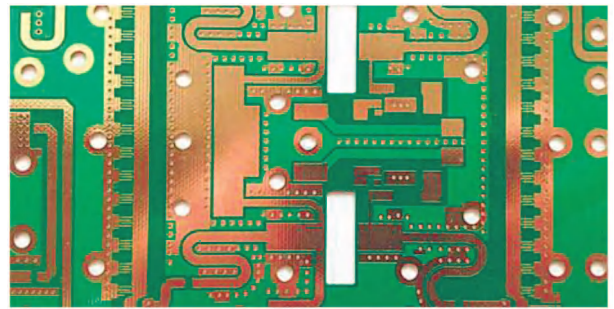


Рис. 1. Друкована плата НВЧ-пристрою

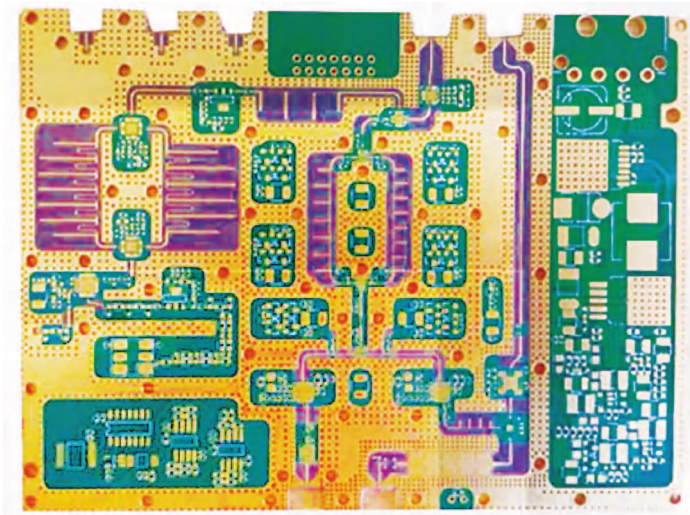
ною та стабільною у часі. Чим менше зворотне відношення швидкості передачі сигналу до квадратного кореня діелектричної константи матеріалу, тим більша затримка передачі сигналів.

Існують деякі спеціальні додатки, що вимагають високої діелектричної проникності ( $D_k$ ), високочастотне значення друкованої плати  $D_k$  рівному 16...25 або вище. Щоб уникнути відшарування мідної фольги при зміні температури, необхідно, щоб теплове розширення матеріалів друкованої плати було таким самим, як у мідної фольги. Високочастотні друковані плати використовуються у військових додатках, у радарях (рис. 2), у діагностичних, контрольних та лікувальних пристроях у медицині, у сучасних пристроях зв'язку.

Через особливості областей застосування такі високочастотні друковані плати, як правило, відповідають найсуворішим стандартам. При проектуванні друкованих плат для медичних пристроїв необхідно враховувати їхню надійність і довговічність при дотриманні медичних стандартів.

До поширених медичних пристроїв, у яких використовуються високочастотні друковані плати, належать такі:

- персональні або медичні монітори рівня глюко-



**Рис. 2. Застосування високочастотних друкованих плат у радарях**

зи в крові, артеріального тиску та пульсометри

- пристрої для контролю інфузії рідини
- ультразвукові сканери
- комп'ютерні та магнітно-резонансні томографи
- рентгенівські томографи.

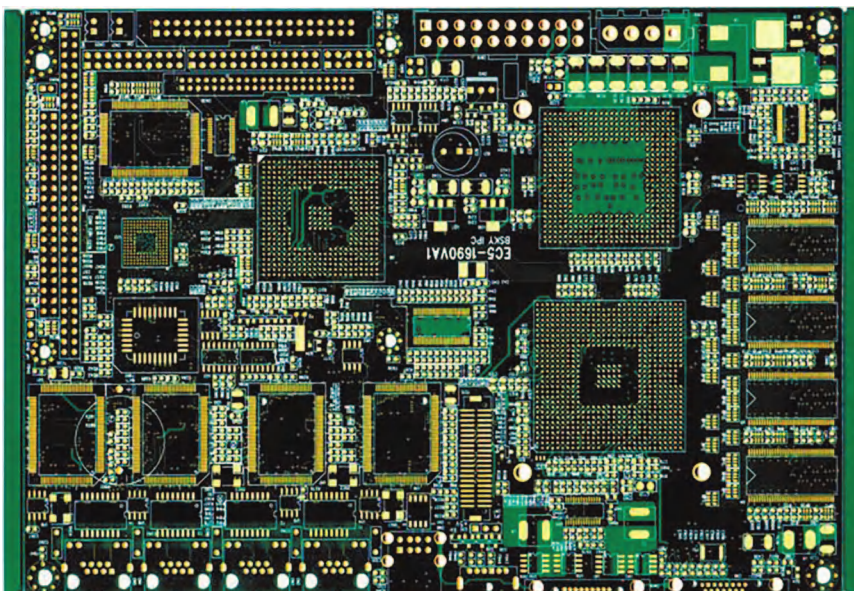
Промислове застосування – ще одна поширена область, де використовуються високочастотні друковані плати. Такі плати можуть працювати при зміні робочих температур у широких межах в агресивному хімічному середовищі (рис. 3). Перевага високочастотних друкованих плат у таких додатках полягає в тому, що вони можуть витримувати високі температури та вплив хімічних речовин.

Високочастотні друковані плати широко викори-

стовуються в системах зв'язку та радіолокації:

- підсилювачах високої частоти
- перетворювачах спектрів – змішувачах та демодуляторах
- синтезаторах частоти
- атенюаторах (рис. 4)
- блоках цифрової обробки високочастотних сигналів.

Розробка високочастотної друкованої плати може тривати багато часу і тому необхідно враховувати кілька чинників, як розпочинати процес проектування плати. До таких факторів належать бюджет, графік виконання робіт та міжнародні стандарти, яких необхідно дотримуватись. Але якими є кри-



**Рис. 3. Друкована плата промислової панелі керування**

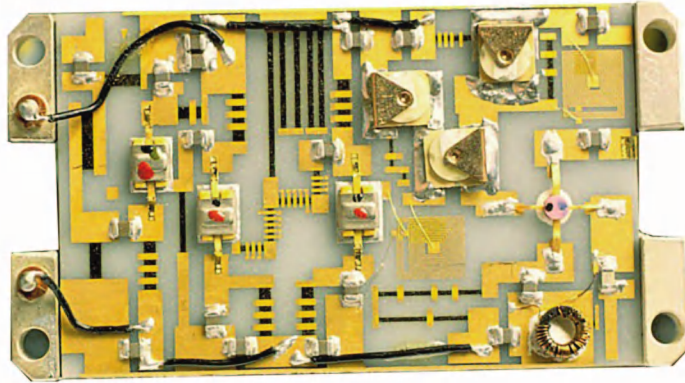


Рис. 4. Високочастотний аттенюатор

терії високочастотної друкованої плати. До них можна віднести такі:

- максимальна частота сигналів на платі (понад 50 МГц)
- якщо на платі є траса, яка вносить затримку понад третину часу наростання чи спаду імпульсних сигналів
- якщо у роботі вузлів друкованої плати є значні відмінності щодо швидкодії.

#### Рекомендації щодо проектування високочастотних друкованих плат

Нижче перелічені деякі моменти які потрібно враховувати при розробці друкованих плат:

1. Необхідно обов'язково використовувати багатшарову друковану плату. Якщо конструкція друкованої плати має лише два шари, на верхньому шарі потрібно розмістити силовий каскад, лінії радіочастотних сигналів та радіочастотні компоненти. Нижній шар має бути заземлюючим шаром. На етапі компонування друкованої плати розумний вибір розміру друкованої плати з певною кількістю шарів дозволяє повною мірою використовувати проміжний шар для створення екранів, краще реалізувати заземлення, ефективно зменшити паразитну індуктивність і скоротити довжину ліній передачі сигналів, в той же час значно зменшити перехресні перешкоди. Всі ці методи сприятливо впливають на надійність роботи високочастотної схеми.

2. Перед початком розробки плати передусім необхідно розділити аналогову, радіочастотну та цифрову частини системи та спробувати спроектувати друковану плату, розміщуючи кожен з них на окремій ділянці (рис. 5). Аналогічно необхідно відокремити ВЧ каскади, такі як ГКН, підсилювач і т.д., і не перетинати провідники цих вузлів [2].

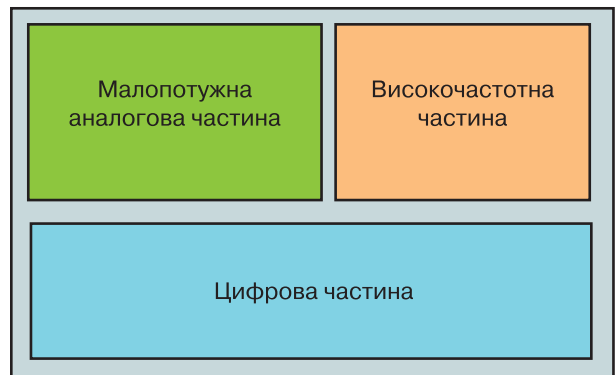


Рис. 5. Поділ друкованої плати окремі зони

3. Лінії зв'язку високочастотних кіл необхідно робити максимально короткими. Чим коротший провід, тим краще. Інтенсивність випромінювання сигналу пропорційна довжині сигнальної лінії. Чим довше провід високочастотного сигналу, тим більше його вплив на компоненти, розташовані поряд з ним. Отже, для високочастотних сигнальних ліній, що передають тактові сигнали, сигнали інших генераторів, дані динамічної пам'яті DDR, інтерфейсів LVDS, USB, HDMI тощо, чим коротший провід, тим краще. Довжина ліній, якими передаються радіочастотні і мікрохвильові сигнали, є дуже важливим питанням. Вони повинні становити не більше 1/20 довжини хвилі, щоб звести втрати до мінімуму. Наприклад, для сигналів із частотою 433 МГц довжина хвилі  $\lambda = c/f$ , де  $c$  – швидкість світла,  $f$  – частота сигналу. Після підстановки отримаємо

$$\lambda = c/f = 3 \cdot 10^8 / 4.33 \cdot 10^8 = 0.6928 \text{ м.}$$

Максимальна довжина лінії на платі

$$l_{\max} \leq \lambda/20 = 3.46 \text{ см.}$$



Якщо лінія має бути обов'язково довшою, то в кінці лінії необхідно застосувати узгодження імпедансу з компонентами L та C.

4. У багатошарових платах короткі лінії високочастотних сигналів слід розташовувати на верхньому шарі. Щоб зменшити шум, слід розташовувати лінії зв'язку між двома шарами землі. Під шаром, який включає лінії радіочастотного сигналу, обов'язково повинен бути екрануючий шар (шар землі).

5. Слід звертати увагу на небезпеку виникнення перехресних завад, викликаних паралельною маршрутизацією сигнальних ліній, які не з'єднані між собою. Оскільки високочастотний сигнал передається у вигляді електромагнітної хвилі по лінії передачі, сигнальна доріжка діятиме як антена, і енергія електромагнітного поля передаватиметься по всій лінії передачі.

Небажаний шумовий сигнал, що генерується взаємним зв'язком електромагнітних полів між сигналами, називається перехресними завадами.

#### Мінімізація зв'язаності трас за допомогою правила 3W

Зв'язок між доріжками може становити серйозну проблему для цілісності сигналу під час поширення на платі. Щоб мінімізувати вплив цього ефекту, можна скористатися правилом 3W (рис. 6).

Правила 3W рекомендують щоб відстань між доріжками повинна бути втричі більшою за ширину однієї доріжки, виміряної від одного центру до іншого. З використанням цього правила збільшена відстань між доріжками дозволяє зменшити ефект паразитного зв'язку.

Щоб підвищити ефективність мінімізації зв'язку між доріжками, можна збільшити відстань між доріжками із трьох до десяти значень ширини однієї доріжки. Слід розташовувати лінії зв'язку різних

джерел сигналів у різних шарах. Сигнальні доріжки на різних рівнях мають бути ортогональними одна одній. Це означає, що на сигнальному шарі слід розташовувати горизонтальні або вертикальні траси (рис. 7).

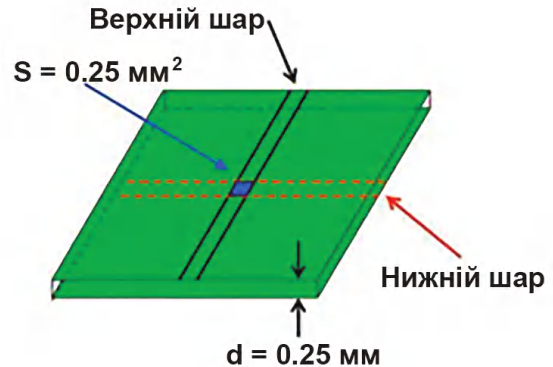


Рис. 5. Поділ друкованої плати на окремі зони

7. Чим менше вигнутий провід, тим краще. Провід високочастотного кола найкраще виконати на всій ділянці прямою лінією, яку можна повернути на 45 градусів ламаною лінією або дугою. Ця вимога використовується тільки для підвищення міцності фіксації мідної фольги в низькочастотному ланцюгу, але у високочастотному колі виконання цієї вимоги може зменшити зовнішнє випромінювання та інтерференцію високочастотних сигналів.

На рис. 8 показані рекомендовані кутові рисунки.

T-подібні вузли повинні бути такими, як показано на рис. 9.

8. Чим менше чергування виводів між шарами, тим краще. Це означає, що менше перехідних отворів використовується в процесі з'єднання компонентів, тим краще. Експериментально встановлено, що один прохідний отвір може мати розподілену ем-

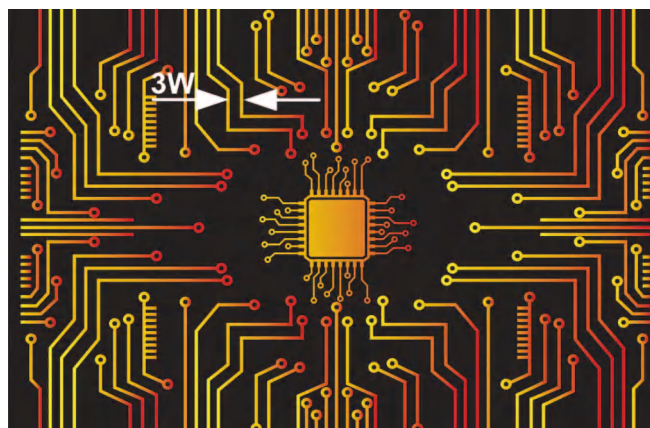
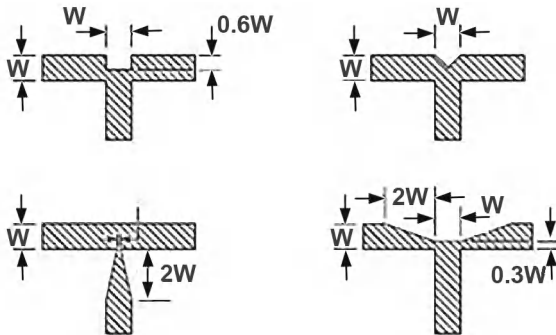


Рис. 6. Ілюстрація до правила 3W





**Рис. 8. Рекомендовані форми кутових рисунків**



**Рис. 9. Рекомендуємі форми T-подібних вузлів**

ність близько 0,5 пФ. Зменшення кількості перехідних отворів може значно підвищити швидкість та знизити ймовірність помилки передачі даних.

9. Контактні майданчики високочастотних друкованих плат повинні мати площу не більше 5% від площі контактів компонентів (в інших друкованих платах площа контактних майданчиків може становити до 30% площі контактів компонентів). Мінімізація площі контактних майданчиків має свої переваги:

- зменшення паразитної ємності
- збільшення механічної міцності.

Крім того, за рахунок зменшення площі, що займає майданчики, звільняється більше місця для диференціальних пар і посадкових місць з великою кількістю контактів на друкованій платі.

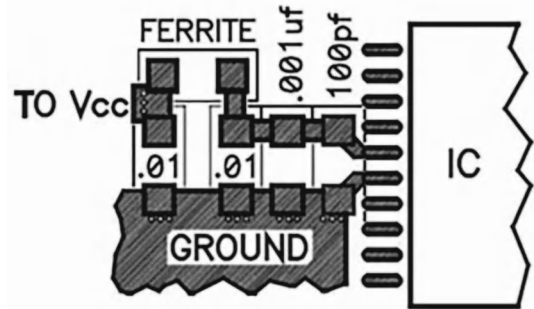
10. При проектуванні високочастотних друкованих плат шину живлення слід виконувати у вигляді шару, що в більшості випадків набагато краще, ніж звичайна шина, так як струм завжди може протікати по дорозі з найменшим опором. Крім того, шина (шар) живлення повинна забезпечувати мінімальний опір для всіх сигналів, що генеруються і приймаються на друкованій платі, щоб звести до мінімуму рівень завад.

11. Необхідно підключати контакти заземлення радіочастотних мікросхем до землі якомога коротшими лініями, використовуючи перехідні отвори.

Можна використовувати кілька перехідних отворів, щоб зменшити небажану дію шару заземлення.

12. Необхідно підключати високочастотні конденсатори розв'язки не тільки до виводів живлення інтегральних схем, але і до проводу живлення кожного блоку інтегральних схем. Збільшення ємності конденсаторів високочастотної розв'язки на виведенні джерела живлення може ефективно послабляти високочастотні завади у цій точці.

Слід врахувати, що конденсатор меншої ємності слід розташовувати ближче до мікросхеми. Приклад фрагмента друкованої плати показано на рис. 10.



**Рис. 10. Приклад підключення розв'язуючих конденсаторів до кола живлення інтегральної мікросхеми**

13. Провід заземлення високочастотного цифрового сигналу необхідно ізолювати від заземлення проводу аналогового сигналу. Коли аналоговий та цифровий провідники заземлення підключені до загального дроту заземлення, вони повинні бути з'єднані за допомогою високочастотних дроселів або ізольовані, і має бути обрано з'єднання цих проводів в одній точці.

За заземленням високочастотного цифрового сигналу часто протікають значні імпульсні струми з великим числом складових у спектрі. Якщо провід заземлення цифрового сигналу з'єднаний з заземленням аналогового сигналу безпосередньо, гармоніки високочастотного сигналу будуть створювати завади аналоговому сигналу через проводи заземлення. Тому, як правило, провід заземлення цифрового високочастотного сигналу і провід заземлення аналогового сигналу повинні бути ізольовані. Можна використовувати одноточкове з'єднання або високочастотне з'єднання з дроселем.

14. Компоненти слід розташовувати таким чином, щоб лінії електричного зв'язку були якомога коротшими, особливо для підключення між компонентами з високою частотою. Для вузлів високої потужності компоненти мають бути скомпоновані на ді-

лянци окремо від вузлів із малою потужністю. Якщо система складається з кількох друкованих плат, то високошвидкісні пристрої слід розміщувати на одній друкованій платі, наскільки це можливо. Це дозволяє уникнути проблеми помилок затримки сигналів, що призводять до неоднакової затримки передачі тактового сигналу між основною друкованою платою і різними платами, що підключаються.

15. Кожному сигналу на високочастотній друкованій платі потрібен маршрут, який починається від джерела та закінчується у приймачі через замкнутий шлях із мінімальною кількістю перешкод. Це важливий аспект у проектуванні та виготовленні друкованих плат. Може знадобитися кілька переходів між шарами. Однак це може призвести до втрати цілісності сигналу. Якщо використовуються перехідні отвори для формування шляху зворотного струму до джерела сигналу, необхідно зменшити відстань, що має пройти сигнал. Для цього потрібно розмістити отвір для організації зворотного шляху якомога ближче до отвору вхідного сигналу.

16. Слід уникати формування петлі, утвореної провідниками на платі, всіх видів високочастотних сигнальних доріжок. Якщо утворення петлі неминуче, необхідно мінімізувати її площу.

17. Необхідно забезпечити хороше узгодження імпедансу ліній передачі сигналу. При неузгодженні імпедансу на приймальному та передавальному кінці лінії виникають відбиття сигналу, що призведе до його спотворень та зміни його рівня. Для цифрових сигналів це призведе до зміни моменту перетину порога спрацьовування логічних схем, отже, може призвести до помилок передачі сигналів.

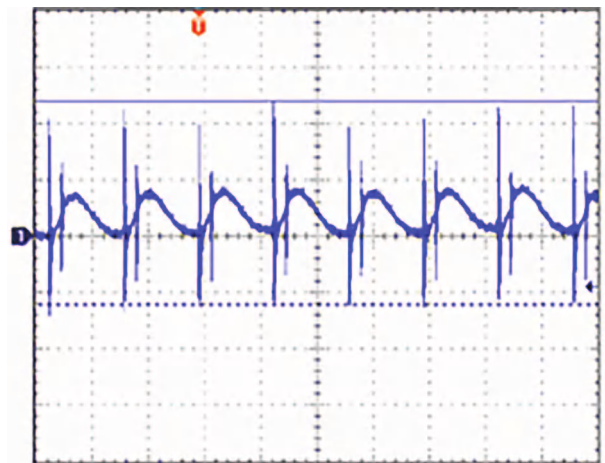
18. Зв'язок, що виникає між шарами живлення та заземлення, також може становити небезпеку для високочастотних пристроїв. Цілісність живлення забезпечується на рівні компонентів і на рівні друкованих плат, причому проблеми цілісності живлення можуть створювати проблеми цілісності сигналу (тремтіння, недостатньо низький імпеданс ланцюга живлення/заземлення, електромагнітні перешкоди).

Більшість спрощених посібників щодо забезпечення цілісності живлення фокусують увагу лише на рівні друкованої плати, проте плата та схема повинні забезпечувати стабільне живлення міжз'єднань спільними зусиллями [4]. Концепція цілісності живлення застосовна як до змінного, і до постійного струму. Необхідно правильно підібрати типорозмір мідних шин, щоб забезпечити низьке падіння напруги постійного струму.

У табл. 1 наведено залежності ширини доріжок від струму для друкованих плат [5]. Якщо при проектуванні друкованої плати не враховано аспект цілісності живлення, напруга на шині може виглядати так, як показано на рис. 11. Наприклад, при багаторазовій комутації логічних ланцюгів на платі, імпульси струму, що протікають колом живлення друкованої плати, збуджують перехідні процеси на шині живлення.

**Таблиця 1. Залежність ширини доріжок друкованої плати від струму**

Струм, А	Ширина доріжки, мм
1	10
2	30
3	50
4	80
5	110
6	150
7	180
8	220
9	260
10	300



**Рис. 11. Перехідні процеси на шині живлення при багаторазовій комутації логічних кіл**

Наведена таблиця залежності ширини доріжок живлення від струму по доріжці відповідає умові, за яких зростання температури складе не більше 10 °C при вазі міді 305 г/м<sup>2</sup>.

Іншим варіантом визначення ширини доріжок шини є використання калькулятора на основі стандартів IPC-2152 або IPC-2221. Також корисно вміти

читати еквівалентні графіки залежності ширини доріжок від струму в стандартах IPC, оскільки відповідна таблиця для друкованих плат не завжди вичерпна.

При значному зростанні температури на платі з великим струмом можлива зміна електричних властивостей підкладки. Під впливом тепла електричні та механічні властивості підкладки змінюються, а якщо воно тривале, плата втрачає колір та легко ламається.

Саме тому слід вибирати такі розміри доріжок, щоб зростання температур не перевищувало 10 °С. Це також робиться для того, щоб плата витримувала не просто конкретну робочу температуру, а широкий діапазон температур навколишнього середовища [5].

У таблиці не враховано два важливі моменти:

1) Товщину доріжок при іншій вазі міді. Товщина доріжок повинна розраховуватись залежно від ваги міді плати. Плати, що працюють при значних струмах, часто вимагають більшої маси міді, ніж 305 г/м<sup>2</sup>.

2) Можливість використання альтернативних матеріалів плати. Дані у табл. 1 зібрані для підкладки з матеріалу FR-4, що охоплює широкий спектр плат, які надсилаються на виробництво. Однак для більш складних випадків може знадобитися друкована плата з алюмінієвою підкладкою, керамічною підкладкою або вдосконаленим ламінатом для високошвидкісних пристроїв з альтернативною смоляною системою.

Якщо підкладка має підвищену теплопровідність, то температура доріжок буде нижчою, оскільки від них відводиться більше тепла. У наближенні першого порядку зростання температури залежатиме від відношення теплопровідності бажаного матеріалу підкладки до теплопровідності FR-4.

Підкладки з різними значеннями СТЕ можуть мати дефекти, викликані розширенням з різною швидкістю або нестабільністю діелектричної проникності підкладок. У той час як компоненти, такі як кремнієві чіпи пам'яті можуть мати низький СТЕ, ламінати зі скловолокна мають високий СТЕ. Різниця в швидкостях розширення може призвести до розтріскування паяних з'єднань або пошкодження компонентів.

19. Після завершення трасування у всіх шарах необхідно заповнити порожні місця мідною заливкою, з'єднаною із землею, розмістивши перехідні отвори, з'єднані з шаром землі, на відстані  $\lambda/20$  см один від одного.

## Вибір матеріалу друкованої плати

Необхідно розуміти теплові, електричні, хімічні та механічні властивості матеріалу підкладки. Вибір матеріалу підкладки впливає на стабільність роботи плати. Наприклад, знання СТЕ (температурний коефіцієнт розширення) матеріалів підкладки стає першочерговим завданням, оскільки можуть виникнути проблеми, якщо два матеріали підкладки (або навіть підкладка та компоненти) на одній і тій же друкованій платі мають невідповідність СТЕ.

### Властивості матеріалів друкованих плат

#### Термостійкість

Термічна стабільність має вирішальне значення для друкованих плат, особливо в потужних та високошвидкісних додатках. Матеріали з високою термостійкістю запобігають деформації та зберігають працездатність при підвищених температурах, забезпечуючи довговічність та надійність друкованої плати.

#### Міцність електричної ізоляції

Хороша електрична ізоляція необхідна для запобігання коротким замиканням та підтримці цілісності сигналу на платі. Ця властивість особливо важлива при щільному компонуванні друкованих плат.

#### Механічна міцність

Матеріали друкованих плат повинні мати достатню механічну міцність, щоб підтримувати компоненти та витримувати навантаження під час складання та використання. Це дуже важливо для того, щоб плата не тріснула і не зламалася під навантаженням.

#### Параметри діелектрика

Діелектрична проникність та тангенс кута втрат матеріалів друкованих плат впливають на передачу сигналу, особливо у високочастотних додатках. Матеріали з низькими значеннями діелектричної проникності  $D_k$  забезпечують малий час запізнення сигналів, а малі значення тангенсу кута втрат  $D_f$ , що визначає рівень втрат у діелектрику, забезпечують мале згасання сигналу при розповсюдженні сигналів по платі.

#### Поглинання вологи

Поглинання вологи може призвести до погіршення електричних властивостей та надійності. Матеріали з низьким вологопоглинанням краще використовувати в умовах підвищеної вологості.

#### Хімічна стійкість

Стійкість до хімічних речовин, включаючи розчинники, що використовуються у процесах виробництва та очищення, важлива для підтримки цілісності друкованої плати протягом усього її життєвого

циклу.

### Теплове розширення

Коефіцієнт теплового розширення (СТЕ) повинен точно відповідати коефіцієнту теплового розширення компонентів, встановлених на платі, щоб уникнути напруги та потенційного пошкодження через зміни температури.

### Питання вартості та виробництва

Вибір матеріалу також впливає на вартість та простоту виробництва друкованих плат. Для забезпечення економічного та ефективного виробництва необхідно враховувати такі фактори, як оброблюваність, доступність та сумісність із виробничими процесами.

## Типи матеріалів друкованих плат

**FR-4** – найпоширеніший матеріал, який використовується в друкованих платах. Він став переважним матеріалом для друкованих плат через оптимальне поєднання доступної ціни, надійності та простоти виготовлення. Він складається з тканого скловолокна, просоченого епоксидною смолою та армованого вогнестійким матеріалом.

Друковані плати FR4 забезпечують ефективну електричну ізоляцію, вологостійкість та структурну міцність, зберігаючи при цьому функціональну стабільність при високих та низьких температурах та забезпечуючи економічну ефективність.

Його температура склування (TG) становить від 115 до 200 °C залежно від методів виробництва та використовуваних смол. Стандартний FR-4 з термостійкістю 130...150 °C, а TG FR-4 має температуру склування близько 180 °C.

FR-4 використовується бром, так званий галогеновий хімічний елемент, стійкий до займання. Ця універсальність робить FR-4 підходящим вибором для друкованих плат у різних виробках, включаючи побутову електроніку, телекомунікаційні пристрої та промислове обладнання.

Однак FR-4 не є ідеальним для гнучких високочастотних друкованих плат. Для таких плат слід використовувати поліамід.

**CEM-3**, як і FR-4, виготовлений із тканого скловолокна, просоченого епоксидною смолою. Це надає йому багато тих же властивостей, що і FR-4: відмінна електроізоляція, механічна міцність і термічна стабільність. Але CEM-3 відрізняється тим, що він трохи дешевше за FR-4. У пристроях з невисокою продуктивністю можна використовувати CEM-3 замість більш дорогого FR-4. Баланс характеристик та

помірна ціна роблять CEM-3 надійним базовим матеріалом для багатьох видів електроніки.

Поліамід – універсальний полімерний матеріал, що ідеально підходить для друкованих плат, що працюють у складних умовах експлуатації. Висока температурна стабільність поліаміду, механічна гнучкість та хімічна стійкість дозволяють йому зберігати цілісність та функціональність навіть при високих температурах та агресивному хімічному середовищі. Тому поліамід найбільш підходящий матеріал для критично важливої електроніки в багатьох галузях промисловості, включаючи аерокосмічну, автомобільну та військову.

**Політетрафторетилен (ПТФЕ)**, широко відомий під торговою маркою Тефлон, використовується для виготовлення високочастотних друкованих плат. Він характеризується низькою діелектричною проникністю та низькими втратами, що робить його ідеальним для радіочастотних та мікрохвильових застосувань.

Він також має високу термічну стабільність завдяки високій температурі склування. Друковані плати з тефлоном зберігають свою структуру та працездатність навіть за впливу високих температур. На додачу до всього, цей матеріал друкованої плати має високу хімічну стійкість. Однак він дорожчий і складніший у роботі порівняно з FR-4.

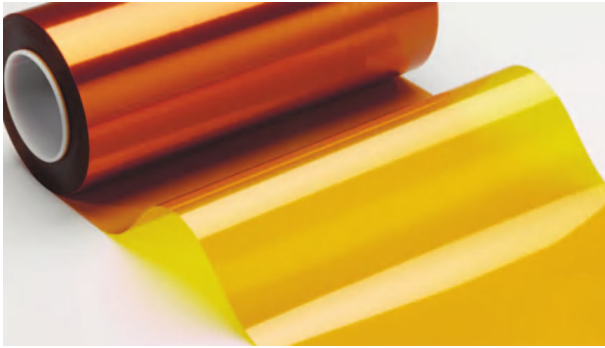
**Друковані плати з металеву основою (MCPCB)** та металевим покриттям, зазвичай виготовлені з алюмінієвими або мідними основами, використовуються через гарне розсіювання тепла. Вони найкраще підходять для застосування в системах з високою потужністю, таких як світлодіодне освітлення та автомобільні системи, де керування температурним режимом має вирішальне значення.

**У гнучких друкованих платах** використовуються такі матеріали, як поліамідна або поліефірна плівка, які дозволяють платі згинатися та розгинатися (рис. 12). Вони використовуються в додатках, де простір є обмеженням або де друкована плата повинна відповідати певній формі, наприклад, в електроніці, що носить.

### Матеріали Rogers Corporation

Компанія Rogers Corporation є одним з провідних постачальників матеріалів для друкованих плат. Популярні матеріали серій RO3000 та RO4000 підходять для виготовлення високочастотних друкованих плат, що працюють за високої температури навколишнього середовища. Ламінати Rogers Xtreme-Speed RO1200 є матеріалами з низькою діелектричною постійною і низькими втратами, розроблені з





**Рис. 12. Поліамідна плівка для гнучких друкованих плат**

урахуванням унікальних електричних, термічних і механічних вимог високошвидкісних конструкцій [7].

Основні характеристики ламінату:

- максимальний коефіцієнт розсіювання 0.0017 (ламінат) та 0.0012 (склеєний шар) при частоті 10 ГГц
  - низький СТЕ, температура розкладання (Td) 500 °C TGA
  - армований скловолокном, для підвищення жорсткості
  - неармований сполучний шар забезпечує найкращі у своєму класі електричні характеристики.
- Переваги ламінатів серії RO1200:
- визначна цілісність сигналу (SI – Signal Integrity)
  - високі термічні/механічні характеристики
  - сумісність із безсвинцевими процесами
  - малі спотворення сигналів
  - найкраще підходить для структур з великою кількістю шарів.

Матеріали Rogers забезпечують спеціальні властивості, необхідні для таких додатків, як радіолокаційні системи, бурове обладнання та аерокосмічна авіоніка, де продуктивність має вирішальне значення.

Діапазон робочих частот до 20 ГГц. Діапазон робочих температур від -55 до 288 °C. Компанія Rogers виготовляє найкращі матеріали для друкованих плат систем критично важливого призначення. У табл. 2 наведено порівняльні характеристики різних матеріалів підкладки для друкованих плат.

**Вибір відповідного матеріалу друкованої плати**

Вибір відповідного матеріалу друкованої плати є важливим рішенням у процесі проектування та виробництва. Це може вплинути на продуктивність, довговічність, вартість та навіть успіх кінцевого продукту. Ось кілька основних моментів, на які слід звернути увагу.

Необхідно оцінити діапазон частот та середовище, в якому працюватиме друкована плата. Для високочастотних додатків можуть знадобитися такі матеріали, як ПТФЕ або поліамід, через їх низькі діелектричні втрати, а для додатків з високою потужністю слід використовувати друковані плати з металевою основою для кращого розсіювання тепла.

**Аналіз температурних вимог**

Необхідно оцінити вимоги до робочих температур плати. Для застосування, пов'язаного з високими температурами, рекомендуються матеріали з високими температурами склування та термічною

**Таблиця 2. Порівняльні характеристики матеріалів виготовлення друкованих плат**

Матеріал	FR-4	СЕМ-3	Тефлон	Роджерс	Метал	Поліамід
Діелектрична постійна	~4,4	~4,5...4.9	~2,1	~2,5...10.2	Змінна	~3,4...3.5
Температурна стабільність	Гарна	Помірна	Висока	Висока	Змінна	Гарна
Коефіцієнт розсіювання	Низький	Помірний	Дуже низький	Низький	Низький	Низький
Вартість	Низька	Низька	Висока	Висока	Від помірної до високої	Помірна
Механічна гнучкість	Обмежена	Обмежена	Гарна	Обмежена	Обмежена	Висока
Обробка	Стандарт	Стандарт	Спеціалізована	Спеціалізована	Обмежена	Стандарт

стабільністю, такі як FR-4 з високим вмістом TG або поліамід.

#### Врахування механічних навантажень

Якщо друкowana плата буде піддаватися вібрації або вигину, необхідно вибирати матеріали, що забезпечують необхідну механічну міцність і гнучкість, наприклад, гнучкі або жорстко-гнучкі матеріали.

#### Технологічність та доступність

Необхідно врахувати технологічність матеріалу. Деякі сучасні матеріали можуть вимагати спеціалізованих виробничих процесів або мати обмежену доступність, що може вплинути на терміни виробництва та витрати. Нприклад, плати з тефлону потребують механічної обробки (рис. 13).

#### Відповідність екологічним нормам

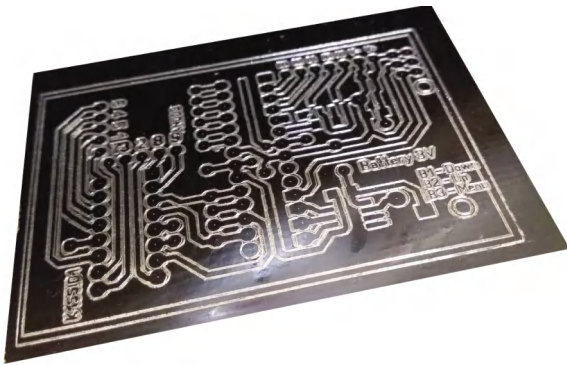


Рис. 13. Плата з тефлону

Переконайтеся, що матеріал плати відповідає екологічним нормам, таким як RoHS або REACH, особливо якщо продукція буде продаватися по всьому світу.

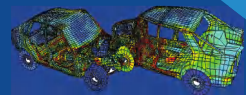
#### ЛІТЕРАТУРА

1. ru.venture-mfg.com/%D0%B2%D1%8B%D1%81%D0%BE%D0%BA%D0%BE%D1%87%D0%B0%D1%81%D1%82%D...
2. Basic Concepts of Designing an RF PCB Board. / <https://www.eeweb.com/basic-concepts-of-designing-an-rf-pcb-board/>
3. <https://www.edn.com/pcb-signal-coupling-can-be-a-problem/>
4. Полное руководство по обеспечению целостности питания печатных плат от платы до корпуса. / <https://resources.altium.com/ru/p/pcb-power-integrity>
5. <https://resources.altium.com/ru/p/pcb-trace-width-vs-current-table-high-voltage-design>
6. PCB Material Selection: How Substrate Properties Impact PCB Performance. / <https://resources.altium.com/p/pcb-material-selection-how-substrate-properties-impact-pcb-performance>
7. <https://rogerscorp.com/advanced-electronics-solutions/xtremespeed-ro1200-laminates>

## 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 °С
- система аналізу суттєво нелінійних швидкоплинних процесів

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

**VD MAIS – офіційний дистриб'ютор компанії Dytran в Україні**

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

**DYTRAN**  
INSTRUMENTS, INC.  
www.dytran.com

# ПРОГРАМА МОДЕЛЮВАННЯ АНАЛОГОВИХ ТА ЦИФРОВИХ ПРИСТРОЇВ QSPICE, частина 1

## QSPICE IS A FREE PROGRAM FOR SIMULATING ANALOG AND DIGITAL DEVICES, part 1

У статті наведена коротка інформація про безкоштовну програму моделювання аналогових та цифрових пристроїв QSPICE від компанії Qorvo. Показані особливості налаштування та роботи з програмою.

*Abstract* – The article provides brief information about QSPICE, a free analog and digital device simulation program from Qorvo. Features of setting up and working with the program are shown.

*V. Макаренко*

*V. Makarenko*

У міру внесення нових удосконалень і випуску ітерацій програмне забезпечення загального користування набуло популярності серед інженерів-проектувальників. Сьогодні програми SPICE, включаючи численні комерційні та похідні з відкритим кодом, такі як LTSPICE, PSPICE та NGSPICE набули поширення серед розробників електронної апаратури. А тепер доступна ще швидша, надійніша, безкоштовна версія симулятор Qorvo QSPICE™ для аналізу і моделювання радіочастотних і силових кіл. Розробником програми, як і LTSpice, є Майк Енгельхардт.

Чим QSPICE від Qorvo відрізняється від інших? QSPICE було створено з нуля. Переписаний код SPICE щоб включити кращі властивості SPICE. Однією з ключових відмінностей є те, що він пропонує моделювання змішаних сигналів. Він підтримує величезну кількість цифрових схем – найважливіше досягнення для симуляторів SPICE. Включення цифрових технологій було здійснено з урахуванням інженерів-енергетиків, щоб надати їм можливість імітувати схеми та системи, які поєднують швидкодію і роботу з пристроями з високим рівнем потужності.

Крім того, користувачі можуть писати вихідний код C++ або Verilog у власний об'єктний код, що забезпечує швидше та ефективніше виконання симуляції, потенційно дозволяючи виконувати більші та складніші симуляції в розумні часові рамки.

У минулому розробники потужної електроніки поклалися на аналогові схеми та кремнієві перемикачі живлення. Сьогодні цифрове керування та складні напівпровідники є звичайними елементами передових енергетичних конструкцій. Незалежно від того, чи розробляє інженер алгоритми штучного інтелекту для заряджання батареї електромобілів, оптимізує джерело живлення або оцінює найновіші польові транзистори з карбиду кремнію, QSPICE є

ідеальною платформою для їхніх інновацій.

Вдосконалення внесені в QSPICE сприяють збільшенню швидкості та точності моделювання. Одним з них є усунення розривів BAX пристрою, що дозволяє швидше моделювати. А щоб підвищити точність, у програму включені детальні моделі транзисторів для кращого моделювання на рівні транзисторів, а також повністю оновлений адаптивний контроль за часом.

Програмне забезпечення містить кілька виконуваних програм, які обробляють отримання шаблонів, моделювання, відображення форми сигналу – усі вони запускаються локально. Основна програма, QUX.exe, за потреби викликає інші виконувані файли. Вона працює на ПК з Windows із прискорювачами GPU для високоякісної графіки в реальному часі. Вона також може бути запущений у захищеному просторі – захід безпеки, який використовується для ізоляції комп'ютера або мережі користувача від зовнішніх з'єднань, зокрема від Інтернету чи інших потенційно ненадійних мереж, щоб запобігти несанкціонованому доступу. Це дозволяє використовувати в дуже чутливих середовищах, таких як військові, державні, фінансові установи, дослідницькі лабораторії та певні промислові системи управління.

Програма не має штучних обмежень щодо розміру чи складності схеми, а також обмежень щодо імпорту, експорту чи вимірювання. Єдиним обмеженням є потужність комп'ютера користувача.

Програма містить моделі продуктів компанії Qorvo з карбиду кремнію (SiC) і багату інших продуктів для енергетики, склад яких постійно оновлюється. Моделі для нових рішень керування живленням Qorvo будуть включені в оновлення QSPICE, що полегшить клієнтам оцінку та проектування з Qorvo power.

Оновлення запропоновані користувачам QSPICE після запуску програми. Користувачі також можуть створювати власні моделі та інтегрувати їх у програмне забезпечення, а моделі сторонніх виробників можна легко імпортувати.

QSPICE доступний виключно від Qorvo. Щоб завантажити його, потрібно зареєструватись, викори-

стовуючи дійсну адресу електронної пошти [2].

При запуску програми відкривається основне вікно (рис. 1).

У лівій частині вікна у згорнутому вигляді показаний перелік бібліотек QSPICE, що налічують велику кількість компонентів. На рис. 2 і 3 наведений склад бібліотек програми.

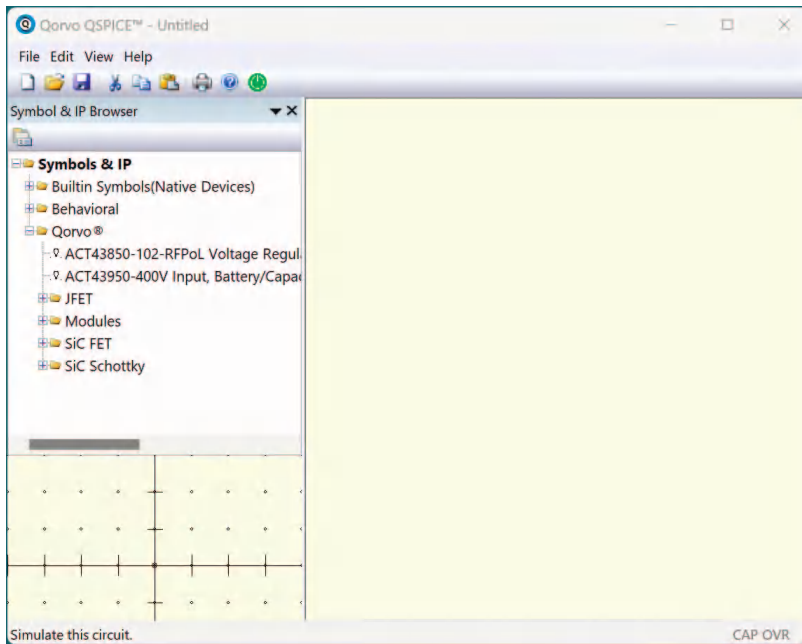


Рис. 1. Основне вікно програми QSPICE

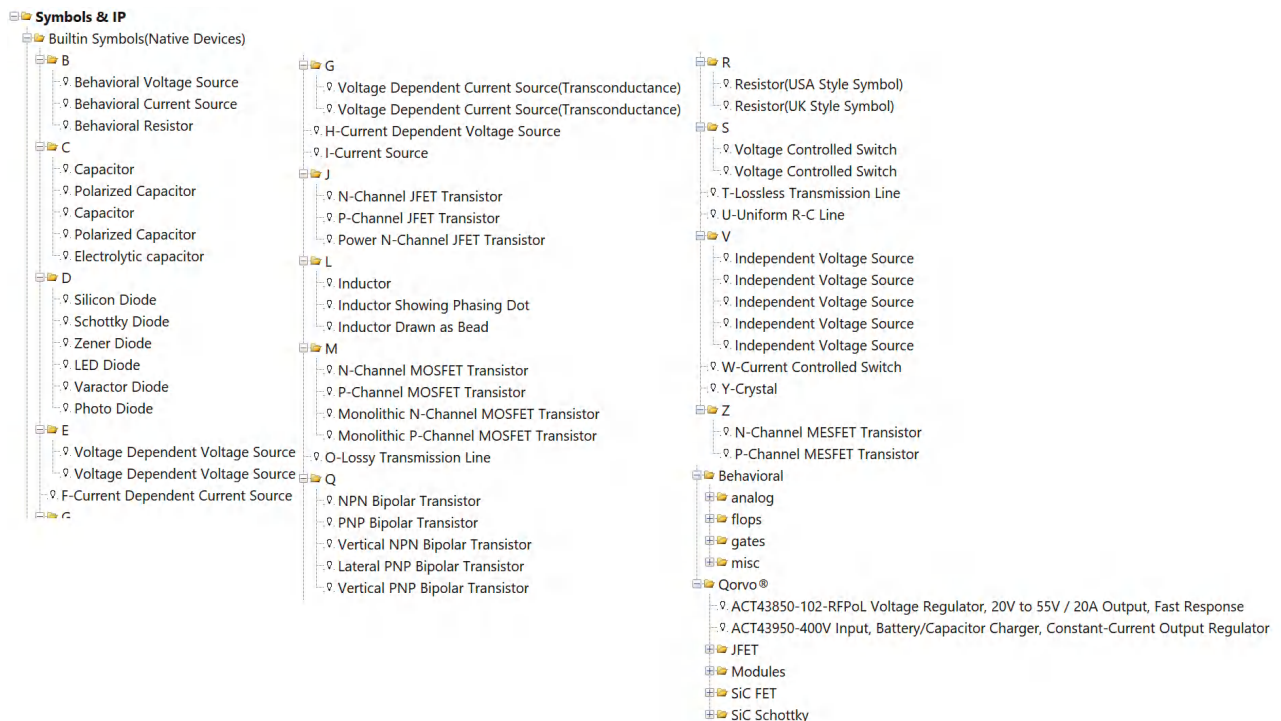
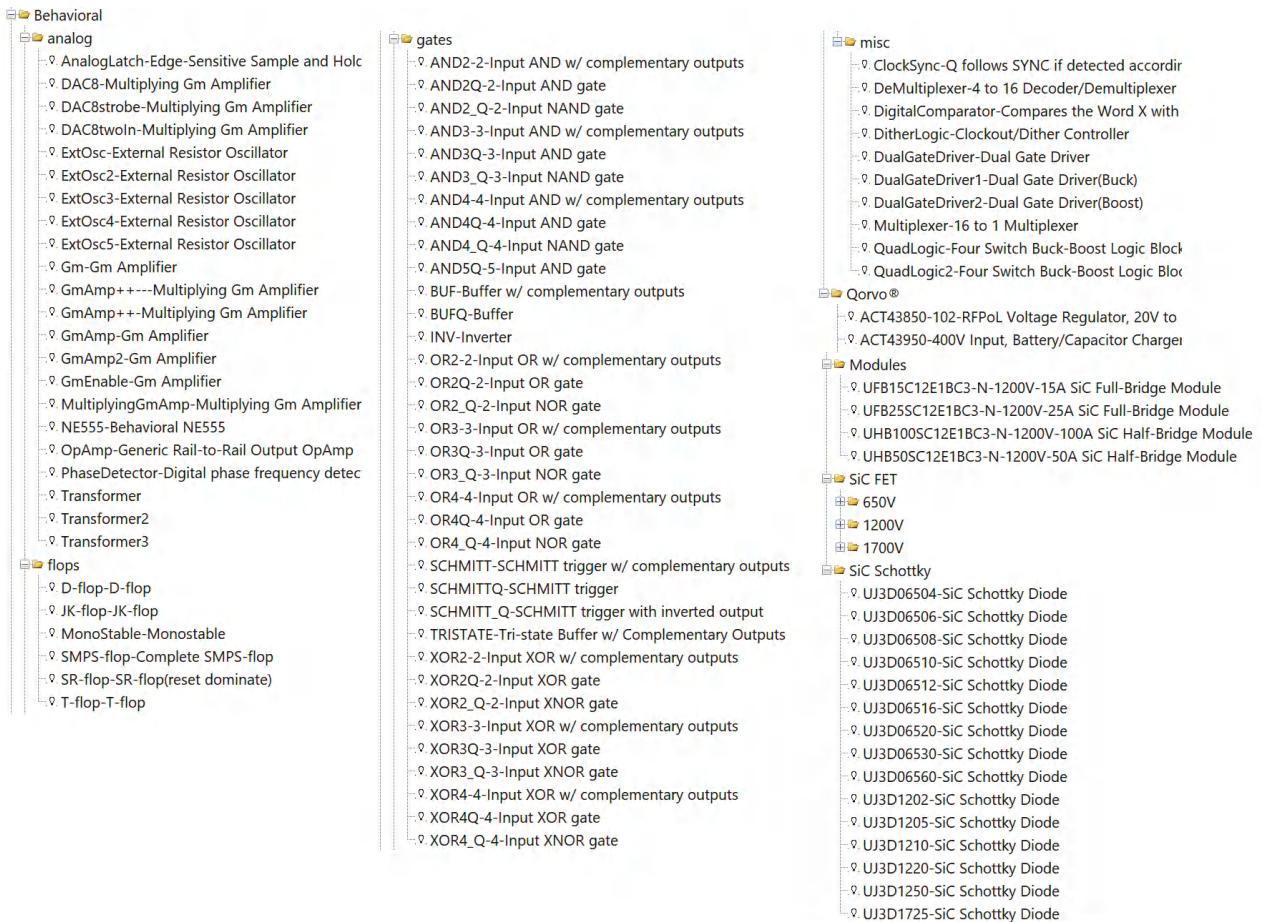


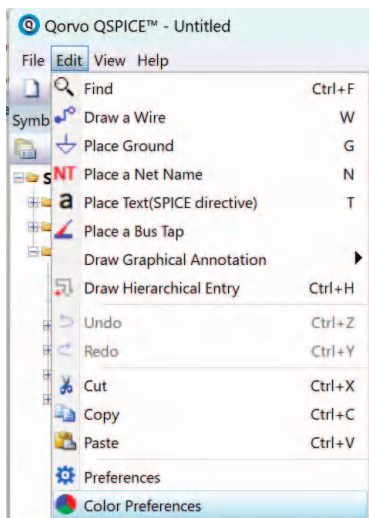
Рис. 2. Склад бібліотек QSPICE





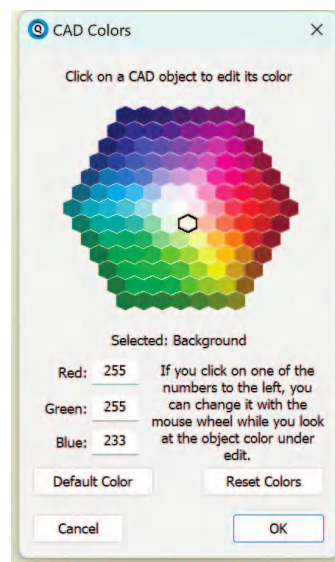
**Рис. 3. Склад бібліотек QSPICE**

Всі компоненти у програмі відображаються у стандарті ANSI (American National Standards Institute). Для налаштування кольору інтерфейсу потрібно у меню Edit обрати пункт Color Preferences (рис. 4).



**Рис. 4. Вибір меню налаштування кольорів інтерфейсу**

Після відкриття пункту Color Preferences можна задати колір основи (Background) робочого аркушу, як показано на рис. 5.



**Рис. 5. Вибір кольору основи робочого аркушу**

Колір відображення графіків налаштовується окремо для кожного елемента і буде розглянуто пізніше.

Для розміщення на схемі ліній зв'язку необхідно натиснути клавішу *w* або *W* у англійській розкладці клавіатури. Для розміщення загального – *g* або *G*, *t* або *T* – для розміщення тексту. Клавіши виклику елементів схеми наведені на рис. 4. Треба звернути увагу на те, що **при вводі тексту кирилиця не підтримується**. Для копіювання і вставки використовуються стандартні комбінації клавіш *Ctrl + C*, *Ctrl + V*. А от для видалення елемента схеми потрібно використати комбінацію *Ctrl + X*.

Для розміщення елементів треба звернутися до потрібної бібліотеки у лівому вікні програми і обрати компонент. Наприклад, на рис. 6 показано вибір кремнієвого діода з бібліотеки *D/Silicon Diode*. Після вибору елемента він розміщується у нижній частині лівої частині вікна програми (рис. 6).

Після вибору елемента стає доступним контекстне меню цього елемента (рис. 7). Для виклику контекстного меню потрібно розмістити курсор на зображенні елемента і натиснути праву кнопку миші.

Як впливає з рис. 7 можна розмістити елемент на робочому аркуші (*Place on Schematic*), скопіювати у буфер обміну (*Copy to Clipboard*), відкрити елемент для редагування (*Open a Copy & Edit*) або повернутися у вікно вибору елементів (*Show in Tree*).

Покажемо можливості редагування елементів на прикладі діода. На рис. 8 наведено вікно редагування

зображення діода яке відкривається після вибору пункту меню *Open a Copy & Edit*.

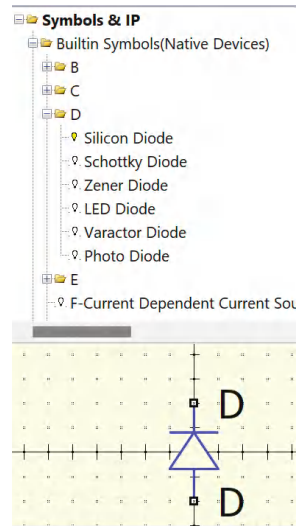


Рис. 6. Вибір кремнієвого діода для розміщення на схемі

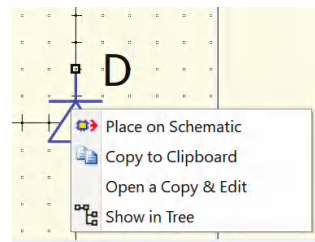


Рис. 7. Контекстне меню для роботи з компонентом

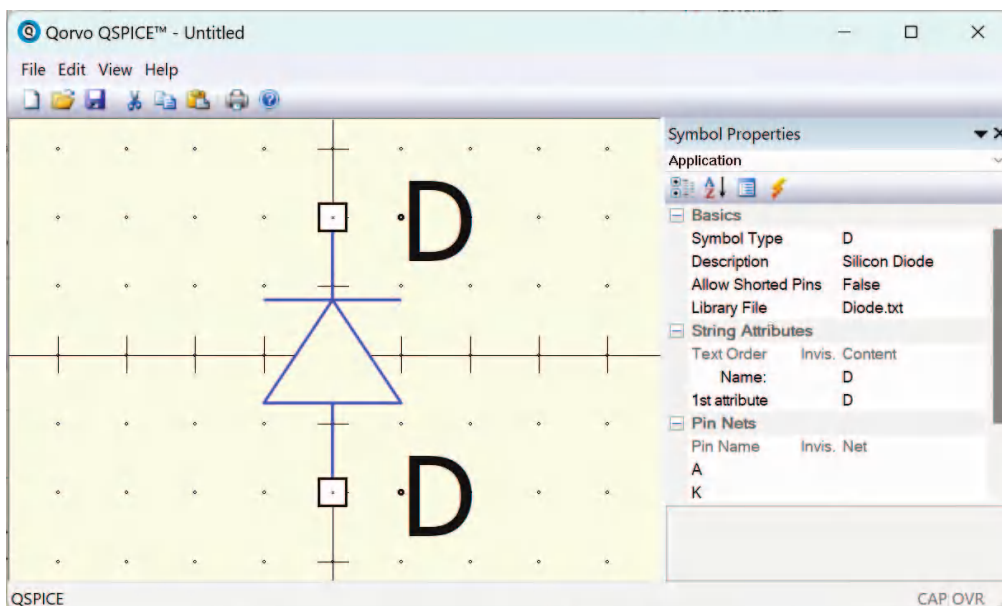


Рис. 8. Вікно редагування зображення діода

Якщо розмістити курсор на вільному полі редактора символів і натиснути праву кнопку миші то відкривається контекстне меню (рис. 9), у якому можна обрати елемент для створення графічних елементів.

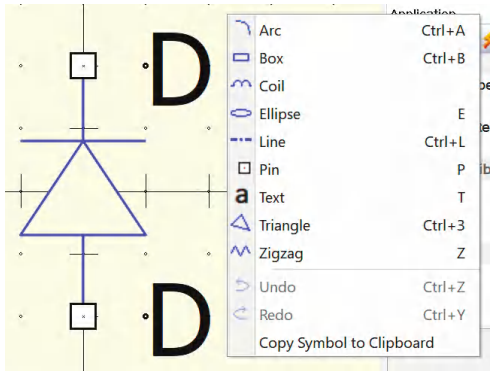


Рис. 9. Контекстне меню редактора QSPICE

Якщо ж розмістити курсор на зображенні елемента і натиснути праву кнопку миші, то випадає зовсім інше контекстне меню (рис. 10).

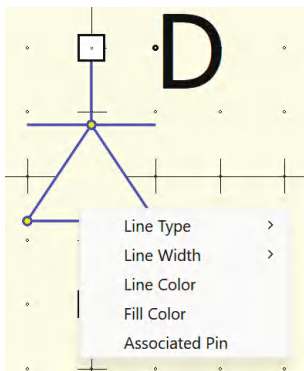


Рис. 10. Контекстне меню редагування елемента

У випадку з діодом достатньо обрати пункт Fill Color та обрати у вікні що відкривається пункт Not Filled (рис. 11). Результат цієї дії наведений на рис. 12. Тіло діода стає прозорим і залишається продовжити лінію зв'язку верхнього або нижнього виводу до з'єднання з протилежним виводом.

Після завершення редагування треба зберегти нове зображення елемента. Для збереження пропонується папка c:\Users\User\Documents\QSPICE\ (по замовчанню). Збережемо відредаговане зображення діоду у файлі diode.qsym (рис. 13). Звісно, папку для збереження можна обрати і іншу, оскільки відредагований елемент не підключається автоматично до існуючої бібліотеки.

Для того, щоб на схемі використати нове позначення елемента, доведеться його завантажувати

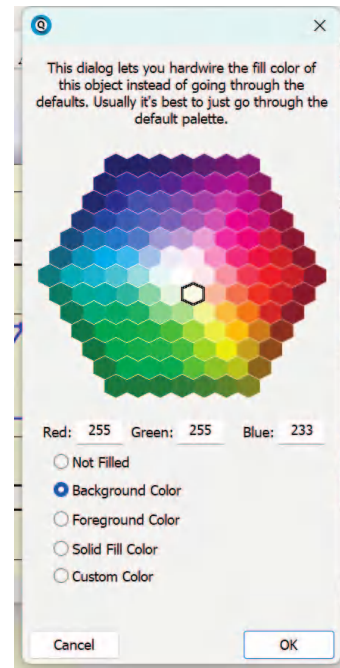


Рис. 11. Вибір кольору заливки тіла елемента

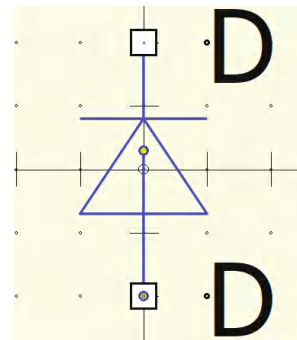


Рис. 12. Продовження лінії зв'язку на рисунку діода

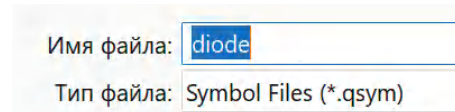


Рис. 13. Збереження відредагованого файлу

окремо із збереженого файлу.

Аналіз бібліотек QSPICE в папці c:\Program Files\QSPICE\Behavioral\ показав, що там відсутні бібліотеки окремих елементів – діодів, резисторів, конденсаторів і т.д. Але присутні бібліотечні елементи що знаходяться у паках c:\Program Files\QSPICE\Behavioral\; analog\, flops\, gates\, misc\.

В бібліотеках flops, gates і misc розташовані цифрові компоненти, а в бібліотеці analog – операційні під-



силовачі, трансформатори та інші елементи. Якщо відредагувати зображення цих елементів, то вони будуть автоматично завантажуватись під час вибору. Однак, треба звернути увагу а те, що при оновленні програми всі компоненти видаляються і тому потрібно зберігати копії відредагованих елементів.

У папці `c:\Program Files\QSPICE\Qorvo\` знаходяться елементи компанії Qorvo які теж можна відредагувати при необхідності.

Після розміщення компоненту на робочому полі необхідно обрати тип компоненту з бібліотеки. Для цього потрібно розташувати курсор на зображенні елемента і натиснути праву кнопку миші. У випадковому меню (рис. 14) обрати пункт Selection Guide і у вікні, що відкривається, обрати потрібний компонент (рис. 15).

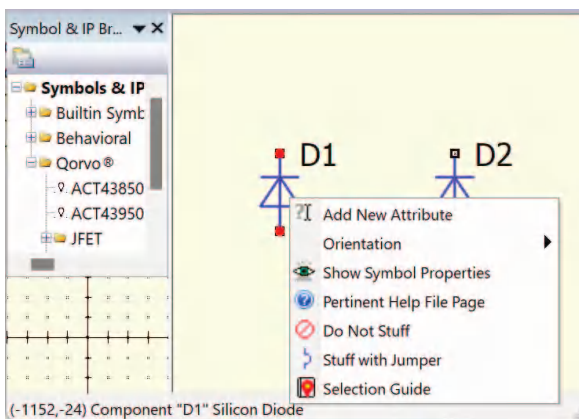


Рис. 14. Контекстне меню параметрів компоненту

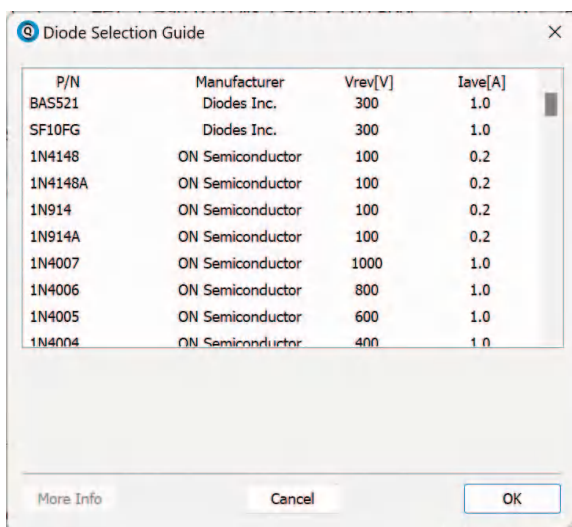
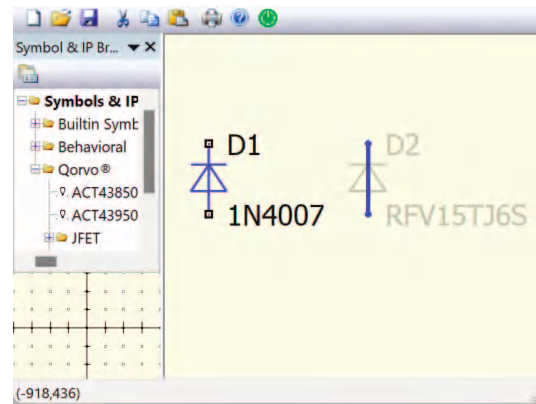
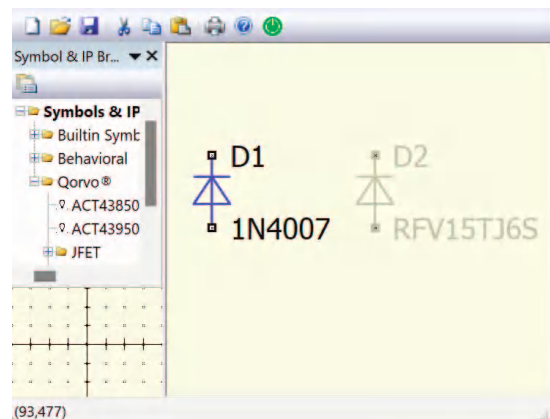


Рис. 15. Вибір типу компоненту з бази даних програми

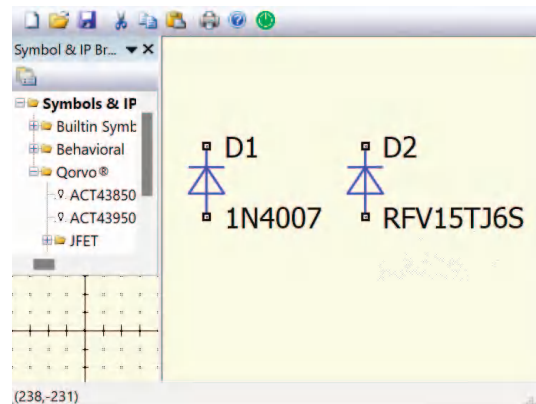
При розташуванні курсора на зображенні компонента і виборі у контекстному меню пункту **Stuff with Jumper** компонент буде закорочено перемичкою (рис. 16,а). Для видалення перемички потрібно обрати пункт **Do not Stuff** (рис. 16,б). Для того, щоб зображення компонента стало знов яскравим, необхідно ще раз виконати процедуру **Do not Stuff** (рис. 16.в).



а)



б)



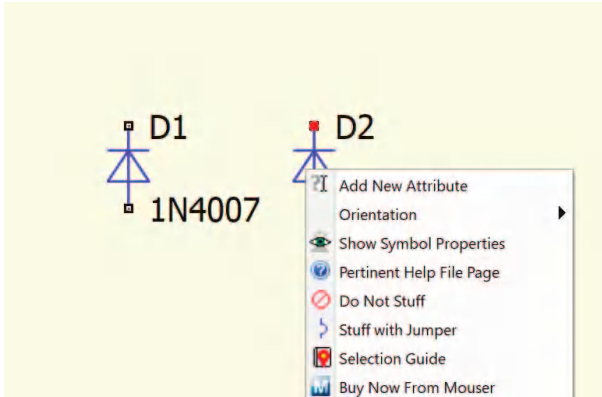
в)

Рис. 16. Реакція програми на вибір пункту меню **Stuff with Jumper** (а), перша реакція на вибір пункту **Do not Stuff** (б) і повторний вибір пункту **Do not Stuff** (в)



Така процедура, закорочування елемента на схемі без його видалення, ні в одній іншій програмі моделювання не існує.

Якщо навести курсор на обраний компонент (наприклад, RFV15TJ6S), то у контекстному меню при натисканні правої кнопки миші з'являється пункт **Buy Now From Mouser** (рис. 17).



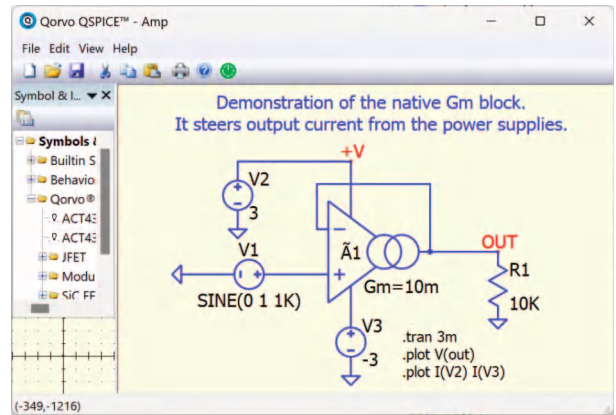
**Рис. 17. Додатковий пункт Buy Now From Mouser у контекстному меню обраного типу компонента**

При виборі пункту **Buy Now From Mouser** відкривається сторінка сайту Mouser Electronics з обраним компонентом (рис. 18).

Це дуже зручна функція яка дозволяє при потребі швидко отримати вичерпну інформацію про обраний

компонент.

Розглянемо роботу з програмою, використовуючи приклади, що знаходяться у папці `c:\Program Files\QSPICE\Examples\`. На рис. 19 наведена модель підсилювача.



**Рис. 19. Модель підсилювача**

На рисунку моделі присутні позначення точок для зручності формування команд моделювання. Це +V та OUT. Створимо ще одну контрольну точку. Для цього на вільному від компонентів місці треба натиснути праву кнопку миші і обрати у випадяючому меню пункт Place a Net Name (рис. 20). Потім розташувати курсор у потрібній точці схеми і натиснути ліву кнопку миші. На проводі з'явиться червона точка і після цього по-

**RFV15TJ6SGC9**

Images are for reference only  
See Product Specifications

[Share](#)

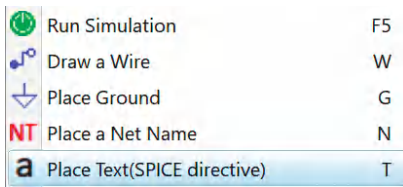
Compare Product

<b>Mouser No:</b>	755-RFV15TJ6SGC9
<b>Mfr. No:</b>	RFV15TJ6SGC9
<b>Mfr.:</b>	ROHM Semiconductor
<b>Customer No:</b>	<input type="text" value="Customer No"/>
<b>Description:</b>	Diodes - General Purpose, Power, Switching Super Fast Recovery Diodes
<b>Datasheet:</b>	<a href="#">RFV15TJ6SGC9 Datasheet</a>
<b>ECAD Model:</b>	PCB Symbol, Footprint & 3D Model
Download the free <a href="#">Library Loader</a> to convert this file for your ECAD Tool. <a href="#">Learn more about the ECAD Model.</a>	
<b>More Information</b>	<a href="#">Learn more about ROHM Semiconductor RFV15TJ6SGC9</a>

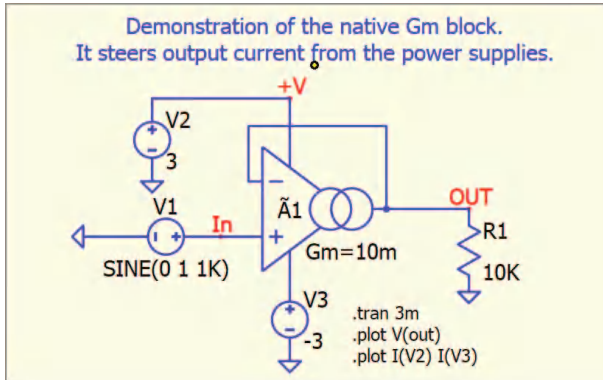
[Add To Project](#) | [Add Notes](#)

**Рис. 18. Сторінка сайту Mouser Electronics з обраним компонентом**

трібно ввести ім'я контрольної точки (рис. 21).

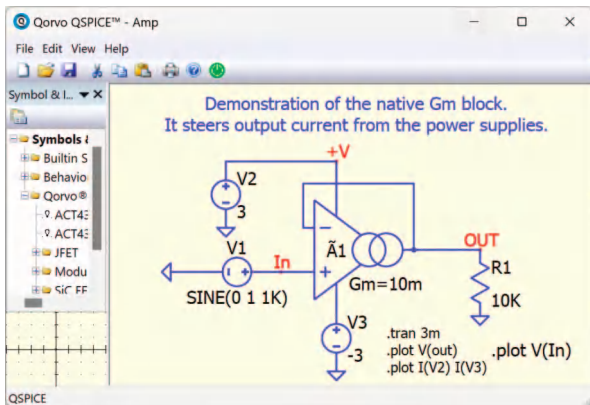


**Рис. 20. Випадаюче меню для створення контрольної точки**



**Рис. 21. Додатково створена на моделі контрольна точка In**

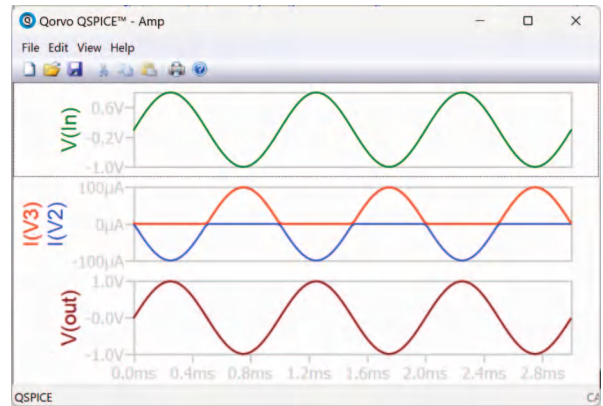
Для аналізу напруги у цій точці треба додати команду `.plot V(In)`. Для розміщення команди потрібно у випадаючому меню (рис. 20) обрати пункт Place Text(Spice directive) або натиснути букву t (рис. 22).



**Рис. 22. Додавання команди аналізу на робочий аркуш моделі**

Для початку моделювання потрібно або натиснути зелений кружечок на панелі інструментів, або обрати у випадаючому меню пункт Run Simulation (рис. 20), або натиснути кнопку F5.

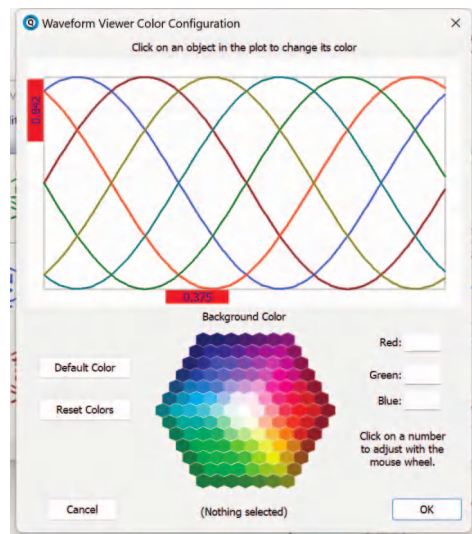
На рис. 23 наведені результати моделювання – відображення напруги і струмів у точках заданих директивами (командами) QSPICE.



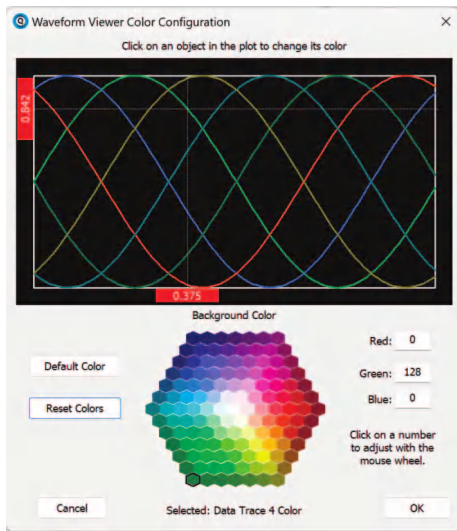
**Рис. 23. Результати аналізу струмів та напруги у моделі підсилювача**

На рис. 23 інтерфейс відображення результатів моделювання світлий і позначки на осях ледве помітні. Налаштувати колір тексту на осях неможливо, а колір всіх інших елементів інтерфейсу можна змінювати. Для налаштування кольору інтерфейсу потрібно у меню Edit обрати пункт Color Preferences (рис. 4). Після вибору цього пункту відкривається вікно корегування кольору (рис. 24). По замовчуванню фон основи (Background) чорний. Для відновлення встановленого по замовчуванню кольору достатньо натиснути кнопку Default Color. Інтерфейс приймає вигляд наведений на рис. 25.

Для зміни кольору графіків необхідно розмістити курсор на потрібній кривій (на рис. 25 це Selected: Data Trace 4 Color у нижній частині вікна. Тобто колір четвертого графіка. Після вибору кольору у палітрі чи вводу значень у віконця для кожного з трьох кольорів необхідно натиснути кнопку Reset Colors. Рзом з кольором кривої змінюється колір напису з назвою кривої.

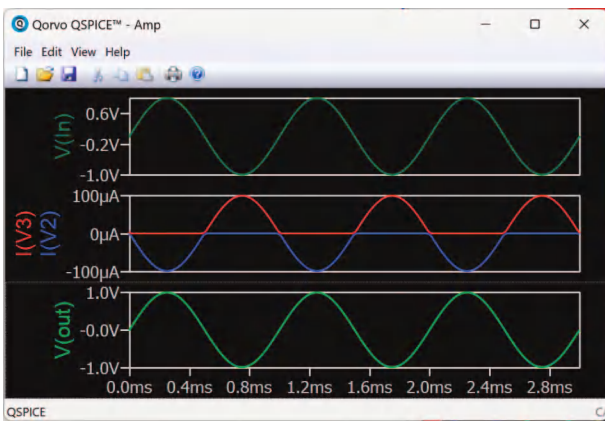


**Рис. 24. Вікно налаштування кольорів вікна виводу графіків**



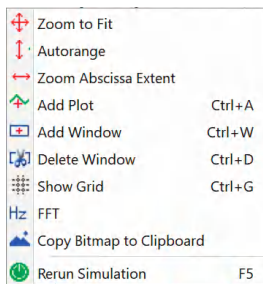
**Рис. 25. Вікно налаштування кольорів вікна виводу графіків після натискання кнопки Default Color**

Вікно виводу графіків після встановлення чорного кольору основи наведено на рис. 26.

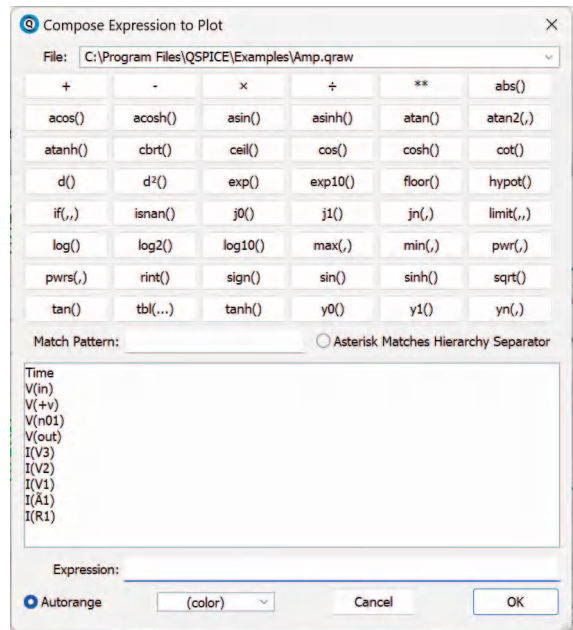


**Рис. 26. Вікно виводу графіків з чорним фоном**

Якщо на вільному полі графіки натиснути праву кнопку миші то відкривається випадаюче меню (рис. 27) у якому можна обрати пункт Add Plot. Відкривається вікно (рис. 28) у якому можна задати математичні операції зі змінними на графіках.

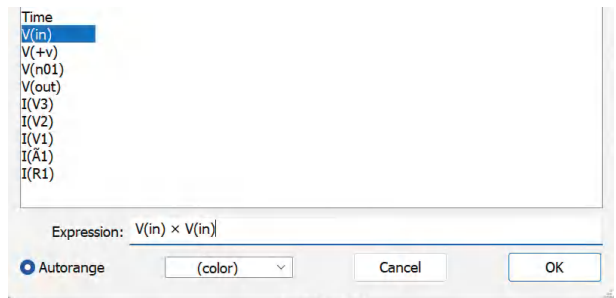


**Рис. 27. Випадаюче меню вікна графіків**



**Рис. 28. Вікно задання математичних операцій над змінними**

Оберемо, наприклад, вхідну напругу і піднесемо її у квадрат. Для цього, скориставшись меню калькулятора і іменами змінних, формуємо командний рядок як показано на рис. 29. Одночасно можна задати колір нового графіка і автоматичний вибір масштабу по вертикалі (Autorange).



**Рис. 29. Формування команди для виконання математичної операції піднесення у квадрат змінної V(in)**

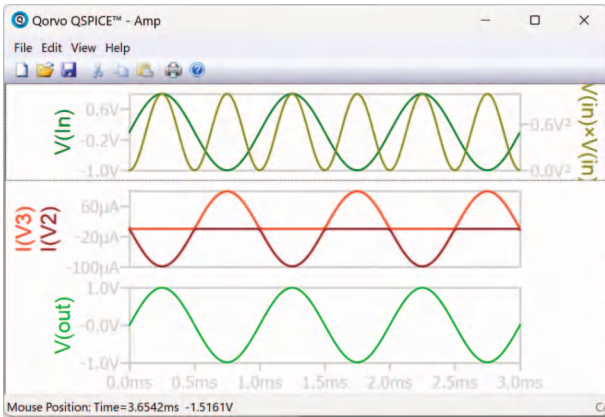
Результат виконання команди наведено на рис. 30. Сигнал подвоєної частоти  $V(in) \times V(in)$  відображено на верхньому графіку разом з сигналом  $V(in)$ .

Результат виконання команди  $\sqrt{V(in) \times V(in)}$  наведено на рис. 31 червоним кольором.

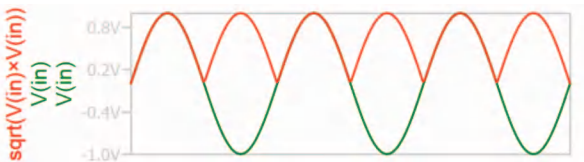
Якщо потрібно відобразити окремо новий графік, то спочатку треба додати нове вікно (Add Window на рис. 27) а потім додати у нього графік (рис. 32).

Якщо обрати аналіз Фур'є (FFT) у меню (рис. 27), то відкривається вікно параметрів аналізу що наведено на рис. 33.

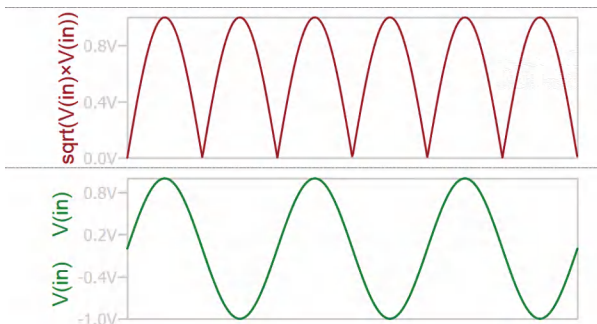




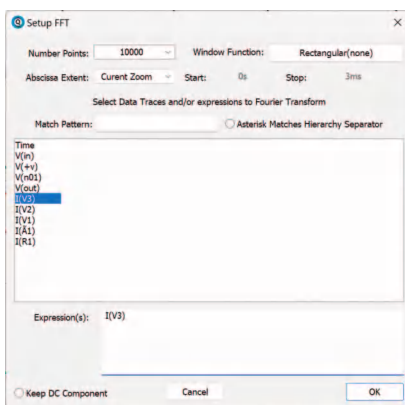
**Рис. 30. Результат виконання команди  $V(in) \times V(in)$  відображено на верхньому графіку разом з  $V(in)$**



**Рис. 31. Результат виконання команди  $\sqrt{V(in) \times V(in)}$  (червона крива)**

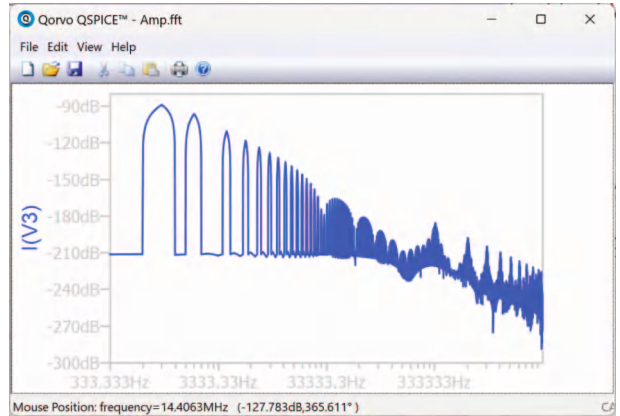


**Рис. 32. Результат виконання команди  $\sqrt{V(in) \times V(in)}$  у новому вікні**



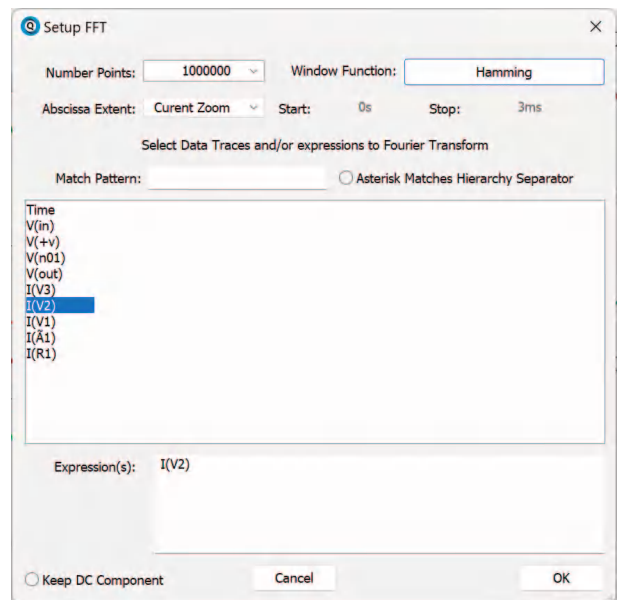
**Рис. 33. Вікно вибору графіку для аналізу спектру та встановлення параметрів перетворення Фур'є**

Для аналізу був обраний струм джерела V3. Віконна функція не задавалась. Результат аналізу наведено на рис. 34.



**Рис. 34. Результат аналізу спектру струму джерела V3**

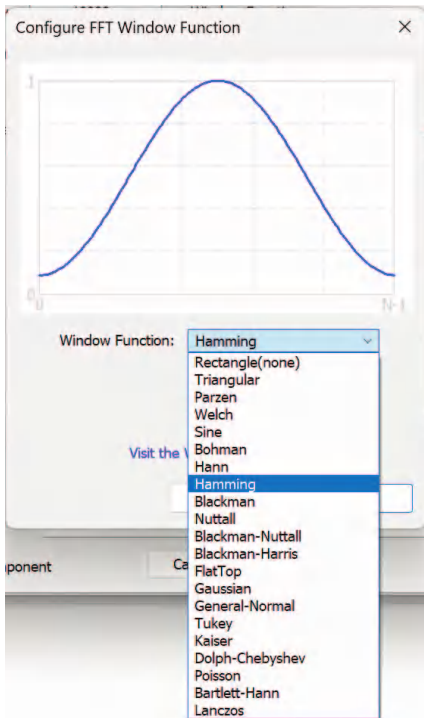
Якщо потрібно задати більшу кількість точок аналізу та віконну функцію спектрального аналізу, то число точок прямо вписується у верхній рядок Number Points (рис. 35). А щоб вибрати віконну функцію потрібно натиснути праву кнопку миші у віконці Window Function і у вікні (рис. 36), що відкривається обрати потрібну функцію.



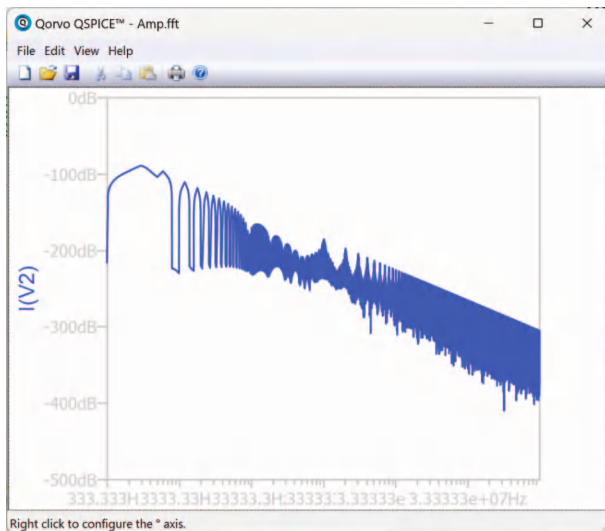
**Рис. 35. Вікно вибору параметрів FFT з вікном Hamming і кількістю точок аналізу 1000000**

Результат вимірювання часу та рівня сигналу виводиться у нижній частині вікна для відображення графіків (рис. 38) у точці де розташований курсор.





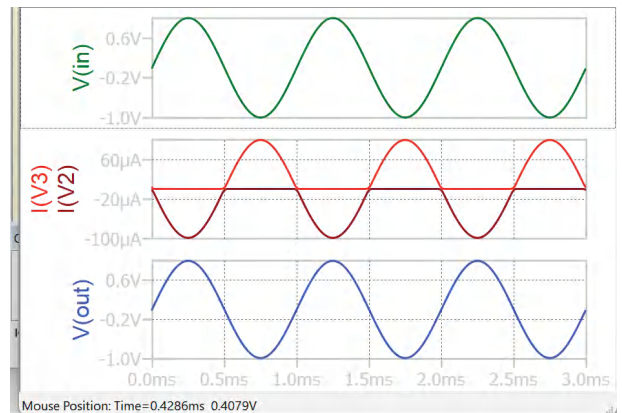
**Рис. 36. Вікно вибору віконної функції спектрального аналізу**



**Рис. 37. Результат спектрального аналізу струму джерела V2 з вікном Hamming**

Для розміщення таких елементів на схемі як джерело вхідної напруги, резистор, конденсатор, котушка індуктивності необхідно натиснути, відповідно, клавіши V, R, C, L у нижньому чи верхньому регістрі (не має значення).

При розміщенні генератора напруги на схемі потрібно знати з якою метою він розміщується. Якщо для аналізу форми сигналу, то його робота повинна описуватись виразом  $\text{sine}(0 \ 1 \ K)$ , де перша цифра в



Положення курсору на осі часу

Рівень сигналу

**Рис. 38. Результат вимірювання часу та рівня сигналу у точці розташування курсору виводиться у нижній частині вікна**

дужках – напруга зміщення, друга – амплітуда сигналу, третя – частота сигналу. Ще більше параметрів можна задати у відповідності з підказкою у меню Help, а саме, **SINE(Voffset Vamp Freq Td Theta Phi Ncycles)**, де:

- SINE – форма сигналу (синусоїда)
- Voffset – постійне зміщення
- Vamp – амплітуда сигналу
- Freq – частота сигналу
- Td – затримка сигналу
- Theta – коефіцієнт демпфування
- Phi – фаза синусоїдального сигналу у градусах
- Ncycles – кількість періодів (пропустіть, якщо не обмежена).

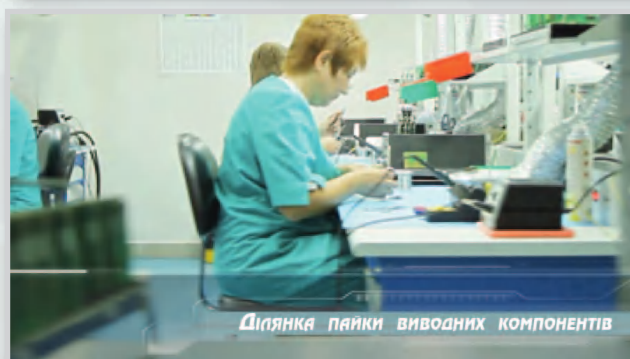
Така підказка є для кожного типу генератора і у ній є посилання на приклад що виводиться на екран у вигляді схеми.

Але якщо потрібно *аналізувати амплітудно-частотну та фазо-частотну характеристики*, то генератор описується виразом **ac 1**, де цифра означає амплітуду сигналу.

Звісно, що в рамках однієї статті описати особливості роботи з багатофункціональною програмою неможливо. Тому розгляд інших можливостей програми проведемо в наступній частині статті.

## ЛІТЕРАТУРА

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



## 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-хвильово 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

# EKIC

ЕЛЕКТРОННІ КОМПОНЕНТИ І СИСТЕМИ

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

## НВФ VD MAIS

### Центральний офіс:

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