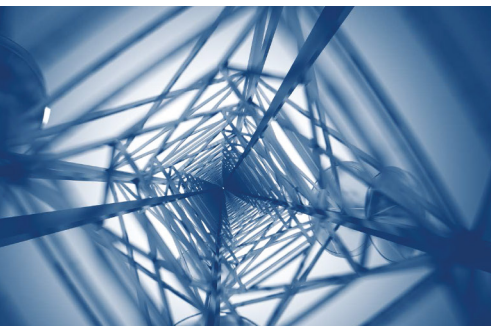


# CHIP NEWS



## AMPLEON



Компанія Ampleon —  
Ваш провідний  
глобальний партнер  
в області  
радіочастотної  
енергетики (RF Power)



Скористайтесь рішеннями RF Power від Ampleon для систем мовлення, промисловості, науки та медицини, аерокосмічної та оборонної промисловості, мобільного широкопasmового доступу тощо

## MASTEK

м. Київ, провулок Радищева, 3, оф. 307  
тел. +38 (044) 451-60-80, моб. +38 (067) 919-51-15

Авторизований дистриб'ютор  
Ampleon в Україні

[info@mastek.com.ua](mailto:info@mastek.com.ua)  
[www.mastek.com.ua](http://www.mastek.com.ua)

- Мережа з Ethernet AVB/TSN ... стор. 8
- Датчики газу серії Gravity ... стор. 12
- Інтелектуальний транспорт ... стор. 14

- Тестування друкованих плат ... стор. 16
- Пристрої зі смарт-з'єднанням ... стор. 19
- Модуль ePack від SEMIKRON ... стор. 38



044 33 44 575  
info@eurocom-c.com  
www.eurocom-c.com



**ПОЄДНУЄМО ВАШІ ІДЕЇ  
З НОВІТНІМИ ТЕХНОЛОГІЯМИ**

№ 04-05 (214-215), 2022 р.

Науково-технічний журнал  
Видається з 2001 р.  
ТОВ «Булавів-Посад л.т.д.»Зареєстрований  
Міністерством юстиції України.  
Свідоцтво про державну реєстрацію  
друкованого засобу масової  
інформації  
Серія КВ № 25055-14995Р  
14.12.2021 р.Головний редактор:  
Сірич О. В.  
E-mail: editor@chipnews.com.uaРедакційна колегія:  
Войналович М. Ю., Крючатов С. Д.,  
Макаренко В. В., Мисак Т. В.,  
Олещенко Н. І., Рентюк В. К.,  
Стецюк Л. В., Чорний В. М.,  
Шаріпова Т. В., Шевченко В. Л.Розповсюдження, передплата  
Руднева О. Ю.  
E-mail: peredplata@chipnews.com.uaАдреса редакції:  
03061, Київ,  
просп. Відрадин, 10  
тел./факс: (044) 490-74-99,  
(044) 490-74-30  
E-mail: info@chipnews.com.ua  
http://www.chipnews.com.uaПередплатний індекс за каталогом  
ДП «Преса» (Укрпошта) — 21934Передплата і доставка по Україні  
за каталогами провідних  
передплатних агентів© «CHIP NEWS».  
Передрук матеріалів, опублікованих  
в журналі «CHIP NEWS», може бути  
здійснений тільки з письмового дозволу  
редакції. За рекламну інформацію  
редакція відповідальності не несе.

## ЗМІСТ

## НОВИНИ

Новини світу електронних компонентів. . . . . 4

## МЕРЕЖІ, СИСТЕМИ, АПАРАТУРА

Френсіс Іельш (Francis Ielsch)  
Переклад та доповнення: Володимир Рентюк  
Чутлива до часу автомобільна мережа з Ethernet AVB . . . . . 8

## ДАТЧИКИ

Датчики газу серії Gravity від DFRobot . . . . . 12

## ТРАНСПОРТ

Розвиток інтелектуального транспорту за допомогою  
штучного інтелекту, 5G та граничних обчислень. . . . . 14

## ДРУКОВАНІ ПЛАТИ

Закарайя Петерсон (Zachariah Peterson)  
Адаптований переклад українською  
та технічне редагування: Олег Бевза  
Тестування друкованих плат:  
найважливіші методи та показники . . . . . 16

## ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНІ КОМПОНЕНТИ

Міхаель Радау (Michael Radau)  
Розумні польові пристрої зі смарт-з'єднанням. . . . . 19Поліпшення функціональних характеристик захищеної  
вимірювальної апаратури під час використання з'єднувачів  
компанії Fischer Connectors. . . . . 22

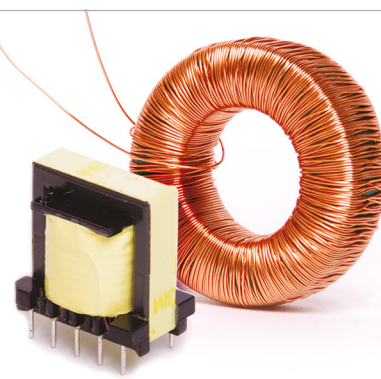
## ВИМІРЮВАЛЬНА ТЕХНІКА

Аналіз сигналів на частотах 110 ГГц та вище.  
Короткі рекомендації щодо застосування . . . . . 25

## МІКРОКОНТРОЛЕРИ

Сергій Волков  
Мікроконтролери сімейства RZ/N компанії Renesas . . . . . 28

www.adc-team.com

ВЛАСНЕ ВИРОБНИЦТВО  
В УКРАЇНІ МОТОЧНИХ ВИРОБІВ  
ЗГІДНО ДОКУМЕНТАЦІЇ  
АБО ЗА ТЕХНІЧНИМ  
ЗАВДАННЯМТОВ «АДС ТІМ»  
Україна, м. Київ  
пров. Радищева, 3, оф. 126тел. +38 044 206 22 52  
моб. +38 067 249 77 58  
+38 050 464 22 52

### ІНЖЕНЕРНА ПРАКТИКА

**FlyFocus розробляє від'єднуваний прив'язний БПЛА для безперервного спостереження за критично важливими об'єктами . . . . . 34**

### СИЛОВА ЕЛЕКТРОНІКА

Андрій Колпаков  
Технічний консультант: Тарас Мисак  
**Модуль eMPack для транспортного приводу XXI століття . . . . . 38**

Франческо ді Доменіко (Francesco Di Domenico)  
Адаптований переклад українською  
та технічне редагування: Андрій Мовчанюк  
**Вибір топології імпульсних силових каскадів . . . . . 46**

Нілс Солтау (Nils Soltau), Екхард Тхал (Eckhard Thal),  
Тору Мацуока (Toru Matsuoka)  
Адаптований переклад українською  
та технічне редагування: Юлія Ямненко  
**Силові SiC-модулі наступного покоління . . . . . 50**

Геннадій Штрапенін  
**SiC-діоди та транзистори від Onsemi — ефективне вирішення задач сигової електроніки . . . . . 56**

Олександр Зейніков  
**Питання безпеки при використанні оптронів та альтернативних ізоляторів для захисту від ураження електричним струмом . . . . . 60**

### ЕЛЕКТРОМАГНІТНА СУМІСНІСТЬ

Кеннет Уайет (Kenneth Wyatt)  
Адаптований переклад українською  
та технічне редагування: Юлія Ямненко  
**П'ять основних причин електромагнітних завад на друкованих платах . . . . . 65**

### НА ДОПОМОГУ РОЗРОБНИКУ

Крістіан Мерц (Christian Merz), Кем Сом (Cem Som)  
Адаптований переклад українською  
та технічне редагування: Андрій Мовчанюк  
**Розробка, аналіз та оптимізація комбінованої системи бездротової передачі енергії на основі NFC . . . . . 72**

### ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЇ

Костянтин Верхулевський  
**Рішення компанії Semtech для бездротової передачі даних . . . . . 77**

### СВІТЛОДІОДИ

Маркус Хофманн (Markus Hofmann)  
Переклад з англійської: Василина Рочева  
**Новий світлодіод для зовнішнього освітлення . . . . . 84**

### СВІТЛОДІОДНЕ ОСВІТЛЕННЯ

Володимир Рентюк  
**TE Connectivity: «розумний» світ починається з «розумного» освітлення . . . . . 88**

### ІННОВАЦІЇ

Дмитро Огоньков,  
Адаптований переклад українською  
та технічне редагування: Юлія Боярінова  
**Машинне навчання — сьогоднішня технологія майбутнього . . . . . 95**

**ВІЗИТКИ . . . . . 98**

**ІНФОРМАЦІЙНА СТОРІНКА . . . . . 104**



# Досягніть мети свого дизайну за допомогою сімейства мікроконтролерів AVR<sup>®</sup> DD MCU

Комплексний набір функцій у поєднанні з великим обсягом пам'яті заповнить прогалини у вашому дизайні

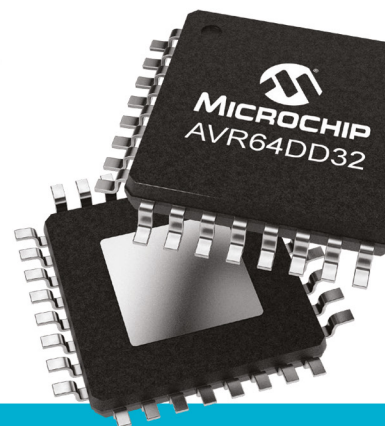
Мікроконтролер AVR<sup>®</sup> DD (MCU) ідеально підходить для функцій керування в режимі реального часу в промисловому управлінні, побутовій техніці, автомобільній промисловості та Інтернеті речей (IoT). Він базується на продуктивності ядра AVR з низьким енергоспоживанням і на кращому в світі виборі периферійних пристроїв, що працюють незалежно від ядра (CIP).

Завдяки комплексному набору функцій, що включає універсальні порти вводу-виводу з підтримкою декількох напруг (MVIO), сімейство мікроконтролерів AVR DD ідеально підходить для складних застосувань або як допоміжний мікроконтролер у складних схемах із кількома доменами живлення.

Почніть проектувати з сімейством мікроконтролерів AVR DD – це дозволить заповнити будь-які прогалини у вашому проєкті.

## Ключові риси сімейства:

- Внутрішній генератор 24 МГц
- До 64 кБ флеш-пам'яті та 8 кБ SRAM
- Широкий вибір варіантів корпусу, від 14 до 32 виводів
- USART, SPI та дворежимний двопровідний інтерфейс TWI (також відомий як I2C)
- Підтримка декількох напруг (MVIO) для виводів порту C
- Різноманітні периферійні пристрої, включаючи виявлення переходу через нуль (Zero-Cross Detector, ZCD), виявлення відмови тактового генератора (Clock Failure Detect, CFD), систему подій (Event System, EVSYS) і алгоритм циклічного надлишкового коду (Cyclic Redundancy Check, CRC)



[microchip.com/AVRDD](http://microchip.com/AVRDD)



Назва та логотип Microchip, логотипи Microchip і AVR є зареєстрованими торговими знаками Microchip Technology Incorporated у США та інших країнах. Усі інші торгові марки є власністю їх зареєстрованих власників.  
© 2022 Microchip Technology Inc. Усі права захищено.  
DS30010242A, MEC2422A-RUS-09-22

# Новини світу електронних компонентів

## НОВА 8-РОЗРЯДНА ПЛАТА РОЗРОБКИ МСУ

Розробники мереж Інтернету речей шукають простий шлях для впровадження безпечного стільникового зв'язку у своїх програмних додатках, але стикаються зі складністю конструкції та високою вартістю розгортання. Щоб запропонувати рішення розробникам для підключення пристроїв IoT до мережі 5G, яким потрібна максимальна гнучкість розташування, низьке енергоспоживання та простота розгортання, компанія **Microchip Technology Inc.** сьогодні анонсувала плату AVR-IoT Cellular Mini Development на основі 8-розрядного мікроконтролера AVR128DB48 (MCU). Це рішення забезпечує надійну платформу для початку створення вузлів датчиків і приводів у вузькосмугових мережах 5G IoT.

Плата розробки AVR-IoT Cellular Mini — це плата малого форм-фактора, що робить її ідеальним рішенням для розробників, які хочуть підключити пристрої IoT до доступної мережі 5G. Це важлива функція для пристроїв, які знаходяться в дорозі або розташованих у віддалених районах з обмеженою доступністю мереж великого радіусу дії (LoRa®) або інших рішень глобальної мережі малого споживання енергії (LPWAN). Клієнти можуть скористатися гнучкістю та простотою дизайну, запропонованими в останньому сімействі 8-розрядних мікроконтролерів AVR128DB48, включаючи захист безпеки за допомогою пристрою Microchip ATECC608 CryptoAuthentication™. Пристрій ATECC608 можна легко налаштувати для більшості основних постачальників м'ярих послуг за допомогою інструменту IoT Provisioning від Microchip.

Плата розробки AVR-IoT Cellular Mini попередньо налаштована для надсилання даних із вбудованих датчиків світла та температури в хмару, яку можна переглядати за допомогою sandbox-порталу Microchip. Sandbox-портал надає клієнтам можливість відстежувати та контролювати свій пристрій у режимі реального часу з віддаленого місця. Ця функціональність по-

криває основні вимоги багатьох застосувань у різних галузях промисловості, включаючи сільське господарство, енергетику, транспортування вантажів, системи сигналізації, автоматизацію будівель і віддалений моніторинг.

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

## ПРОМИСЛОВА МАТЕРИНСЬКА ПЛАТА З ПРОЦЕСОРОМ INTEL CORE 12-ГО ПОКОЛІННЯ ДЛЯ ГРАФІЧНИХ ОБЧИСЛЕНЬ

Компанія **Advantech** випустила AIMB-588, материнську плату Micro ATX з процесорами Intel Core 12-го покоління. AIMB-588 забезпечує розширені можливості обробки графіки через PCIe x16 5-го покоління. Згідно з дослідженнями Intel® PCIe 5-го покоління забезпечує подвоєну пропускну здатність та гігабітну швидкість передачі порівняно з PCIe покоління 4, що дозволяє передавати дані зі швидкістю до 32 Гб/с. Ці можливості дозволяють використовувати високопродуктивні відеокарти (наприклад, RTX3090) для складних завдань обробки, в тому числі розпізнавання об'єктів і облич. Крім того, AIMB-588 підтримує 4 незалежні дисплеї з роздільною здатністю 4K при 60 Гц через 2 порти DisplayPort, 1 порт HDMI і 1 порт EDP для обробки зображень. Інтегруючи найновіший інтерфейс та різноманітні слоти розширення, AIMB-588 оптимізує продуктивність систем медичної візуалізації та машинного зору.

Процесор Intel Core 12-го покоління відрізняється інноваційною гібридною архітектурою з двома ядрами для комплексного керування, що дозволяє AIMB-588 забезпечувати чудові можливості графічних обчислень. AIMB-588 також може похвалитися чудовим графічним виводом з високою роздільною здатністю завдяки конструкції вводу/виводу з високою сумісністю. Він включає 4 порти GbE LAN до 2.5 GbE для захоплення зображень з високою роздільною здатністю і малою затримкою через IP та/або високошвидкіс-

ні камери. Це рішення підтримує до 8 портів USB 3.2 для обробки графічних даних за допомогою різних периферійних пристроїв. Крім того, AIMB-588 підтримує 8 портів SATA III та 6 портів COM (автоматичне керування потоком даних RS-232/422/485) для чудової точності синхронізації даних та скорочення затримок.

За допомогою програмного забезпечення WISE-DeviceOn плата AIMB-588 запобігає збоєм системи. WISE-DeviceOn забезпечує моніторинг обладнання, програмного забезпечення та периферійних пристроїв у режимі реального часу для отримання повідомлень у реальному часі. Ці функції підтримуються бездротовою системою BIOS «over-the-air» (OTA), яка спрощує віддалене оновлення BIOS і надає механізми резервного копіювання, що запобігають перевантаженню та збою завантаження. AIMB-588 також використовує функції увімкнення/вимкнення живлення USB, які запобігають несанкціонованому доступу та перевантаженню USB-пристрій без відключення живлення. Таке поєднання функцій знижує витрати на обслуговування та підвищує ефективність IoT за рахунок випереджувального виявлення та усунювання проблем.

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

## ВИСОКОЕФЕКТИВНІ ТРИФАЗНІ ДЖЕРЕЛА ЖИВЛЕННЯ

Компанія **MEAN WELL** розробила та запустила серійне виробництво нової серії цифрових трифазних трьохпровідних AC/DC-перетворювачів потужністю 10 кВт, з надвисоким ККД до 97% та максимальною потужністю при паралельному включенні до 40 кВт.

Серія SHP-10K складається з чотирьох моделей з вихідною напругою 55 В, 115 В, 230 В і 380 В, які підходять для застосування в таких галузях, як автоматичне промислове обладнання, системи накопичення енергії, обладнання для 5G тощо. Завдяки повністю цифровому дизайну вихідна напруга та струм програмується за допомогою

CANBus, а також, за бажанням, за протоколами зв'язку PMBus або MODBus. Крім того, передбачено різні вбудовані сигнали для моніторингу, такі як DC-OK, сигнал про перегрів, несправність вентилятора чи втрату живлення на вході. Зважаючи на те, що ці джерела живлення часто будуть використовуватись в суворих промислових умовах, діапазон їх робочої температури сягає -30 °C ~ +50 °C в умовах повного навантаження. Покупці також зможуть використати один з двох варіантів охолодження: примусове за допомогою вбудованих вентиляторів чи водяне охолодження.

На додаток до вищеприписаних переваг, SHP-10K відповідають останній версії міжнародних стандартів безпеки EN/UL62368-1, а завдяки компактному корпусу (<2U) можуть бути встановлені в стандартну 19-дюймову стійку. Все це робить їх відмінним вибором для промислового обладнання високої потужності.

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

## AC/DC-ПЕРЕТВОРЮВАЧІ 120–600 ВТ В КОРПУСІ/КОЖУСІ З ФУНКЦІЄЮ UPS

Компанія **MEAN WELL** розробила та запустила серійне виробництво нових економічних AC/DC-перетворювачів з функцією UPS у перфорованому корпусі — серії LAD-120, LAD-240, LAD-360 та LAD-600.

Серія LAD виконана в тонкому корпусі 1U і розділена на базові моделі (LAD-120/240/360/600) та моделі з інтерфейсом UART (LAD-360/600xU). В обох із них перший канал (CH1) служить для живлення навантаження, а другий допоміжний (CH2) для зарядки батареї, забезпечуючи функцію ДБЖ. Вихідну напругу на першому каналі можна регулювати в діапазоні від -20 до +5%. Новинка має всі основні функції захисту (коротке замикання, перенавантаження, перенапруга, перегрів, зниження напруги батареї та зворотна полярність батареї) і відповідає стандартам безпеки CB/UL/RCM/CE/UKCA/EAC, а також GB17945 і GB4717 (версії з UART). Серія LAD підходить для

[www.chipnews.com.ua](http://www.chipnews.com.ua)

систем безпеки, протипожежного захисту, контролю доступу, моніторингу і т. д.

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

### БАГАТОФУНКЦІОНАЛЬНЕ НАСТІННЕ КРІПЛЕННЯ ДЛЯ УНІВЕРСАЛЬНИХ КОРПУСІВ

Багатофункціональне настінне кріплення UCS WM-MP компанії **Phoenix Contact** підвищує універсальність використання системи польових корпусів UCS. Воно забезпечує можливість монтажу корпусу UCS на кріплення відповідно до стандарту VESA, на підрозетники діаметром 60 мм та верстатні профілі. Це відкриває безліч можливостей застосування, наприклад, у сфері автоматизації будівель, виробництва, логістики або транспортування. Настінне кріплення світло-сірого кольору доступне у виконаннях чотирьох стандартних розмірів, а робочий діапазон температури становить від  $-40$  до  $+100$  °C. Зокрема, його можна використовувати у поєднанні з кріпленнями моніторів серії HS. Інше приладдя,

як-от дисплеї та плівкові клавіатури, адаптери для DIN-рейки та ніжки, додатково підвищує гнучкість застосування корпусу UCS.

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

### ПРОСТО ТА ЗРОЗУМІЛО: БУДОВА ТА РОБОТА ЗАРЯДНИХ СТАНЦІЙ

Зарядні станції та домашні зарядні станції для електромобілів мають відповідати високим вимогам щодо доступності, безпеки та зручності залежно від сфери застосування.

Складна конструкція, що складається з багатьох окремих компонентів, — не рідкість. Тому фахівці часто стикаються з технічними проблемами та питаннями щодо електромонтажу, живлення, керування та зв'язку.

У відповідь на ці запитання компанія **Phoenix Contact** опублікувала на YouTube-каналі технічної підтримки п'ять відеороликів: вони наочно пояснюють технічні взаємозв'язки та взаємодію окремих електронних та електротехнічних компонентів на основі типових вимог мереж-

ної зарядної інфраструктури для електричних транспортних засобів. Відеоролики дають також базові знання щодо зарядних систем, наприклад, щодо стандартів зарядки та типів штекерів.

Перейдіть за посиланням, щоб відкрити список відтворення YouTube:

[phoe.co/aufbau-ladestation](http://phoe.co/aufbau-ladestation)

### ОПТИМАЛЬНИЙ ЗАХИСТ ДЛЯ ДОМАШНІХ ЗАРЯДНИХ СТАНЦІЙ І ЕЛЕКТРОМОБІЛІВ

Належний захист від перенапруг може захистити зарядну станцію та підключений електромобіль під навісом від дорогих пошкоджень. Спеціально для цього застосування лінійку продукції CHARX protect компанії **Phoenix Contact** тепер доповнено новим пристроєм захисту від перенапруг зі ступенем захисту IP65.

Небезпека перенапруг, які можуть виникати внаслідок комутаційних операцій у мережі живлення чи внаслідок ударів блискавки часто невідома монтажникам і кінцевим користувачам. Навіть якщо в головній розподільній

коробці вже встановлено захист від перенапруг, його захисний ефект може бути недостатнім для довгих ліній до домашньої зарядної станції, наприклад, якщо її встановлено під навісом, розташованим на великій відстані. Дороговартісного пошкодження зарядної станції й автомобіля можна уникнути за допомогою відповідного пристрою захисту від перенапруг, якщо він встановлений досить близько до домашньої зарядної станції.

Новий пристрій захисту від перенапруг призначений для захисту домашніх зарядних станцій з потужністю заряджання від 11 до 22 кВт. Усі роз'єми вбудованого пристрою захисту типу 2 оснащені технологією з'єднання Push-in, яка забезпечує швидке підключення без використання інструментів і виключає необхідність дотримання визначеного моменту затягування з'єднання. Корпус із полікарбонату, армованого скловолокном, має клас ударостійкості IK08, а тому дуже міцний, стійкий до ударів і атмосферних впливів. Завдяки ступеню захисту IP65 блок можна використовувати на відкритих майданчиках, захищених від атмосферних впливів.



## Все для інфраструктури зарядки електричних транспортних засобів

Оснастіть свою зарядну станцію виробами CHARX від компанії Phoenix Contact. Наш широкий асортимент продукції сягає від зарядних кабелів CCS до систем керування навантаженням для потужних зарядних мереж для електромобілів.

За детальнішою інформацією, звертайтеся:  
ТОВ "Фенікс Контакт"  
(044) 594 55 22  
[phoenixcontact.com/uk-ua/](http://phoenixcontact.com/uk-ua/)



**PHOENIX CONTACT**  
INSPIRING INNOVATIONS

© PHOENIX CONTACT 2022

Кабель змінного струму можна завести в корпус зверху або знизу, завдяки чому монтаж можна узгодити з наявною кабельною трасою. Використані кабельні вводи можна гнучко адаптувати до поперечного перерізу наявних у продажу кабелів від 2.5 до 6 мм<sup>2</sup>, у деяких випадках навіть до 10 мм<sup>2</sup>, без обмеження класу захисту IP. Вбудований компонент для вирівнювання тиску запобігає утворенню конденсату у корпусі.

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

### ПЕРЕТВОРЮВАЧІ ДЛЯ ЗАСТОСУВАННЯ НА ЗАЛІЗНИЦІ

В рамках сімейства UWTH1D компанія **Mornsun** анонсувала DC/DC-перетворювачі потужністю 6–30 Вт для застосування на залізницях, тим самим розширивши діапазон доступних у лінійці UWTH1D потужностей 6–100 Вт.

Перетворювачі UWTH1D мають дуже широкий вхідний діапазон 12:1 (14–160 В) постійного струму. Напруга ізоляції між входом та виходом становить 3000 В.

Для забезпечення безпеки та високої надійності системи дані перетворювачі мають широкий набір захистів: від зворотної полярності на вході, від зниженої вхідної напруги та вихідної перенапруги, від навантаження струмом, а також від короткого замикання та від перегріву.

Моделі UWTH1D мають стандартизоване для застосування у залізничному виконанні та кілька варіантів відведення тепла: без радіатора, з вбудованим радіатором та розраховані на зовнішній радіатор. Діапазон робочих температур перетворювачів UWTH1D становить –40...+105 °С.

Перетворювачі UWTH1D сертифіковані на відповідність стандартам CSA62368, EN62368, BS EN62368, IEC62368-1, EN50155 та EN45545.

[www.mornsun-power.com](http://www.mornsun-power.com)

### TFT LCD-ДИСПЛЕЇ

Компанія **Raystar** представила чотири моделі 8.4" TFT LCD-дисплеїв з різними опціями: стандартна версія RFM08400A-AWW-LNN, модель з підвищеною яскравістю RFM08400A-AWH-

LNN, з емнісною сенсорною панеллю RFM08400A-AWW-LNB та з емнісною сенсорною панеллю та підвищеною яскравістю RFM08400A-AWH-LNB.

Модельний ряд виконаний за технологією IPS, що забезпечує високу якість зображення та стабільну картинку під будь-яким кутом огляду. Роздільна здатність цих дисплеїв становить 1024 × 768, співвідношення сторін 4:3. Інтерфейс дисплеїв LVDS, а для тач-панелей доступні як USB-, так і I<sup>2</sup>C-інтерфейси. Керування дисплеєм здійснюється за рахунок драйверів ST5821AH+ST5084AA виробника Sitronix, які мають гарну доступність на ринку та дозволяють оптимізувати загальний термін виробництва. Ця серія дисплеїв має розширений діапазон робочих температур, що починається від –30 °С.

[www.raystar-optronics.com](http://www.raystar-optronics.com)

### DC/DC-ПЕРЕТВОРЮВАЧІ З ВИСОКОЮ ГУСТИНОЮ ПОТУЖНОСТІ

Компанія **Mornsun** анонсувала випуск компактних DC/DC-перетворювачів потужністю 40 і 60 Вт з широким вхідним діапазоном 9–36 В. Нові перетворювачі серії URB24 виконані в корпусах 1 × 1 та 2 × 1 з високою густиною потужності 87 та 65 Вт/дюйм та відповідно мають стандартне розташування виводів.

Джерела живлення лінійки URB24xxYMD-40WR3 та URB24xxLD-60WR3 мають потужність 40 і 60 Вт, широкий діапазон вхідної напруги 9–36 В та вихідну напругу 3.3–28 В. Високий ККД до 93.3%, широкий діапазон робочих температур –40...+105 °С, захист від зниженої вхідної напруги, підвищеної вихідної напруги, перевантаження струмом і від короткого замикання роблять перетворювачі Mornsun серії URB24xxYMD-40WR3 і URB24xxLD-60WR3 придатними для застосування в обчислювальних системах, електроенергетиці, в телекомунікаційному та промисловому обладнанні.

Джерела живлення лінійки URB24xxLD-60WR3 з потужністю 60 Вт мають два варіанти виконання корпусів: з радіатором та без радіатора, URB24xxLD-60WR3 потужністю 40 Вт випускаються в єдиному варіанті — без радіатора.

Перетворювачі відповідають наступним стандартам: EN62368,

IEC/EN61000-4-2, IEC/EN61000-4-3, IEC/EN61000-4-4, IEC/EN61000-4-5, IEC/EN61000-4-6.

[www.mornsun-power.com](http://www.mornsun-power.com)

### СИЛЬНОСТРУМНИЙ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИЙ ОПТОІЗОЛЬОВАНИЙ ДРАЙВЕР ДЛЯ КЕРУВАННЯ ЗАТВОРАМИ IGBT І MOSFET

Компанія **Toshiba Electronics Europe** випустила оптоізолюваний інтелектуальний драйвер для керування затворами IGBT і MOSFET струмом до ±2.5 А, що надійно захищає силові пристрої від перевантаження струмом. Пристрій підходить для широкого спектру програм, включаючи інвертори, сервоприводи змінного струму, інвертори для фотоелектричних систем та джерела безперебійного живлення.

Драйвер TLP5212 має новий двотактний вихідний каскад із двома n-канальними MOSFET, що забезпечує сумісність зі специфікаціями, що широко використовуються в промисловому обладнанні. Крім того, в нову оптопару включені функції захисту, такі як виявлення виходу транзисторів з насичення, активне придушення ємності Міллера, а також виходи UVLO (знижена вхідна напруга) та FAULT (несправність), що усувають необхідність у цілій низці зовнішніх схем. Це знижує системні витрати на виявлення несправностей та захист, а також заощаджує місце на платі та обсяг конструкторських робіт. Крім того, завдяки використанню розробленого компанією Toshiba власного надійного та потужного інфрачервоного світлодіода, оптоізолятор можна використовувати у суворих температурних умовах.

Двотактний вихід оптоізолятора TLP5212 може віддавати або приймати струм до ±2.5 А. Завдяки низькій затримці поширення, що дорівнює всього 250 нс, і розкиду затримок поширення між транзисторами не більше ±150 нс, пристрій придатний для високошвидкісних додатків. Діапазон робочих температур становить від –40 °С до +110 °С, що забезпечує можливість використання у промисловому обладнанні та системах, що працюють від відновлюваних джерел енергії.

Новий оптоізолятор випускається в невеликому корпусі SO16L з розмірами всього

10.3 × 10.0 × 2.3 мм, що дозволяє використовувати його в умовах обмеженого простору. Навіть за такого компактного корпусу цей прилад має мінімальний шлях витоку 8 мм, достатній для застосувань з високими вимогами до рівня безпеки (напруга ізоляції 5000 В с.к.з.).

Для відновлення TLP5212 після спрацювання захисту потрібне подання сигналу на спеціальний вивід із вхідної сторони оптоізолятора. Ще один пристрій — драйвер TLP5222, який автоматично відновлює роботу через заданий час, знаходиться у розробці.

[www.toshiba.eu](http://www.toshiba.eu)

### АВТОМОБІЛЬНИЙ КОНТРОЛЕР ВЕРХЬОГО ПЛЕЧА З ГНУЧКОЮ ДІАГНОСТИКОЮ ТА ЗАХИСТОМ

Компанія **STMicroelectronics** випустила автомобільний контролер комутатора верхнього плеча VNF1048F, в якому покращені функції діагностики та захисту системи поєднуються з технологією кремнієвих запобіжників I<sup>2</sup>t.

Будучи першим приладом у новому сімействі STi<sup>2</sup>Fuse компанії ST із вбудованим захистом I<sup>2</sup>t, контролер VNF1048F сумісний з автомобільними підсистемами живлення (бортовими мережами) напругою 12, 24 і 48 В. Його гнучкість ідеально підходить для новітніх автомобільних зональних електронних/електричних архітектур, що підвищують ефективність і надійність, і підтримує впровадження електричних автомобілів і додаткових функцій для інтелектуального водіння.

Адаптований та багатофункціональний контролер VNF1048F має послідовний периферійний інтерфейс (SPI) зв'язку з керуючим мікроконтролером для налаштування та моніторингу функцій захисту та діагностики системи. Ці функції включають захист від зниженої напруги і перегріву, тепловий захист MOSFET верхнього плеча, відключення при ненасиченні транзистора і параметри спрацювання запобіжника I<sup>2</sup>t. Вбудований високочотний цифровий датчик струму. Інтегровані також аналого-цифрові перетворювачі (АЦП) для контролю напруги терморезистора, вихідної напруги та напруги стік-вітик зовнішнього MOSFET.



Запобіжник I<sup>2</sup>t — відмінна риса сімейства продуктів STi<sup>2</sup>Fuse — забезпечує чудовий швидкодіючий, самовідновлюваний та надійний захист від перевантаження струмом. Кремнієві запобіжники також допомагають спростити внутрішнє проведення автомобілів і знизити вагу за рахунок виключення доступних для користувача блоків плавких запобіжників і пов'язаних з ними витрат на прокладку кабелів і монтаж. Зменшення ваги сприяє покращенню характеристик автомобіля, у тому числі збільшенню дальності пробігу та скорочення викидів CO<sub>2</sub>.

Мікросхема VNF1048FTR вже випускається серійно у 32-контактному корпусі QFN32L розміром 5 x 5 мм.

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

### ПЕРШИЙ СТІЛЬНИКОВИЙ МОДУЛЬ ІЗ ВБУДОВАНОЮ SIM-КАРТОЮ (eSIM)

Компанія **u-blox**, провідний світовий постачальник технологій та послуг позиціонування та бездротового зв'язку, анонсува-

ла u-blox SARA-R500E, свій перший модуль стільникового зв'язку із вбудованим чипом SIM-карти (eSIM).

Пропонуючи підключення LTE-M, SARA-R500E призначений для додатків обмеженого розміру з високими вимогами до надійності та безпеки, таких як підключена охорона здоров'я та засоби відстеження руху (трекери). Перший варіант модуля пропонує готове підключення до мережі LTE-M в Північній Америці.

eSIM все частіше використовуються у пристроях, що пропонують стільниковий зв'язок. Сьогодні більшість таких пристроїв, включаючи переважно більшість смартфонів, як і раніше, мають пластикову SIM-карту, яка містить всі атрибути та функції, необхідні для підключення пристрою до стільникової мережі. Як і пластикові SIM-картки, які вони мають замінити, eSIM забезпечені профілем, який дозволяє пристроям підключатися до певного оператора мобільної мережі.

Вбудована у модуль SARA-R500E карта eSIM пропонує розробникам продуктів та кінцевим користувачам важливі переваги. eSIM більш надійні, ніж стандарт-

ні пластикові SIM-картки, і їх не можна вкрасти або видалити, що підвищує безпеку пристрою. За рахунок відмови від компонентів, необхідних для зберігання та підключення пластикових SIM-карток, вони дозволяють використовувати пристрої меншого розміру, зменшують вартість матеріалів та спрощують виробництво. Нарешті модуль SARA-R500E спрощує пошук постачальників, пропонує модуль, тарифні плани та SIM-карту з одного будинку.

«SARA-R500E значно спрощує логістику для виробників пристроїв, оскільки eSIM вже інтегрована в модуль. Все, що потрібно зробити клієнтам, — це активувати підключення, вибрати план передачі даних, який найкраще відповідає їхнім потребам за допомогою платформи надання послуг u-blox Thingstream IoT. Зокрема, ті клієнти, які надто малі, щоб домовлятися про виділені тарифи на передачу даних із операторами мобільних мереж, виграють від пропозиції за конкурентоспроможною ціною», — каже Самуеле Фалкомер, Product Manager Product Center Cellular в u-blox.

Той факт, що eSIM модуля SARA-R500E не потрібно вставляти вручну кінцевим користувачем, дозволяє розробникам продуктів проектувати герметичні пристрої, що відповідають строгим критеріям IP67 та IP68. Це робить модуль ідеальним для захищених програм IoT, таких як інтелектуальні лічильники, камери спостереження та датчики навуколишнього середовища.

Модуль SARA-R500E також пропонує можливість доступу до сервісу u-blox MQTT Anywhere, який знижує вимоги до пропускної здатності для передачі даних по стільниковому зв'язку, заощаджуючи витрати та енергію. Також доступний портфель u-blox IoT «Місцезнаходження як послуга», включаючи AssistNow для отримання допоміжних даних GNSS в режимі реального часу та CellLocate для позиціонування на основі мережі. SARA-R500E сумісний з виводами усіх інших модулів сімейства SARA та використовує командний інтерфейс SARA-R5 AT, що дозволяє легко інтегрувати SARA-R500E в існуючі конструкції.

[www.u-blox.com](http://www.u-blox.com)



**RADIODETAILI**

## ВЕЛИКИЙ ВИБІР РАДІОДЕТАЛЕЙ!

Інтернет-магазин вул. Івана Світличного, 4  
(044) 392 22 71 (067) 462 22 71

«Радіоринок», Караваєві Дачі, вул. Ушинського, 4

Павільйон 9В  
(044) 242 20 79  
(067) 445 77 72

Павільйон 9В+  
(068) 599 56 99

Павільйон 17Б  
(063) 105 90 01  
(096) 303 90 01

**RADIODETAILI.COM.UA**

# Чутлива до часу автомобільна мережа з Ethernet AVB

**Френсіс Іельш (Francis Ielsch)**

**Переклад та доповнення: Володимир Рентюк**

**У статті розглядаються основні принципи Ethernet AVB/TSN у контексті автомобільних програм, а також обговорюються стандарти AVB, які можна вважати еквівалентними стандартам TSN.**

Пакетно орієнтований зв'язок через мостові мережі вже давно став світовим стандартом. Сьогодні він використовується в системах різного розміру та складності, наприклад, у серверах і літаках, а також у невеликих пристроях з дистанційним керуванням, віддалених датчиках та в багатьох програмах «Інтернету речей» (Internet of Things, IoT).

У мостових мережах кадри Ethernet або IP-пакети прозора передаються через різні фізичні носії, оскільки Ethernet відокремлений від фізичного рівня. Таким чином, пристрої, підключені за різними типами мереж, наприклад в автомобілі (через блок телематики або шлюз автомобіля), можуть безперешкодно взаємодіяти між собою, зокрема, стільниковий телефон зі стільниковим зв'язком та блок керування з мережею INICnet (ISO21806), при цьому IP-пакети надсилаються від відправника до одержувача.

Поки що все виглядає добре, але як щодо часу передачі, затримки, джиттера та втрачених пакетів? На жаль, оригінальний Ethernet не є детермінованим, тобто не контролює коли і скільки пакетів дозволено відправляти дані та за яким маршрутом передаються пакети. Тому час передачі між двома пристроями постійно змінюється і якщо мережа перевантажена, то, природно, пакети можуть бути втрачені. Така поведінка несумісна з критично важливими програмами, для яких необхідно забезпечити низьку затримку та безпомилкову доставку пакетів даних.

Фірмові шинні та мережеві технології з низькою затримкою та детермінізмом — це лише обмежене рішення. До

того ж на всіх ринках спостерігається тенденція до використання стандартизованих та відкритих технологій, які не залежать від конкретного виробника. Більше того, стандартні технології не вимагають ні спеціальних ноу-хау, ні складних та дорогих шлюзів.

Тому протягом багатьох років співтовариство вивчало слабкі сторони Ethernet і шукало способів їх оминати. Поступово почали з'являтися різні рішення для покращення роботи Ethernet у реальному часі, включаючи AVB/TSN [1].

Audio Video Bridging (AVB) — загальна назва для комплексу технічних стандартів, які забезпечують покращену синхронізацію, низьку затримку та надійність для комутованих мереж Ethernet. AVB був запущений у 2008 році робочою групою IEEE [2], щоб покращити передачу критичних за часом аудіо- та відеоданих через Ethernet. AVB втілює в собі не тільки стандарт IEEE 802.1BA, але й такі технології та стандарти:

- IEEE 802.1AS Precision Time Protocol (PTP) — протокол встановлення точного часу. Розроблено на основі стандарту синхронізації IEEE 1588:2002.2. Пристрої PTP обмінюються стандартними повідомленнями Ethernet, щоб синхронізувати роботу всіх вузлів мережі та прив'язати їх до загальної шкали часу. У протоколі визначено алгоритми вибору головних годинників, порядок обміну повідомленнями, механізми вимірювання та компенсації затримки на лінії, методи корекції швидкості.
- IEEE 802.1Qav Queuing and Forwarding Protocol (Qav) — протокол

встановлення черговості. Він слідкує за тим, щоб спадковий асинхронний трафік не потрапляв у потокові дані AVB. Більшість протоколу Ethernet реалізується всередині комутаторів Ethernet, але деякі вимоги пред'являються і до джерел медіаданих.

- IEEE 802.1 Qat Stream Reservation Protocol (SRP) — протокол резервування потоку або протокол резервування ресурсів. Стандарти Ethernet не передбачають детерміновану та пріоритетну передачу критичних на час потоків. Для забезпечення гарантованої якості обслуговування протокол SRP надає наскрізну доступність смуги пропускання передачі аудіо- або відеоданих. Для інших даних канал залишається заблокованим доти, доки явно чи неявно звільнений від поточкових даних. У стандарті SRP для передачі запитів опису потоку, запитів резервування каналу та повідомлень у відповідь використовується протокол обміну IEEE 802.1ak Multiple Registration Protocol.
- Транспортний протокол IEEE 1722 (AVBTP — AVB Transport Protocol), призначений для мереж Ethernet AVB, заснований на стандарті IEEE 1394 та підтримує повний набір медіаформатів та механізмів шифрування та синхронізації, визначених у IEEE 1394.
- IEEE 1722.1 — протокол для виявлення, контролю, нумерації пристроїв, що працюють за протоколом IEEE 722.4.

Стандарт був доопрацьований та опублікований у 2011 році. Спочатку він використовувався в широкому спектрі мультимедійних програм, а потім і в промислових програмах, особливо для передачі критичних за часом команд або даних від датчиків. У міру зростання інтересу до AVB для мультимедійних програм, а потім і в промислових програмах, особливо для передачі критичних за часом команд або даних від датчиків. У міру зростання інтересу до AVB для мультимедійних програм, а потім і в промислових програмах, особливо для передачі критичних за часом команд або даних від датчиків. У міру зростання інтересу до AVB для мультимедійних програм, а потім і в промислових програмах, особливо для передачі критичних за часом команд або даних від датчиків.

тимедійних програм в IEEE, у листопаді 2012 року цільова група Audio Video Bridging Task Group (AVB), що діяла на той момент, була реорганізована в робочу групу Time Sensitive Networking (TSN), яка продовжила займатися розвитком стандартів TSN. Назва групи стандартизації змінилася у зв'язку з розширенням завдань, що стоять перед нею. Стандарти визначають механізми чутливої до часу передачі даних по детермінованих мережах Ethernet. Група TSN прийняла стандарти групи AVB, але звертається до значно ширшого спектру програм у галузях професійного аудіо/відео, промисловості, автомобілебудування та авіакосмічної промисловості.

В автомобільній сфері оригінальні стандарти AVB діють досі, але в деяких випадках вже використовуються виправлені версії, випущені групою TSN. У цій статті переважно обговорюються стандарти AVB, які можна вважати еквівалентними стандартам TSN [3]. Як правило, системи на основі AVB реалізують різні підмножини елементів, наведених на рисунку 1, які відповідають за різні аспекти системи.

### СИНХРОНІЗАЦІЯ ЧАСУ ЗА ДОПОМОГОЮ GPTP

Основою всіх систем з підтримкою AVB є протокол установки точного часу gPTP — IEEE 802.1AS. До його появи діяв добре відомий у комп'ютерному світі протокол мережного часу NTP (Network Time Protocol), що забезпечує синхронізацію годинника комп'ютера в локальній мережі з еталонним часом у кращих умовах з точністю до декількох мілісекунд. Цієї точності було цілком достатньо для комп'ютерів і серверів, але зараз для синхронних або критичних програм така похибка вже занадто велика.

Протокол gPTP підтримує набагато точнішу тимчасову розгортку в пристроях Ethernet, зазвичай на рівні мікрсекунд або (при хорошому розкладі) навіть у наносекундному діапазоні. По суті, gPTP складається з двох механізмів: розподілу еталонного часу та розрахунку часу передачі.

Час розподіляється від одного або кількох вузлів прив'язки часу («майстер gPTP» згідно стандарту IEEE) до одного або кількох клієнтів («відомі пристрої gPTP», за стандартом IEEE). Аналогічно до двоетапної процедури IEEE 1588, gPTP завжди послідовно відправляє два кадри: Sync та SyncFollow-Up. Клієнти

### Ethernet AVB — мозаїка стандартів та протоколів

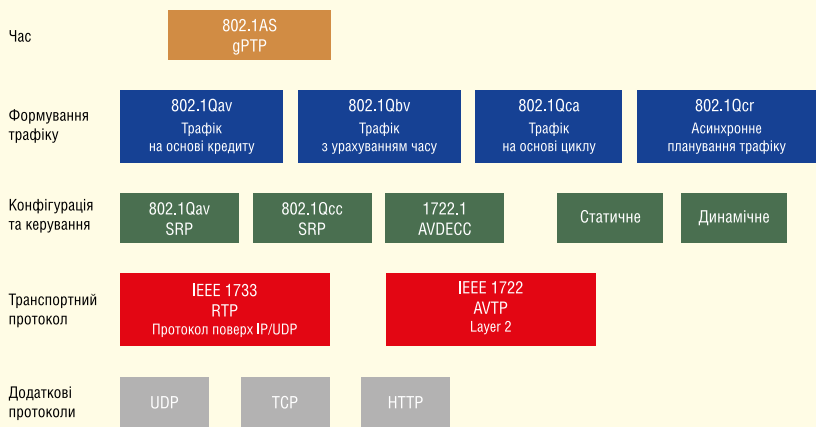


Рис. 1. Підмножини елементів, у тому числі реалізуються системи з урахуванням AVB

використовують включені мітки часу для скидання свого локального годинника і переходу на еталонний час, гарантуючи, що всі пристрої в мережі використовують однакову часову базу.

Однак дуже точна часова база може бути забезпечена лише за умови врахування необхідного часу передачі мережею. Це досягається постійним виконанням так званих вимірювань однорангової затримки попарно між сусідніми вузлами. Сума вимірюваного часу передачі на вузол потім дає значення затримки однорангового вузла, на яке згодом коригується час gPTP. Взаємодія між годинником-еталоном Clock Reference та годинником клієнта Clock Slave gPTP представлена на рисунку 2 [6].

### ТРАНСПОРТНІ ПРОТОКОЛИ

#### IEEE 1722 — AVTP

Транспортний протокол Audio Video Transport Protocol — це стандартний транспортний протокол для передачі аудіо/відеоданих, а також критичних за часом даних через Ethernet AVB. Це легкий протокол ISO/OSI Layer 2, призначений для доступу до пристроїв через адресу MAC. Отже, немає потреби інтегрувати повний стек IP, що мінімізує розмір, вартість та складність проєктів.

#### IEEE 1733 — RTP/RTCP

RTP та RTCP (IETF RFC 3550) — мережні протоколи на основі IP для передачі аудіо- та відеоданих через Ethernet. Вже багато років вони використовуються у всіх видах промислових

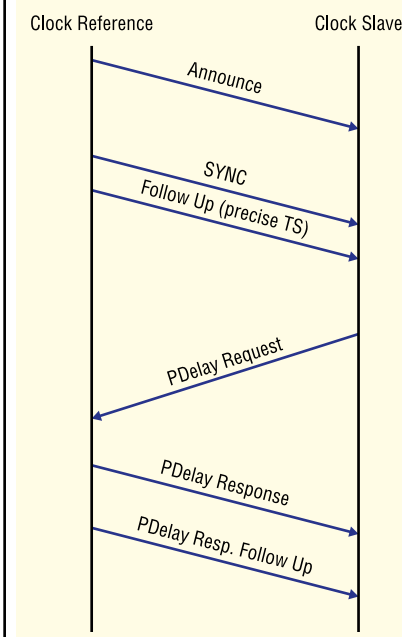


Рис. 2. Взаємодія між еталонним годинником Clock Reference та Clock Slave — годинником клієнта gPTP

та побутових приладів, включаючи камери відеоспостереження та пристрої внутрішнього зв'язку. IEEE 1733 — це адаптація мережних протоколів RTP/RTCP для синхронної передачі через AVB і, отже, альтернатива IEEE 1722 на основі IP.

### ФОРМУВАННЯ ТРАФІКУ

Мережа Ethernet зазвичай складається з великої кількості кінцевих точок (комп'ютерів, електронних пристроїв) та мостів (комутаторів, шлюзів тощо). Не-

залежно від вибраного транспортного протоколу дані інкапсулюються у кадри Ethernet, які прямують від відправника через кілька мостів (переходів) до одержувача. Як і коли передаються кадри, не є детермінованим. Мости вздовж маршруту пересилатимуть кадри швидше або повільніше (проміжна передача, наскрізна передача). У разі навантаження мережі кадри іноді буферизуються на певний час, а в гіршому випадку можуть бути втрачені.

Промислові та автомобільні системи вимагають малої детермінованої затримки та, насамперед, надійної передачі без ризику втрати кадрів. Формування трафіку (за це відповідає частина IEEE 802.1Q — Quality of Service) задовольняє цю потребу та визначає стратегії обробки кадрів мостами залежно від їхнього пріоритету.

Існує кілька стандартів формування трафіку:

- IEEE 802.1Qav Queuing and Forwarding Protocol (Qav) — протокол встановлення черговості, відповідає за пересилання та організацію черг для чутливих до часу потоків (Time-Sensitive Streams, FQTS). IEEE 802.1Qav іноді називають «формуваач трафіку на основі кредиту» (Credit Base Shaper, CBS).
- IEEE 802.1Qbv Enhancements for Scheduled Traffic, який зазвичай називають формуваачем трафіку з урахуванням часу (Time Aware Shaper, TAS), необхідний для покращення запланованого трафіку.
- IEEE 802.1Qch Cyclic Queuing and Forwarding — циклічна організація черг і пересилання, також відомий як Peristaltic Shaper (PS), вводить подвійну буферизацію, яка дозволяє синхронізувати передачу (операції постановки/видалення кадрів) у циклічному режимі з обмеженою затримкою, яка залежить тільки від кількості та часу циклу, повністю не залежить від топології мережі.
- IEEE 802.1Qcr Asynchronous Traffic Shaping — асинхронне планування трафіку.

Однак автомобільний сектор в основному використовує формуваач трафіку на основі кредиту CBS та формуваач трафіку з урахуванням часу TAS.

### CBS — ФОРМУВАЧ НА ОСНОВІ КРЕДИТІВ (IEEE 802.1QAV)

При використанні формуваача на основі кредиту, кожен пристрій

Ethernet отримує кредит, призначений для відправки кадрів. Доки сума кредиту залишається позитивною, пристрій може продовжувати надсилання кадрів. Як тільки кредит буде витрачено, пристрій більше не зможе надсилати кадри і має дочекатися поновлення кредиту.

Ця стратегія забезпечує ефективне використання смуги пропускання. Зумовлених слотів тут немає. Кінцеві точки, яким потрібно надсилати дані з перервами, можуть накопичувати свій кредит і витрачати його відразу. Налаштувати мережу AVB за допомогою CBS відносно легко.

### TAS — ФОРМУВАННЯ ТРАФІКУ З УРАХУВАННЯМ ЧАСУ (IEEE 802.1QBV)

На відміну від стандарту IEEE 802.1Qav, стратегія IEEE 802.1Qbv спирається на модель часових інтервалів. Замість того щоб ґрунтуватися на кількості даних, що надсилаються, він фокусується на частоті передач. Вузли більше не можуть надсилати довільні проміжки часу, але гарантовано отримують дозвіл на регулярну передачу. Іншими словами, вдається досягти набагато меншої та більш детермінованої затримки.

Втім, Qbv має і зворотний бік: пропускна здатність мережі не завжди залишається ефективною. Якщо кінцеві точки не використовують свої слоти, то вони, отже, і пропускна здатність втрачаються. Але цей ефект можна компенсувати за допомогою витіснення кадрів (IEEE 802.1Qbu).

### СУМІСНІСТЬ ІЗ AVNU

Системні архітектори можуть використовувати широкий спектр доступних компонентів реалізації AVB. Залежно від системних вимог можуть бути реалізовані різні підмножини AVB. Хоча це допомагає мінімізувати кількість апаратних компонентів, реалізуючи тільки те, що дійсно необхідно, але може викликати проблеми сумісності, оскільки пристрої від різних постачальників можуть не підтримувати ті самі функції AVB. Ситуація посилюється тим, що інженери можуть інтерпретувати стандарти IEEE по-різному.

Для того, щоб гарантувати взаємодію між постачальниками, альянсом AVNU розроблено «Специфікацію функ-

ціональної сумісності та функціональної сумісності Ethernet AVB» («Ethernet AVB Functional and Interoperability Specification»).

Альянс AVNU — це консорціум, в якому професійні компанії, компанії, що випускають автомобільну техніку, побутову електроніку, а також промислові виробники працюють разом, щоб встановити та сертифікувати сумісність відкритих стандартів Audio Video Bridging (AVB) та Time-Sensitive Networking (TSN). Альянс співпрацює зі своїми компаніями-членами для сертифікації продуктів AVB та TSN на сумісність.

Специфікація функціональної сумісності та функціональної сумісності Ethernet AVB в автомобільній сфері визначає основу для підмножин AVB та пов'язаних параметрів, які повинні бути реалізовані в кожному пристрої. Пристрої з підтримкою AVB можуть бути протестовані на сумісність з AVNU у спеціалізованих випробувальних центрах або силами компанії з використанням спеціального тестового обладнання.

### ПРАКТИЧНА РЕАЛІЗАЦІЯ

У реальних програмах мережі з підтримкою AVB складаються з декількох компонентів: комутаторів, пристроїв фізичного рівня (PHY) та кінцевих точок. Всі комутатори та кінцеві точки, звичайно, повинні підтримувати AVB для досягнення бажаної продуктивності.

Завдяки стандартам IEEE, специфікаціям AVNU і Open Alliance, компоненти від різних постачальників, такі як пристрої фізичного рівня та комутатори, вже сьогодні мають високий рівень сумісності.

Проте реалізація AVB у кінцевих точках залишається складним та втомлюючим завданням. Ці системи часто розробляються на основі системи на кристалі (System-on-Chip, SoC) або високопродуктивних мікроконтролерів, в які необхідно інтегрувати велику кількість програмного забезпечення — операційну систему реального часу, Autosar та стек AVB, який часто необхідно ліцензувати у третьої сторони. Так звані кінцеві точки AVB, такі як LAN9360 [4] від компанії Microchip, є цікавою альтернативою і є щось типу інтелектуального контролера Ethernet із вбудованими протоколами AVB. Таким чином, AVB можна відразу розвернути як апаратне рішення, усуваючи необхідність розробки програмного забезпечення.

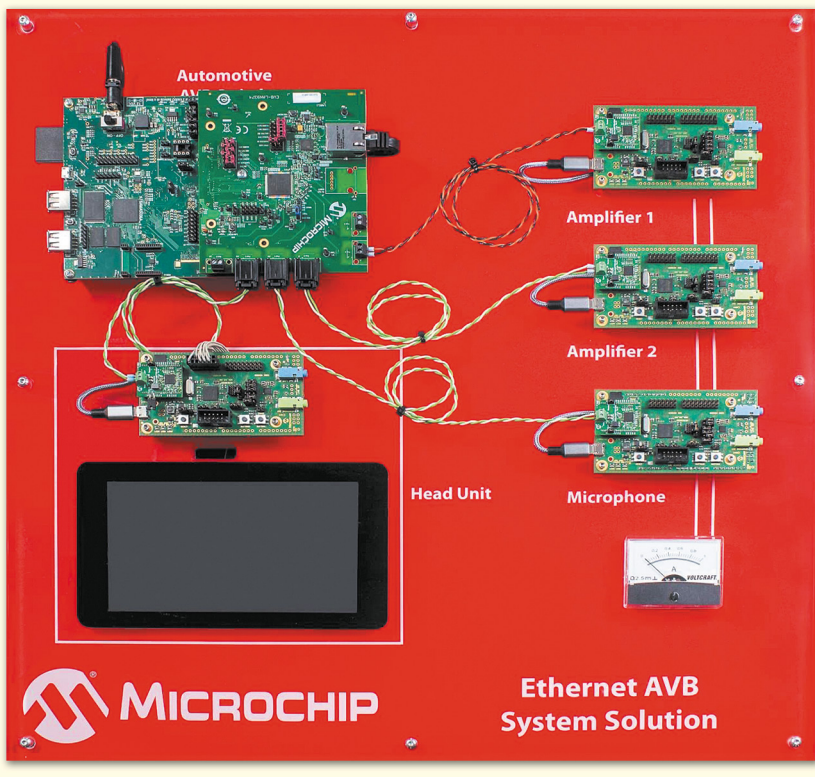


Рис. 3. Типова схема оцінки Ethernet AVB

Типова система оцінки системи Ethernet AVB, розроблена фахівцями компанії Microchip Technology на основі LAN9360 Evaluation Board V2.3.0 (EVB-LAN9360) [5], представлена на рисунку 3.

EVB-LAN9360 використовується для імітації кінцевої точки AVB Ethernet, яка може працювати або як приймач (Listener) або як джерело повідомлень (Talker). Для цього на платі передбачені різні функції, що дозволяють створювати прототипи різних типів пристроїв із підключенням через Ethernet:

- зовнішній віддалений підсилювач;
- зовнішній віддалений мікрофон;
- зовнішня дистанційна мікрофонна система.

## ВИСНОВОК

Мережі AVB/TSN з моменту створення групи AVB в IEEE досягли високого рівня зрілості. «Автомобілі AVB» вже знаходяться в дорозі, і до їх створення залучається все більше виробників оригінального обладнання. Завдяки відкритій стандартизованій технології багато функціонально сумісних апаратних засобів та програмного забезпечення вже доступні у вигляді оптимізованих комерційних рішень. Ідея All-Ethernet Car, тобто автомобіля повністю побудованого

на мережі Ethernet, яку ще недавно ставили під сумнів, тепер уже не є утопією.

### Література:

1. Хэнк П., Шурманн Т., Мюллер Ш. Автомобильный Ethernet: комплексный подход к следующему поколению сетевого стандарта для автотранспорта // *Control Engineering Россия*. 2013. № 1.
2. Роберт Б. Новые стандарты IEEE 802.1: единая сеть для всех типов данных // *Электронные компоненты*. 2010. № 4.
3. Weder A. Time Sensitive Networking: An Introduction to TSN. [www.design-reuse.com/articles/46536/an-introduction-to-time-sensitivenetworking.html](http://www.design-reuse.com/articles/46536/an-introduction-to-time-sensitivenetworking.html)
4. AVB Audio Endpoint LAN9360. [www.microchip.com/en-us/product/LAN9360](http://www.microchip.com/en-us/product/LAN9360)
5. LAN9360 Evaluation Board V2.3.0 (EVB-LAN9360). [ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/EVB-LAN9360-V2.3.0-Users-Guide-60001706.pdf](http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/EVB-LAN9360-V2.3.0-Users-Guide-60001706.pdf)
6. Majid Alshaikhli A. O., Myung Rhee J. TFR: A Novel Approach for Clock Synchronization Fault Recovery in Precision Time Protocol (PTP) Networks. December 2017, Project: IEEE 1588 - Precision Time Protocol (PTP). [www.researchgate.net/publication/322365476](http://www.researchgate.net/publication/322365476)

## MICROCHIP РОЗШИРЮЄ СВІЙ ПОРТФЕЛЬ СИСТЕМ НА МОДУЛЯХ (SOM)

Оскільки ринок вбудованих пристроїв продовжує швидко зростати та розвиватися, розробники прагнуть оптимізувати розробку продукту, бо їм може знадобитися перехід від мікроконтролера (MCU) до мікропроцесора (MPU), щоб відповідати підвищеним вимогам до обробки. Щоб допомогти розробникам з цим переходом і зменшити складність дизайну, компанія **Microchip Technology Inc.** оголосила про розширення свого портфолію MPU System-on-Modules (SOM) за допомогою вбудованого MPU на базі SAM9X60D1G-SOM ARM926EJ-S™, що працює на частоті до 600 МГц. Програмне забезпечення для SAM9X60D1G-SOM доступне з підтримкою «голого металу» або RTOS через MPLAB® Harmony 3, або повні основні дистрибутиви Linux®.

SOM, заснований на SAM9X60D1G System in Package (SiP), являє собою невеликий модуль розміром 28×28 мм, який спаюється вручну, і включає в себе MPU і DDR в одному корпусі, а також блоки живлення, годинники та накопичувач пам'яті. SAM9X60D1G-SOM є першою мікросхемою SOM від Microchip, оснащеною флеш-пам'яттю SLC NAND ємністю 4 Гбіт, щоб максимально збільшити обсяг пам'яті для зберігання даних у прикладних пристроях, а вбудована пам'ять DDR зменшує ризики пропозиції та ціни, пов'язані з мікросхемами пам'яті. SAM9X60D1G-SOM малого форм-фактору також включає мікросхему керування живленням MCP16501 (PMIC), яка спрощує проектування системи живлення до однієї шини напругою 5 В для забезпечення систем з меншим енергоспоживанням.

Щоб запропонувати функції, які можуть знадобитися підключеній до Ethernet системи, SAM9X60D1G-SOM містить 10/100 Ksz8081 Ethernet PHY і 1 Кб Serial EEPROM із попередньо запрограмованою MAC-адресою (EUI-48). Клієнти можуть додатково налаштувати свій дизайн на основі необхідного рівня захисту безпеки, наприклад безпечного завантаження з вбудованим безпечним сховищем ключів (OTP), механізмом апаратного шифрування (TDDES, AES і SHA) і генератором справжніх випадкових чисел (TRNG).

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

# Датчики газу серії Gravity від DFRobot

В даній статті розглянуто датчики газу серії Gravity від DFRobot, які пропонує компанія TME – відомий міжнародний дистриб'ютор електронних компонентів і вузлів для промислової автоматизації. Підкреслено їх переваги при застосуваннях, а також наведені характеристики.

Датчики газу серії Gravity від DFRobot як вироби поставляються у вигляді відкаліброваних датчиків в комплекті з базовим модулем і кабелем підключення (рис. 1). Завдяки наявності ряду бібліотек, модулі можна легко використовувати в проєктах на платформах Arduino, ESP32 і навіть Raspberry Pi (вони працюють з напругою як 5 В, так і 3.3 В DC). Комунікація здійснюється через один із трьох інтерфейсів: аналоговий, I<sup>2</sup>C або послідовний UART. Додатковою перевагою цих продуктів є невеликий робочий струм (близько 5 мА), що дозволяє застосовувати їх при живленні від батарейок, наприклад, у віддалених датчиках BLE (які використовують технологію зв'язку Bluetooth Low Energy).

Датчики можна використовувати для створення пристроїв контролю якості повітря в промисловості, шахтах, на складах та інших приміщеннях з обмеженою циркуляцією повітря. Вони також будуть добре працювати при прототипуванні, в любительських проєктах і в освіті. Датчики серії Gravity від DFRobot є доброю основою для експериментів у галузі хімії, біохімії і рослинництва.

Деякі характеристики датчиків серії Gravity надано в таблиці 1.

В пропозиції TME є сенсори, призначені для виявлення наступних газів:

## DF-SEN0465: датчик кисню (O<sub>2</sub>)

Датчики цього типу необхідні при створенні моніторів якості повітря, а також при застосуванні в області тестування

Таблиця 1. Загальні характеристики датчиків газу серії Gravity від DFRobot

Найменування	Характеристика
Тип датчика	Концентрації газу
Серія виробника	Gravity
Вихідний сигнал	Аналоговий, цифровий (0 або 1)
Робочий струм	5 мА
Розміри пластини	37×32 мм
Робоча температура	-20...50 °C
Вологість навколишнього середовища макс.	90%
Інтерфейс	Gravity, I <sup>2</sup> C, UART

вихлопних газів (автомобілебудування). Вони також використовуються для спостереження за умовами вирощування рослин.

## DF-SEN0466: детектор окису вуглецю (CO)

Окис вуглецю відомий як чадний газ. Він має високо-токсичні властивості, не має запаху і утворюється при спалюванні вугілля і нафти. З цієї причини його концентрацію у повітрі слід контролювати у приміщеннях, обладнаних камінами, печами тощо, а також у гаражах для автомобілів.

## DF-SEN0467: датчик сірководню (H<sub>2</sub>S)

Сірководень є ще однією надзвичайно отруйною хімічною сполукою. Він виділяється при розкладанні білків в процесах травлення, а також у вигрібних ямах, місцях складування органічних відходів тощо. Таким чином, датчик H<sub>2</sub>S можна використовувати для забезпечення належної вентиляції каналізаційних колодязів, підсобних приміщень, а також компостерів і місць зберігання гною.

## DF-SEN0468: датчик хлору (Cl<sub>2</sub>)

Хлор зустрічається переважно в летючому стані і належить до шкідливих для здоров'я сполук. Він використовується для дезінфекції, а також у фарбах і відбілювачах. Концентрація Cl<sub>2</sub> у повітрі має контролюватись, у т.ч. у приміщеннях для зберігання чистячих засобів, а також у критич басейнах..

## DF-SEN0469: датчик аміаку (NH<sub>3</sub>)

Наявність аміаку в повітрі контролюється в багатьох випадках, оскільки ця сполука широко використовується в промисловості, насамперед при виробництві добрив, а також у холодильній промисловості.

## DF-SEN0470: датчик діоксиду сірки (SO<sub>2</sub>)

Діоксид сірки використовується як харчовий консервант у винах, джемах й інших консервах. Він також утворюється в результаті спалювання вихлопного палива. Його концентрацію слід контролювати також у приміщеннях, де спалюється вугілля.

## DF-SEN0471: датчик діоксиду азоту (NO<sub>2</sub>)

Виявлення діоксиду азоту найчастіше здійснюється у двох випадках — в автомобілебудуванні при аналізі вихлопних газів двигунів внутрішнього згорання і в силосах, де зберігається зерно (насіння, що розкладається, може призвести до утворення небезпечної для людини концентрації NO<sub>2</sub>).



Рис. 1. Датчик кисню DF-SEN0465

Таблиця 2. Діапазон вимірювань газів датчиками Gravity

Назва датчика	Газ, що виявляється	Діапазон вимірювань, ppm
DF-SEN0465	O <sub>2</sub>	0...250000
DF-SEN0466	CO	0...1000
DF-SEN0467	H <sub>2</sub> S	0...100
DF-SEN0468	Cl <sub>2</sub>	0...10
DF-SEN0469	NH <sub>3</sub>	0...100
DF-SEN0470	SO <sub>2</sub>	0...20
DF-SEN0471	NO <sub>2</sub>	0...20
DF-SEN0472	O <sub>3</sub>	0...20
DF-SEN0473	H <sub>2</sub>	0...1000
DF-SEN0474	HCl	0...10
DF-SEN0475	HF	0...10
DF-SEN0476	PH <sub>3</sub>	0...1000

**DF-SEN0472: датчик озону (O<sub>3</sub>)**

Озон широко використовується в багатьох процесах, насамперед як бактерицидний засіб. Дезінфекційні властивості цього газу використовуються для видалення цвілі з кондиціонерів, дезінфекції приміщень, питної води і водопровідних систем. Крім того, іонізатори виробляють його для очищення повітря. У всіх цих випадках слід контролювати концентрацію озону, щоб вона не перевищувала безпечно-го рівня.

**DF-SEN0473: датчик водню (H<sub>2</sub>)**

Водень, хоч і всюдисущий, є легкозаймистим газом. Тому скрізь, де існує ризик його надвиробництва, слід подбати про вимірювання концентрації H<sub>2</sub>. Це стосується всіх приміщень, де метали реагують з кислотами, відбувається реакція електролізу (в т.ч. гальванізація металів), а також приміщень, призначених для накопичення енергії, якщо в них використовуються кислотні або нікель-металгідридні (NiMH) акумулятори.

**DF-SEN0474: датчик хлороводню (HCl)**

Хлороводень — одна з найпопулярніших хімічних речовин, що зустрічається у природі переважно у вулканічних газах. Використовується у виробництві соляної кислоти. Його виявлення потрібне в першу чергу при хімічних реакціях синтезу і в промислових умовах.

**DF-SEN0475: датчик фтористого водню (HF)**

Ризик щоденного контакту з фтористим воднем незначний, але ця речовина небезпечна для здоров'я і використовується в багатьох промислових процесах (обробка алюмінію, травлення скла, очищення кварцу), а також у нафтохімічній промисловості.

**DF-SEN0476: датчик фосфористого водню (PH<sub>3</sub>)**

Існує небезпека наявності фосфористого водню на складах агрохімікатів. Він широко використовується як пестицид, у т.ч. для газування овочів і фруктів. Застосовується також для дератизації, боротьби з короїдом і грибами, які можуть загрожувати дерев'яним конструкційним елементам у будівництві тощо.

З діапазоном вимірювань газів, що виявляються датчиками серії Gravity, можна ознайомитись в таблиці 2.

Матеріал надано компанією TME,  
[www.tme.eu](http://www.tme.eu)

CNY


**TEMPO**  
COMMUNICATIONS


**Tempo –**  
вимірювальна апаратура  
для мереж LAN вже в TME



Electronic Components

**TRANSFER MULTISORT ELEKTRONIK**

ДИСТРИБ'ЮТОР ЕЛЕКТРОННИХ КОМПОНЕНТІВ

Устронна 41, 93-350 Лодзь, Польща  
тел. +48 42 645 54 44, [export@tme.eu](mailto:export@tme.eu), [tme.eu](http://tme.eu)

[tme.eu](http://tme.eu)[tme.com](http://tme.com)

[facebook.com/TME.eu](https://facebook.com/TME.eu)  
[youtube.com/TMElectroniComponent](https://youtube.com/TMElectroniComponent)  
[instagram.com/tme.eu](https://instagram.com/tme.eu)

# Розвиток інтелектуального транспорту за допомогою штучного інтелекту, 5G та граничних обчислень

Протягом останніх років граничні обчислення, штучний інтелект (ШІ), 5G та LiDAR (технологія отримання та обробки інформації про віддалені об'єкти за допомогою оптичних систем) просунулися вперед у поєднанні з IoT. Свої погляди щодо цього висловили Ван Лін, директор з інтелектуальних мобільних рішень групи Service IoT, Advantech та Кунхонг Чен, менеджер транспортного сектору групи Industrial IoT, Advantech в своєму інтерв'ю, яке використано в цій статті.

Сучасна мета розумного транспорту — підвищити безпеку при одночасному підвищенні комфорту пасажирів. Переваги інтелектуального транспорту стають дедалі очевиднішими як в автомобільних, так і у залізничних транспортних системах. Відповідно до цієї тенденції Advantech використала свій великий досвід інтелектуальних перевезень для створення платформи спільної творчості у співпраці зі своїми партнерами. Це дозволяє більш просто і ефективно розробляти нові інтелектуальні програми та впроваджувати інновації для міського транспорту.

## ПРИСКОРЕННЯ КОМУНІКАЦІЇ V2X

Зв'язок «транспортний засіб з усіма» (V2X) — це передача інформації від транспортного засобу до будь-якого пристрою, який може вплинути на транспортний засіб, і навпаки. За словами Ван Ліна, директора групи інтелектуальних мобільних рішень служби IoT в Advantech, «реалізація інтелектуального транспорту включає не тільки розвиток автобусів, метро і залізниць, а й людей, навколишнього середовища та іншого пов'язаного з цим обладнання. Поєднання технологій 5G, штучного інтелекту, граничних обчислень, LiDAR та IoT є ключем до реалізації цього розвитку. Компанія Advantech та її клієнти будуть впроваджувати інтелектуальне майбутнє зв'язку V2X та отримувати з нього вигоду».

Пан Лін пояснив, що оснащення транспортних засобів датчиками і камерами є тенденцією, що росте вже протягом деякого часу. Донедавна ці пристрої використовувалися переважно для реєстрації подорожей. Інформація, отримана за допомогою цих пристроїв, допомагала у визначенні причин аварії та відповідальності за неї. Ця тенденція змінюється з розвитком програм для обчислень ШІ на границі. На сьогодні транспортні засоби можуть отримувати та аналізувати інформацію, щоб динамічно приймати осмислені рішення під час поїздок. У майбутньому завдяки таким своїм можливостям, як висока пропускна здатність та низька затримка 5G миттєво будуть завантажувати рішення та інформацію на хмарну платформу. Ця технологія може бути використана для допомоги адміністраторам в управлінні ситуаціями в реальному часі, а також для розробки різних інтелектуальних програм.

У дорожньому транспорті граничний ШІ можна використовувати в системах попередження про зіткнення/виїзд зі смуги руху, виявлення «сліпих зон» та системи моніторингу поведінки водія.

У міських районах водії автомобілів часто порушували правила дорожнього руху, але заборонити водіям їздити, наприклад, на червоне світло раніше було неможливо. Проте тепер, з використанням штучного інтелекту та 5G, стало можливим відстежувати транспортні засоби, світлофори та поведінку водіїв, щоб зменшити кількість порушень.

## ГРАМОТНИЙ РОЗВИТОК ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ «РОБИТЬ СТАВКУ» НА БЕЗПЕКУ ТА ЯКІСТЬ ОБСЛУГОВУВАННЯ

Розвиток 5G та штучного інтелекту сприяли еволюції різних інтелектуальних програм для залізничного транспорту та призвели до збільшення потреби в оновленні системи. Кунхонг Чен, менеджер транспортного сектору групи промислового IoT компанії Advantech, зазначив, що у минулому операційні цілі метрополітену Тайбея були зосереджені на збільшенні пропускної здатності. Проте зараз ці цілі змінилися на підвищення безпеки та якості обслуговування. Розвиток інтелектуальних операцій є рушійною силою цих змін. Відповідно, метрополітен Тайбея активно займається модернізацією своїх систем, зокрема, систем руху та сигналізації. Так версія електронної системи, пов'язаної з безпекою (Safety Integrity Level, SIL), була підвищена з SIL 2 до SIL 4. Аналогічно була вдосконалена і система сигналізації та обробки даних (European Train Controlling System/ETCS) — підвищена з ETCS 2 до ETCS 4. Ці удосконалення зробили значний внесок у підвищення безпеки транспорту. Крім того, використовуючи програми штучного інтелекту та LiDAR, а також автоматичне керування поїздами, оператори можуть будувати моделі керування, орієнтовані на інтелектуальні операції.

Advantech продовжує надавати інноваційні програмно-апаратні рішення та послуги платформи на всіх етапах розробки. Пан Чен підкреслив, що спочатку компанія Advantech зосередилася на розробці систем та рішень, пов'язаних з пасажирями, включаючи CCTV (системи закритої трансляції ТБ) та інтегровані системи диспетчерського контролю. Потім фокус змістився у бік розробки рішень, пов'язаних із безпекою, таких як системи блокування, подвійні резервні платформи, рішення автоматичного керування поїздами на базі GPU та технології високошвидкісної передачі даних



із поїзда на землю. Наразі Advantech використовує ШІ, LiDAR та технології бездротового зв'язку в реальному часі для створення інтелектуальних рішень для виявлення перешкод, перевірки пантографа та дистанційного моніторингу зчеплення поїздів.

### ADVANTECH ОБ'ЄДНУЄ ГЛОБАЛЬНИХ ПАРТНЕРІВ ТРАНСПОРТНОЇ ГАЛУЗІ

В планах Advantech продовжувати й надалі просувати інтеграцію 5G, граничного ШІ та інтелектуального транспорту. Пан Лін підкреслив, що компанія Advantech займається розробкою промислових комп'ютерів спеціально для транспорту. У майбутньому Advantech планує інтегрувати технології 5G та штучного інтелекту у свої апаратні продукти. Advantech співпрацює з виробниками датчиків, системними інтеграторами та іншими партнерами для створення готових пакетів рішень AIoT (SRP AIoT) за допомогою власної платформи WISE-PaaS. Щоб прискорити використання SRP AIoT у різних транспортних секторах, Advantech додатково розділила функції своїх продуктів. Компанія Advantech також розмістила ряд спільно створених продуктів I.App на сайті Marketplace, щоб дозволити системним інтеграторам, орієнтованим на предметну область, завантажувати та розгортати рішення для швидкого збирання у різних секторах.

Пан Чен додав, що Advantech вже давно є частиною глобальної екосистеми залізничного транспорту. Разом із виробниками транспортних засобів та великими міжнародними підрядниками вони спільно створюють передові продукти, починаючи зі стадії проектування. Компанія Advantech об'єдналася з ключовими партнерами у різних секторах для створення інноваційних рішень для інтелектуальних програм на залізничному транспорті.

Advantech має більш ніж 30-річний досвід і великий штат висококваліфікованих спеціалістів в галузі промислової автоматизації та планує використовувати свою платформу WISE-PaaS й глобальні ресурси, щоб зв'язати всіх партнерів у виробничому ланцюжку інтелектуальних перевезень. Саме за об'єднанням та розвитком технологій 5G, ШІ, граничних обчислень та LiDAR стоїть майбутнє інтелектуального транспорту.

Матеріал надано ПРОКСИС™,  
www.proxis.ua

CN

ADVANTECH

## Централізоване управління доступністю машин та енергоефективністю для оптимізації роботи



### iFactory/OEE

- ✓ Моніторинг виробництва в реальному часі
- ✓ Управління доступністю машини
- ✓ Управління продуктивністю перемикачів

### iFactory/FEMS

- ✓ Моніторинг енергоспоживання
- ✓ Аналіз витрат і споживання
- ✓ Управління енергоефективністю



ADVANTECH Industrial IoT

Channel Partner



ПРОКСИС

www.proxis.ua  
sales@proxis.ua

Промислові комп'ютери та системи  
+380 (44) 467-5977, 599-5977

# Тестування друкованих плат: найважливіші методи та показники

**Закарайя Петерсон (Zachariah Peterson)**

**Адаптований переклад українською та технічне редагування:  
Олег Бевза, ст. викладач, кафедра ЕПС, ФЕЛ, КПІ ім. Ігоря Сікорського**

**Виробники знають, що виготовлення друкованих плат вимагає багато зусиль щодо контролю якості та випробувань. Існує безліч способів перевірки якості, щоб гарантувати відтвореність проекту в умовах масового виробництва із збереженням високої якості, але багато з цього може відбуватися у фоновому режимі без відома розробника. Інші важливі випробування, такі як тестування на готовність до виробництва та функціональне тестування друкованої плати зазвичай є обов'язком розробника і виконуються під час створення прототипу, ці випробування також стають частиною процесу серійного виробництва.**

**Незалежно від того, який рівень випробувань та перевірки вам необхідно виконати, важливо визначити основні вимоги до випробувань, яким має задовольняти ваш проект та з якими ви повинні ознайомити вашого виробника. Якщо ви вперше переходите від прототипів до виробництва великого обсягу, ознайомтеся зі списком вимог до процесів випробувань плат, щоб знати, чого вам слід очікувати.**

## ВИПРОБУВАННЯ ДРУКОВАНИХ ПЛАТ ПІД ЧАС ЇХНЬОГО ВИРОБНИЦТВА

Під час виготовлення та складання виконується кілька процедур випробувань друкованих плат. Вони спрямовані на оцінку якості та ресурсу друкованої плати без елементів, а також на те, щоби переконалися, що конструкція пройде етап складання без дефектів. Крім того,

під час виготовлення/складання будуть проводитись електричні випробування та порівняння з проектним списком з'єднань.

Коли йдеться про прототип, його тестування не закінчується виробництвом першого зразка. Після того, як плати будуть отримані, команда розробників повинна виконати для всіх плат тестування на їхню готовність до виробництва та функціональні випробування, перш ніж завершити проектування. Після розши-

рення серійного виробництва до тисяч або мільйонів плат може знадобитися автоматизація деяких процесів для забезпечення високої продуктивності та якості.

## МЕХАНІЧНІ ВИПРОБУВАННЯ ТА ПЕРЕВІРКИ ДРУКОВАНИХ ПЛАТ

Існує мінімальний набір механічних випробувань та перевірок, які виконуються під час виробництва (див. табл. 1), щоб перевірити процес виготовлення плати та гарантувати надійність подальшого складання вузла.

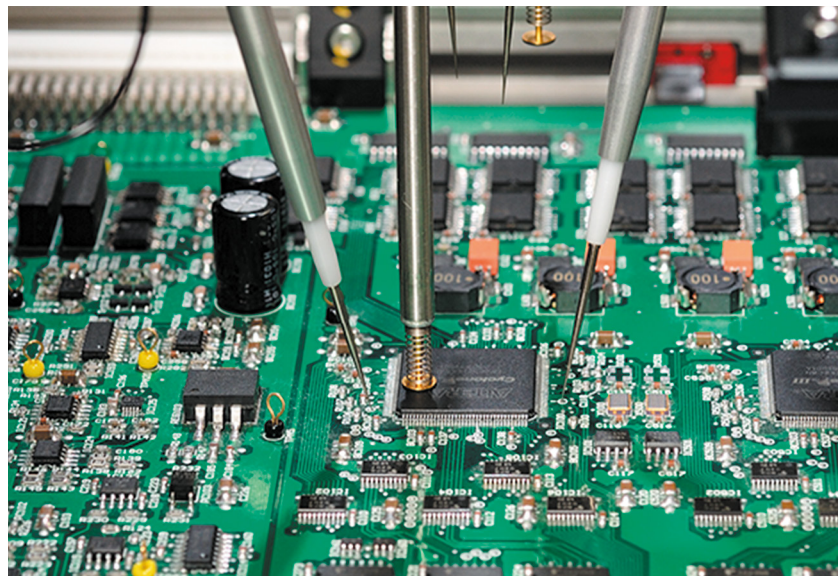
Ці випробування можуть проводитися, щоб визначити наявність будь-якої можливої проблеми якості, властивій виробничому процесу та розуміння того, що потрібно буде змінити в процесі виробництва для усунення проблеми. Буває, що причина проблеми криється в особливостях конструкції, тоді потрібно вносити правки в проект.

## ЕЛЕКТРИЧНІ ВИПРОБУВАННЯ ДРУКОВАНИХ ПЛАТ ПІД ЧАС ВИРОБНИЦТВА

Електричні випробування також проводяться під час виробництва для пе-

**Таблиця 1. Види механічних випробувань та перевірок, що виконуються під час виробництва друкованих плат**

Випробування	Що перевіряється	Критерії
Візуальний огляд та рентген-контроль	Мета — це виявлення будь-яких порушень, розшарування або інших пошкоджень у поверхневих (візуальний огляд) та внутрішніх (рентген-контроль) шарах. Рентген-контроль також використовується для перевірки корпусів BGA або QFN на наявність достатньої кількості припою та цілісності паяних з'єднань.	Пройдено/не пройдено
Випробування на відшарування	Вимірює зусилля, необхідне для відшарування склеєної плати після того, як стек шарів зібраний і повністю затверджений.	Пройдено/не пройдено + конкретне значення
Випробування у ванні з припоєм та перевірка на розтікання припою	Визначає здатність до паяння металізованого наскрізного отвору (PTH), а також те, чи покриття стінок перехідного отвору витримуватиме термічну напругу під час паяння перед виходом з ладу.	Пройдено/не пройдено
Візуальний автоматизований контроль (АОІ)	Використовується для автоматичного визначення дефектів складання, таких як недостатня кількість припою, тріщини в з'єднаннях, розриви з'єднань (наприклад, наскрізне проплавлення або ефект «нодгробкового каменю» в крайніх випадках). Нові методи АОІ, розроблені за допомогою глибокого навчання, використовуються для виявлення холодного паяння.	Пройдено/не пройдено



**Рис. 1.** Для перевірки певних точок на друкованій платі на наявність несправностей використовуються «Літаючі щупи»

- Випробування на тепловий удар.
- Випробування HALT/HASS (електротермотренування).
- Випробування на вплив докільля.
- Електричні стрес-тести.
- Випробування на відповідність стандартам UL.
- Будь-які інші спеціальні випробування для даного продукту/галузі (IEC, ISO тощо).

Якщо ваш виробник не може виконати таких складаних випробувань, існують спеціалізовані випробувальні компанії, які проведуть атестацію нових продуктів з використанням комплексної методології та виконають серію випробувань на замовлення. Випробування з безпеки та електричні стрес-тести зазвичай є найважливішими при розробці споживчих або комерційних продуктів, оскільки вони забезпечують базові вимоги до надійності. Для продуктів у таких галузях, як медицина, автомобілебудування або авіакосмічна промисловість, будуть застосовуватися набагато суворіші стандарти як щодо класу з IPC, так і інших галузевих стандартів (SAE, MIL-STD тощо).

## НАДІЙНІСТЬ ТА АНАЛІЗ ВІДМОВ ДРУКОВАНИХ ПЛАТ

Що входить в аналіз надійності та розуміння основних причин відмови? Якщо плата піддана стресовому навантаженню, що призвело до відмови, або вона просто не пройшла перераховані вище випробування, необхідно провести дослідження, щоб визначити основну причину відмови. Насамперед слід розпочати з функціонального тестування, щоб визначити, які конкретні функції чи можливості призвели до відмови. Якщо ви почнете з цього, зможете звузити коло до конкретного етапу проектування, де, швидше за все, стався збій. На додаток до електричного тестування плати часто використовуються мікросліфи, щоб визначити, які конкретні точки конструкції могли вийти з ладу та визначити точний механізм збою (рис. 2).

Якщо у вас є доступ до програм для моделювання фізичних процесів та велика обчислювальна потужність, ви навіть можете запускати моделювання навантажень для кількісної оцінки таких речей, як середнє напруження на відмову, точне місцезнаходження відмов та типи механічних відмов, викликаних термічним впливом, а також процедури дослідження

ревірки будь-яких несправностей, відхилень імпедансу або залишків припою:

- Контроль електричних з'єднань: визначення наявності розривів та коротких замикань, а також конкретних значень напруги/струму у контрольних точках. Іноді для вимірювання певного сигналу використовується випробувальна оснастка (рис. 1). Крім того, електричне тестування на увімкнення або вимкнення живлення може використовуватися з певними компонентами або контрольними точками для перевірки наявності несправних компонентів.
- Випробування сплавом Розе: це випробування виконується для перевірки будь-яких забруднень, які могли залишитися від паяльного флюсу.
- Рефлектометрія у часовій області (TDR): цей тест використовується для вимірювання імпедансу при одиночному та диференційному трасуванні. Вона може бути виконана на тест-купоні або на тестовій платі з прикріпленим оснащенням. Для повної оцінки цілісності сигналу необхідно застосування принципу включення тракту та аналіз.

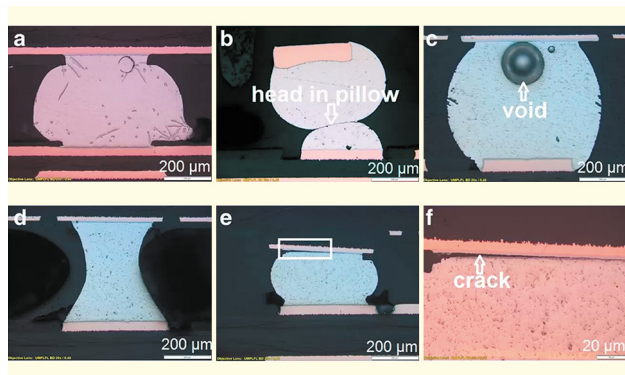
Випробування контролю імпедансу — це область, в якій ви повинні використовувати інформацію та досвід вашого виробника, перш ніж створювати свій проект. Якщо ви запросите послугу контролю імпедансу як частину вашого виробничого замовлення вашого замовлення, виробник має переконатися, що набір матеріалів, що є у нього, відповідає вашим вимогам щодо імпедансу. Просто переконайтеся, що дали чіткі

вказівки виробнику, наприклад, у ваших примітках до виготовлення.

## СТРЕС-ТЕСТУВАННЯ ДРУКОВАНИХ ПЛАТ

У наведеному вище списку включені фундаментальні випробування, необхідні для забезпечення успішного виготовлення друкованої плати та виявлення дефектів. На додаток до основних випробувань, перерахованих вище, вашій платі, можливо, потрібно пройти більш суворі випробування, які призначені для перевірки друкованої плати під максимальним навантаженням. Після того як друкована плата пройшла складання, її можна піддати серії стрес-тестів, щоб переконатися, що вона відповідає максимальним вимогам до продуктивності та надійності. Стрес-тестування друкованих плат спрямоване на оцінку довгострокової та короткострокової надійності за ідеалізованих умов навколишнього середовища. Не всі плати повинні проходити такий набір тестів, які виконує виробник. Для швидких запусків прототипів ці випробування зазвичай не проводяться, в тому числі і виробником. Натомість порожня плата та готова збірка можуть бути оцінені на відповідність стандартам надійності за допомогою базових процедур перевірки:

- Випробування на вібрацію, наприклад, відповідно до стандартів для військової та аерокосмічної галузей.
- Випробування на пожежну безпеку NEMA/NFPA/FAA.



**Рис. 2.** Кілька цікавих прикладів відмов, які можна побачити на мікросхемі

конструкції, щоб визначити, як змінити конструкцію чи процес її виготовлення.

Коли виявляється збій і з'ясується, що він стався поза умовами експлуатації, які можна передбачити, ви можете вважати це успіхом настільки, наскільки конструкція відповідає вашим стандартам проектування та надійності. Жодна конструкція не є ідеальною, тому не дивуйтеся, якщо зрештою вона вийде з ладу під дією екстремальних навантажень. Ціль полягає в тому, щоб визначити, чи може конструкція надійно працювати за деяких розумних очікуваних умов, що виникають під час її використання. Для вирішення цього завдання були розроблені стандарти надійності, і відповідність цим стандартам при розробці плат є першим кроком у забезпеченні надійності вашого продукту.

## ТИПОВІ ВИПРОБУВАННЯ

Перш ніж піддавати плату серії випробувань, переконайтеся, що ваша розробка здійснюється з урахуванням стандартів надійності та безпеки. Конкретні аспекти конструкції, що визначають надійність, регулюються деякими стандартами IPC:

- IPC-6011 Загальні технічні умови для друкованих плат.
- IPC-6012D Типові випробування та технічні умови для жорстких друкованих плат.
- IPC-6013D Типові випробування та технічні умови для гнучких/гнулко-жорстких друкованих плат.

Ці стандарти надають конкретні рекомендації та допуски за розмірами, яким має відповідати плата. Для ясності слід наголосити, що у рекомендаціях не вказуються конкретні розміри контактних майданчиків, провідників, отворів чи інших об'єктів, яким має відповідати плата. Однак вони визначають набір мінімальних критеріїв, яким повинна відповідати плата кожного класу продуктів відповідно до IPC. Залежно від допусків виробника на виготовлення та класу продукту можуть бути визначені конкретні цільові розміри, яким має відповідати виготовлена плата. Типовим прикладом є пояски металізації для пристроїв класу III за стандартом IPC 6012.

## ФУНКЦІОНАЛЬНЕ ТЕСТУВАННЯ ДРУКОВАНИХ ПЛАТ

Функціональне тестування електроніки включає ряд можливих випробувань, багато з яких спрямовані на те, щоб переконатися, що продукт забезпечує бажану зруч-

ність використання для кінцевого користувача і виконує функції, які були передбачені в конструкції. Це відповідальність групи розробників на етапі створення прототипу, а не самого виробника. Пам'ятайте, що завдання виробника полягає в тому, щоб надати вам, як замовнику друковану плату, яка за електричними характеристиками відповідає тим проектним даним, які ви надаєте йому, зазвичай в його обов'язки не входить виконання функціональної перевірки, якщо ви не можете допомогти автоматизувати проведення такого тестування.

У випадку, якщо проект не дає очікуваних результатів під час функціонального тестування, розробник повинен усунути помилки та змінити конструкцію для усунення проблеми. Розробнику або інженеру-випробувачеві може знадобитися вручну провести деякі електричні вимірювання, поекспериментувати з прошивкою та простежити проблеми у конструкції, щоб визначити причини всіх дефектів. Як тільки вони будуть знайдені, вони можуть бути розглянуті в наступній редакції проекту і, в ідеалі, можуть бути включені як вимоги до випробувань зі збільшенням обсягів виробництва продукту.

Якщо ви переходите до більшого обсягу виробництва, а функціональність чи відповідність вашого продукту стандартам вимагає проходження певних електричних, теплових чи механічних випробувань, ви повинні сказати про це своєму виробнику друкованих плат, розробити процедури випробувань усередині компанії або укласти договір на надання цих послуг із сторонньою випробувальною фірмою. Поговоріть з ними заздалегідь, щоб переконатися, що вони розуміють, що вам потрібно, і що вони мають можливість автоматизувати ці випробування для забезпечення якості продукції. Виконання цих завдань потребує часу на додаткову підготовку, але в результаті ви станете впевненішими, знаючи, що всі можливі несправності були враховані під час проектування. Найкращі інструменти проектування друкованих плат Altium Designer® дають вам все необхідне для визначення вимог до процесів випробувань плати вашого продукту. Коли ви будете готові направити свій проект у виробництво, ви можете легко передати проектні дані виробнику за допомогою платформи Altium 365™. Altium 365 і Altium Designer надають все необхідне для перевірки проекту, передачі вимог до випробувань, а також інструмент обміну повідомленнями про зміни в конструкції зі збереженням історії.

Altium — один з провідних світових розробників програмного забезпечення для проектування електроніки (проектування друкованих плат, керування даними і компонентами друкованих плат).

Рішення Altium дозволяють створити єдине середовище проектування, яка об'єднує всі аспекти розробки електронних пристроїв, з постійною підтримкою безшовного зв'язку між етапами проектування (створення схем, конструювання, формування документації та математичний аналіз).

Інструменти Altium завоювали широку популярність завдяки своїй надійності і зручності використання; більше 30 років використовуються розробниками для створення сучасних технологій і високоінтелектуальних продуктів. Клієнтами Altium є більше 100 000 організацій по всьому світу.

**ТОВ «Софтпром Солюшинз» — дистриб'ютор компанії Altium в Україні.**

**e-mail: [altium@softprom.com](mailto:altium@softprom.com)**

**<https://softprom.com/ua/vendor/altium>**

СН

# Розумні польові пристрої зі смарт-з'єднанням

**Міхаель Радау (Michael Radau),** менеджер із застосування IoT-пристроїв для будівель, Phoenix Contact GmbH&Co.KG  
E-mail: ua-office@phoenixcontact.com

**Незручні умови монтажу, наприклад, для польових пристроїв у вентиляційних системах, суттєво збільшують час монтажу та обслуговування. Тому під час розробки пристрою варто використовувати інтуїтивно зрозумілий та простий спосіб підключення провідників (рис. 1).**

Візьмемо типовий монтаж у будівлі: висота стель три з половиною метри, під якими знаходяться металеві повітроводи для вентиляційної системи. Встановлюється система автоматизації, і для моніторингу якості повітря необхідно змонтувати датчики повітроводів. Для того щоб підключити сигнальну лінію для технології MCR до датчиків, монтажнику доводиться підніматися на два метри вгору по сходах і працювати над головою. Тут жарко і кипить літо. Піт стікає по спині монтажника і постійно заливає йому очі. Навіть у найкоротші часи видимість не є чудовою.

А тепер настає найскладніша робота: окремі провідники потрібно правильно підключати в невеликому монтажному просторі датчика. Але чи є у нього потрібний інструмент під рукою? Забув! Тож, треба спускатись вниз по інструмент (рис. 2). Завжди дратує!

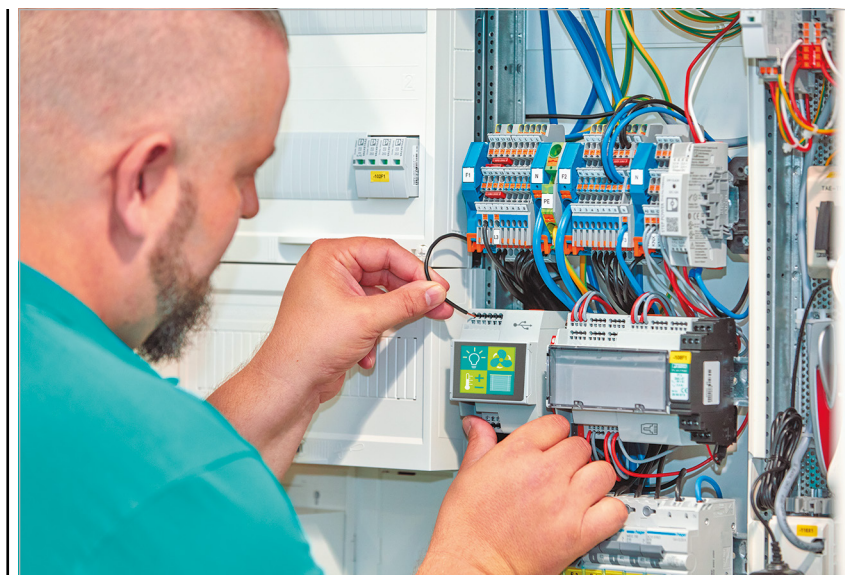
Це лише один приклад з безлічі ситуацій, що зустрічаються. Поряд з прямолінійною параметризацією і високим ступенем функціональності, проектування монтажного простору і технологія підключення грають важливу роль у монтажних і пусконаладжувальних роботах. Це може значно полегшити робо-

ту монтажнику і допоможе запобігти помилкам при підключенні провідників. Працювати треба в дуже обмеженому просторі, отвори для вводу провідників видно погано, технології з'єднання застарілі, ще й часу обмаль. За таких умов не складно й помилитись.

## ПРИСТРІЙ І ТЕХНОЛОГІЯ ПІДКЛЮЧЕННЯ – ПОШУК ІДЕАЛЬНОГО ПОЄДНАННЯ

Розробники та менеджери продуктів могли б полегшити монтаж своїх продуктів. У випадку з польовими краще звернути увагу на ергономіку рівня з'єднання ще на ранніх етапах розробки проекту. Чи буде достатньо фіксованого підключення пристрою або потрібні рішення для роз'ємів? Де буде встановлено пристрій і чи може знадобитися більш високий ступінь захисту? Ці аспекти та інші технічні деталі, такі як поперечні перерізи з'єднань, номінальні напруги та струми, які впливають на крок, повинні бути уточнені планувальниками на етапі розробки проекту (рис. 3). При цьому важливо враховувати ситуації, з якими можна зіткнутися в майбутньому. Чи будуть монтажні та пусконаладжувальні роботи виконуватися виключно кваліфікованими фахівцями або навченим, але неспеціалізованим персоналом? А хто в подальшому буде проводити профілактичні або ремонтні роботи? Таким чином, пристрій може бути оптимально орієнтований на його кінцеве використання, допомагаючи зробити встановлення та обслуговування швидкими та простими для відповідного персоналу.

Коли всі ці аспекти будуть враховані з самого початку під час розробки пристрою, тоді можна досягти оптимальної обробки та виключити помилки. Це підвищує репутацію продукту та призводить



**Рис. 1. Швидкий і простий монтаж: модульні корпуси електроніки ВС і технологія з'єднання Push-in адаптовані до потреб монтажників**



**Рис. 2. Простір для вдосконалення: коли ви маєте справу зі складними умовами монтажу, підключення провідників має бути максимально простим**

до високого визнання на ринку. Крім того, всі сторони виграють від переваг швидкого і легкого монтажу. Робота монтажника полегшується, тому роботу можна виконати швидше. Системний інтегратор може швидше вводити системи в експлуатацію. А системні оператори можуть зекономити за рахунок швидшого монтажу та введення в експлуатацію. А коли справа доходить до технічного обслуговування та ремонту, систему можна відремонтувати швидше, що призведе до кращої експлуатаційної готовності.

### ВАЖЛИВО ТЕ, ЩО ВСЕРЕДИНІ

Серія продуктів LPT і LPC від Phoenix Contact (рис. 4) надає виробникам пристроїв чудовий вибір клемних блоків і роз'ємів для друкованих плат, придатних для всіх застосувань класу захисту IP20. Унікальна технологія з'єднання Push-in дозволяє інтуїтивно зрозуміле і безінструментальне з'єднання гнучких і жорстких провідників в діапазоні перетину від 1.5 мм<sup>2</sup> до 25 мм<sup>2</sup> на пристрої. Якщо гнучкі провідники повинні бути з'єднані без кабельних наконечників, простір затиску можна відкрити без використання інструменту за допомогою інтуїтивно зрозумілого важеля. Конструкція воронки входу кабелю запобігає зрощуванню окремих літц-дротів і забезпечує швидке та надійне з'єднання без використання інструменту. Завдяки технології Push-in як гнучкі провідники з кабельними наконечниками, так і жорсткі провідники можуть підключатися безпосередньо, навіть при закритому важелі.

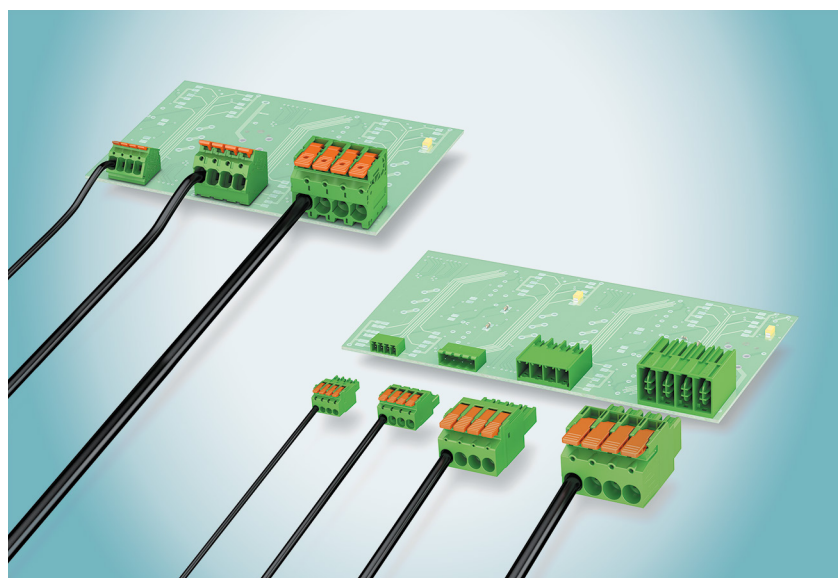
Між шиною і провідником завжди забезпечується підпружинений контакт. Важіль керування візуально та відчутно вказує на певний стан затискного простору ззовні. Одразу стають помітні неправильно закриті затискачі, а значить, і неправильні з'єднання. Крім того, контактна сила запрограмована пружиною, тому вона завжди залишається незмінною. Перемикаючи важіль, користувач впевнений, що вставлений провідник надійно контактує і буде залишатися стабільним в довгостроковій перспективі. Як наслідок, можливі джерела помилок, такі як неправильний момент затягування при здійсненні гвин-



**Рис. 3. Оптимальні умови підключення на виробництві: для швидкої та безпомилкової установки в польових умовах**

тового з'єднання, виключаються. Ці властивості роблять клеми і роз'єми друкованих плат в сімействі продуктів LPT і LPC ідеальним рішенням для випадків, які вимагають швидкого і зрозумілого процесу з'єднання.

Навіть на ранній стадії розробки на конструкцію пристрою впливають вимоги, встановлені стандартами та пов'язані із затвердженням. Якщо пристрій



**Рис. 4. Підключення відбувається зовсім нескладно: клеми і роз'єми для друкованих плат зі з'єднанням Push-in забезпечують інтуїтивне керування і максимальну надійність**

планується продавати на міжнародному ринку, він має відповідати американським стандартам на додаток до міжнародних стандартів, таких як EN/IEC. Проективальники повинні ретельно розглянути інтерфейси пристроїв, особливо щодо координації ізоляції. Використані компоненти можна знайти в так званому «списку критичних компонентів». І роз'єми LPC(H) 6 і LPC 16 PCB, і клеми LPT(A) 6, і LPT 16 PCB підходять для напруги до 600 В відповідно до стандарту UL 1059 без обмежень. Це дозволяє їх універсальне використання як «клемні колодки польової проводки» у всіх сферах застосування. Крім того, вони забезпечують підвищену безпеку контакту пальців на три міліметри (відповідно до IEC/UL 61800-5-1). Таким чином, вони забезпечують необхідний захист від прямого контакту, необхідний для систем 400 В TN, і дозволяють використовувати пристрій без додаткових кришок.

Клема для друкованої плати LPT(A) 2.5 і роз'єми LPC 1.5/2.5 також затверджені відповідно до стандарту UL 1059, і мають напругу 300 В відповідно до Use Group B. Відповідність національним і міжнародним стандартам спрощує процес затвердження, дозволяючи швидше запускати нові пристрої на диверсифікованих ринках Європи, США та Азії.

## ПІДСУМОК

Технологія з'єднання Push-in з важелем, що інтегрована в розумні пристрої, призводить до розумного підключення пристроїв. Клеми і роз'єми для друкованих плат в серії продуктів LPT і LPC є ідеальною альтернативою, оскільки користувачі можуть встановити їх швидко та інтуїтивно. Це забезпечує більш високий ступінь надійності в польових умовах і забезпечує економічну роботу всієї системи.

Додаткові матеріали до статті знаходяться тут:

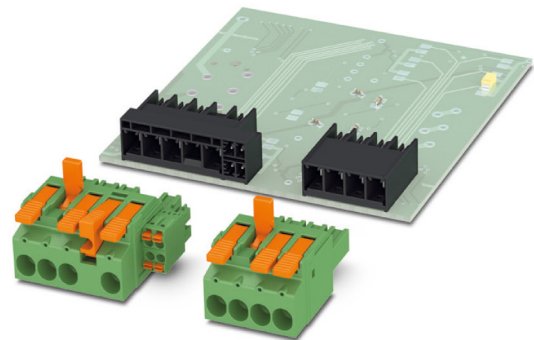
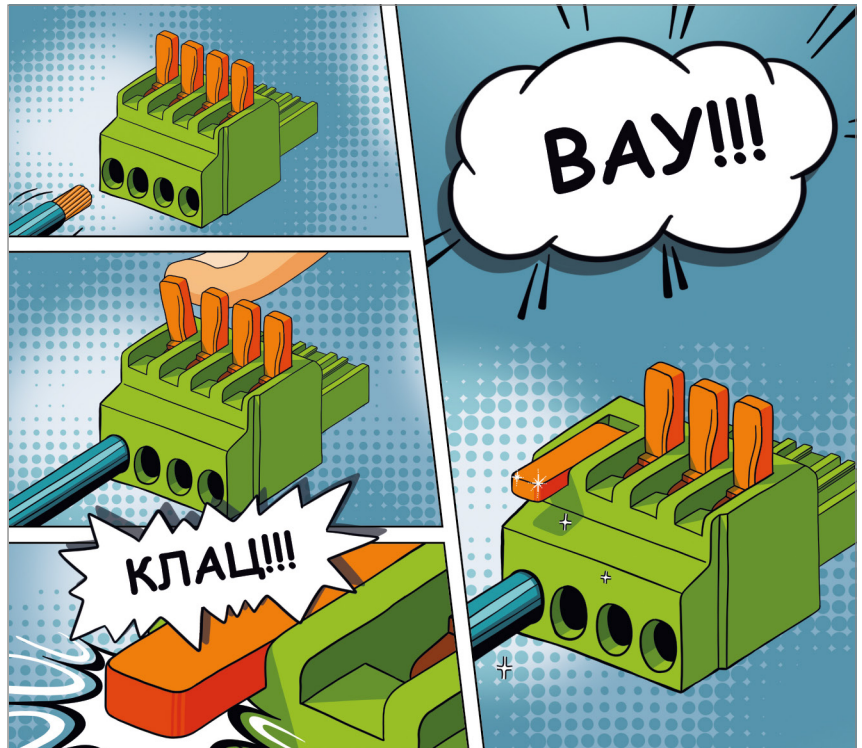


**Більш детальну інформацію можна дізнатися, звернувшись в ТОВ «Фенікс Контакт»:**

**тел.: (044) 594-55-22,**

**факс: (044) 594-55-21,**

**[www.phoenixcontact.com/uk-ua/](http://www.phoenixcontact.com/uk-ua/)**



## Клац! Готово!

### Роз'єми для друкованих плат з керуванням важелем

Компанія Phoenix Contact задає нові стандарти зручності підключення проводу. Клеми та роз'єми для друкованих плат універсальних серій LPT та LPC поєднують неперевершену простоту важільного керування з надійним пружинним з'єднанням Push-in. Таким чином, ви можете надзвичайно швидко та інтуїтивно зрозуміло підключати провідники з перерізом до 25 мм<sup>2</sup> без використання інструменту.

За додатковою інформацією, звертайтеся:

ТОВ «Фенікс Контакт»

(044) 594 55 22

[www.phoenixcontact.com/uk-ua/](http://www.phoenixcontact.com/uk-ua/)

<https://phoe.co/klemy-ta-rozyemy-dlya-drukovanykh-plat-z-keruannyam-vazhelem>

DC 06-17.000.L1  
© PHOENIX CONTACT 2017

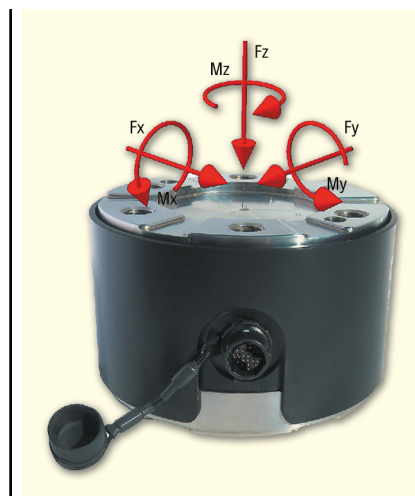
**PHOENIX CONTACT**  
INSPIRING INNOVATIONS

# Поліпшення функціональних характеристик захищеної вимірювальної апаратури під час використання з'єднувачів компанії Fischer Connectors

Ефективність застосування сучасної вимірювальної апаратури багато в чому залежить від характеристик її підключення до джерел та споживачів інформації, а також до електроживлення. При експлуатації та обслуговуванні контрольно-вимірювальних приладів (КВП) розробники та користувачі прагнуть до підвищення функціональності, точності, безпеки та надійності, вищої швидкості передачі даних та спрощення інтеграції. Для вирішення цих завдань компанії-виробники пропонують не тільки широкий вибір серійних з'єднувачів різних розмірів, дизайну та конфігурації контактів, але й готові адаптувати існуючі з'єднувачі або розробити індивідуальні рішення для конкретного застосування.

Надійні та достовірні результати вимірювань у реальному часі мають вирішальне значення для забезпечення безпечної та ефективної роботи систем у робототехніці, медичній техніці та автомобільній промисловості. Особливо важливими, що вимагають постійного контролю, є результати вимірювання сил і моментів, що діють по трьох просторових осях, за допомогою комбінації шести незалежних тензометричних датчиків. Подібний трьохосний тензодатчик K6D випускає компанія ME-Meßsysteme GmbH (рис. 1). Необхідно відзначити, що до з'єднувачів для датчиків висуваються суперечливі вимоги: з'єднувач повинен бути досить маленьким, щоб його можна було легко інтегрувати в датчики, але при цьому він повинен мати мінімум 24 контакти, бути стійким до рідин (ступінь захисту до IP68), гарантувати швидку та стабільну передачу даних навіть за високих прискорень та вібрацій. Після численних випробувань інженери компанії ME-Meßsysteme GmbH зупинили свій вибір на з'єднувачі MP11 серії MiniMax виробництва Fischer Connectors, що відрізняється малою вагою, дуже компактними розмірами, високою вібростійкістю та герметичністю (ступінь захисту IP68).

Іншим прикладом використання з'єднувача Fischer Connectors може служити тестер пальового ехо-сигналу компанії Piletest, лідера в галузі створення приладів підвищеної міцності, що застосовується для перевірки цілісності пальового фундаменту на будівельних майданчиках (рис. 2). З'єднувач іншого виробника, який спочатку використовувався в цьому приладі, був недостатньо міцним як при експлуатації, так і при транспортуванні. Щоб виключити відмови тестерів, фахівці Piletest у співпраці з інженерами Fischer Connectors розробили економічне рішення, яке відповідає суворим



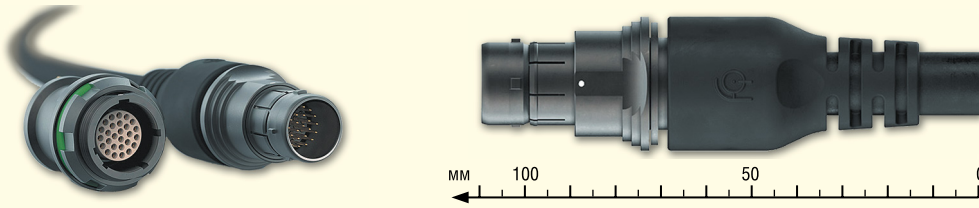
**Рис. 1.** Трьохосний тензодатчик K6D компанії ME-Meßsysteme GmbH із з'єднувачем Fischer серії MiniMax

вимогам до характеристик, надійності та зручності використання тестера. Був вибраний міцний 7-контактний з'єднувач Fischer LP360 серії Freedom через його довговічність (10 000 циклів з'єднання), герметичність зі ступенем захисту IP68, низький профіль, безключове вільне сполучення та немагнітний фіксатор.



**Рис. 2.** Тестер ехо-сигналу компанії Piletest для перевірки цілісності пальового фундаменту на будівельних майданчиках із з'єднувачем Fischer LP360 серії Freedom





**Рис. 3.** Нові з'єднувачі Fischer UltiMate розміру 15



**Рис. 4.** Нові з'єднувачі Fischer серії UltiMate для силового електроживлення апаратури

Слід зазначити, що інженери Fischer Connectors постійно працюють над удосконаленням і розширенням лінійки захищених з'єднувачів. Останнім часом компанія суттєво оновила серію надміцних та компактних з'єднувачів Fischer UltiMate.

З'єднувачі Fischer UltiMate нового розміру 15 відповідають підвищеним вимогам до потужності ліній електроживлення та високошвидкісної передачі даних з різними схемами розташування контактів (2, 4, 8, 16 або 27 сигнальних та силових контактів) (рис. 3).

Ступінь захисту від вологи та пилу IP68 нових з'єднувачів Fischer UltiMate підтверджено випробуваннями відповідно до стандарту IEC 60529. Герме-

тичність з'єднувачів перевіряють шляхом занурення на глибину до 120 м на 24 год. Корозійна стійкість завдяки сталевому корпусу з покриттям нікелем становить не менше 1000 годин при впливі агресивних атмосферних умов. Крім того, забезпечується витримка протягом 96 годин у соляному (морському) тумані (зрошення 5%-розчином, температура +35 °C). З'єднувачі можуть використовуватись у широкому діапазоні робочих температур -55...+135 °C.

До складу серії Fischer UltiMate також увійшли два з'єднувачі (розміру 13) для забезпечення силового електроживлення: один має два контакти з допустимою силою струму 26 А кожен, а

другий — три контакти з допустимою силою струму 16 А кожен (рис. 4). Обидва варіанти додатково містять три сигнальні контакти, що забезпечує більшу гнучкість і зменшення масогабаритних характеристик за рахунок спільної передачі електроживлення апаратури та інформаційних сигналів через одні й ті самі з'єднувачі.

У серії Fischer UltiMate 80 (розміру 08), сумісної з іншими з'єднувачами, що відповідає вимогам стандарту STANAG 4695, крім варіанта з шістьма сигнальними та силовими контактами з'явився варіант із сімома контактами (рис. 5). Обидва з'єднувачі допускають монтаж контактів проводу з калібром до AWG 22 (площею перерізу до 0.326 мм<sup>2</sup>). З'єднувачі Fischer UltiMate 80 є надміцним, легким і захищеним по IP68

**Рис. 5.** Конфігурація блоку контактів з'єднувачів Fischer серії UltiMate 80

**MICRODIS**  
www.microdis.net

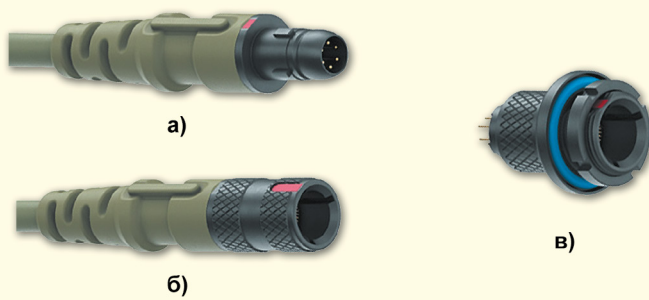
Мікродіс Електронікс ГмбХ —  
офіційний дистриб'ютор  
Fischer Connectors в Україні

**Роман Прокопець**  
Менеджер з продажу

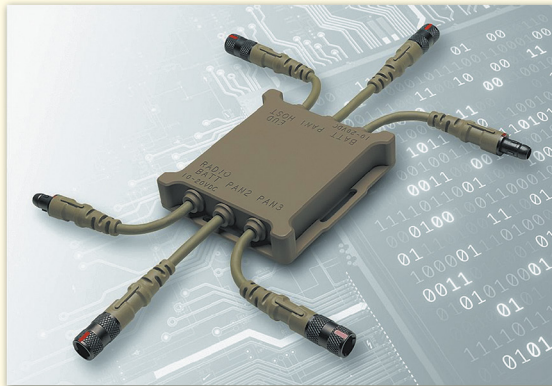
Microdis Electronics GmbH  
Rheinauer Straße 1  
68766 Hockenheim  
Germany

М +380 67 475 81 86  
Roman.Prokopets@microdis.net

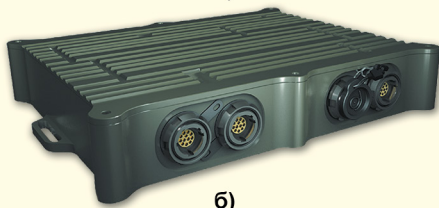
**fischer**  
CONNECTORS



**Рис. 6.** Варіанти з'єднувачів Fischer UltiMate 80: кабельна вилка UP81 (а); кабельна розетка UR80 (б); блочна розетка UR81 (в)



а)



б)

**Рис. 7.** Приклади електронних блоків із з'єднувачами Fischer: UltiMate 80 (а); UltiMate (б)



**Рис. 8.** Приклади кабельних збірок із з'єднувачами Fischer Connectors: кабель із з'єднувачами Fischer серій MiniMax та UltiMate (а); кабель із з'єднувачами Fischer LP360 серії Freedom (б); кабель Ethernet із з'єднувачем Fischer серії MiniMax (в); кабель USB 3.0 із з'єднувачем Fischer серії MiniMax (г)

В даний час серія Fischer UltiMate 80 містить вилки та розетки для монтажу на кабель та розетки для блокових панелей з паянням проводів або з установкою на друковані плати (рис. 6).

З'єднувачі Fischer серій UltiMate та UltiMate 80 широко застосовуються в захищеній апаратурі, призначеній для збирання, комутації, обробки та зберігання різної інформації (рис. 7).

Високі функціональні характеристики з'єднувачів Fischer Connectors досягаються точністю їх виготовлення, а також щільністю упаковки контактів. Для полегшення створення кабельних виробів компанія Fischer Connectors спільно з авторизованими партнерами пропонують споживачам контрактне виробництво кабельних збірок на основі власних з'єднувачів за технічними вимогами конкретного замовника (рис. 8).

Слід зазначити, що інноваційний характер ідей, реалізованих інженерами компанії Fischer Connectors у нових з'єднувачах, знайшов визнання у міжнародному професійному середовищі. У 2021 році компанія Fischer Connectors виграла престижну премію Red Dot Award у двох категоріях: «Мобільні телефони, планшети та пристрої» та «Розумні продукти» — за дизайн з'єднувачів LP360 серії Freedom, раніше вже відзначених на численних галузевих конкурсах. З'єднувачі Fischer LP360 отримали характеристику «розумні з'єднувачі» за їх багатфункціональність та модульність при реалізації підключення за принципом «підключи та використовуй». У 2019 році на основі захищеного низькопрофільного з'єднувача Fischer LP360 була створена універсальна технологічна платформа для пристроїв, що носяться, таких як біометричні датчики, комунікаційні системи, GPS, освітлювальні прилади та відеокамери. Переваги використання такого екіпірування в польових умовах очевидні: екіпірування легке, без плутаних кабелів, налаштування більш швидкі і зрозумілі, немає проблем в обслуговуванні, воно просте в очищенні, надійне з'єднання, швидкість передачі даних висока для підвищеної безпеки і кращої продуктивності.

Популярність захищених з'єднувачів швейцарської компанії Fischer Connectors пояснюється втіленням у її діяльності важливих принципів: повної реалізації технічних вимог замовників, високої якості виробів, забезпечення їхнього постачання у встановлені терміни, тривалого періоду підтримки серійного виробництва.

СН

рішенням для з'єднання електричних ланцюгів у суворих зовнішніх умовах. Конструкція з'єднувачів відрізняється винятковою міцністю та відповідає стан-

дартам MIL-STD 810 та MIL-STD 202, забезпечуючи високі екологічні характеристики та параметри стійкості до механічних та кліматичних впливів.

# Аналіз сигналів на частотах 110 ГГц та вище

## Короткі рекомендації щодо застосування

### ВСТУП

Працюючи на терагерцових частотах можна недооцінити проблеми, що виникають під час розробки, налагодження та випробувань пристроїв. На відміну від сигналів НЧ-, ВЧ- або НВЧ-діапазону, сигнали на частотах 30 ГГц, 300 ГГц або 1 ТГц поведуться зовсім по-іншому. На відповідних довжинах хвиль 10 мм, 1 мм або 0.3 мм втрати при поширенні радіохвиль в атмосфері досить високі, особливо на резонансних частотах молекул кисню, води і вуглекислого газу. Ці відмінності ускладнюють генерацію потужності, а також створюють проблеми під час виконання каліброваних вимірювань та отримання достовірних результатів.

Передові методи вимірювання та великий досвід роботи в міліметровому діапазоні дозволяють компанії Keysight створювати комерційно доступні прилади міліметрового діапазону. Ці знання та досвід, які широко використовуються в наших апаратних та програмних продуктах, завжди до ваших послуг, а наші інженери готові допомогти вам у освоєнні спеціалізованих додатків. Аналізатор сигналів Keysight N9041B серії UXA компанії (від 3 Гц до 110 ГГц) допоможе вирішити всі завдання щодо аналізу сигналів на частоті 110 ГГц і вище.

### НА ПІКУ ТЕХНОЛОГІЙ

Технологія міліметрових хвиль використовується протягом десятиліть в аерокосмічній та оборонній галузях та магістральних лініях зв'язку, де її переваги виправдовують високі витрати на розробку, виробництво та підтримку пристроїв нового покоління. Останні досягнення у виробництві пристроїв міліметрового діапазону дозволили знизити їхню вартість, що зробило їх використання у промисловості більш

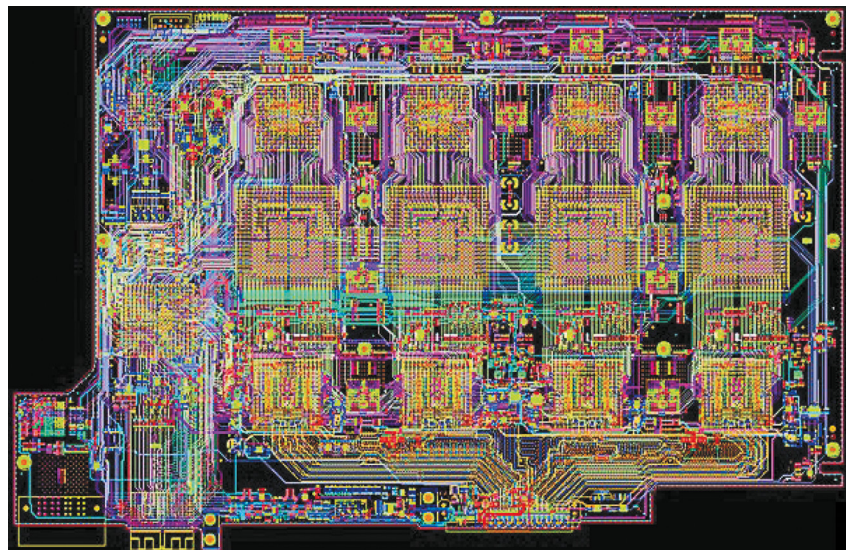
вигідним. Так, розробники КМОН-транзисторів вже створюють пристрої із частотою перемикання понад 500 ГГц і продовжують удосконалювати цю технологію задля досягнення частот від 1.0 до 1.5 ТГц.

Компанія Keysight також займається науковими дослідженнями та розробкою власних інноваційних компонентів для створення вимірювальних приладів міліметрового діапазону. Накопичений досвід розробки напівпровідникових пристроїв НВЧ-діапазону дозволяє нам розробляти компоненти на основі фосфіду індію (InP) з частотами перемикання транзисторів вище 300 ГГц. Це відкриває можливості розширення смуги пропускання ІС та кінцевих продуктів, наприклад осцилографів з революційними характеристиками (рис. 1).

Сьогодні на ринку вже впроваджено різні технології міліметрового діапазону, наприклад 802.11ad, та бюджетні маршрутизатори з підтримкою

стандарту 802.11ad (WiGig). Розвиток стандарту 802.11 призвів до появи стандарту 802.11ay, що розширює можливості стандарту 802.11ad, для роботи з ширшими смугами пропускання. У перспективі передбачається розгортання мереж мобільного зв'язку п'ятого покоління (5G). Втілення в життя девізу мереж 5G «скрізь і завжди на зв'язку» залежить від успішного використання ширших смуг пропускання в нещодавно виділеному спектрі на частотах 28 ГГц, 37 ГГц, 39 ГГц і в діапазоні 64–71 ГГц. В інших областях зв'язку використовуються транспортні системи міліметрового діапазону прямої видимості та міжпутникові лінії зв'язку.

Використовуючи роздільну здатність, що отримується на довжині хвилі 1 мм, можна розглядати таке застосування, як формування зображень. Як інші приклади можна навести наступне: контроль оболонок таблеток у процесі їх виробництва, вимірювання фізичних параметрів для визначення вмісту та



**Рис. 1.** Показана на рисунку високопродуктивна система збору даних осцилографа Keysight вже отримала нагороду PCG Technology Leadership Award за технологічні досягнення міжнародної корпорації Mentor Graphics

структури харчових продуктів та формування медичних зображень для ідентифікації здорових та уражених тканин на основі їх спектральних характеристик.

## ПЕРЕВАГИ ТА ПРОБЛЕМИ МІЛІМЕТРОВОГО ДІАПАЗОНУ

Розробники систем міліметрового діапазону можуть зіткнутися з труднощами, не пов'язаними з втратами під час поширення радіохвиль в атмосфері. Наприклад, порівняно з ВЧ- або НВЧ-пристроями ослаблення сигналу міліметрового діапазону збільшується при його проходженні через лінії передачі — коаксіальний кабель або хвилевід.

При підвищенні частот розміри компонентів зменшуються. В результаті зменшуються розміри обладнання і знижується його механічна міцність, а також значно посилюються виробничі допуски. Це ускладнює виготовлення та збирання високочутливих пристроїв міліметрового діапазону.

Проте сигнали міліметрового діапазону мають низку переваг. Наприклад, розміри антени можуть бути дуже невеликими в порівнянні з розмірами НВЧ-антен, а системи прийому-передачі — дуже компактними. Крім того, антени можна зробити вузькоспрямованими з малою шириною діаграми спрямованості.

У діапазоні довжин хвиль від 1 до 10 мм сигнали послаблюються, що створює не лише проблеми, а й низку переваг. Наприклад, сигнали наземних систем швидко послаблюються під час поширення через атмосферу.

Зважаючи на ці властивості, сигнали міліметрового діапазону можуть виявитися дуже корисними для технології ближнього зв'язку. У деяких випадках використовуються області з низьким поглинанням: автомобільний радар (від 77 до 81 ГГц), радіозв'язок точка-точка, бездротові магістральні лінії зв'язку і високочастотні антенні системи для радіоастрономічних спостережень.

В інших випадках велике послаблення сигналів дає змогу зменшити завади між обладнанням користувачів. Наприклад, стандарт 802.11ad (WiGig) для високошвидкісних аудіо- та відеоканалів використовує діапазон 60 ГГц, що не ліцензується. На відміну від типових сигналів Wi-Fi, сигнали з частотою 60 ГГц та радіусом дії 12 метрів послаблюються дерев'яними, кам'яними та скляними конструкціями, тому їх доцільно використовувати для домашніх кінотеатрів у багатоквартирних житлових будинках. Високе послаблення сигналів та вузькоспрямовані антени дозволяють створювати захищені системи зв'язку, які мінімізують несанкціоноване перехоплення інформації.

## ПРОБЛЕМИ ВИМІРІВ

Під час створення комерційного контрольно-вимірювального обладнання для отримання точних та відтворюваних результатів вимірювань необхідно вирішити дві основні проблеми — передача сигналів та генерація потужності.

Наприклад, хвилевід повинен бути максимально близьким до ідеального, щоб забезпечити належну внутрішню роботу будь-якого приладу міліметрового діапазону. Для роботи в діапазоні частот від 100 ГГц до 1 ТГц будуть потрібні хвилеводи з різними смугами пропускання. У міліметровому діапазоні довжин хвиль будь-який зсув фланцевого з'єднання хвилеводу стає причиною появи небажаних відбиттів, що призводять до зниження якості та потужності сигналу.

Отримання сигналу з необхідною потужністю є проблематичним, оскільки на цих частотах важко одночасно підтримувати лінійність та ефективність підсилювача. Внаслідок цього потужність на високих частотах, створювана генератором сигналів або аналізатором ланцюгів, обмежується. У зв'язку з цим ширша смуга частот — одна з переваг міліметрового діапазону довжин хвиль, але при вимірюваннях у широкій смузі частот зростає власний шум приладу. В результаті максимальна потужність зменшується, а власний шум приладу зростає, що призводить до зменшення доступного динамічного діапазону вимірювання спектра широкосмугових сигналів.

Подолавши ці труднощі, ви неминуче зіштовхнетеся зі складностями, пов'язаними з калібруванням приладу та вимірювальною схемою. Крім того, точне калібрування рівнів сигналів у міліметровому діапазоні утруднене, але тільки точне регулювання потужності гарантує точність вимірювань і запобігає пошкодженню пристрою, що тестується.

Вимірювання на цих частотах значно відрізняються від традиційних вимірювань, тому навіть найдосвідченішим інженерам доведеться відмовитися від перевірених методів та переглянути традиційні підходи. На всіх етапах — від аналізу спектру або тестування маски (SEM) до аналізу ланцюгів та вимірювання характеристик пасивних пристроїв (S-параметри) або активних пристроїв (X-параметри) — необхідно забезпечити правильні з'єднання, якісне перетворення частоти вихідних сигналів вгору, якісне перетворення частоти вхідних сигналів вниз, низький рівень внутрішніх паразитних сигналів, придушення внутрішніх гармонік та багато іншого.

Крім того, проблеми виникають через те, що в ряді випадків вимірювання виконуються в радіоефірі (OTA), без використання кабелів або хвилеводів. При виконанні вимірювань в радіоефірі знадобиться коригувати і калібрувати середовище передачі сигналу навколо вимірювальної схеми. Необхідно також передбачити можливість керування або блокування випромінювання будь-якого спрямованого елемента у випробуваному пристрої, щоб гарантувати відтворення вимірювання.

## АНАЛІЗ СИГНАЛІВ У МІЛІМЕТРОВОМУ ДІАПАЗОНІ ДОВЖИН ХВИЛЬ

Великі знання та досвід компанії Keysight у галузі вимірювальних рішень, у тому числі в міліметровому діапазоні, дозволяють створювати комерційно доступні вимірювальні прилади для міліметрового діапазону довжин хвиль. Аналіза-



**Рис. 2.** Аналізатор сигналів N9041B серії UXA може працювати у міліметровому діапазоні з безперервним співуванням до 110 ГГц

тор сигналів N9041B серії UXA розроблений з урахуванням унікального досвіду компанії, причому команда розробників спромоглася вирішити три ключові проблеми аналізу сигналів міліметрового діапазону: чутливість, діапазон частот та смуга аналізу (рис. 2).

В аналізаторах сигналів серії UXA покращені вхідні каскади дозволяють зменшити втрати та підвищити ефективність перетворення частоти, забезпечуючи середній рівень власних шумів (DANL) — 150 дБм/Гц при вимірі широкосмугових модульованих сигналів міліметрового діапазону. Аналізатор забезпечений двома з'єднувачами. Надійний та недорогий з'єднувач типу 2.4 мм призначений для вимірювань на частотах до 50 ГГц, а спеціальний з'єднувач 1.0 мм, підданий прецизійній обробці для отримання заданих допусків, використовується для безперервного свіпання та отримання достовірних вимірювань на частотах до 110 ГГц.

При єдиному свіпванні аналізатор сигналів серії UXA забезпечує повне перекриття діапазону частот від 3 Гц до 110 ГГц без розривів. На відміну від рішень, що використовують вимірювання в декількох смугах частот, в аналізаторі сигналів серії UXA виконується свіпання всього діапазону частот без появи паразитних сигналів і, отже, з максималь-

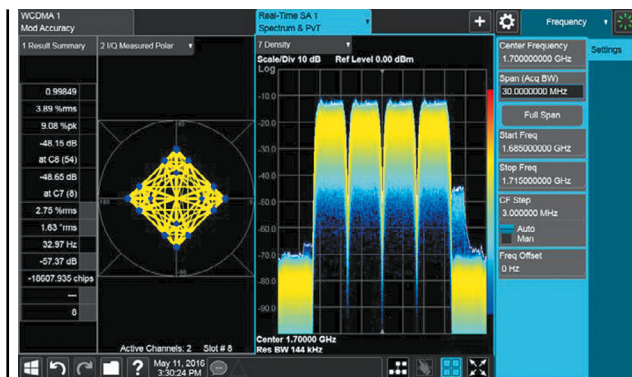
ною чутливістю. В результаті можна вимірювати невідомі або випадкові сигнали з високою чутливістю та спостерігати реальні проблеми, а не спотворені сигнали від аналізатора. Охоплення діапазону частот до 110 ГГц за допомогою одного пристрою забезпечує готовність аналізатора до роботи в нових діапазонах частот.

Повністю інтегрована миттєва смуга пропускання дорівнює 1 ГГц, на виході ПЧ підтримується максимальна смуга аналізу 5 ГГц при підключенні цього виходу до зовнішнього осцилографа Keysight. Для спостереження за імпульсними або слабкими сигналами можна використовувати опцію аналізу спектра у режимі реального часу (RTSA) з максимальною смугою 250 МГц.

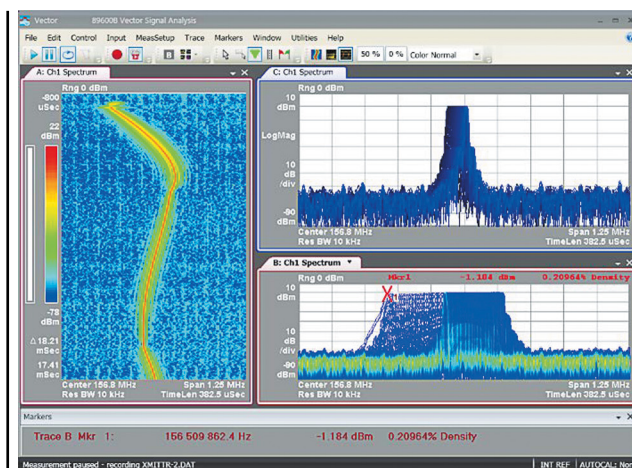
## ГЛИБОКИЙ АНАЛІЗ НАЙСКЛАДНІШИХ СИГНАЛІВ

Тісна інтеграція аналізатора з програмним забезпеченням та спеціалізованими вимірювальними програмами дозволяє виконувати розширений аналіз сигналів. Вимірювальні програми серії X зарекомендували себе як надійні та повністю готові рішення для аналізу сигналів. Ці програми, засновані на багаторічному досвіді компанії Keysight у галузі вимірювань та дозволяють отримувати відтворені результати, спрощують відображення та оцінку характеристик пристроїв у ході їх проектування та випробувань. Аналізатор сигналів N9041B підтримує різні корисні опції та вимірювальні програми, включаючи аналіз у режимі реального часу до 255 МГц з базовим або оптимальним детектуванням (опції N9041B-RT1 або N9041B-RT2; рис. 3).

ПЗ векторного аналізу сигналів Keysight 89600 VSA містить всеосяжний набір інструментів для демодуляції та векторного аналізу сигналів. 89600 VSA надає широкі можливості захоплення/відтворення сигналів, які дозволяють проводити детальний аналіз та наступну обробку результатів вимірювань з використанням функцій синхронізації, підстроювання та масштабування, що допоможе в точності визначити причину проблем із сигналами (рис. 4). Ці засоби дозволяють на практиці здійснити всебічне дослідження сигналів та оптимізувати найпереводші розробки.



**Рис. 3.** У режимі аналізу спектра в реальному часі (RTSA) використовуються вікна, що настроюються, які полегшують і прискорюють ідентифікацію перехідних і паразитних сигналів (червоний прямокутник)



**Рис. 4.** ПЗ векторного аналізу сигналів 89600 VSA пропонує потужні інструменти вимірювання та візуалізації, що дозволяють виділяти важковловимі та перехідні події, що виникають, наприклад, при включенні радіостанції

## ВИСНОВОК

Компанія Keysight, яка понад 75 років випускає передове контрольно-вимірювальне обладнання, пропонує інженерам прилади для виконання точних і відтворюваних вимірювань на все більш високих частотах і в більш широких смугах. Ми постійно розширюємо можливості своїх рішень для інженерів-дослідників, які займаються розробкою, моделюванням та випробуванням пристроїв та аналізом сигналів у міліметровому діапазоні. Інноваційний аналізатор сигналів N9041B серії UXA — свідчення нашого лідируючого становища створення рішень міліметрового діапазону.

**Більш детальну інформацію щодо продукції компанії Keysight Technologies можна отримати, звернувшись до офіційного дистриб'ютора в Україні — компанії Юнітест:**

**04053, м. Київ, вул. Олеса Гончара, 6,  
тел. +38 (044) 272-60-94,  
e-mail: web@unitest.com,  
http://unitest.com**

# Мікроконтролери сімейства RZ/N компанії Renesas

Сергій Волков, інженер

**У статті розглядаються мікроконтролери сімейства RZ/N компанії Renesas. Опис їх основних модулів дозволяє скласти уявлення про можливості мікроконтролерів цього сімейства, призначеного для вирішення широкого ряду завдань промислової автоматизації.**

## ВСТУП

Перш ніж розпочати розгляд мікроконтролерів (МК) сімейства RZ/N компанії Renesas, буквально двома словами опишемо МК цієї групи, щоб вказати в ній місце МК RZ/N. До складу групи входять чотири сімейства:

- RZ/A;
- RZ/G;
- RZ/N;
- RZ/T.

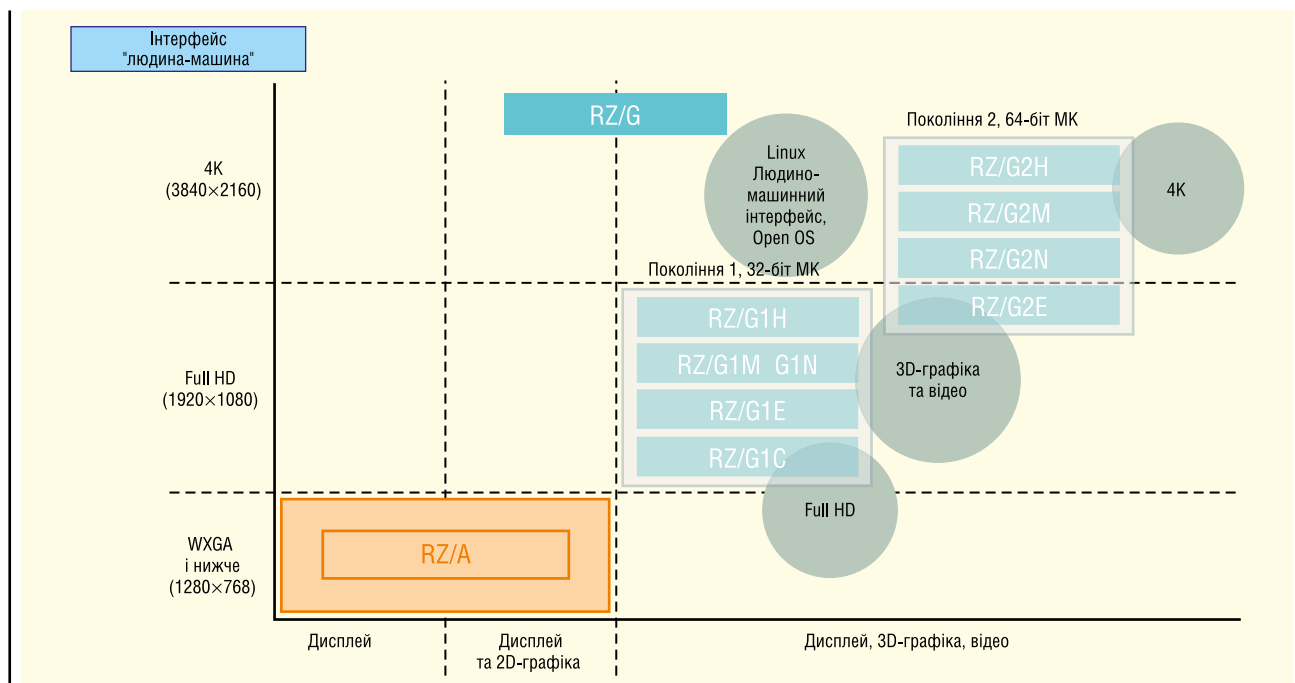
Наш опис сімейств побудовано за принципом «від простого до складного» МК RZ/T базується на процесорних ядрах

Arm Cortex-R7. Вони призначені для високопродуктивних МК, що працюють у режимі реального часу. Їхню тактову частоту можна збільшити до 600 МГц. Максимальна частота МК RZ/T — 600 МГц, що є граничним значенням для Cortex-R7.

У МК RZ/T, як і інших мікроконтролерах сімейства RZ, застосовано технологію R-IN, основу якої становить апаратний прискорювач Ethernet, що дозволяє прискорити процес обробки вчетверо. МК цієї групи рекомендується застосовувати у промислових рішеннях для керування електроприводами та виконавчими механізмами.

До складу сімейства RZ/A входять багатоядерні МК з процесорними ядрами Cortex-A9, що тактуються частотою 400 МГц і 528 МГц в останній модифікації RZ/A2 M. Ядра Cortex-A9 призначені для роботи з досить складними операційними системами, наприклад, Linux або Android. Мікроконтролери RZ/A зручно застосовувати в комунікаційних та мультимедійних програмах, а також для побудови людино-машинного інтерфейсу.

Сімейство RZ/G ділиться на два підсімейства багатоядерних МК — RZ/G1 та RZ/G2. Перше базується на ядрах Cortex-A15 і Cortex-A7 з тактовою частотою до 1,5 ГГц, а друге — на 64-біт Cortex-A57 і Cortex-A53 з тією ж тактовою частотою. Причому в найпотужнішому МК — по чотири ядра Cortex-A57 та Cortex-A53. Ми із задоволенням розповіли б про ці МК, але, на жаль, документацію від компанії можна



**Рис. 1.** Порівняльні можливості сімейств RZ/G та RZ/A для створення інтерфейсу «людина-машина»

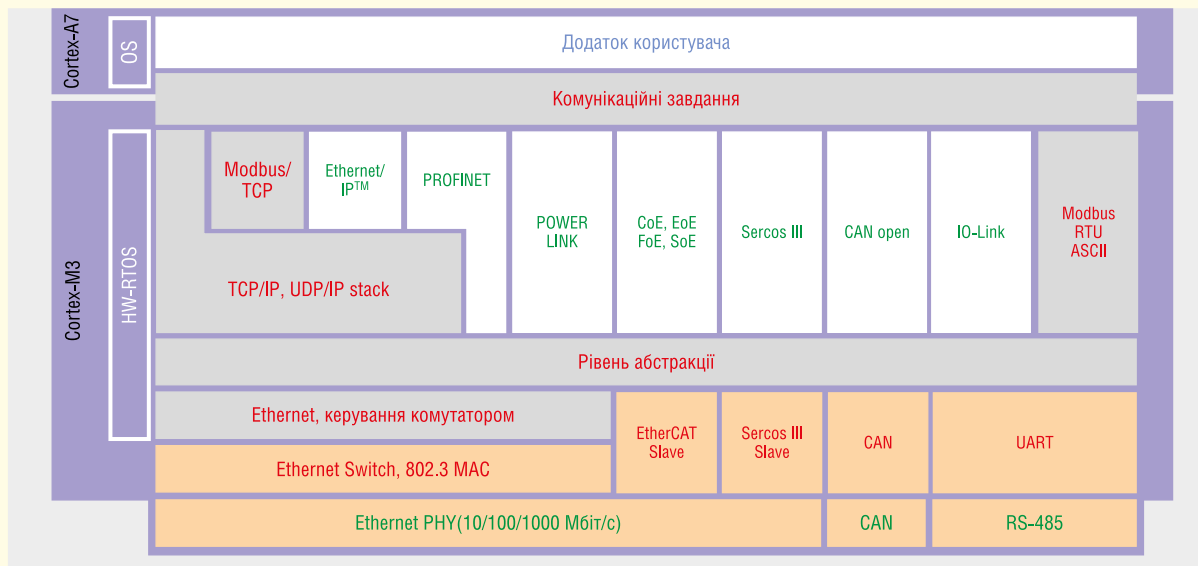


Рис. 2. Розподіл завдань між ядрами МК сімейства RZ/N

отримати лише за умови підписання угоди про нерозголошення.

МК RZ/G призначені для програм із високою обчислювальною потужністю. Порівняти сімейства RZ/G та RZ/A допоможе рисунок 1, на якому показані можливості цих пристроїв для створення людино-машинного інтерфейсу.

Багатоядерні МК сімейства RZ/N, напевно, можна позиціонувати як перехідний місток від сімейства RZ/T до сімейства RZ/G — їх можна використовувати для керування в промислових системах, але вони мають і дуже непо-

гані мережні можливості. МК базуються на ядрах Cortex-A7 та Cortex-M3. Ядро Cortex-M3 було анонсовано ще в 2004 р. Оскільки воно добре описане, ми його не описуватимемо ще раз. Ядро Cortex-A7 з'явилося в 2011 р. Воно розроблене для економічних програм та замінило ядро Cortex-A8, перевершивши його у продуктивності та енергоефективності. До того ж, у ядра Cortex-A7 менші розміри. Розподіл завдань між ядрами МК RZ/N ілюструє рисунок 2.

Далі ми опишемо МК RZ/N1D на основі двоядерного кластера Cortex-A7

та ядра Cortex-M3. Цей мікроконтролер має найбільші функціональні можливості серед інших МК сімейства. Деякі основні параметри даних МК та їх відмінності наведено у таблиці 1. Структурна схема МК RZ/N1D показана на рисунку 3.

## ФУНКЦІОНАЛЬНІ МОДУЛІ МК RZ/N1D

### Процесорні ядра та пам'ять

Оскільки процесорні ядра Cortex-A7 та Cortex-M3 добре відомі, ми лише коротко нагадаємо читачам їхні основні параметри. До складу МК RZ/N1D входить двоядерний кластер Cortex-A7. Кожне ядро кластера містить кеш команд рівня L1 ємністю 16 Кбайт і такий самий за обсягом кеш даних. Загальний для двох ядер кеш рівня L2 має ємність 256 Кбайт.

До складу кожного з ядер входить модуль роботи з плаваючими числами (FPU) та модуль керування пам'яті (MMU), а також контролер переривань (GIC). Максимальна частота тактування ядер сягає 500 МГц. Зауважимо, що частота тактування ядер має бути кратна частоті тактування мережі NoC з коефіцієнтом кратності 1, 2 або 4. Щодо процесорного ядра Cortex-M3 ми нічого нового не скажемо. Зауважимо лише, що його частота тактування може змінюватись у межах 15.625–125 МГц.

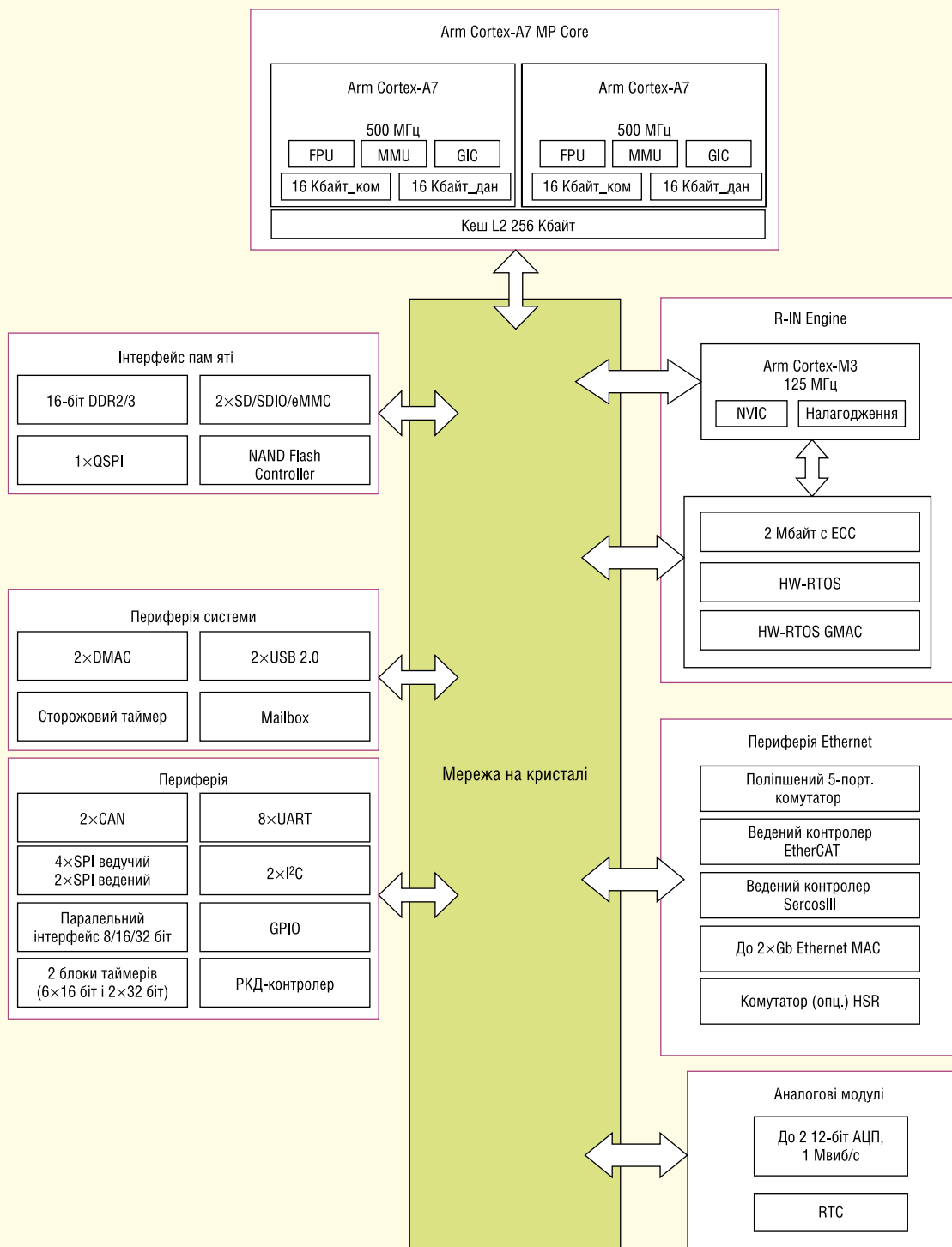
Міжпроцесорні комунікації між ядрами Cortex-A7 та Cortex-M3 здійснюються за допомогою трьох поштових скриньок. Модуль IPCM має три виходи переривань, підключених до кожного із трьох ядер. До кожної поштової скринь-

Таблиця 1. Деякі основні параметри МК сімейства RZ/N1D та їх відмінності

	Параметр	RZ/N1D	RZ/N1S	RZ/N1I
Процесор	Arm Cortex-A7	2 ядра	1 ядро	–
	Arm Cortex-M3	+	+	+
Пам'ять	2 Мбайт з ECC			
	4 Мбайт з ECC	+	+	+
	контролер DDR	–	+	+
	Quad SPI	1	2/1*	1
	SDIO/SD/eMMC	2	2	2
	NAND	+	+	+
Мережа	R-IN	+	+	+
	порти Ethernet	5/3**	5/3*	3
	незалежні GMAC	2	–/2*	1
Периферія	АЦП	2/1	1	1
	UART	8	8	8
	I2C	2	2	2
	паралельна шина	+	+	тільки ведена
	USB	+	+	+
Контролер РКД		+	+	–
Число ліній вводу/виводу		170/132**	160/95*	95
Корпус		400 LFBGA (17×17 мм) или 324 LFBGA (15×15 мм)	324 LFBGA (15×15 мм) или 196 LFBGA (12×12 мм)	196 LFBGA (12×12 мм)

\* У знаменнику — для МК у 324-видному корпусі, у чисельнику — для МК у 196-видному корпусі.

\*\* У знаменнику — для МК у 400-видному корпусі, у чисельнику — для МК у 324-видному корпусі.



**Рис. 3. Розподіл завдань між ядрами МК сімейства RZ/N**

ки входять сім 32-бітних регістрів для запису та зберігання повідомлень. Модуль формує переривання, які можуть бути адресовані будь-якому з трьох процесорів або одночасно всім.

У МК вбудована пам'ять SRAM із кодом корекції помилок ECC ємністю 2 Мбайт. В інших модифікацій сімейства обсяг SRAM може сягати 6 Мбайт. Для

роботи із зовнішньою пам'яттю DDR2/3 у МК використовується спеціальний контролер. Завдяки багатопортовій архітектурі вдається ефективно розподілити доступ до пам'яті різних типів. Перерахуємо деякі особливості контролера DDR2/3:

- контролер працює асинхронно з мережею NoC;

- величина адресного простору (макс.): 2 Гбайт;
- ширина шини даних: 8 або 16 біт і 8-біт ECC (англ. error-correcting code memory, пам'ять з корекцією помилок);
- вхідна адреса та тип команди для кожного порту перевіряється, як зазначено в установчому регістрі;



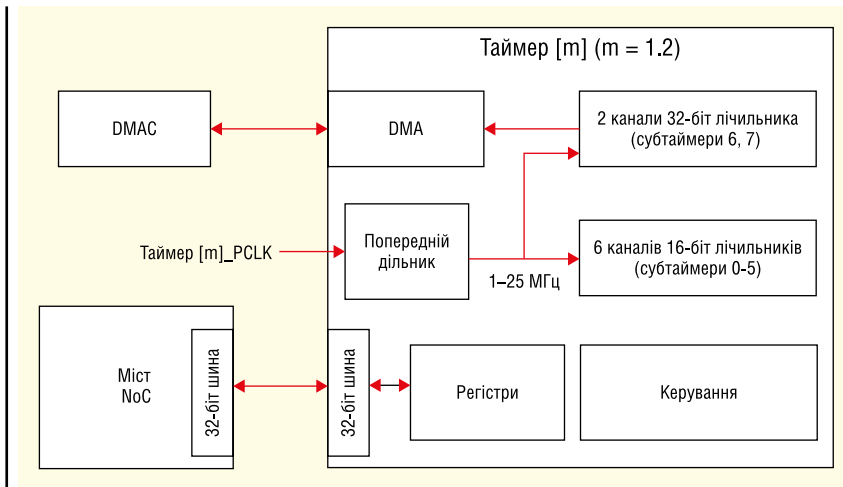


Рис. 4. Структурна схема блоку таймерів

- схема пріоритетів задається програмно;
- можна сформувати до 16 областей адресного простору, кожна з яких перевіряється за своїм правилом.

Контролер DDR2/3 перетворює адреси користувача на адреси пам'яті. Застосований розмір пам'яті DDR2/3 слід записати в установчий регістр. Структура адреси пам'яті складається з п'яти полів, до кожного з яких можна адресуватися окремо. Весь ланцюжок виглядає так: «Вибір кристалу — рядок — банк — стовпчик — тракт передачі».

Контролер флеш-пам'яті NAND, як неважно здогадатися, реалізує обмін даними з пам'яттю NAND. Формати даних відповідають вимогам специфікації ONFI 2.2 і більш ранньої ONFI 1.x. Контролер може працювати в асинхронному режимі та підтримує до чотирьох мікросхем NAND. Контролер реалізує захист пам'яті, підтримує сторінки об'ємом 356 байт ... 16 Кбайт.

Для комутації з пам'яттю використовується вбудований контролер Quad

SPI, який також адресується до чотирьох мікросхем, підтримує 1/2/3/4-байт адресацію і здійснює захист запису. Зауважимо, що контролер не здійснює декодування адрес, а вхідні адреси це і є адреси флеш-пам'яті.

До складу МК входять два контролери SDIO/SD/eMMC, кожен з яких реалізує багатоблочні цикли запису/стирання. Швидкість передачі при тактуванні частотою 25 МГц становить 12.5 Мбіт/с, а у високошвидкісному режимі при тактуванні частотою 50 МГц швидкість передачі збільшується до 25 Мбіт/с. Передача даних здійснюється у форматі 1, 4 чи 8 біт. Інтерфейс USB відповідає стандарту USB 2.0, тактується частотою 48 МГц та підтримує швидкості передачі даних 480 Мбіт/с, 12 Мбіт/с (USB 1.1), 1.5 Мбіт/с (USB 1.1).

### Периферія

До складу периферійних модулів входять комунікаційні інтерфейси, порти введення/виведення, інтерфейс зовнішньої шини MSE BI, АЦП, таймерні модулі

та контролер РКД. До комунікаційних інтерфейсів віднесемо такі:

- 8×UART. Максимальна швидкість передачі кожного порту досягає 5.2 Мбіт/с, кожен порт має окремі буфери FIFO 16×8 на прийом і передачу даних;
- SPI. Чотири ведучих (master) порти та два ведених (slave), довжина кадру 4–1 біт, буфери FIFO 16×16;
- 2×I<sup>2</sup>C. У стандартному режимі швидкість передачі даних до 100 Кбіт/с, високошвидкісному режимі — до 400 Кбіт/с; 7- або 10-біт адресація, буфери FIFO 8×8;
- 2×CAN. Швидкість передачі даних 125 Кбіт/с...1 Мбіт/с, 11- та 29-біт ідентифікатори.

Інтерфейс зовнішньої шини MSEBI повністю програмується і може працювати як ведучий, так і ведений пристрій. Можливе звернення до чотирьох зовнішніх синхронних або асинхронних пристроїв одночасно (чотири лінії chip select). 32-бітну шину даних можна налаштувати на 8- або 16-бітну шину.

До складу МК входять три базові модулі порту введення/виведення BGPIO, на підставі яких конфігуруються шість окремих портів введення/виведення. Переривання від них можна формувати як за рівнем вхідного сигналу, так і за його фронтом.

Дещо докладніше зупинимося на блоці таймера. Його структурна схема показана на рисунку 4. Оскільки рисунок вичерпно ілюструє функціональні можливості блоку, ми додамо лише кілька уточнюючих фраз. До складу МК входять два ідентичні блоки, кожен з яких містить два програмовних 32-бітних таймери і шість програмовних 16-бітних таймерів.

Таймери можуть працювати у режимі автоматичного перезавантаження; при цьому при переповненні вміст

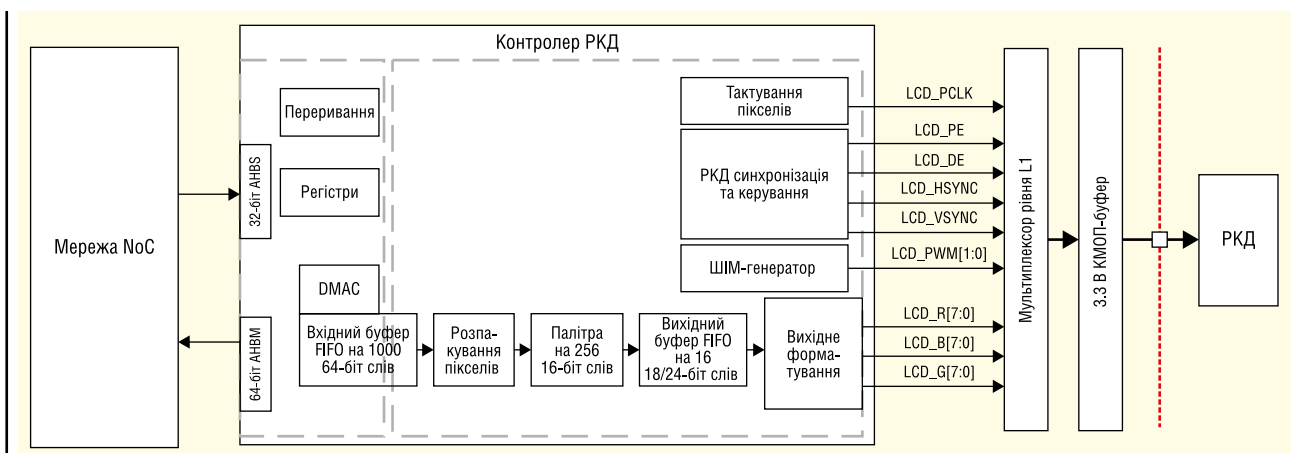


Рис. 5. Структурна схема контролера РКД

таймера скидається і відлік починається заново. У режимі автоматичного перезавантаження можуть формуватися переривання під час досягнення встановленого значення відліку. У режимі одноразового відліку при досягненні заданого значення лічильник таймера зупиняється і генерується переривання.

Варто приділити більшу увагу контролеру РКД зі структурною схемою на рисунку 5. Під інтерфейс РКД виділено один порт; можна використовувати 18-бітний формат (6 біт на колір) або 24-бітний формат (8 біт на колір). При використанні палітри кольорів можливий формат 1, 2, 4, 8 біт/пікс. Палітра кольорів містить 256 16-бітних слів. Яскравість підсвічування регулюється ШІМ-генератором. Вхідний буфер FIFO має ємність 1 000 64-бітних слів, а вихідний — 16 24-бітних слів.

Контролер ініціалізується безпосередньо процесорним ядром. Спочатку необхідно запрограмувати як мінімум регістри вертикальної та горизонтальної синхронізації та регістр тактування пікселів, а також вписати базові адреси у регістри DMA. При використанні палітри кольору її необхідно спочатку завантажити.

Старт передачі кадру здійснюється за внутрішнім імпульсом синхронізації, що збігається з імпульсом вертикальної синхронізації. При цьому починається завантаження даних із буферної пам'яті через канали DMA та розпакування пікселів. Через ведучий інтерфейс здійснюється читання шини АНВ. Протягом одного звернення може бути рахований пакет із 4, 6 або 16 64-бітних слів. Вони записуються у вхідний буфер FIFO. Надалі слова розпаковуються та передаються через палітру у вихідний буфер FIFO.

Контролер може керувати дисплеями розмірністю від QVGA (320×240 пікс.) до XGA (1024×768 пікс.). При цьому при частоті 60 кадрів/с швидкість передачі даних знаходиться в межах 0.6 Мбайт/с (QVGA, 1 біт/пікс.) — 188.7 Мбайт/с (XGA, 18/24 біт/пікс.).

Огляд модулів периферії закінчимо коротким описом АЦП. До складу МК входять два модулі 12-біт АЦП послідовного наближення. Їхня продуктивність знаходиться в межах 0.0625–1 Мвб/с. Час перетворення не перевищує 21 тактовий імпульс АЦП, частота тактування знаходиться в діапазоні 2–20 МГц. Обидва модулі АЦП мають по вісім вхідних каналів, кожен із яких може запускатися окремо. Максимальна диференціальна нелінійність перетворення становить ±1 МЗР, а максимальна інтегральна нелінійність не перевищує ±4 МЗР.

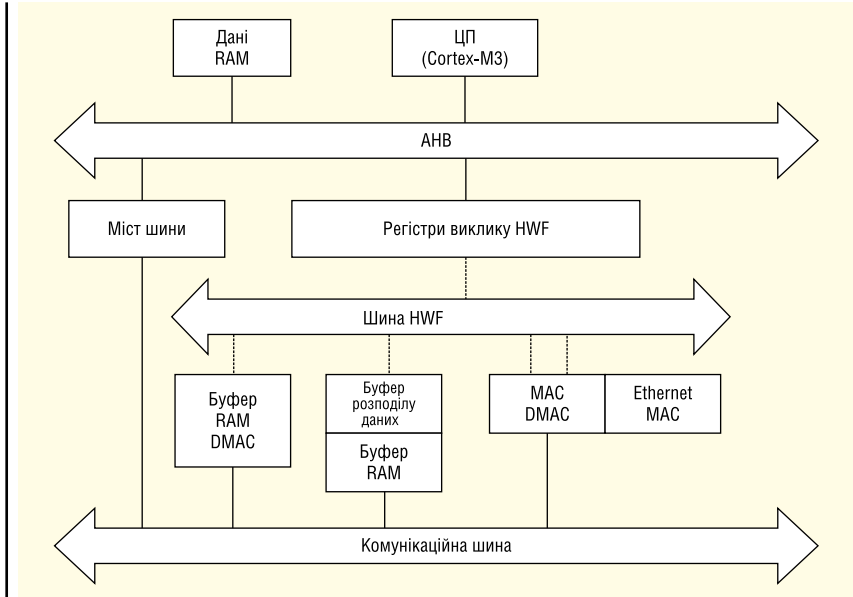


Рис. 6. Модуль апаратної реалізації функцій (HWF) Ethernet

### R-IN Engine та Ethernet

R-IN Engine — фірмова апаратна технологія компанії Renesas, що прискорює роботу операційної системи. Вона підтримує різні мережні технології та прискорює обмін даними по TCP/IP, а за рахунок зниження навантаження на процесорні ядра ще й зменшує енергоспоживання. У традиційних рішеннях всі процеси, пов'язані з контролером Ethernet, виконуються процесором в операційній системі реального часу.

Технологія R-IN значно розвантажує процесор та прискорює обробку за допомогою апаратних засобів. На відміну від використання процесора, забезпечується стабільна, без затримок, обробка даних та керування контролерами Ethernet. Фактично технологія R-IN Engine апаратними засобами частково реалізує RTOS (HW RTOS). У МК RZ/N1D до складу R-IN входять такі компоненти:

- Cortex-M3 з контролером векторних переривань, що обробляє до 126 переривань;
  - SRAM ємністю 2 Мбайт, з яких 1 Мбайт відведений під пам'ять даних і 1 Мбайт призначений для зберігання команд;
  - HW RTOS, що керує ресурсами вбудованим DMA і контролером GMAC;
  - одноканальний контролер GMAC з інтерфейсом GMII.
- Перелічимо деякі основні особливості HW RTOS;
- 30 системних викликів аналогічних викликам у RTOS ITRON;
  - 64 контекстних регістрів, 16 рівнів пріоритету;

- обробка 32 переривань;
- 64 події та 64 поштові скриньки.

До R-IN Engine також відноситься контролер Gigabit Ethernet MAC (HW-RTOS GMAC) з одним портом, що забезпечує швидкість передачі даних 1 Гбіт/с та повнодуплексний зв'язок; крім того, контролер керує 5-портовим комутатором A5PSW. У МК вбудований модуль апаратної реалізації функцій (HWF) Ethernet, структурна схема якого показана на рисунку 6. У його завдання входить розподіл ресурсів, керування MAC DMA, буферизація даних RAM DMA.

Буфер розподілу даних керує буферизованою пам'яттю RAM, яка, своєю чергою, використовується для збільшення пропускної здатності Ethernet. Незважаючи на те, що ємність буфера RAM становить 128 Кбайт, в адресному просторі відведено 128 Мбайт, що дозволяє використовувати динамічний перерозподіл пам'яті. Контролер MAC DMA здійснює передачу даних між буферною пам'яттю RAM та Ethernet MAC, дозволяючи збільшити пропускну спроможність каналу передачі даних.

Комутатор A5PSW, що керує п'ятьма портами, застосовується тільки при роботі в повнодуплексному режимі зі швидкістю передачі 1 000 Мбіт/с. Передача даних відповідає вимогам стандарту IEEE 1588-2008. При тактуванні комутатора частотою 200 МГц швидкість передачі через кожен із чотирьох портів досягає 1 000 Мбіт/с, а п'ятий порт використовується для керування.

Ведений контролер EtherCAT відповідає специфікації ETG.1000 EtherCAT. Деякі параметри контролера EtherCAT:

- підтримка до трьох портів;
- вісім модулів керування пам'яттю інтерфейсу Fieldbus FMMU;
- вісім SyncManagers для захисту областей пам'яті від одночасного доступу;
- обсяг RAM даних: 8 Кбайт;
- захист запису.

Зауважимо, що фізично не рекомендується використовувати RMII. Оскільки до складу цього інтерфейсу входять буфери FIFO в передавальному каналі, які збільшують затримку переадресації та джиттер, краще використовувати MII.

Два контролери Gigabit Ethernet GMAC відповідають вимогам стандартів IEEE 802.3-2008, IEEE 1588-2008 v2, IEEE-C37.238, IEEE 802.3-az. vD2.0. Оскільки цей інтерфейс добре відомий, ми не зупинятимемося на його описі, але перерахуємо деякі з його основних параметрів:

- швидкість передачі становить 10/100/1 000 Мбіт/с;
- режим передачі даних: дуплексний та напівдуплексний;
- програмована довжина кадру: до 16 Кбайт;
- підтримка великого числа режимів фільтрації адрес, передача кадрів без фільтрації;
- пробудження по мережі LAN або спеціальним пакетом (magic packet).

Контролери GMAC 1 і GMAC підключаються до зовнішніх портів 1 і 2 відповідно через RGMII/RMII. Ініціалізація GMAC має здійснюватись після ініціалізації DMA. При недотриманні цієї умови відбувається переповнення буфера FIFO в каналі прийому даних.

Комутатор безшовного резервування середовища високої готовності (HSR) відповідає вимогам IEC 62439-3:2016. Швидкість передачі в дуплексному режимі становить 100 Мбіт/с. Інші варіанти не підтримуються. Затримка передачі не перевищує 960 нс. Можлива комутація зі 128 зовнішніми вузлами; при цьому розмір кадру сягає 2 Кбайт. Тимчасова синхронізація відповідає вимогам стандарту IEEE 1588-2008. Фізичний рівень — MII.

Послідовний комунікаційний інтерфейс реального часу Sercos III відомий понад 30 років. У МК застосовується контролер Sercos III IP версії 4.12.0. Він має два порти та реалізує передачу даних зі швидкістю 100 Мбіт/с. Для керування та зберігання даних використовується дво-портовий ОЗП. Опрацьовуються тільки дані, призначені для конкретного користувача. Передача даних із RAM здійснюється протягом кількох циклів тактування.

## СЛОВНИК

**AHB** — високошвидкісна шина  
**APB** — шина периферійних модулів  
**AXI** — розширений інтерфейс ARM  
**A5PSW** — 5-портовий комутатор Ethernet  
**BGPIO** — базовий модуль порту уведення/виведення  
**ECC** — код корекції помилок  
**FMMU** — модуль керування пам'яттю інтерфейсу Fieldbus  
**FPU** — модуль роботи з числами з плаваючою комою  
**GMAC** — гігабітний контролер доступу до медіасередовища  
**GIC** — контролер переривань  
**HSR** — безшовне резервування середовища високої готовності  
**HWF** — апаратно реалізовані функції Ethernet  
**IPCM** — міжпроцесорні комунікації  
**MDIO** — інтерфейс уведення/виведення даних  
**MMU** — модуль керування пам'яттю  
**MSEBI** — інтерфейс зовнішньої шини  
**NoC** — мережа на кристалі  
**PRP** — протокол паралельного резервування  
**RTOS** — операційна система реального часу (ОСРП)  
**Sercos III** — послідовний комунікаційний інтерфейс реального часу

Через мультіплексор допускається перемикання між протоколами Sercos та Ethernet. Фізичний рівень — MII.

Програми надсилають та отримують дані через інтерфейс уведення/виведення даних MDIO. Цей двопровідний інтерфейс надає можливість програмі отримати доступ до будь-яких регістрів PHU, а також вибрати будь-який з 32 PHU та будь-який з 32 регістрів цього PHU. Однак у кожен момент часу можна здійснити звернення лише до одного регістру.

## ВИСНОВКИ

У статті відносно детально розглянуто мікроконтролери RZ/N1D сімейства RZ/N. Привабливою особливістю цих МК є технологія R-IN Engine, що надає можливість прискорити комунікаційні процеси з промисловими пристроями через мережу Ethernet. Доповнюють зв'язкові можливості МК 18 стандартних комунікаційних інтерфейсів. Враховуючи, що ці МК можуть керувати РКД розмірністю від QVGA до XGA, ці пристрої призначені для низки систем промислової автоматизації. **CN**

## RZ/N2L MPU СПРОЩУЄ РЕАЛІЗАЦІЮ ПРОТОКОЛІВ TSN ТА INDUSTRIAL ETHERNET У ПРОМИСЛОВИМУ ОБЛАДНАННІ

Корпорація **Renesas Electronics** анонсувала RZ/N2L — комунікаційний мікропроцесор Ethernet (MPU), який дозволяє клієнтам легко впроваджувати промисловий Ethernet та TSN у різні IoT та промислові застосування, такі як шлюзи, віддалене уведення/виведення та багато іншого. RZ/N2L має такі функції, як удосконалений 3-портовий комутатор Gigabit Ethernet з TSN, ведений контролер EtherCAT® та підтримує основні промислові протоколи Ethernet, такі як EtherCAT, PROFINET RT/IRT, EtherNet/IP™ та OPC UA.

RZ/N2L оптимізовано для випадків використання мережних чипів-компаньйонів. Він легко підключається до систем через паралельний або послідовний хост-інтерфейс, не вимагаючи серйозних змін. Протокол реального часу керується ядром Arm® Cortex®-R52 з максимальною робочою частотою 400 МГц та великою вбудованою оперативною пам'яттю з ECC, що розвантажує центральний процесор програми. Завдяки своїм багатим периферійним функціям, таким як таймер ШІМ, дельта-сигма ( $\Delta\Sigma$ ) інтерфейс, АЦП і т.д., пристрій також реалізує такі додатки, як віддалене уведення/виведення, системи концентраторів датчиків, інвертор та шлюз у вигляді однієї мікросхеми.

Багатий пакет програмної підтримки з драйверами периферійних пристроїв та безліччю прикладів програм дозволяє швидко оцінити та створити прототип.

Корпорація Renesas Electronics пропонує перевірені інновації в галузі вбудованих систем з комплексними напівпровідниковими рішеннями, які дозволяють мільярдам підключених інтелектуальних пристроїв покращувати умови роботи та життя людей. Renesas, світовий лідер у галузі мікроконтролерів, аналогових, силових та однокристальних продуктів, пропонує комплексні рішення для широкого спектру додатків для автомобільної, промислової, побутової електроніки, офісної автоматизації та інформаційно-комунікаційних технологій, які допомагають формувати безмежне майбутнє.

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

# FlyFocus розробляє віг'єднуваний прив'язний БПЛА для безперервного спостереження за критично важливими об'єктами

**Перетворювачі постійної напруги Vicor DCM дозволяють збільшити корисне навантаження або час польоту.**

Концепція безпілотних літальних апаратів (БПЛА) не є новою: перші такі апарати були побудовані ще за часів Першої світової війни [1]. Але й зараз БПЛА продовжує швидко розвиватися. Передові виробники оптимізують свою продукцію під конкретні сфери застосування, використовуючи новітні доступні компоненти та матеріали.

Одним із таких виробників є компанія FlyFocus. Вона спеціалізується на розробці та виробництві БПЛА для цивільних потреб та охорони правопорядку. Области застосування включають спостереження за особливо важливими зонами, такими як кордони, електростанції або військові об'єкти. Продукція компанії використовується також і в багатьох інших областях: спостереження за автомобільними дорогами, підрахунок транспортних засобів, спостереження за скупченнями людей на стадіонах, створення радіоперешкод та трансляція радіосигналів.

Незважаючи на таку різноманітність, всі ці області поєднує потреба в безперервному польоті апарата протягом тривалого часу. Цю потребу задовольняє основний продукт FlyFocus під назвою CableGuard — комплексна система, що складається з прив'язного БПЛА, наземної станції та системи стеження.

Більшість часу БПЛА проводить у режимі прив'язки, літаючи на висоті до 70 м над зоною спостереження. У цьому режимі електродвигуни та бортова електроніка отримують живлення через прив'язний кабель, яким від наземної станції подається 400 В постійного струму. Ця напруга постійного струму утворюється за допомогою випрямлення змінного струму напругою 230 В, який зазвичай отримують від переносного генератора. Відпо-

відно БПЛА може вести спостереження практично нескінченно. Зареєстровано випадки безперервного перебування у повітрі до 30 днів. На практиці, проте, рекомендується проводити посадку апарату приблизно раз на тиждень для проведення технічного огляду підшипників та інших механічних частин.

Якщо одна з камер БПЛА помітить підозрілий об'єкт, наприклад автомобіль, що рухається, прив'язний кабель можна негайно від'єднати за допомогою дистанційної команди. Кабель приземлиться поруч із наземною станцією на парашуті, що розкрився.

Тим часом, апарат переключиться на живлення від бортових батарей, що забезпечують до 30 хв вільного польоту та моніторингу — за умови використання однієї камери денного спостереження. Після цього апарат потрібно посадити на землю. У разі використання двох

камер (тепловізійної камери та камери денного спостереження) час вільного польоту досягає 20 хв. Такий час вільного польоту є значною конкурентною перевагою систем спостереження FlyFocus.

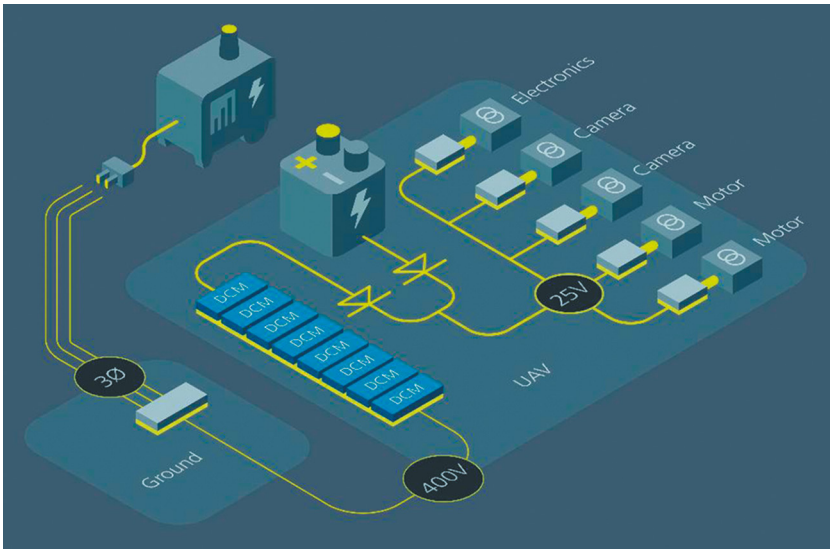
Після завершення місії апарат можна повторно підключити до наземної станції та повернути до режиму спостереження.

Цей апарат потужністю 5 кВт перевершує решту БПЛА прив'язного типу на сучасному ринку. Компанія FlyFocus використовувала цю додаткову потужність для підвищення продуктивності та розширення функціональності апарату. Апарат оснащений вісьмома двигунами і може безпечно приземлитися навіть у тому випадку, якщо два з них вийшли з ладу. До пристрою додається камера з роздільною здатністю Full HD, 10-кратним оптичним та 4-кратним цифровим збільшенням, а також ІЧ-камера нічного бачення 640р з 4-кратним цифровим збільшенням (див. рис. 1).

Запас потужності дозволяє FlyFocus використовувати камери з більш високою якістю зображення, наприклад, тепловізори з інтенсивним охолодженням



**Рис. 1.** Багатоцільова система спостереження



**Рис. 2. Ланцюг подачі живлення БПЛА CableGuard, в якому використовується вісім ізованих регульованих перетворювачів постійної напруги Vicor DCM**

або камери з багаторазовим збільшенням. Це відкриває нові можливості для додавання різних модулів корисного навантаження, таких як телекомунікаційне обладнання або інші спеціалізовані рішення відповідно до індивідуальних вимог замовника.

У ланцюгу подачі живлення від прив'язного кабелю до двигунів та електроніки БПЛА застосовують ізовані регульовані перетворювачі постійної напруги виробництва компанії Vicor. Ці пристрої підвищують потужність та конкурентоспроможність БПЛА CableGuard декількома способами.

По-перше, їх здатність знижувати напругу з 400 В постійного струму до робочої напруги БПЛА дозволяє подавати через прив'язний кабель живлення з напругою 400 В постійного струму. При використанні такої високої напруги зменшується сила струму та втрати I<sup>2</sup>R. Відповідно, можна використовувати набагато більш тонкий та легкий кабель, що є однозначною перевагою для подібних літальних апаратів.

По-друге, компанія FlyFocus встановила, що питома потужність DCM набагато перевищує аналогічний показник будь-якого іншого постачальника. Завдяки цій перевазі вісім високоефективних модулів потужністю 600 Вт можна встановити лише з двома радіаторами або вентиляторами у невеликий відсік під БПЛА, що дозволяє отримати загальну потужність майже 5 кВт для восьми двигунів, двох камер та відповідного бортового радіоелектронного обладнання БПЛА (див. рис. 2).

FlyFocus може адаптувати розподіл цієї «компактної потужності» відповідно

до пріоритетів та уподобань замовника. Компанія може оптимізувати систему для встановлення додаткового корисного навантаження, як було описано раніше, або для збільшення часу польоту, чому також сприяють зменшена вага та обсяг модулів DCM у порівнянні з перетворювачами інших виробників. За оцінками компанії, різниця ваги модулів становить близько 1.3 кг, що дає додатково від третини до половини вільного польоту БПЛА.

Модулі також довели свою надійність. За три роки використання DCM компанія FlyFocus жодного разу не зіткнулася з їхньою несправністю.

## РОЛЬ МОДУЛІВ DCM

Завдяки тому, що питома потужність досягає 1 244 Вт/дюйм<sup>3</sup>, а також номінальний потужності до 1 300 Вт за постійного струму 46.43 А сімейство ізованих регульованих перетворювачів постійної напруги DCM може працювати з ККД до 96%. Такий високий ККД пояснюється високочастотною топологією комутації при переході напруги через нульове значення (ZVS). Модуль з гальванічною розв'язкою перетворює нестабілізовану вхідну напругу, яка може змінюватися в широкому діапазоні, у вихідну з обмеженням струму в робочому режимі. Передбачено захист від перенапруги, перевантаження струмом, зниженої напруги, короткого замикання та перегріву.

Модулі DCM доступні у виконанні ChiP (перетворювач у корпусі) та виконанні VIA (адаптер Vicor). Корпус Vicor ChiP має відмінні теплові та щільнісні характеристики, завдяки чому модулі DCM

ChiP пропонують гнучкі варіанти терморегулювання з дуже низьким тепловим опором верхньої та нижньої сторони. Корпус VIA також має відмінне тепловідведення, яке спрощує терморегулювання. Корпус не вимагає встановлення на друковану плату, хоча у виконанні зі штиревидними виводами дозволяє зробити це за потреби.

Крім того, модуль DCM VIA забезпечує фільтрацію електромагнітних завад, жорстку стабілізацію вихідної напруги незалежно від змін навантаження та напруги на вході. Також на вторинному боці є допоміжний інтерфейс керування для підстроювання значення напруги, включення та оцінки напруги на навантаженні. При цьому зберігаються фундаментальні конструктивні переваги традиційної архітектури типу «brick».

Перетворювач забезпечує чудову продуктивність системи живлення та можливість підключення точки навантаження до різних нерегульованих джерел живлення. Крім того, в один масив можна поєднати до восьми блоків без зниження індивідуальної потужності.

Оскільки системи живлення Vicor мають модульну конструкцію, компанія FlyFocus може задовольнити різні вимоги швидше і простіше, ніж якщо їй довелося би проектувати кожну нову реалізацію, починаючи з рівня компонентів, або намагатися змінити конструкцію на основі компонентів.

Втім, технічні характеристики DCM є не єдиною причиною, через яку компанія FlyFocus обрала Vicor і продовжує працювати з нею.

«Для нас дуже важлива підтримка, — каже Джуліан Жеромський, віце-президент FlyFocus. — Ми постійно закуповуємо різні види механічних та електронних компонентів для складних, нестандартних проєктів, і у певний момент нам обов'язково буде потрібна допомога. Насправді, навіть обравши компонент із найпривабливішими характеристиками на ринку для конкретного завдання, ми не поспішаємо купувати його, доки не переконаємося, що якість підтримки відповідає заявленим характеристикам».

Підтримка компанії Vicor не обмежується самими перетворювачами. FlyFocus довелося розробити схему додаткової стабілізації напруги DCM. Це знижує сприйнятливості перетворювача до високих пускових струмів внаслідок повного відкриття дросельної заслінки оператором або пориву вітру. Під час розробки цієї схеми компанія FlyFocus користувалася документацією та знаннями інженерів Vicor.



Рис. 3. Демонстраційний БПЛА використовує технологію ZVS

Використання модулів Visog також опосередковано допомагає компанії FlyFocus у продажах та маркетингу. FlyFocus створила крихітний демонстраційний БПЛА, який можна безпечно використовувати на виставках навіть у приміщенні. Його вага становить лише 60 г, а розміри — 10×10 см (див. рис. 3).

Чому ж FlyFocus так активно займається індивідуальними проектами, а не лише стандартними продуктами? Вся справа у витоках. Компанія була заснована групою друзів, які люблять авіацію та вирішили об'єднатися під час змагань з авіамоделювання. Навіть зараз штат компанії складається всього з восьми осіб, а решта залучається при необхідності.

Компанія має міцні зв'язки з багатьма правоохоронними органами та поліцейськими підрозділами спеціального призначення в Європі. Компанія також виконує спеціальні проекти військового призначення. Як показовий приклад можна навести виготовлений за спеціальними вимогами літак з нерухомим крилом, який важив 150 кг і міг пролетіти до 500 км і повернутися назад.

Вихід FlyFocus на ринок мультироторних БПЛА (або дронів), результатом якого стало створення CableGuard, стався з ініціативи інвестора. CableGuard став першим прив'язним дроном, що від'єднується, для цивільного застосування. FlyFocus продовжує створювати спеціалізовані рішення для безлічі різних сфер застосування, приділяючи особливу увагу доопрацюванню продукту за вимогами замовника. Компанія також продовжує розробку продук-

тів — наприклад, чотиримоторної версії CableGuard для надтихого польоту.

## ВИСНОВОК

Прив'язні дрони підходять для виконання багатьох складних цивільних завдань, а також для використання правоохоронними органами, поліцією та прикордонною службою. Щоб зберігати конкурентоспроможність, виробники повинні постійно збільшувати час польоту та потужність дронів. Потужність, однак, обмежена обсягом доступного простору в апараті, необхідного для розміщення систем перетворення електроенергії та охолодження, а також розміром та вагою прив'язного кабелю.

Модуль DCM компанії Visog дозволяють FlyFocus досягти успіху на цьому конкурентному ринку. Їхня висока вхідна напруга постійного струму дозволяє використовувати тонкі та легкі прив'язні кабелі, а високі ККД та питома потужність — розмістити велику кількість модулів у мінімальному просторі. Вага модуля живлення зведена до мінімуму, що збільшує час польоту у вільному режимі. При цьому модуль залишає достатньо місця та забезпечує достатню потужності для підйому та живлення корисного навантаження з широкими технічними можливостями.

### Література:

1. Імперський військовий музей. *A brief history of drones* («Коротка історія дронів»). <https://www.iwm.org.uk/history/abrief-history-of-drones>. CN

## ЛАЗЕРНЕ КЕРУВАННЯ ДОЗВОЛИТЬ БЕЗПІЛОТНИКАМ НЕ ЗВЕРТАТИ УВАГУ НА КОНТРЗАХОДИ

Існуючі сьогодні засоби боротьби з безпілотниками, як правило, намагаються впливати на радіоканал, що забезпечує зв'язок з оператором, і пригнічують сигнали GPS, що унеможливує дії апарату за заздалегідь закладеною в нього програмою. Однак, відома британська оборонна компанія QinetiQ розробила та продемонструвала лазерну систему керування безпілотниками, які тепер не можуть бути зупинені жодним із згаданих вище способів.

Лазерна система Free Space Optical Communications (FSOC) забезпечує двосторонній зв'язок, по якому безпілотнику передаються команди керування, а назад передається інформація, що збирається ним, наприклад, потік відеоданих від камери. Ця система може використовуватися як страхівка там, де противник має можливість виявлення та блокування певних радіочастотних діапазонів. Система має досить вузьку діаграму спрямованості. З одного боку, це забезпечує досить широкую смугу пропускання комунікаційного каналу, а з іншого боку, максимально ускладнює процес виявлення роботи цієї системи і робить практично неможливим перехоплення та придушення даних.

Звичайно ж, застосування системи Free Space Optical Communications порушує низку питань щодо якості її роботи в умовах задимленості або туману. Більше того, як і будь-які інші безпілотники, безпілотники з лазерним керуванням можуть бути зупинені за допомогою мереж, збиті зі зброї тощо. Однак, система FSOC є саме тією паличкою-виручалочкою, яка дозволить таким безпілотникам повністю ігнорувати будь-які радіочастотні контрзаходи та виконувати поставлені завдання навіть у найскладніших умовах.

І насамкінець слід зазначити, що розробка системи FSOC компанією QinetiQ була виконана в рамках програми DSTL Air Command and Control, Intelligence Surveillance & Reconnaissance and Interoperability, що втілюється в життя британським Міністерством оборони.

<https://newatlas.com>

**WeEn Semiconductors** є глобальною компанією — це спільне підприємство, створене в 2016 році компаніями NXP Semiconductor N.V. та Beijing JianGuang Asset Management Co. Ltd з Китаю. Головний офіс компанії розташований у Шанхаї, Китай. Елементи, вироблені компанією WeEn Semiconductors, створюються завдяки участі досвідченого колективу, який до 2016 року був частиною голландського виробника напівпровідників — компанії NXP (раніше Philips).

WeEn займається біполярною технологією, розробляє та виробляє широку гаму тиристорів, симісторів, діодів (у тому числі силових), високовольних транзисторів, компонентів на базі SiC та інших елементів, що широко використовуються в промисловості, автомобілебудуванні, телекомунікації, освітленні, побутовій електроніці тощо. Ця продукція народжується безпосередньо у NXP.

WeEn має заводи в Китаї, науково-дослідні центри (R&D) у Великій Британії та Шанхаї, а також торговельну підтримку в багатьох країнах світу.



**MASTEK**

м. Київ, провулок Радищева, 3, оф. 307  
тел. +38 (044) 451-60-80, моб. +38 (067) 919-51-15

Авторизований дистриб'ютор  
WeEn в Україні

[info@mastek.com.ua](mailto:info@mastek.com.ua)  
[www.mastek.com.ua](http://www.mastek.com.ua)

# Модуль eMPack для транспортного приводу XXI століття

Андрій Колпаков

Технічний консультант: Тарас Мисак, к.т.н.

Підвищення надійності електричних тягових приводів потребує пошуку нових технологій та матеріалів, удосконалення процесів виробництва силових модулів. Помітним кроком на цьому шляху стало впровадження компанією SEMIKRON технологій двостороннього низькотемпературного спікання DSS (double sided sintering) та прямого притискного підключення чипів DPD (direct pressed die), використаних для розробки транспортного модуля eMPack. Це дозволило суттєво знизити ризик розвитку втомних процесів у паяних та зварних з'єднаннях та забезпечити високу стійкість до термоциклування. Для допомоги розробникам у освоєнні інноваційного технічного рішення SEMIKRON розробив налагоджувальний комплект eMPack Application Kit (рис. 1).

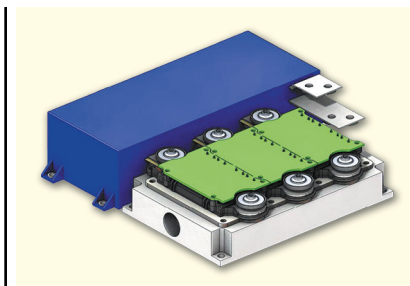


Рис. 1. Налагоджувальний комплект eMPack Application Kit

## ЗАГАЛЬНІ ПОЛОЖЕННЯ

Під час розробки модулів сімейства eMPack використовувались новітні технології силової електроніки, а сам конструктив eMPack відрізняється наднизькою індуктивністю. Завдяки притискному способу підключення чипів (DPD) вдалося значно знизити сумарний тепловий опір, а застосування двостороннього спікання (DSS) кардинально

покращило стійкість конструктиву до активного та пасивного термоциклування. Все сказане дозволило суттєво підняти щільність потужності та підвищити надійність, що робить eMPack оптимальним вибором для всіх видів транспортних приводів.

За допомогою налагоджувального комплекту eMPack Application Kit можна спроектувати прототип інвертора (рис. 2), виміряти всі необхідні параме-

три, налаштувати алгоритми керування і виробити рекомендації щодо створення різних автомобільних систем. Виріб не призначений для експлуатації у складі реального транспортного приводу, оскільки не пройшов необхідний набір кваліфікаційних випробувань.

## СКЛАД EMPACK APPLICATION KIT

У складі налагоджувального комплекту передбачені такі компоненти:

- модуль eMPack з гвинтами кріплення та ізолюючими втулками для підключення до силових AC/DC-терміналів;
- плата драйвера;
- ланка постійного струму із плівковими конденсаторами;
- монтажна плита охолодження з прокладкою та гвинтами.

Усі перелічені компоненти замовляються окремо, каталожні номери наведено у таблиці 1.

## Силовий модуль eMPack

Конструкція DC-терміналів eMPack, розміщених на протилежному боці від AC-виходу (рис. 3 а), забезпечує простоту підключення планарної шини ланки постійного струму. Кріплення DC- та AC-виводів виконується гвинтами з ізолюючими втулками. Сигнальні контакти модуля призначені для з'єднання з

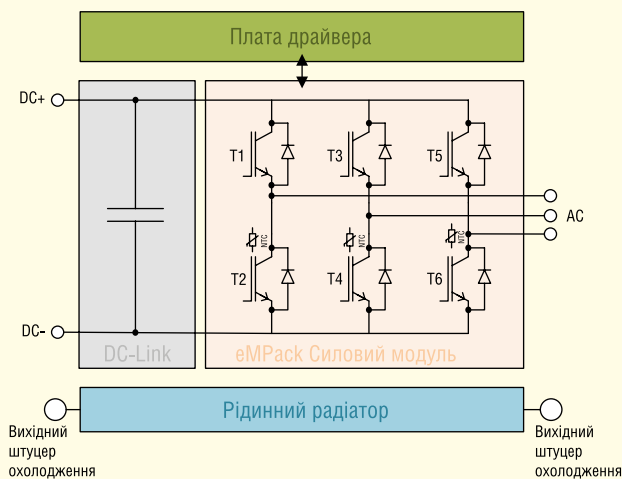


Рис. 2. Функціональна схема інвертора eMPack Application Kit



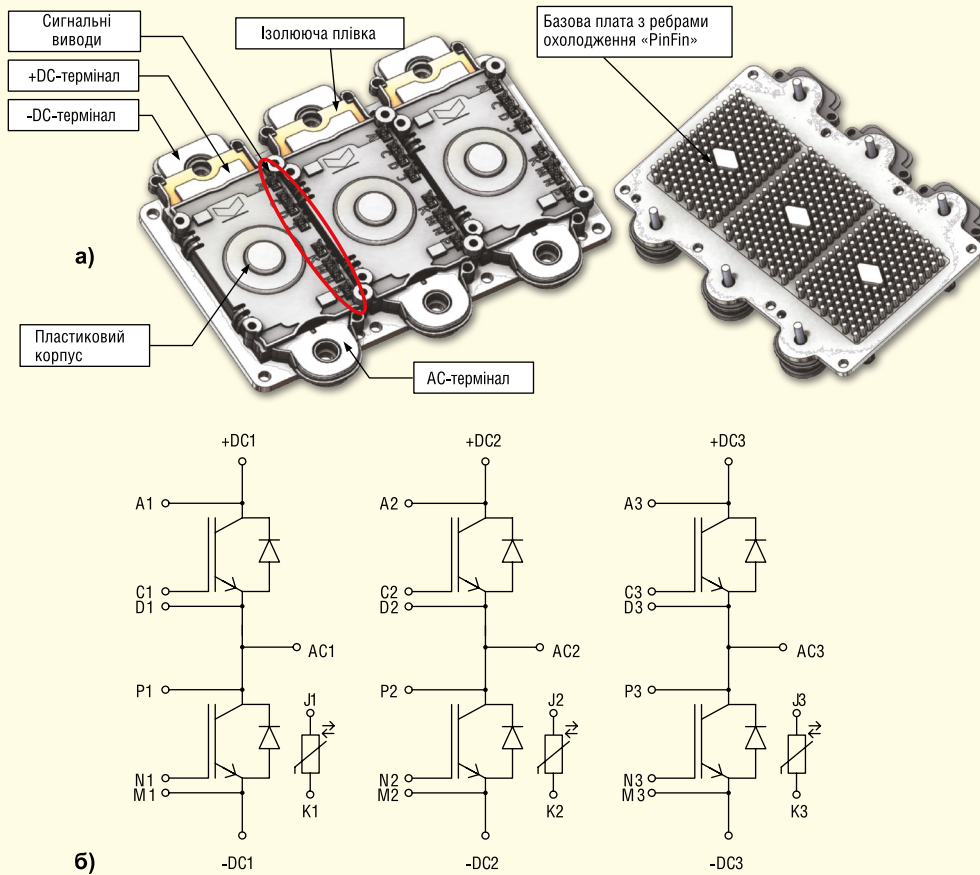


Рис. 3. Силовий модуль eMPack: конструкція (а); електрична схема (б)

Таблиця 1. Склад налагоджувального комплекту			
Найменування	Опис	Артикул	Плата драйвера
<b>Силові модулі eMPack</b>			
eMP1020MD075SC2SV1DPD	SiC, 750В, 1020А	19285050	45152002_01
eMP780MD12SC2SV1DPD	SiC, 1200В, 780А	19285060	45152003_01
eMP1080MD075ED2V1DPD	Si, 750В, 1080А	19285200	45152004_01
<b>Конденсатори DC-шини</b>			
eMP300-080-APK-DC-CAP	300 мкФ/800 В (для модулів 1200 В)	19285400	
eMP900-045-APK-DC-CAP	900 мкФ/500 В (для модулів 750 В)	19285401	
<b>Механічні компоненти</b>			
Монтажна плата eMP-cooling-through-V1	Плита для встановлення eMPack, ізолююча прокладка, гвинти	19285402	

драйвером методом пресової посадки (press-fit) або за допомогою паяння.

**Плата керування**

Драйвер затворів поставляється разом з комплектом налагодження, його розміри (довжина 166 мм, ширина 75.5 мм) відповідають габаритам eMPack. На рисунку 4 показано елементи, розташовані на верхній стороні плати керування. Вісім монтажних отворів діаметром 3 мм (виділені зеленим кольором) призначені для встановлення на силовий модуль eMPack, детальну інформацію про це з'єднання наведено в «Інструкції з монтажу» [3]. Функціональні можливості драйвера описані далі. Інтерфейс користувача забезпечується 50-вивідним конектором X01 типу SMC-B 50-SMD-type7-03 (виробник ERNI, артикул 154765). Доступні кабельні збірки з відповідною частиною роз'єму в різних конфігураціях зі стрічковим кабелем AWG 30/7 [5].

**Ланка постійного струму**

На рисунку 5 показаний блок конденсаторів ланки постійного струму. Завдяки планарному способу підключення

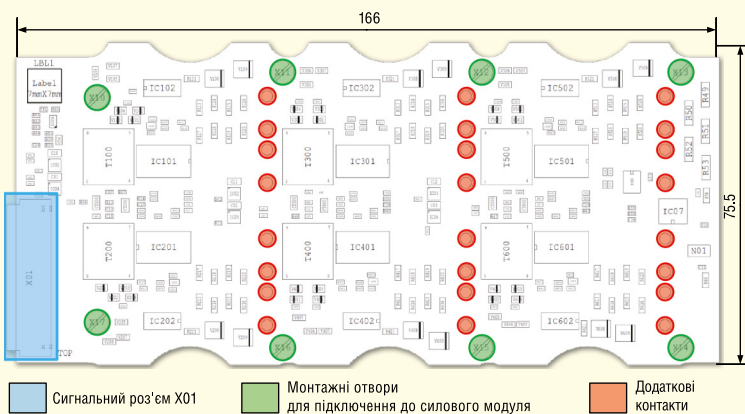


Рис. 4. Плата драйвера з сигнальним конектором X01

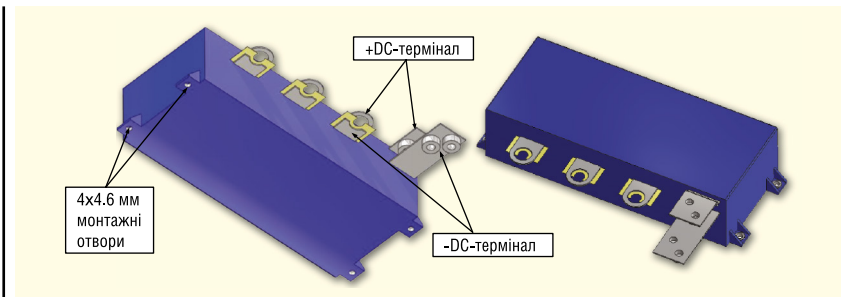


Рис. 5. Блок конденсаторів DC-шини

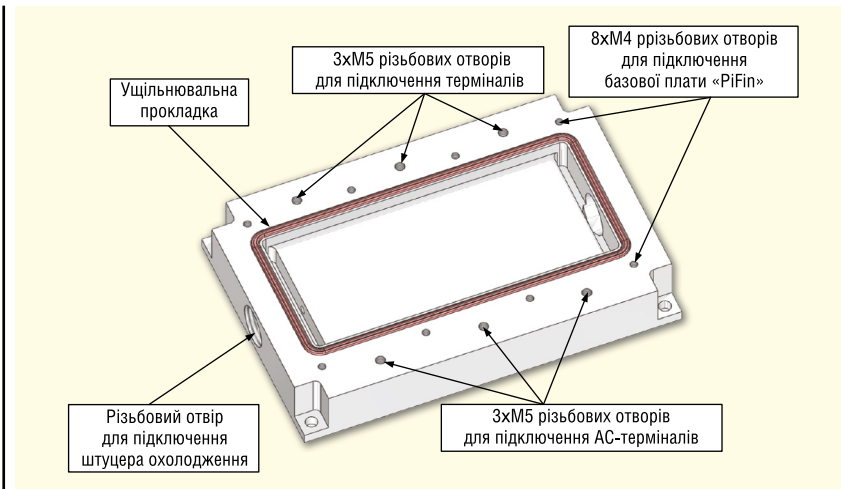


Рис. 6. Монтажна плата системи охолодження

чення DC-шина має дуже низьку паразитну індуктивність, узгоджену з внутрішньою розподіленою індуктивністю силового модуля eMPack.

Термінали постійного струму DC- і DC+ мають дві натискні гайки M5 для підключення високовольтної батареї або джерела живлення. Блок конденсаторів також має чотири монтажні отвори діаметром 4,6 мм, що дозволяють встановити його на радіатор.

Залежно від класу напруги силового модуля блок конденсаторів доступний у двох виконаннях:

- eMP300-800-APK-DC-CAP (ємність 900 мкФ, номінальна/максимальна робоча напруга 500/600 В);
- eMP900-045-APK-DC-CAP (ємність 300 мкФ, номінальна/максимальна робоча напруга 750/900 В).

### Система охолодження

Монтажна плата з каналами рідинного охолодження (рис. 6), що входить у налагоджувальний комплект, призначена для з'єднання з базовою платою eMPack, виконаною за технологією PinFin. Герметичність забезпечується прокладкою ущільнювача, розташованої по контуру. У плиті передбачено вісім різьбових отворів M4 для з'єднання з радіатором eMPack, шість різьбових

отворів M5 для кріплення AC/DC-терміналів та два різьбових отвори 1/2 дюйма для встановлення штуцерів системи охолодження.

У складі системи охолодження eMP-APKcooling-through-V1 крім монтажною плити є прокладка ущільнювача і вісім гвинтів M4 (артикул 19285402).

При виборі типу тосола слід враховувати характеристики матеріалів, що використовуються. Перевірка сумісно-

сті елементів контуру охолодження потрібна для того, щоб уникнути корозії або замерзання за низьких температур. У більшості випадків SEMIKRON рекомендує використовувати суміш води та гліколю з інгібітором корозії, при цьому вміст гліколю має бути не меншим за 10%. Додаткову інформацію можна знайти в «Інструкції з монтажу eMPack» [3].

### Складання та тестування інвертора

Перед подачею живлення на комплект налагодження він повинен бути повністю зібраний відповідно до «Інструкції з монтажу eMPack» [3]. Відповідальність за монтаж, підключення та дотримання всіх вимог безпеки лежить на користувачеві.

Після збирання необхідно виконати перевірку ізоляції інвертора, щоб усунути можливі помилки та забезпечити безпечну експлуатацію. Випробувальна напруга 1 500 В (AC) подається між замкнутими контактами сигнального роз'єму X01 і високовольтними виводами (термінали +DC, -DC, AC і радіатор). Тест ізоляції пристрою проводиться протягом 6 с, струм витoku не повинен перевищувати 3 мА, при порушенні цієї умови слід відключити високу напругу та ретельно перевірити елементи конструкції на предмет пошкодження.

### ДРАЙВЕР ЗАТВОРІВ

#### Основні особливості

Компактні розміри модулів сімейства eMPack обмежують простір для

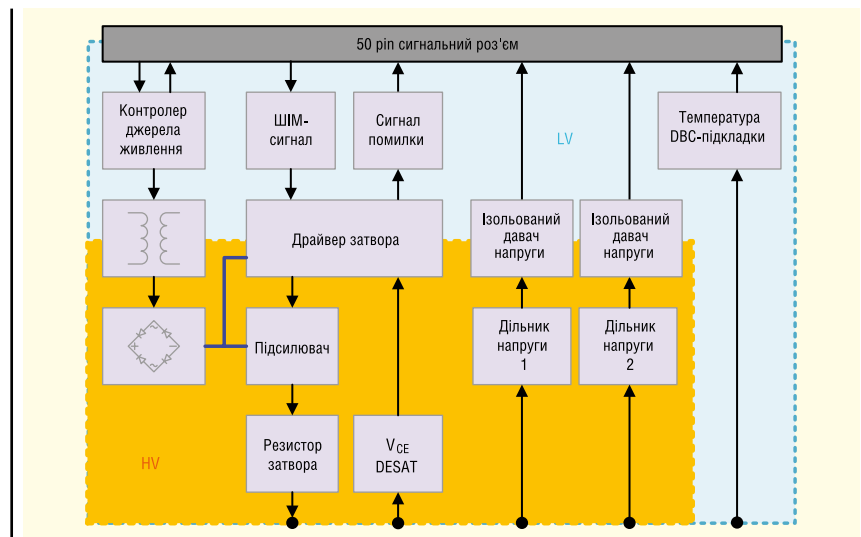
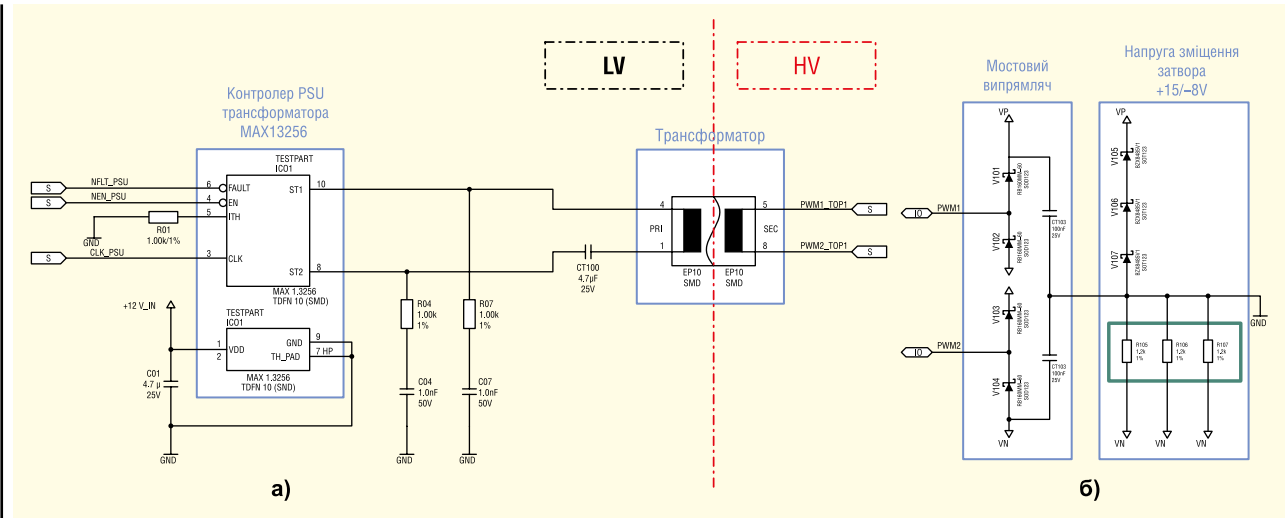


Рис. 7. Блок «схема драйвера затворів»



**Рис. 8. Джерело живлення вихідних каскадів драйвера (а); випрямляч у вихідному каскаді, формування напруги зміщення затвора +15/-8В (б)**

встановлення драйвера. Плата керування налагоджувального комплекту eMPack повинна задовольняти вимоги функціональної безпеки, що відповідають автомобільним стандартам (наприклад, ISO26262), оскільки має дуже обмежену площу, необхідну для мінімізації габаритів приводу.

На блок-схемі драйвера (рис. 7) показані високовольтні (HV) та низьковольтні каскади (LV), розділені гальванічним бар'єром.

**Джерело живлення драйвера**

Вхідні (низьковольтні) каскади драйвера живляться від імпульсного джерела, вхідна напруга якого (+5 В) подається на роз'єм X01. У складі DC/DC-конвертера є ізольований контролер 1EDI2002AS та давачі напруги ACPL-C87В.

Основним елементом джерела живлення вихідних (високовольтних) каскадів є контролер PSU-трансформатора MAX13256 компанії Maxim Integrated, встановлений разом із ізолюючим трансформатором у кожному із шести каналів плати керування затворами. Мікросхема MAX13256 забезпечує наступні сигнали контролю та зворотного зв'язку на роз'ємі X01:

- NFLT\_PSU — активний сигнал помилки (низького рівня) генерується при детектуванні перегріву або перевантаження струмом одного з шести контролерів PSU;
- NEN\_PSU\_IN — подання логічного 0 потрібне для активації всіх шести контролерів PSU. При подачі сигналу високого рівня (+5) вони блокуються. Живлення MAX13256 здійснюється від напруги 12 на роз'ємі X01, яке повинно подаватися до активації PSU

за сигналом NEN\_PSU\_IN. На рисунку 8 показано фрагмент схеми високовольтного джерела живлення.

Вторинний каскад драйвера затвора містить мостовий випрямляч, напруга зсуву затвора формується послідовним з'єднанням трьох стабілітронів із трьома паралельними резисторами (на рис. 8 б вони виділені зеленою рамкою).

**Схема керування затвором**

Каскад керування IGBT побудований на базі ICEiceDRIVER 1EDI2002AS із біполярним бустером 1EBN1001AE. Інтегральна схема 1EDI2002AS є високовольтним драйвером ізольованого затвора, сертифікованим для застосування в автомобільних приводах. Він реалізує набір функцій, що забезпечують вимоги функціональної безпеки на системному рівні (відповідно до стандарту ISO 26262). Бустер 1EBN1001AE, що формує струм увімкнення/вимкнення до 15 А, також кваліфікований для застосування в автомобільних додатках.

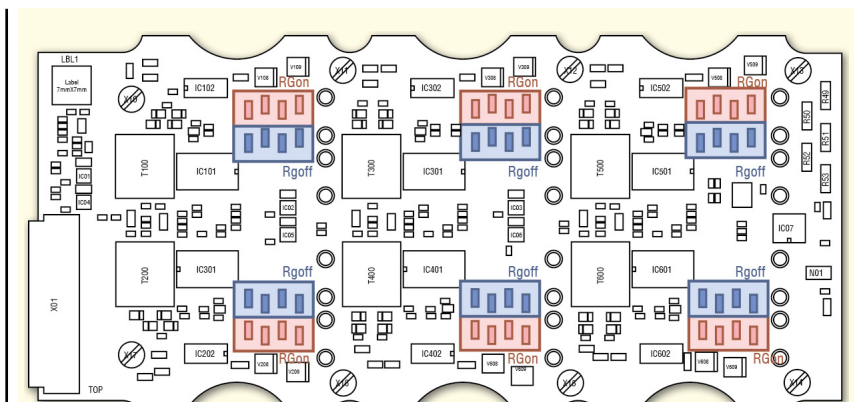
**Резистори затвора ( $R_{Gon}$ ,  $R_{Goff}$ )**

На платі драйвера передбачено чотири окремі майданчики для встановлення резисторів включення та вимкнення ( $R_{Gon}$ ,  $R_{Goff}$ ) типорозміру MiniMELF 0204:  $R_{Gon}$  (виділені червоною рамкою на рисунку 9) та  $R_{Goff}$  (виділені синьою рамкою). Для коректної роботи драйвера всі монтажні майданчики мають бути зайняті.

Значення  $R_{Gon}$ ,  $R_{Goff}$  слід вибирати з урахуванням режимів роботи (напруга DC-шени, частота комутації, втрати при перемиканні тощо). Номінальні величини опорів та їх діапазон вказані у специфікації силового модуля.

**Режим плавного вимкнення**

У багатьох пристроях керування затворами блокування IGBT у разі перевантаження струмом або КЗ проводиться в так званому режимі плавного відключення, або STO (Soft Turn-Off) через резистор з номіналом набагато більшим  $R_{Goff}$  що дозволяє знизити



**Рис. 9. Положення резисторів  $R_{Gon}$ ,  $R_{Goff}$  на верхній стороні PCB**

$di/dt$  і уникнути критичних перенапруг. Недоліком такого рішення є помітне збільшення втрат вимкнення, тому режим STO не використовується. При аварійному перевантаженні драйвер eMPack формує так звану безпечну послідовність, коли IGBT блокується з використанням дворівневого режиму відключення.

За замовчуванням ця функція не активна, її необхідно спочатку налаштувати та активувати через інтерфейс SPI. Докладніша інформація наводиться у специфікації Infineon 1EDI2002AS [4].

### Захист $V_{CE\_DESAT}$

Функція DESAT, реалізована драйвером 1EDI2002AS, призначена для блокування IGBT у разі короткого замикання. Падіння напруги на відкритому транзисторі  $V_{CE(sat)}$  контролюється через вивід DESAT. Цей сигнал фільтрується зовнішнім RC-ланцюгом (1 кОм/100 нФ), а для захисту входу драйвера від висковольтної напруги він відокремлений від колектора двома послідовно з'єднаними діодами MURS160T3.

Фрагмент схеми показано на рисунку 10а. При включенні IGBT напруга на виводі DESAT примусово зменшується до низького рівня під час блокування схеми захисту  $t_{bl}$  (тривалість  $t_{bl}$  визначається у відповідних регістрах 1EDI2002AS). Після закінчення цього часу на вивід DESAT починає надходити фільтрована напруга «колектор-емітер»  $V_{CE(sat)}$ , яка порівнюється з внутрішнім опорним сигналом. Через наявність розв'язуючого конденсатора (100 нФ) до  $t_{bl}$  додається додатковий «аналоговий» час блокування, що визначається часом заряду ємності через внутрішній підтягуючий опір.

Якщо величина  $V_{CE(sat)}$  перевищує встановлене граничне значення, схема 1EDI2002AS ініціює режим відключення та формує сигнал несправності. Докладніша інформація доступна у специфікації Infineon 1EDI2002AS [4].

### Активне обмеження та додаткові компоненти в ланцюзі «затвор-емітер»

Налагоджувальний комплект допомагає користувачеві реалізувати функцію активного обмеження напруги на колекторі (рис. 10б). На нижній стороні плати драйвера для цього призначено п'ять майданчиків для монтажу TVS-діодів-супресорів (TVS) у корпусі SMB (DO 214AA) на кожен IGBT. Плата керування поставляється без TVS-діодів, вони встановлюються користувачем.

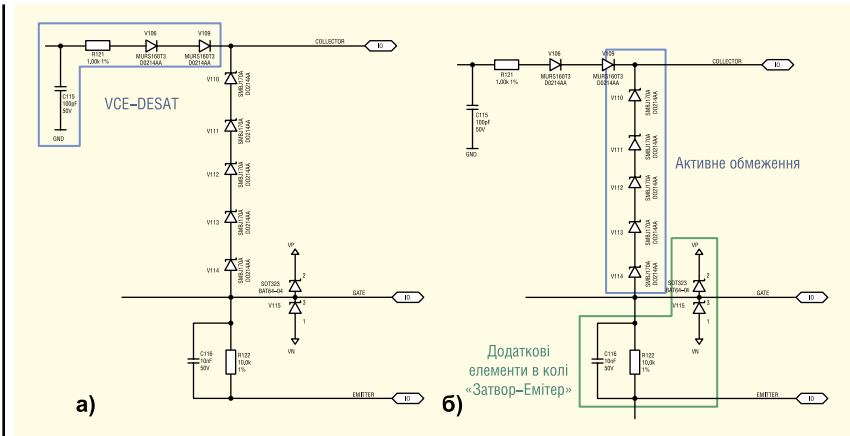


Рис. 10. Захист від перевантаження струмом і напругою: зовнішні елементи схеми DESAT (а); зовнішні елементи схеми активного обмеження (б)

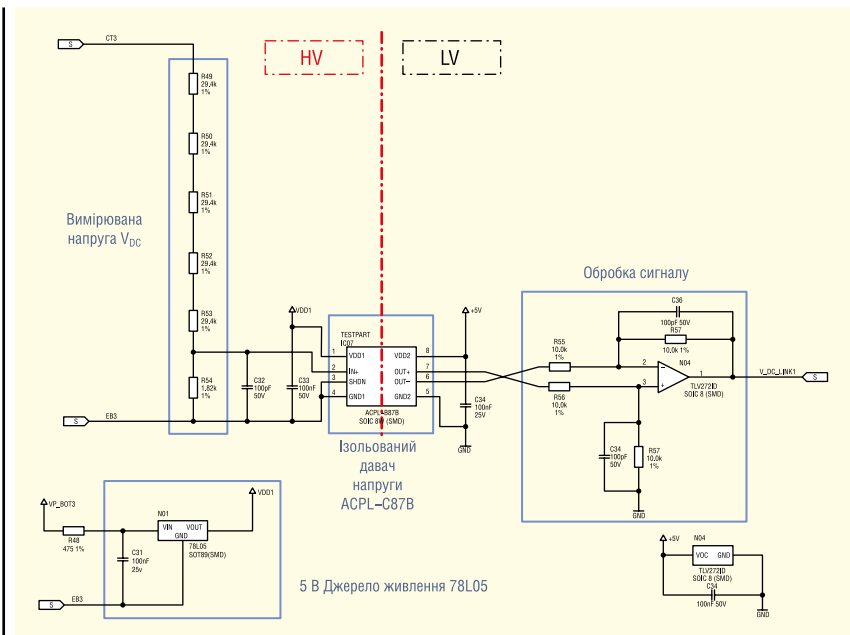


Рис. 11. Схема вимірювання напруги DC-шини (канал 1)

Крім функції активного обмеження для захисту затворів IGBT на платі драйвера ще встановлені RC-ланцюжки (10 кОм/10 нФ) по входу кожного транзистора. Два обмежуючі діоди, включені між затвором і шинами живлення +15 і -8 В, захищають IGBT від перехідних перенапруг в ланцюзі керування. Додаткові компоненти у ланцюзі GE виділені зеленим кольором на рис. 10б.

### Вимірювання напруги DC-шини

Плата драйвера містить два (резервні) ізольовані ланцюжки для вимірювання напруги на DC-шині, один з яких показаний на рисунку 11.

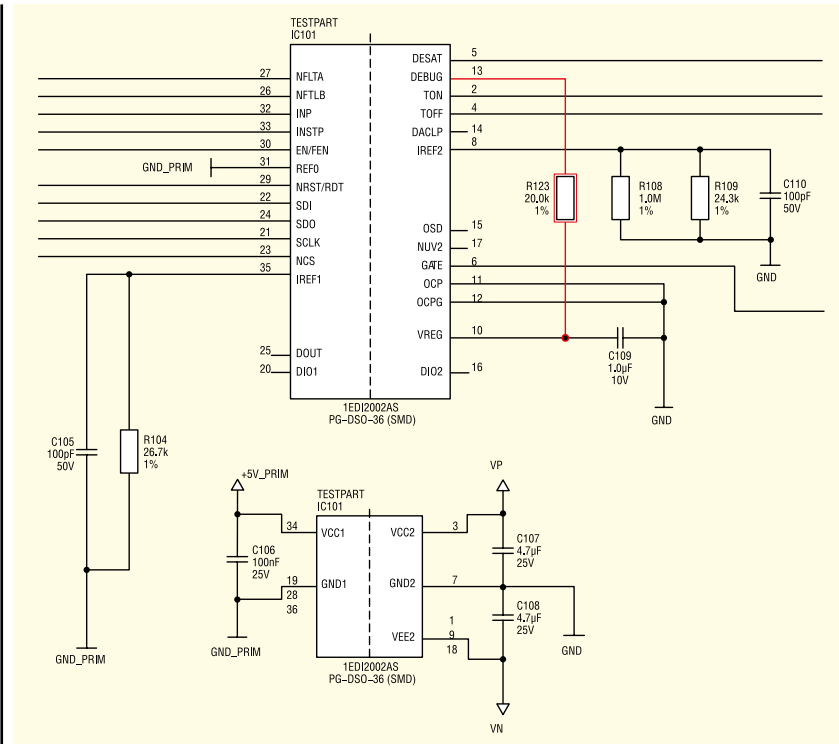
Вимірювання здійснюється за допомогою високоімпедансного ізольованого датчика ACPL-C87B. Схема контролює напругу  $V_{DC}$  на сигнальному виведенні колектора TOPIGBT (шина

+DC) та емітера OT IGBT (шина -DC) фази W. Величина  $V_{DC}$  знижується до значення, що знаходиться в робочому діапазоні датчика, за допомогою резистивного дільника R49-R53/R54 (перший) та R60-R64/R65 (другий канал).

Обидва ізольовані сенсори живляться від +15 В (IGBT T6). Диференціальний вихідний сигнал ACPL-C87B перетворюється на односторонній аналоговий сигнал за допомогою операційного підсилювача. Виходи вимірювачів, що формують аналогову напругу 0-5 В, підключені до контактів B21 і A22 роз'єму X01.

### РЕЖИМ НАЛАГОДЖЕННЯ

Керувати пристроєм у так званому режимі налагодження без інтерфей-



**Рис. 12.** Встановлення режиму налагодження

су SPI (рис. 12) дає можливість вивід DEBUG на драйвері 1EDI2002ASGate. Цей режим призначений лише для досліджень, його не можна використовувати у готових системах.

Стан налагодження на платі активування драйвера EICE у стандартний режим SPI необхідно видалити резистори R123, R223, R323, R423, R523 та R623, а вивід DEBUG залишити відкритим.

**SPI-ІНТЕРФЕЙС**

Драйвер затвора 1EDI2002AS підтримує інтерфейс SPI (Serial Peripheral Interface), що забезпечує стандартизований двонаправлений зв'язок з керуючим контролером. SPI використовує чотири сигнали комунікації:

- NCS: чип не вибрано;
- SCLK: послідовний тактовий сигнал;
- SDI: послідовне введення даних (DataIn);
- SDO: послідовне виведення даних (DataOut).

Для спрощення трасування PCB та зменшення кількості виводів контролера використано послідовну схему, показану на рисунку 13. У звичайній топології шини SPI підпорядковані пристрої мають окремі адреси, що призначаються сигналами (негативними) вибору чипа кожного пристрою. При

використанні послідовної топології всі керовані підлеглі пристрої з'єднані з одним і тим же ланцюгом вибору чипа основного контролера, тобто вони адресуються одночасно. Їх підключення здійснюється послідовно за допомогою сигналів SDO та SDI. На кожному пози-

тивному фронті сигналу SCLK (у цей час NCS активний) вихідний регістр зсуву послідовно зміщується на 1 біт виводу SDO (починаючи з MSB). На кожному негативному фронті тактового імпульсу біт даних, доступний на вході SDI, фіксується і зсувається послідовно у вхідний регістр.

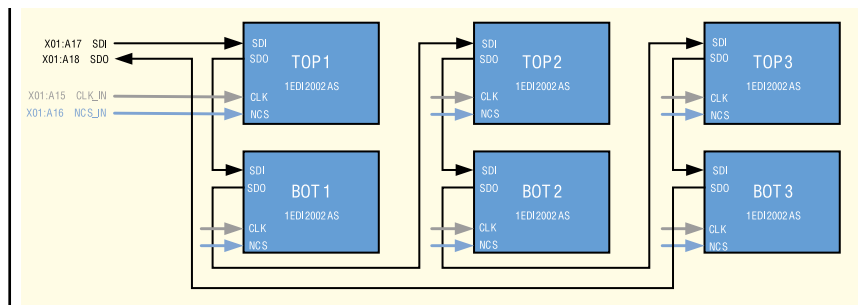
Детальний опис інтерфейсу SPI та регістрів SPI дано у специфікації драйвера 1EDI2002AS. Зверніть увагу, що за замовчуванням пристрій налаштований для режиму налагодження. У цьому режимі робота кінцевого автомата змінюється, що дозволяє працювати без інтерфейсу SPI. Для налаштування через SPI у драйвері 1EDI2002AS має бути налаштований нормальний режим роботи.

**Обробка сигналу помилки**

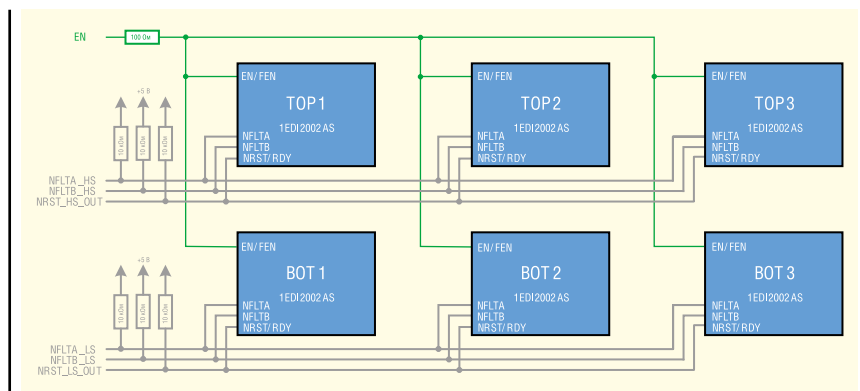
Крім SPI-інтерфейсу, драйвер 1EDI2002AS має кілька виводів зворотного зв'язку та керування, що дозволяє користувачеві швидко реагувати на певні події у критично важливих ситуаціях.

**Формування сигналів несправності**

Драйвер 1EDI2002AS формує два сигнали помилки (виводи з відкритим стоком NFLTA і NFLTB), що відповідають основним аварійним ситуаціям (клас подій А або В) і передаються на керуючий контролер. При аварії кла-



**Рис. 13.** Топологія послідовної шини SPI



**Рис. 14.** Формування сигналів помилки та скидання

су А сигнал NFLTA набуває стану логічного 0, при аварії класу В відповідно NFLTB набуває нульового значення. У загальному випадку активація сигналів NFLTA чи NFLTB пов'язані з переходом станів внутрішньої «стейт-машини» пристрою. Більш детальна інформація про керування помилками та переходи станів наведена у специфікації 1EDI2002AS [4].

Щоб зменшити кількість виводів інтерфейсу драйвера, сигнали помилки для трьох ключів верхнього рівня NFLTA і NFLTB і трьох ключів нижнього рівня (NFLTA\_LS, NFLTB\_LS) підсумовуються (рис. 14). Якщо один із транзисторів TOP або ВІД видає помилку, виводи NFLTA\_LS, NFLTB\_LS будуть переведені в стан логічного 0 (LOW).

### Сигнал Reset

Драйвер 1EDI2002AS формує сигнал RST/RDY, що поєднує функції скидання (Reset) та сповіщення про готовність (Ready). Його активація пов'язана із статусом виводу Reset драйвера. При скиданні сигнал NRST/RDY перетворюється на стан LOW. Високий рівень цього виводу вказує, що чип працює і пристрій буде приведено в стан за замовчуванням, тому цей сигнал також інформує про готовність. Для отримання докладної інформації можна звернутися до специфікації 1EDI2002AS.

Щоб зменшити кількість виводів інтерфейсу драйвера, сигнали Reset для трьох ключів верхнього рівня NRST/RDY і трьох ключів нижнього рівня (NRST\_LS\_OUT) об'єднуються за логікою AND (рис. 14). Якщо один приймає стан Reset (LOW), то відповідний сумарний сигнал (NRST\_HS\_OUT, NRST\_LS\_OUT) буде переведений у стан LOW.

### Сигнал роздільної здатності Enable

Драйвер 1EDI2002AS формує сигнал EN/FEN, що дозволяє логічній схемі первинного каскаду здійснювати прямий контроль стану пристрою. Перехід статусу сигналу з «допустимого» в «неприпустимий» генерує клас події А. Активне керування ним здійснюється контролером користувача. За відсутності зовнішнього керування на виводі EN/FEN формується рівень LOW завдяки наявності невеликого вхідного резистора витoku. Докладніша інформація у специфікації 1EDI2002AS [4].

Для зменшення кількості виводів інтерфейсу драйвера сигнали EnableEN/FEN для транзисторів верхнього та ниж-

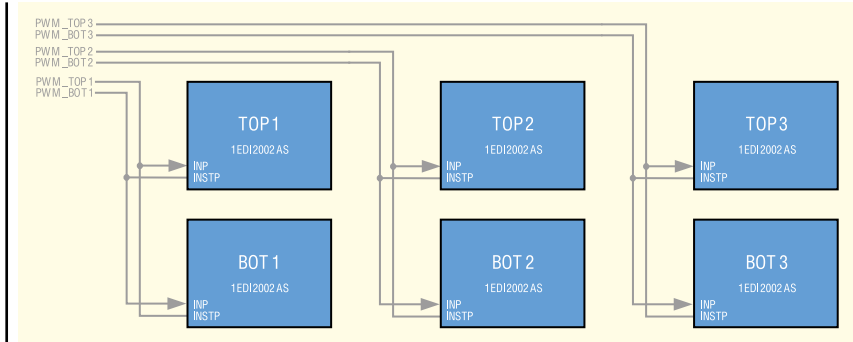


Рис. 15. Захист від наскрізного струму (STP)

нього рівня об'єднуються за логікою AND (рис. 14). Таким чином, по входу EN здійснюється керування всіма шістьма ключами одночасно.

### Захист від наскрізного струму

Драйвер 1EDI2002AS забезпечує захист силового каскаду від наскрізного струму (STP — Shoot Through Protection), забороняючи одночасне вмикання транзисторів верхнього та нижнього плеча напівмоста (рис. 15).

На вхід драйвера INSTP надходить ШІМ-сигнал з керуючого контролера. Наявність функції STP дозволяє ключу TOP відстежувати стан опозитного ключа BOT. При відкритому нижньому транзисторі (сигнал високого рівня HIGH на виводі INP) активація відповідного верхнього транзистора (сигнал HIGH на виводі INP) блокується (і навпаки). Якщо протягом періоду блокування надходить сигнал високого рівня, фіксується стан помилки. Мінімальний «мертвий» час  $t_{off}$  визначається апаратними засобами драйвера 1EDI2002AS та може бути додатково відрегульований через інтерфейс SPI. Докладнішу

інформацію щодо налаштування режиму STP можна знайти у специфікації 1EDI2002AS [4].

### Вимірювання температури

У модулях eMPack IGBT для вимірювання температури використовуються NTC-сенсори, що є в кожній напівмостовій стійці. Вони встановлені на DBC-підкладці поруч із чипами IGBT/FWD та відображають фактичну температуру корпусу. Умови охолодження мають сильний вплив на розподіл температури всередині силового модуля, тому необхідно оцінити залежність температури в точці (наприклад, на чипі) від сигналу, що отримується з сенсора.

Сенсор NTC  $R_{25}$  має номінальний опір 4.7 кОм за +25 °C. Для отримання точних показань струм вимірювача повинен перебувати в діапазоні 1–3 мА. Математична залежність опору датчика ( $R_{NTC}$ ) від температури ( $T_{DCB}$ ) визначається рівнянням:

$$R_{NTC} = R_{25} \exp \left[ B_{25/28} \left( \frac{1}{T} - \frac{1}{298.15K} \right) \right],$$

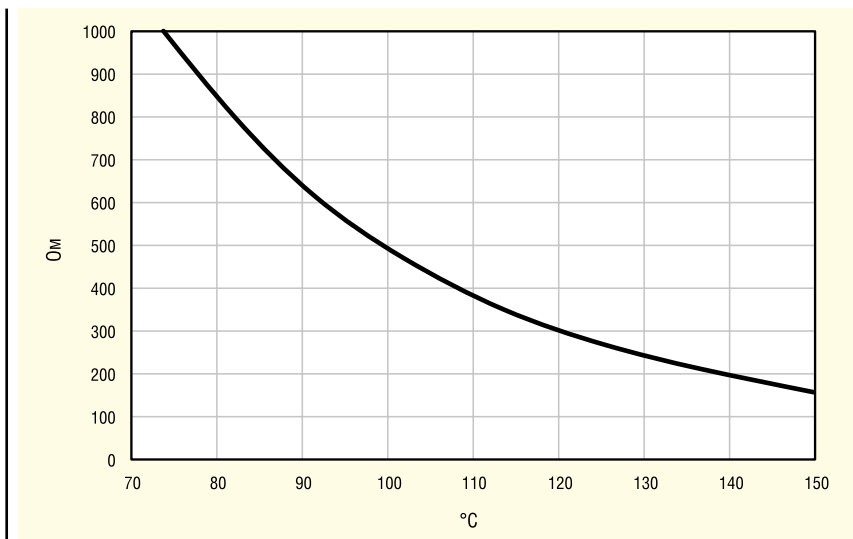


Рис. 16. Характеристика NTC-сенсора eMPack

де  $R_{25}$  — опір датчика при номінальній температурі ( $T_{nom} = +25\text{ }^\circ\text{C}$ );  $B_{25/85}$  — матеріальна константа;  $T$  — абсолютна робоча температура ( $T_{DCB} + 273.15\text{ K}$ ).

Значення  $R_{25}$  та  $B_{25/85}$  наводяться у специфікації eMPack. На рисунку 16 показаний фрагмент характеристики eMPack NTC у найважливішому діапазоні  $+25\dots+150\text{ }^\circ\text{C}$ .

## УМОВИ ЕКСПЛУАТАЦІЇ

### Абсолютні значення

Налагоджувальний комплект eMPack Application Kit допускає відповідно до специфікації роботу в таких умовах:

- діапазон температур навколишнього середовища  $T_a$ :  $-0\dots+40\text{ }^\circ\text{C}$  (Примітка. Усі компоненти, що використовуються, розраховані на температуру  $-40\dots+125\text{ }^\circ\text{C}$ , проте комплект тестувався у вказаному діапазоні);
- напруга DC-шини  $V_{DCmax}$ : 600 В (eMP1020MD075SC2SV1DPD), 900 В (eMP780MD12SC2SV1DPD);
- максимальна частота комутації FSW: 16 кГц.

### Ізоляція драйвера

З метою безпеки плата драйвера розділена на дві ізольовані частини: низьковольтну, що містить вхідний інтерфейс X01 і схему формування аналогового та цифрового сигналів, і високовольтну, що складається з вихідного каскаду драйвера, а також вузлів моніторингу та захисту. Ізоляція первинного та вторинного каскадів здійснюється за рахунок трансформаторів DC/DC-конвертерів та оптопар.

З функціональних міркувань вихідні каскади драйверів транзисторів верхнього та нижнього плеча (TOP і OT) також розділені за допомогою ізоляційного бар'єру.

Література:

1. Rabl I., Engstler J. eMPack A4 Technical Explanations. SEMIKRON, 2021.
2. Wintrich A., Nicolai U., Tursky W., Reimann T. Application Manual Power Semiconductors», 2nd edition. ISLE Verlag, 2015.
3. Bogen I. eMPack Power Module. SEMIKRON Mounting Instruction — rev01, 2020.
4. Infineon Technologies AG. EiceDRIVER™ SIL 1EDI2002AS. Infineon Data-sheet — Rev.3.1. Munich, 30.07.2015.
5. www.erni.com

CN

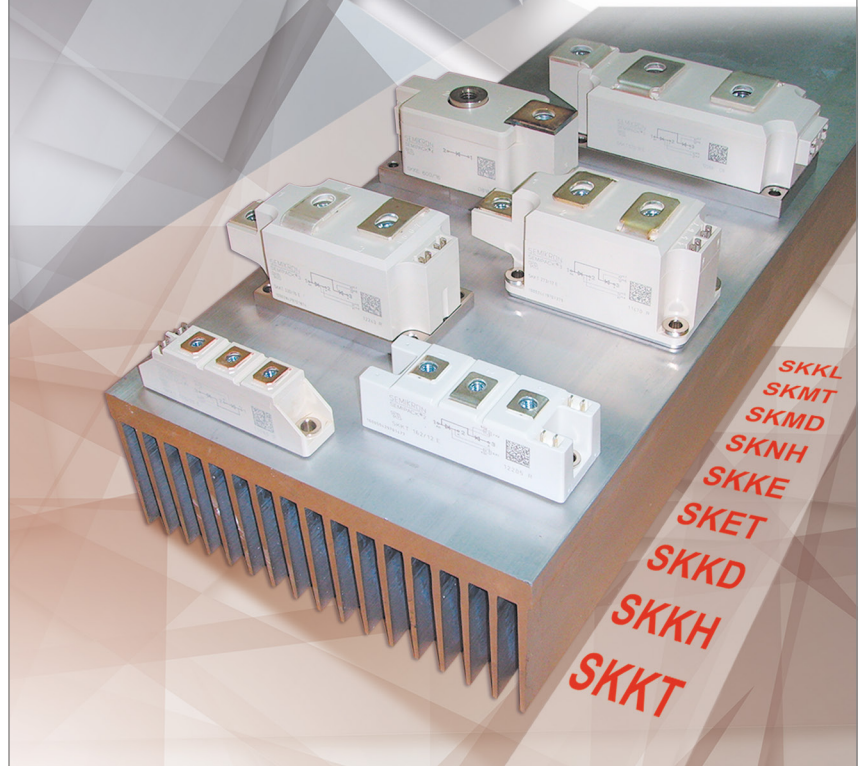
# НВП "ТЕХНОСЕРВІСПРИВІД"

Офіційний представник Semikron в Україні

www.tsdrive.com.ua

**SEMIKRON**  
innovation+service

Діодні, тиристорні та діодно-тиристорні модулі SEMIKRON від офіційного представника в Україні



03057, Київ-57, пр. Перемоги 56, оф. 335

тел/факс (044) 458 4766

E-mail: sales@semikron.com.ua

www.semikron.com.ua

# Вибір топології імпульсних силових каскадів

**Франческо ді Доменіко (Francesco Di Domenico)**, керівник відділу прикладного проектування, Infineon Technologies

**Адаптований переклад українською та технічне редагування:**

**Андрій Мовчанюк**, к.т.н., доцент, кафедра ПРЕ, РТФ, КПІ ім. Ігоря Сікорського

**До переваг комутаційних пристроїв на основі широкозонних технологій GaN і SiC відноситься менший опір відкритого каналу і порівняно висока теплопровідність, що дозволяє поліпшити ефективність і працездатність кінцевого пристрою при більш високих температурах. В імпульсних джерелах живлення на основі GaN та SiC підвищується ККД та густина потужності. Однак для реалізації цих переваг недостатньо лише замінити кремнієві пристрої на широкозонні, а інколи вибір кремнієвої технології є оптимальним.**

## ВИСОКОЕФЕКТИВНІ ІМПУЛЬСНІ ДЖЕРЕЛА ЖИВЛЕННЯ

На сьогодні розробники зробили вибір на користь декількох топологій, у тому числі для використання у коректорах коефіцієнта потужності (ККП) та ізольованого високовольтного DC/DC-перетворювача. Для початку ми порівнюємо різні топології, щоб зрозуміти, чи дійсно рішення на GAN або SiC кращі, ніж кремнієві аналоги.

Кремнієві пристрої, виготовлені за допомогою технології Superjunction та SiC MOSFET, мають подібні вертикальні структури, тоді як ключі GaN Mosfet мають горизонтальну структуру. Це означає, що струм протікає через Si- та SiC- пристрої зверху вниз на підкладку,

а в горизонтальній структурі GAN він виходить з витку, затвор на стік, які з'єднані з поверхнею, використовуючи окремі металізовані шари (див. рис. 1). Електрони в цій, по суті нелегованій, кристалічній структурі з невеликою кількістю домішок мають високу рухливість, що підкреслено в назві HEMT (транзистори з високою рухливістю електронів).

В результаті використання різних конструкцій та різних напівпровідникових матеріалів робочі характеристики відповідних пристроїв помітно відрізняються. Про це свідчить характеристичний показник (FOM), який враховує провідність ( $R_{DS(ON)}$ ) та комутаційні втрати (див. рис. 2а–в).

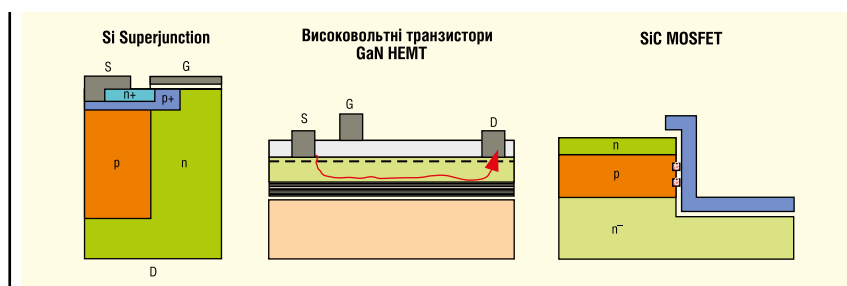
Відповідно до таких параметрів, як заряд стік-витік ( $Q_{OSS}$ ), заряд зворотного відновлення ( $Q_{RR}$ ) та заряд затвору ( $Q_C$ )

у ключів SiC MOSFET — кращий характеристичний показник порівняно з пристроями Si Superjunction. Однак кремнієві ключі перевершують конкурентів за енергією, що зберігається у вихідній ємності ( $E_{OSS}$ ). У той же час усі характеристики GaN MOSFET кращі, ніж у аналогів. Однак для комплексного погляду потрібен більш ретельний аналіз.

Сучасні імпульсні джерела живлення повинні забезпечити більш високу потужність при зменшенні об'єму, який вони займають. Зменшення відстані між компонентами неминуче призводить до підвищення робочої температури, що впливає на значення  $R_{DS(ON)}$ . Через низький рівень домішок у транзисторах GaN HEMT величина  $R_{DS(ON)}$  менше залежить від температури, у порівнянні з кремнієвими ключами. Однак, найменша залежність  $R_{DS(ON)}$  від температури спостерігається у пристроїв на SiC. Так, наприклад, з рисунка 3 видно, що  $R_{DS(ON)}$  карбід кремнієвих ключів, при 25 °C, на 30% менше, ніж у GAN HEMT, і на 50% менше порівняно з пристроями, виготовленими за допомогою технології Si Superjunction при 100 °C. Отже, у ключів Si Superjunction з  $R_{DS(ON)} = 70$  мОм характеристичний показник гірший, ніж у 100-мОм SiC-пристроїв за робочої температури, що впливає на загальну ефективність джерела живлення.

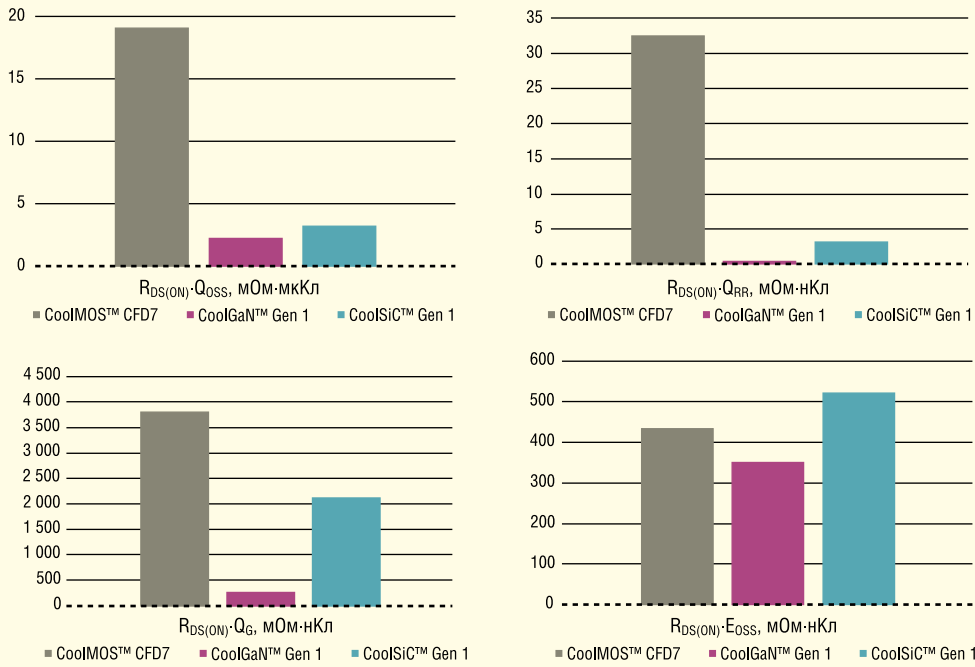
## ПРАКТИЧНИЙ ПРИКЛАД

Розробники постійно функціонуючих джерел живлення для застосування в телекомунікаційних пристроях шукають варіанти зменшення експлуатаційних витрат. На сьогодні продукт з ККД = 97% вважається стандартним, а з ККД = 98% встановлюють в пристрої преміум класу. Розробники нама-



**Рис. 1.** Технології Si Superjunction та SiC MOSFET мають вертикальну структуру, а GaN MOSFET — горизонтальну





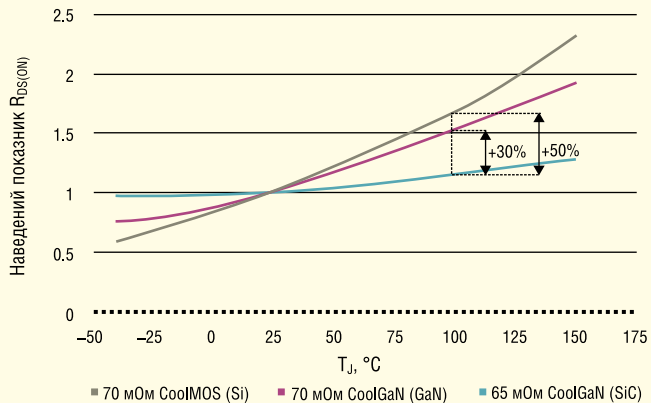
**Рис. 2.** Характеристичні показники ключів, виготовлених відповідно до різних напівпровідникових технологій з номінальними напругами 600/650 В

гаються знайти оптимальну топологію і вибирають напівпровідники таким чином, щоб і ланка ККП, і високовольний DC/DC-перетворювач забезпечували необхідну ефективність системи.

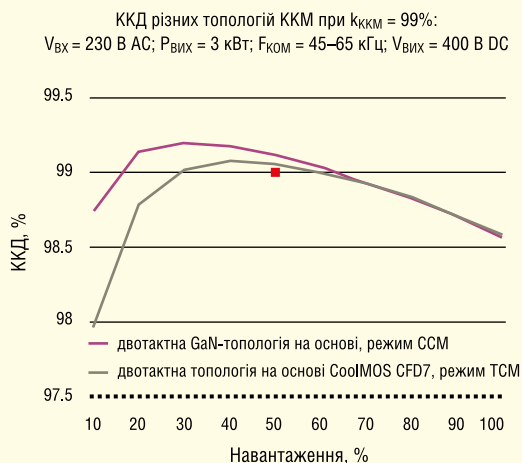
У розглянутому прикладі імпульсне джерело живлення з потужністю 3 кВт і з піковим ККД = 98% при 50%-навантаженні вимагає каскаду ККП з ККД = 99%. У типових рішеннях в таких випадках використовуються двотактні топології — мостова або напівмостова в режимах безперервної провідності (CCM) або граничної провідності, коли струм має трикутну форму (TCM), з подвійним збільшенням або Н4/Н-мостова топологія. Однак не кожна напівпровідникова технологія є ідеальною за необхідності забезпечення найбільшої ефективності.

З рисунка 4 зрозуміло, що ККД = 99.3% GAN-пристроїв в мостовій двотактній топології в режимі CCM досягається тоді, коли ефективність (ККД) ключа Si Superjunction MOSFET в двотактній топології в режимі TCM трохи більше 99%.

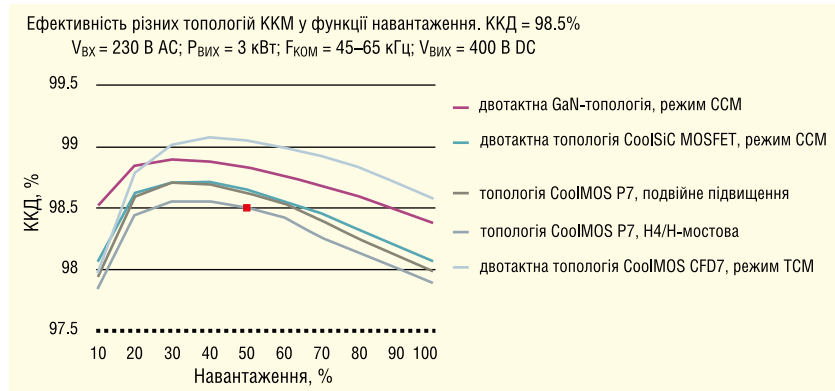
Однак нові GAN- та SiC-технології працюють не так добре в інших топологіях. Двотактна напівмостова топологія на основі GAN в режимі CCM, дозволяє заощадити на двох ключах, але при ефективності близько 98.8% вона стає непринятною для імпульсних джерел живлення з заданою ефективністю 98%. Те саме стосується використання SiC-ключів у двотактній топології в ре-



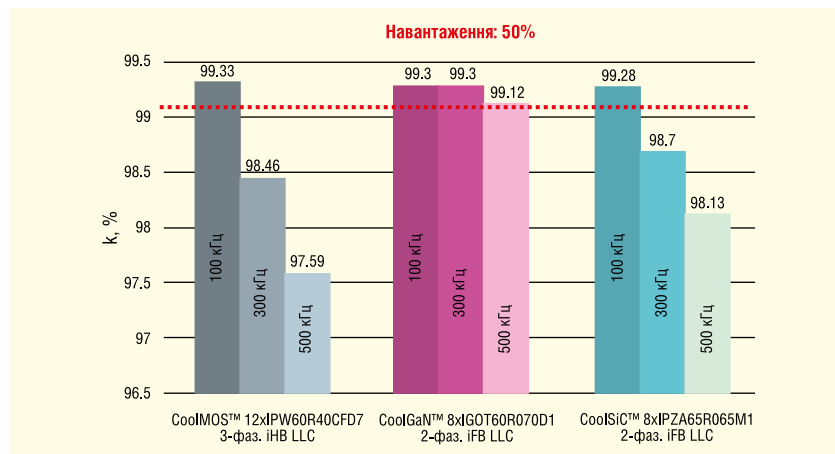
**Рис. 3.** Опір  $R_{DS(ON)}$  Si-, SiC- та GaN-ключів за різних значень температури переходу  $T_J$



**Рис. 4.** Ефективність двотактних коректорів коефіцієнта потужності під час використання GaN- та Si-технологій може перевищувати 90%



**Рис. 5.** У випадках, коли топології підвищують переваги традиційних кремнієвих ключів, їх ефективність перевищує показники GaN та SiC ККМ



**Рис. 6.** Вплив резонансної частоти на ефективність топології LLC при використанні Si-, GaN- або SiC-ключів

жимі CCM, що забезпечує ефективність близько 98.6% (див. рис. 5). Таким чином, незважаючи на теоретично високі показники GAN- та SiC-технологій, ключі Superjunction Si MOSFET все ще бажано використовувати, коли топології посилюють переваги цих пристроїв. Слід також зазначити, що вартість використання нових технологій у двотактній конфігурації ККП в режимі TSM є найвищою порівняно з кремнієвою технологією, а керувати ними набагато складніше.

Отже, ми можемо зробити висновок, що кремнієві ключі все ще мають цінову перевагу на рівні компонентів, і, крім того, інженери накопичили значний досвід роботи з цією технологією. Однак неможливо недооцінити складність проектування та керування кремнієвими топологіями в ККП. Ці топології забезпечують таку ж ефективність, як і широкозонні пристрої, але потребують більше зусиль від розробників.

Розглянемо тепер високовольтний DC/DC-каскад. І в цьому випадку необхідно забезпечити найвищу ефективність 98% за 50%-навантаження. Це означає, що ефективність розглянутого каскаду

повинна бути принаймні 99.1% при тому ж навантаженні. Можливо, найпростішою топологією в цьому випадку є напівмостовий LLC-перетворювач, який добре відомий розробникам і підходить для використання з Si-, GAN- та SiC-ключами. Однак ця топологія не забезпечує пікову ефективність імпульсних джерел живлення вище 97% (при навантаженні 50%), що також залежить від ефективності ККП при тому ж навантаженні.

Пікову ефективність величиною 98% з 50%-навантаженням для імпульсного джерела живлення забезпечує напівмостовий LLC-перетворювач, але в цьому випадку немає потреби в GAN- та SiC-ключах, оскільки вони не дають інших додаткових переваг. Щільність компонування можна збільшити, інтегруючи три трансформатори на одному осерді. Однак, це складне завдання, оскільки необхідно провести ретельний аналіз магнітних компонентів.

У випадках, коли GAN- та SiC-ключі мають інші переваги, до яких, наприклад, належить корпусування, можна використовувати мостову та напівмостову двофазну LLC-топологію. Обидві

дозволяють розподіляти генероване тепло по всій схемі. Перевагою напівмостової топології є використання меншої кількості компонентів та більш просте керування, а мостова конфігурація дозволяє зменшити пульсації та трохи краще розподіляти тепло.

У випадках, коли густина потужності є критичною вимогою, використовується високовольтний DC/DC-каскад з більшою частотою комутації, що зменшує розмір магнітних компонентів. У той же час ефективність погіршується, хоча і в різній мірі, залежно від того, які ключі використовуються — Si, GaN або SiC. Ефективність кремнієвих пристроїв погіршується більше, оскільки резонансна частота LLC-перетворювача стає рівною 300 кГц, а потім 500 кГц; ефективність карбідокремнієвих ключів змінюється меншою мірою. Однак, GaN-ключі мають вражаючу ефективність навіть на 500 кГц (див. рис. 6).

Отримане збільшення густини потужності залежить від зменшення об'єму, зайнятого компонентами. SMD- та інші компоненти, а також допоміжне джерело живлення не мають суттєвого впливу на цей показник. Можна зменшити зайнятий об'єм, головним чином за рахунок трансформаторів, дроселів, електролітичних конденсаторів, силових напівпровідників, радіаторів та вибору методу охолодження. Як результат, вивільняється близько 30% зайнятого місця, що дозволяє збільшити резонансну частоту зі 100 до 300 кГц.

## ЯКІ ТЕХНОЛОГІЇ КРАЩЕ?

Кращий вибір топології визначається не лише найкращим характеристичним показником. Традиційні кремнієві ключі, що мають величезну кількість застосувань, щодо яких накопичено значний досвід розробок, залишатимуться лідерами в більшості імпульсних джерел живлення з високими вимогами завдяки найвищій ефективності.

Однак широкозонні GaN- та SiC-технології мають переваги при використанні відповідних топологій і в тих випадках, коли, наприклад, необхідно забезпечити високу густину потужності (GaN) або роботу в жорстких умовах, або за високої температури (SiC). Підкреслюємо, що найбільш нова та приваблива технологія не є кращою для застосування. Найчастіше обґрунтованим буде вибір напівпровідникових ключів від надійного виробника, що базується на збалансованому та неупередженому підході. **СН**

# RAINBOW TECHNOLOGIES

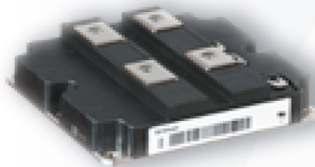
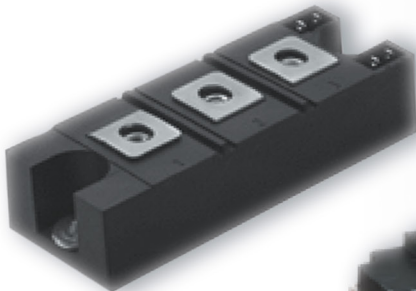
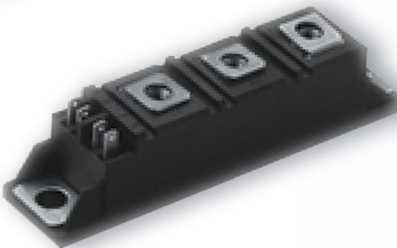
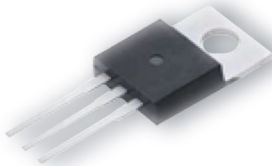
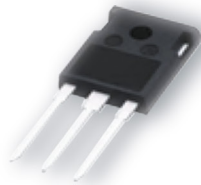
Офіційний дистриб'ютор в Україні

Rainbow Technologies  
[www.rainbow.com.ua](http://www.rainbow.com.ua)

04112, Україна, м. Київ, вул. Дегтярівська, 62, оф. 46

Тел./факс: +38 (044) 290-41-69, 290-41-82

[svl@rainbow.com.ua](mailto:svl@rainbow.com.ua)



**Постачальник напівпровідників  
зі складу та на замовлення**

Діоди – Транзистори MOSFET – IGBT  
SIC MOSFET – SIC діоди – Тиристори – Модулі

# Силлові SiC-модулі наступного покоління

**Нілс Солтау (Nils Soltau), Екхард Тхал (Eckhard Thal), Mitsubishi Electric Europe, Тору Мацуока (Toru Matsuoka), Mitsubishi Electric Corporation**

**Адаптований переклад українською та технічне редагування:**

**Юлія Ямненко, д.т.н., професор, кафедра ЕПС, ФЕЛ, КПІ ім. Ігоря Сікорського**

**Компанія Mitsubishi Electric випускає сильноточні SiC-модулі для різних класів напруги, що широко відомі в галузі. В даний час виробляються 1200- та 1700-В силлові SiC-модулі другого покоління, характеристики яких стали краще, ніж у виробі першого покоління. Крім того, лінійка нових модулів стала ширшою. У кристали MOSFET силлових SiC-модулів з номінальною напругою 3300- і 6500-В вбудовано діоди Шоттки. В даній статті розглядаються результати останніх досліджень цієї передової технології.**

## ВСТУП

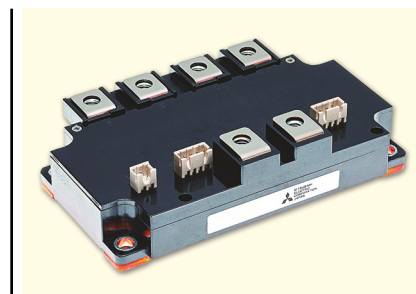
Застосування карбіду кремнію (SiC) стало великим кроком у сучасній силловій електроніці. Силлові пристрої на основі SiC мають великі можливості і більш високий ККД у порівнянні з традиційними кремнієвими матеріалами. Компанія Mitsubishi Electric розпочала розробку силлових напівпровідників на основі карбіду кремнію ще на початку 1990-х років. За останні 10 років їй вдалося комерціалізувати багато SiC-пристроїв з різними значеннями номінальної напруги та струму. Особлива увага була приділена великим SiC-кристалом та сильноточним SiC-модулям. В деяких застосуваннях, наприклад у вантажопідйомному обладнанні, джерелах безперебійного живлення, фотоелектричних системах та в залізничному транспорті, використання SiC-модулів великої потужності забезпечує дуже привабливі характеристики, в т.ч. густину потужності. У статті розглядаються результати останніх науково-дослідних робіт компанії Mitsubishi в галузі карбідокремнієвих силлових модулів. Зокрема, ми представимо 1200- та 1700-В модулі другого покоління, інноваційні рішення та їх більш досконалі характеристики порівняно з модулями попереднього покоління.

Однією з перешкод на шляху підвищення номінальної напруги карбідо-

кремнієвих MOSFET є погіршення (деградація) характеристик внутрішнього діода. Щоб цього уникнути, застосовується діод Шоттки, встановлений антипаралельно (зустрічно паралельно) SiC MOSFET. Компанія Mitsubishi інтегрує цей діод в кристал MOSFET, завдяки чому істотно підвищується густина потужності високовольтних SiC-пристроїв. Подобиці такого рішення розглядаються в заключному розділі цієї статті для 3300- і 6500-В пристроїв.

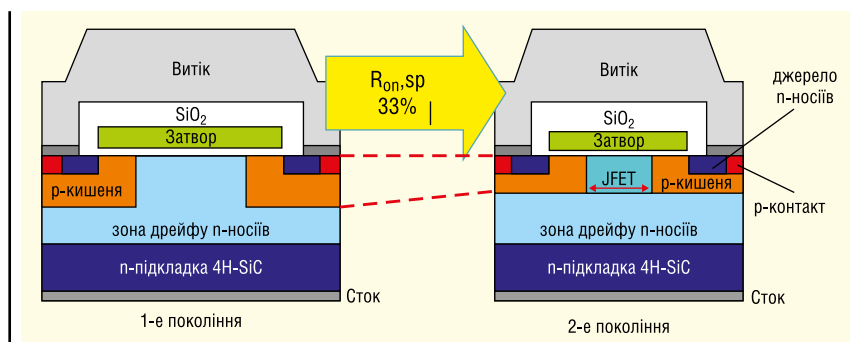
## 6-ДЮЙМОВІ SiC-МОДУЛІ 2-ГО ПОКОЛІННЯ

Розглянемо 4H-SiC MOSFET 2-го покоління від компанії Mitsubishi з номінальними напругами на 1200 і 1700 В (див. [2]) характеристики 600-В



**Рис. 1. SiC-модуль 2-го покоління з RTC-захистом від короткого замикання, що повністю базується на SiC-пристроях**

SiC MOSFET). Як видно з рисунка 1, крок між ланками 1200-В ключів SiC MOSFET 2-го покоління з оптимізованою р-кишенею, випущених на нещодавно розробленій лінії з виробництва 6-дюймових SiC-пластин, став меншим. Оптимізовано і профіль легування каналу (див. рис. 2) [3]. В результаті підвищилася надійність оксидного шару затвора і зменшилися втрати на провідність. На рисунку 3 представлена залежність питомого опору відкритого каналу RON, SP за кімнатної температури 1200-В кристалів MOSFET 1-го і 2-го покоління з номінальною густиною струму 100 А/см<sup>2</sup>. Видно, що цей показник зменшився на 33% із 4/5 до 3.0 мОм·см<sup>2</sup> завдяки оптимізованій структурі ланок.



**Рис. 2. Поперечний переріз кристалів SiC MOSFET 1-го та 2-го покоління**

При скороченні кроку між ланками звужується область JFET. Якщо її ширина стає занадто малою, збільшується опір каналу у відкритому стані. Однак компанія Mitsubishi вирішила цю проблему шляхом легування JFET (див. рис. 4). Завдяки оптимізованому легуванню JFET планарні ключі MOSFET можуть скласти конкуренцію сучасним trench-структурам, що видно з рисунка 5. У той же час планарна структура менш складна в порівнянні з затворною trench-структурою.

Комутаційна характеристика SiC MOSFET 2-го покоління теж покращилася. Ємність Міллера стала меншою, завдяки чому зросла частота комутації. Як видно з рисунка 6, втрати на вмикання та вимикання зменшилися на 23 і 37% відповідно, порівняно з пристроями попереднього покоління.

Зменшився крок між ланками і в 1700-В ключів SiC MOSFET. Крім того, у них також оптимізовано профіль легування. В [4] демонструється ефективність цих кристалів великої потужності в напівмостовому модулі на 300 А. Величина  $V_{DS(ON)}$  становить 2.75 В при струмі стоку 300 А і температурі переходу 150 °С. Значення  $E_{ON}$  та  $E_{OFF}$  при 300 А та 150 °С дорівнюють 12.0 та 3.0 мДж відповідно (при  $R_G = 1.6$  мОм). Ці характеристики провідності та комутації — серед найкращих із відомих.

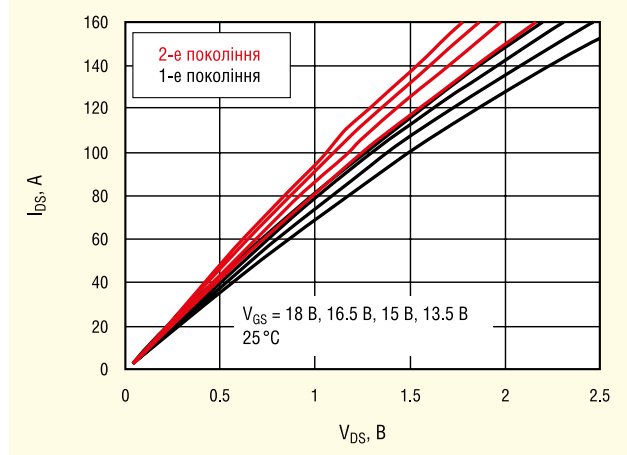


Рис. 3. Типові вихідні характеристики 1200-В SiC MOSFET 1-го та 2-го поколінь [3]

Як правило, величину  $R_{DS(ON)}$  не можна суттєво зменшити, щоб уникнути короткого замикання (КЗ). Загалом, забезпечення захисту SiC-пристроїв від КЗ є досить важким

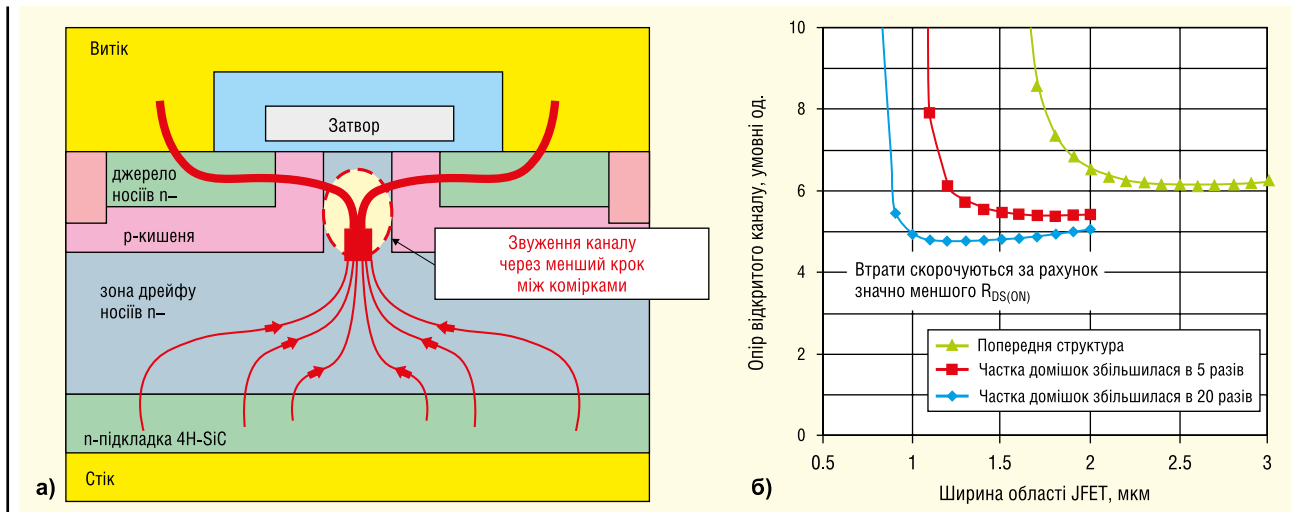


Рис. 4. Поперечний переріз SiC MOSFET(а); вплив легуваної області JFET на опір каналу у відкритому стані (б)

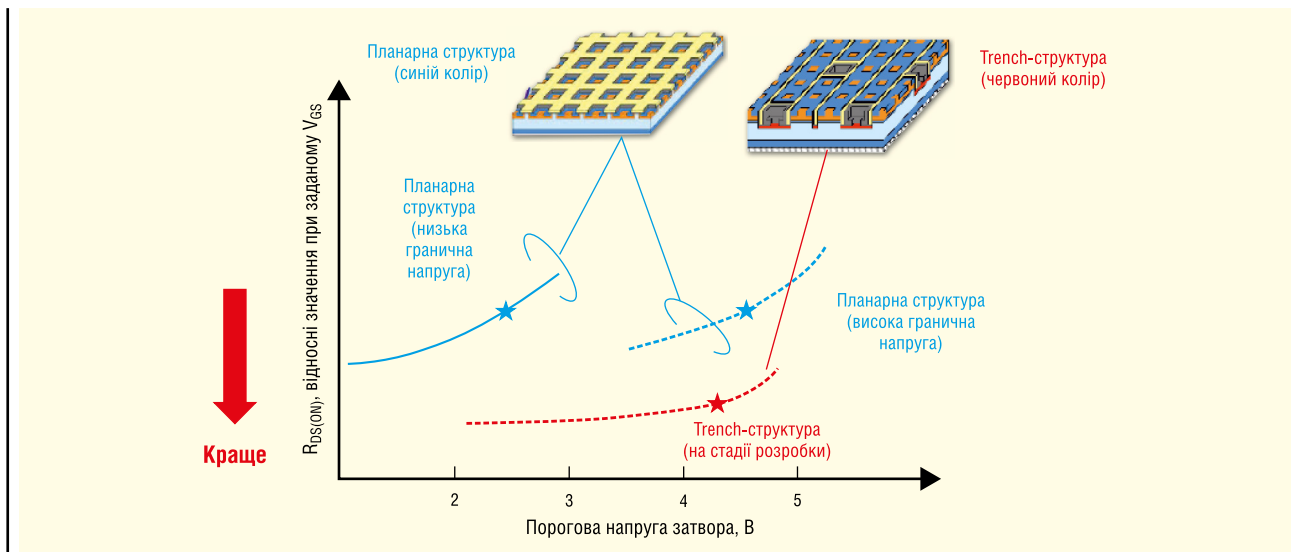


Рис. 5. Поперечний переріз SiC MOSFET(а); вплив легуваної області JFET на опір каналу у відкритому стані (б)

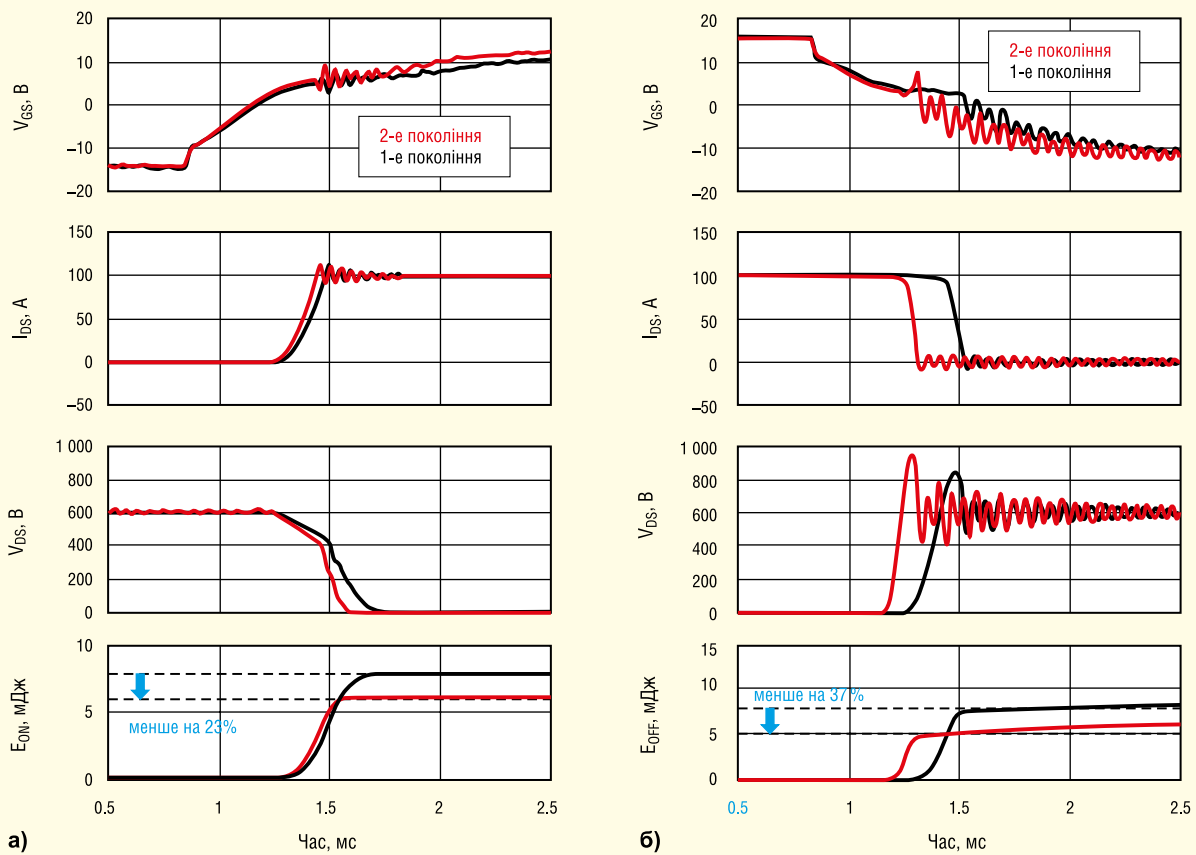


Рис. 6. Комутаційні сигнали 1200-В ключів SiC MOSFET 1-го та 2-го покоління: вмикання (а); вимикання [3] (б)

завданням. З урахуванням цієї обставини компанія Mitsubishi Electric розробила ще для SiC-пристроїв першого покоління метод керування в реальному часі (RTC) [5], який забезпечує власний швидкий захист від КЗ. На рисунках 7–8 показано

принципову схему RTC і форму сигналів при короткому замиканні. Як тільки ця схема виявляє КЗ, вона автоматично зменшує напругу затвора, щоб обмежити величину короткого замикання струму. В результаті зменшується енергія, що розсіюється в цей час у SiC MOSFET. Такий захист дозволяє обирати драйвер затвора та його характеристики, не передбачаючи заходів щодо швидкого захисту від КЗ. Керування в реальному часі забезпечує ефективний захист від КЗ, що довела експлуатація SiC-модулів 1-го покоління. Цією ж схемою оснащена вся лінійка пристроїв другого покоління Mitsubishi Electric з номінальним струмом в діапазоні 300-1200 А (див. табл. 1).

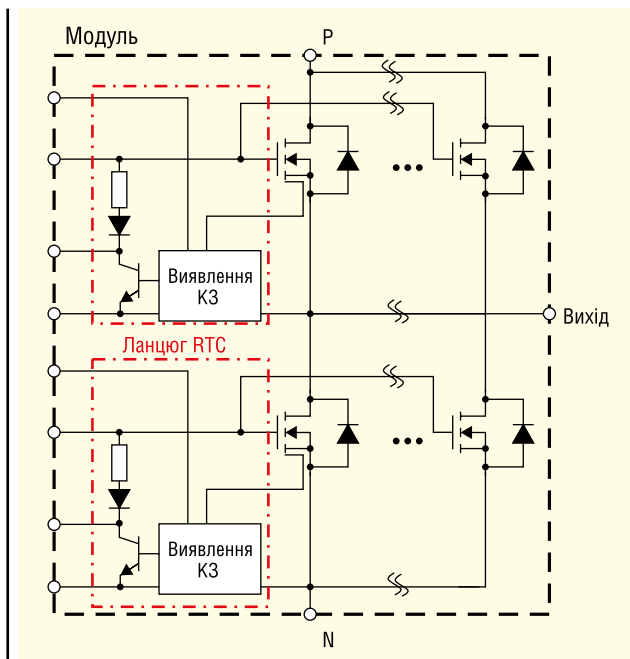


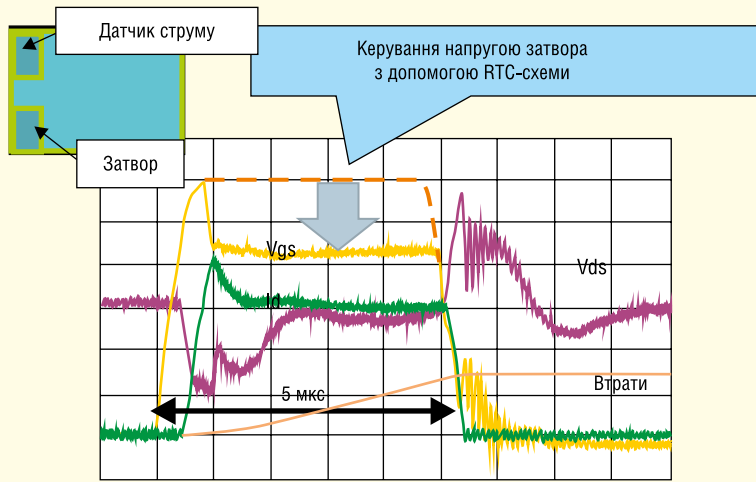
Рис. 7. Схема керування в реальному часі для захисту від короткого замикання

### SiC-МОДУЛІ ДЛЯ ВИСОКОВОЛЬТНИХ ЗАСТОСУВАНЬ

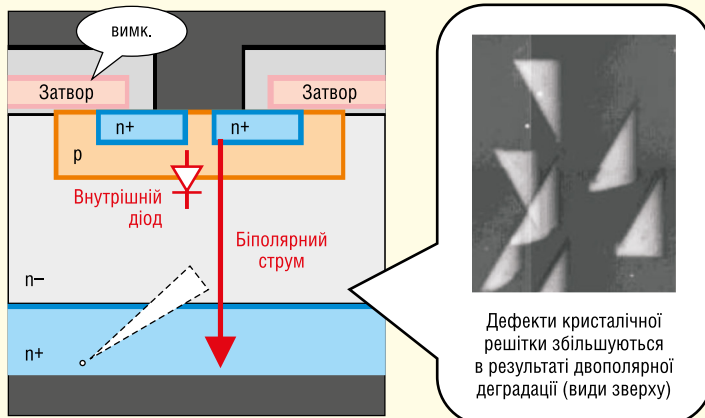
Біполярна деградація (BPD) — добре відомий та описаний механізм погіршення характеристик напівпровідникових

	Лінійка SiC MOSFET 2-го покоління			
	1200 В		1700 В	
	без RTC	з RTC	без RTC	з RTC
300 А	–	4-в-1**	–	2-в-1
400 А	4-в-1	4-в-1	–	–
600 А	–	2-в-1	–	–
800 А	2-в-1*	2-в-1	–	–
1200 А	–	2-в-1	–	–

\* 2-в-1: напівмостовий модуль  
 \*\* 4-в-1: повномістний модуль

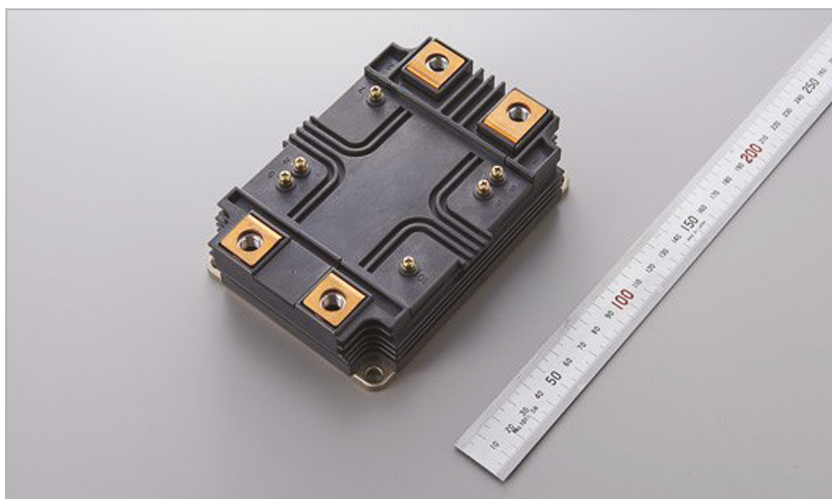


**Рис. 8.** Керування в реальному часі для захисту від КЗ



Потік дірок високої щільності та реакція на двополярний струм призводять до підвищення енергії та подальшого зсуву кристалічної решітки

**Рис. 9.** Схематичне зображення поперечного перерізу MOSFET з діодом Шотткі та фото дефектів кристалічної структури через двополярну деградацію



**Рис. 10.** 6500-V модуль у корпусі HV100, виконаний повністю на карбідокремнієвих компонентах

Для запобігання цьому небажаному ефекту компанія Mitsubishi встановила SiC-діод Шотткі паралельно до внутрішнього діода MOSFET.

Якщо падіння напруги на діоді Шотткі досить мале, через нього протікає надлишковий струм, що запобігає протіканню двополярного струму через внутрішній діод. Даний метод довів свою ефективність за чотири роки експлуатації в польових умовах 3300-V пристроїв, повністю виконаних на карбіді кремнію.

Площа області кристала діода Шотткі, що використовується для запобігання біполярному струму, залежить від напруги. Якщо номінальна напруга становить 3300 В, вона в 1.3 рази перевищує площу кристала MOSFET, а в 6500-V пристрої — в три рази. Оскільки у таких випадках погіршується ефективність використання монтажної площі кристалів у силових модулях, компанія Mitsubishi шукає більш досконалі методи для високовольтних пристроїв

Використання діода Шотткі в кристалі MOSFET — перспективна ідея, реалізація якої була вже продемонстрована на моделі 6500-V SiC MOSFET [8, 9] (див. рис. 10).

Як видно з рисунка 11, площа нового MOSFET із вбудованим діодом Шотткі стала меншою, завдяки чому зросла густина потужності силового модуля.

Більш того, завдяки вбудованому діоду Шотткі забезпечуються чудові комутаційні характеристики 3300-V пристрою [10]. На рисунку 12 показані комутаційні сигнали ключів MOSFET із вбудованим діодом Шотткі, із зовнішнім діодом Шотткі і без цього діода. З графіка видно, що у MOSFET із вбудованим діодом Шотткі — мінімальні комутаційні втрати, тому що сумарний заряд Q<sub>СУМ</sub> менший, ніж у всіх пристроїв. Внаслідок втрати при замиканні ключа зменшуються на 20% порівняно із ключем із зовнішнім діодом Шотткі. Більш того, на відміну від MOSFET без діода Шотткі, у ключа із вбудованим діодом відсутня біполярна деградація, і забезпечується значна густина потужності.

**ВИСНОВКИ**

Перетворювачі, в яких застосовуються карбідокремнієві силові модулі, — наступний великий крок у сучасній силовій електроніці. У цих модулів — найкращі у своєму класі показники густини потужності та ККД.

SiC-матеріалів (див. рис. 9). Її причина у тому, що під час протікання двополярного струму через внутрішній діод SiC MOSFET виникає зсув SiC-решітки [6, 7].

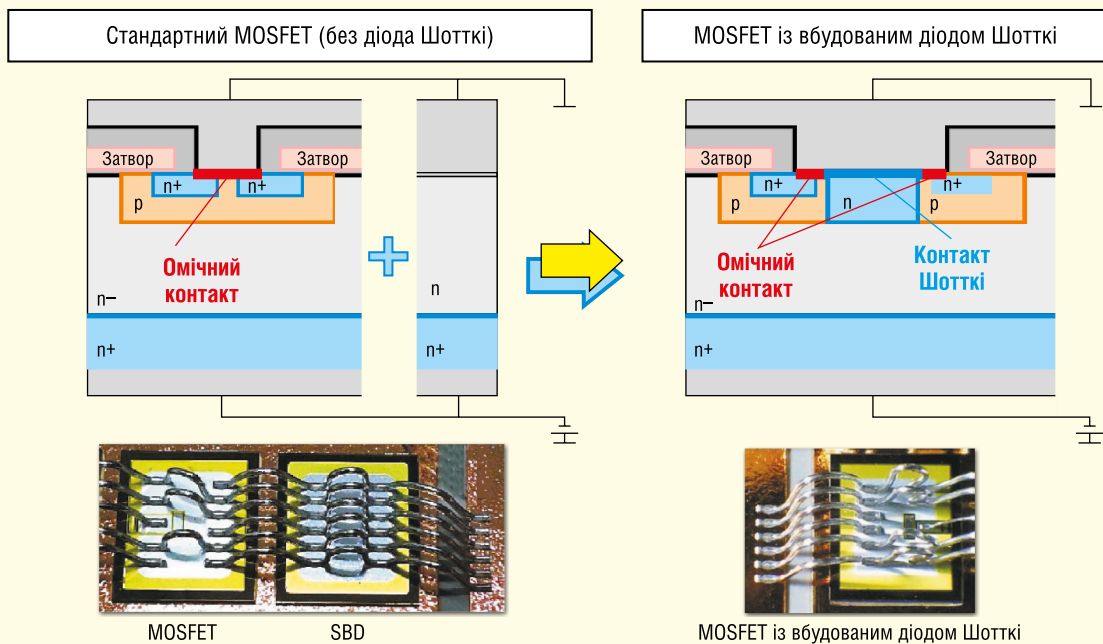


Рис. 11. Порівняння стандартного MOSFET та MOSFET із вбудованим діодом Шотткі

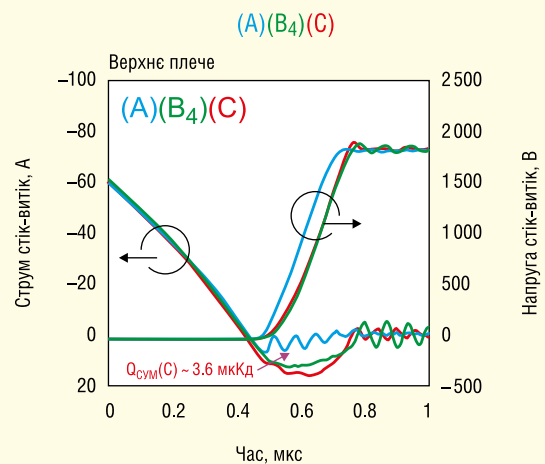
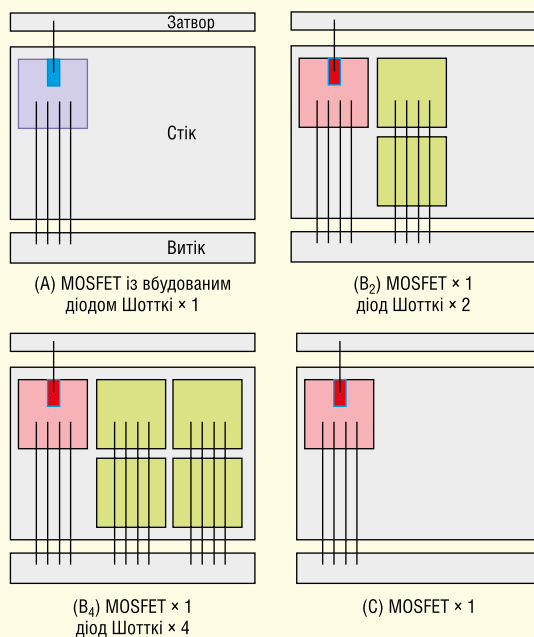


Рис. 12. Топологія кристала, струми та напруги MOSFET: (A) із вбудованим діодом Шотткі; (B<sub>4</sub>) із зовнішніми діодами Шотткі; (C) без діода Шотткі [10]

Компанія Mitsubishi Electric пропонує силові SiC-модулі з високими номінальними струмами у всіх класах напруги, які потрібні високопотужним перетворювачам. В даний час компанія випускає 1200- та 1700-В SiC-модулі 2-го покоління. Ефективність цих пристроїв зростає, а технологія RTC захищає їх від короткого замикання. Кристали MOSFET з інтегрованими діодами Шотткі дозволяють реалізувати силові модулі з високою густиною потужності для класів напруги 3300 і 6500 В.

Компанія Mitsubishi Electric, яка приступила до проектування карбідокремнієвих пристроїв у 1990-х рр., в даний час має широку лінійку SiC-пристроїв в діапазоні 1200–3300 В.

Модулі з більш високою номінальною напругою знаходяться на стадії розробки.

Література:

1. [www.bodospower.com](http://www.bodospower.com)
2. Y. Ebiike, T. Tanioka, M. Furuhashi, A. Osawa and M. Imaizumi. Characteristics of High-Threshold-Voltage Low-Loss 4H-SiC MOSFETs with Improved MOS Cell Structure. Materials Science Forum. No. 858. 2016.
3. T. Tanioka, Y. Ebi ike, Y. Oritsuki, M. Imaizumi and M. Tarutani. High Performance 4H-SiC MOSFETs with Optimum



*Design of Active Cell and Re-Oxidation. PCIM Europe. Nuremberg. Germany. 2018.*

4. K. Hamano, Y. Oritsuki, T. Tanioka, N. Hanano, M. Imaizumi, E. Suekawa, M. Tarutani and Y. Miyazaki. 2nd generation High performance 4H-SiC MOSFETs with 1.7 kV rating for high power applications. PCIM Europe. Nuremberg. Germany. 2019.

5. E. Thal, K. Masuda and E. Wiesner. New 800A/1200V Full SiC Module. Bodo's Power Systems. Apr. 2015.

6. H. Jacobsson et. al. Properties of Different Stacking Faults that Cause Degradation in SiC PiN Diodes. Materials Science Forum. Switzerland. 2003.

7. P. O. A. Persson et. al. Structural defects in electrically degraded 4H-SiC p+/n-/n+ diodes. Applied Physics Letters. Vol. 80. No. 25. 24.06.2002.

8. S. Hino, H. Hatta, K. Sadamatsu, Y. Nagahisa, S. Yamamoto, T. Iwamatsu, Y. Yamamoto, M. Imaizumi, S. Nakata and S. Yamakawa. Demonstration of SiC-MOSFET Embedding Schottky Barrier Diode for Inactivation of Parasitic Body Diode. Material Science Forum. No. Vol. 897. 2017.

9. K. Kawahara and S. Hino et. al. 6.5 kV Schottky-Barrier-Diode-Embedded SiC-MOSFET for Compact Full-Unipolar Module. 29th Int. Symposium on Power Semiconductor Devices & ICs. Sapporo. 2017.

10. T. Tominaga, S. Hino, Y. Mitsui, J. Nakashima, K. Kawahara, S. Tomohisa and N. Miura. Superior Switching Characteristics of SiC-MOSFET Embedding SBD. 31st International Symposium on Power Semiconductor Devices & ICs. Shanghai. China. 2019.

11. Mitsubishi Electric Corporation, Mitsubishi Electric's New 6.5 kV Full-SiC Power Semiconductor Module Achieves World's Highest Power Density. Japan: Press Release No. 3164. 2018.

12. J. Yamada and E. Thal. SiC Power Modules for a Wide Application range. Bodo's Power Systems. Sep. 2017.

13. N. Soltau, E. Wiesner, R. Tsuda, K. Hatori and H. Uemura. Impact of Gate Control on the Switching Performance of a 750A/3300V Dual SiC-Module. in 20th European Conference on Power Electronics and Applications (EPE'18 ECCE Europe). Riga. 2018.

14. N. Soltau, E. Wiesner, K. Hatori and H. Uemura. 3.3 kV Full SiC MOSFETs — Towards High-Performance Traction Inverters. Bodo's Power Systems. No. 01. 2017.

15. J. Yamada and E. Thal. Gaining Speed: Mitsubishi Electric SiC-Power Modules. Bodo's Power Systems. Sep. 2018. **CN**

# MORNSUN®



AC/DC Converter · DC/DC Converter  
Transceiver Module · Isolation Amplifier  
IGBT Driver · LED Driver · EMC Auxiliary Device

MORNSUN®

MORE THAN RELIABILITY

Офіційні поставки в Україні від компанії  
«НВП ЄВРОКОМ КОМПОНЕНТС»

**EUROCOM  
COMPONENTS**

[www.eurocom-c.com](http://www.eurocom-c.com)  
[sales@eic.com.ua](mailto:sales@eic.com.ua)  
+38 044 33 44 575

# SiC-діоди та транзистори від Onsemi – ефективне вирішення задач силової електроніки

Геннадій Штрапенін, к.ф.-м.н.

**Заснована в 1999 році компанія Onsemi (раніше компанія називалася ON Semiconductor) є одним із світових лідерів виробництва високоякісних дискретних компонентів силової електроніки – напівпровідникових діодів та транзисторів різних типів, призначених для роботи у потужній високовольтній апаратурі. Останнім часом у подібних пристроях все більше застосовуються прилади на основі широкозонного напівпровідника карбіду кремнію SiC, що мають переваги в порівнянні з кремнієвими. У статті розглянуто останні досягнення компанії Onsemi у галузі виробництва силових SiC-діодів Шотткі та МОН-транзисторів.**

Кристалічний карбід кремнію (SiC) вперше було отримано ще 1892 року і названо карборундом. Лауреат Нобелівської премії з фізики, один із винахідників транзистора Вільям Шоклі назвав карбід кремнію «ідеальним напівпровідником» і був упевнений, що цей матеріал стане основною сировиною для виробництва напівпровідникових приладів. Існує кілька видів карбіду кремнію з однаковою хімічною природою, що відрізняються своїми електрофізичними параметрами. Зразки SiC можуть мати різну кристалічну структуру – кубічну (3C-SiC), гексагональну (2H-SiC, 4H-SiC, 6H-SiC і nH-SiC), ромбоєдричну (15 R, 21 R) та ін. Карбід кремнію це напівпровідник з непрямою зонною структурою, тому в ньому мала ймовірність випромінювальної рекомбінації та ефективність (квантовий вихід) SiC-світлодіодів

повинна бути на 3–4 порядки менша, ніж у приладах на прямозонних напівпровідниках. При цьому ширина забороненої зони SiC залежить від політипа і змінюється від 2.39 eV для 3C-SiC до 3.3 eV для 2H-SiC [1]. Основні параметри карбіду кремнію різних політипів у порівнянні з параметрами кремнію та арсеніду галію наведені у таблиці 1.

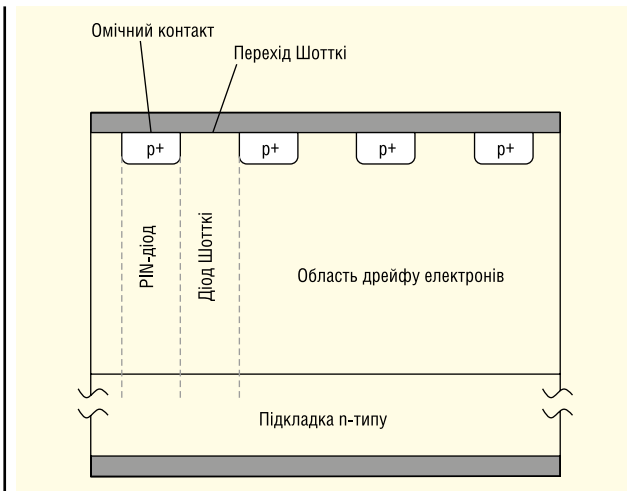
Велика ширина забороненої зони карбіду кремнію порівняно з кремнієм та арсенідом галію дозволяє суттєво розширити діапазон робочих температур напівпровідникових приладів (теоретично до +1000 °C, практично до +600 °C). Карбід кремнію має високу теплопровідність (приблизно на рівні міді), що спрощує проблему відведення тепла, знижуючи тепловий опір кристала в порівнянні з Si в 2 рази. До того ж карбід кремнію має на порядок більше, ніж у

кремнію, критичне поле пробою, звідки випливає, що напруга пробою приладів на основі SiC може бути істотно вищою, ніж у кремнієвих. Важлива і підвищена радіаційна стійкість виробів з карбіду кремнію, що потрібна в приладах для спеціального застосування. SiC силові діоди та транзистори перспективні для використання в апаратурі середньої та великої потужності — до сотень кіловат, що працює у важких умовах експлуатації — транспортній техніці, свердловинних пристроях, а також в атомних та космічних системах.

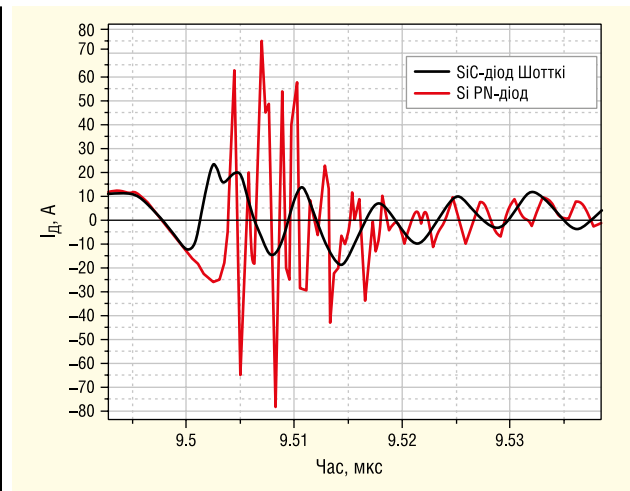
У середині 90-х років минулого століття здавалося, що першим SiC-приладом, що випускається промислово, буде силовий випрямний діод. Практична відсутність зворотних струмів при кімнатній температурі (завдяки великій ширині забороненої зони), велика швидкодія, високі робочі температури — все це обіцяло суттєву економію при заміні SiC-приладами кремнієвих діодів та транзисторів у силовій електроніці. Однак виявилось, що протягом терміну служби характеристики випрямних SiC-діодів погіршуються, що виявляється у збільшенні струмів витоку, зниженні пробивної напруги при зворотному включенні та збільшенні опору діода у прямому напрямку. Дослідження показали, що причина деградації — утворення в плівках 4H або 6H-SiC при протіканні прямого струму прошарків кубічного SiC, так званих дефектів типу stacking

**Таблиця 1. Основні параметри карбіду кремнію різних політипів у порівнянні з параметрами кремнію та арсеніду галію**

Матеріал	Ширина забороненої зони, eV	Критична напруженість електричного поля пробою, МВ/см	Рухомість електронів, см <sup>2</sup> /(В·с)	Теплопровідність, Вт/(м·К)	Температура плавлення, °C
Si	1.12	0.3	1200	150	1420
GaAs	1.42	0.6	8000	50	1240
3C-SiC	2.2	2	750	500	2800
4H-SiC	3.26	3	800	490	2800
6H-SiC	3.05	2.5	400	490	2830



**Рис. 1.** Структура SiC-діода Шотткі на основі поєднання переходу Шотткі та PiN-діода



**Рис. 2.** Комутаційні пікові струми кремнієвого діода та SiC-діода Шотткі

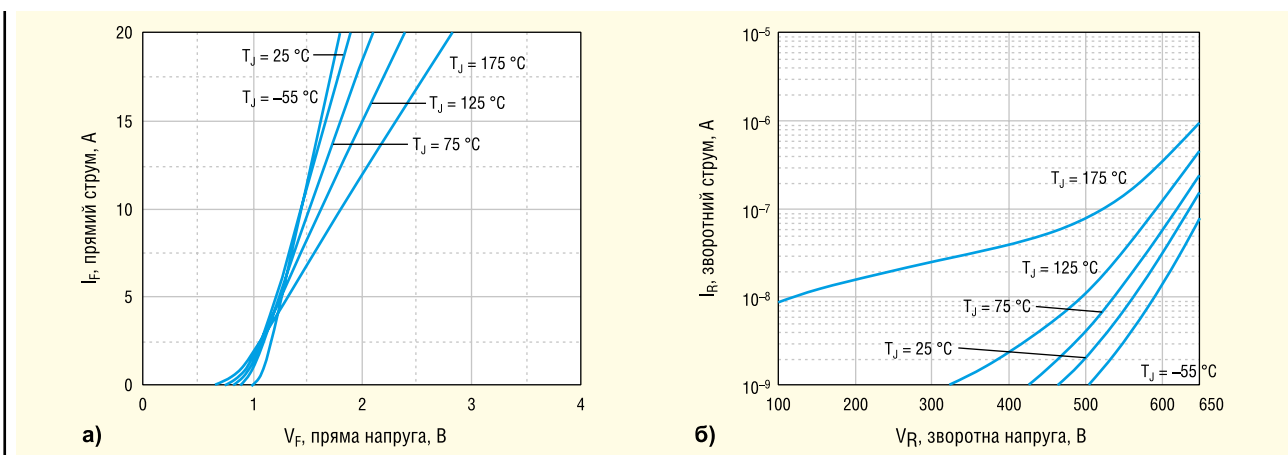
faults (SF). Це зумовлено тим, що енергія, що виділяється при безвипромінювальній рекомбінації електронно-діркової пари в SiC, виявилася достатньою для подолання атомом бар'єру, що перешкоджає його зміщенню в інше положення, внаслідок чого відбувається перебудова решітки гексагонального політипу в кубічний. Зародком SF-дефектів служать дислокації в об'ємі епітаксialного шару або на межі «епітаксialний шар — підкладка». Під дією прямого струму лінійні розміри SF-дефектів швидко збільшуються паралельно кристалічній осі кристала, і при досягненні ними межі  $p$ - $n$ -переходу настає повна деградація приладу. Ці проблеми не торкнулися приладів, що працюють на основних носіях струму, таких як діоди Шотткі та польові транзистори, оскільки в них відсутня електронно-діркова рекомбінація та SF-дефекти не утворюються. В результаті другим SiC-приладом, що промислово випускається, став діод Шотткі. У діодах Шотткі з карбиду кремнію, що випускаються фірмою Onsemi, застосовується абсолютно нова технологія, що поєднує PiN-діоди та діоди Шотткі таким чином, щоб використати кращі характеристики обох. Структура SiC-діода такого типу наведена на рисунку 1.

Введення острівців  $p+$  додатково екранує електричне поле від контакту з бар'єром Шотткі, зменшуючи таким чином струм витоку діода. При цьому за рахунок збільшення рівня легування дрейфового шару знижується загальний опір відкритого діода, але без істотного збільшення струму витоку.

Слід зазначити, що на відміну від високовольтних кремнієвих діодів на основі  $p$ - $n$ -переходу в SiC-діодах Шотткі відсутній ефект відновлення зворотного опору, що є основним джерелом втрат при перемиканні діодів. Водночас різке припинення протікання струму («кляцання») може спричинити неконтрольований швидкий перепад напруги у навантаженні. Але оскільки SiC-діоди Шотткі мають лише ємнісний ефект відновлення, їх пікові струми, як показано на рисунку 2, виявляються суттєво нижчими, ніж у кремнієвих діодах, і цей ефект не залежить від струму навантаження або температури.

Розглянемо типові вольт-амперні характеристики високовольтних SiC-діодів Шотткі Onsemi на прикладі діода FFSH1065B-F085 (650, 10 A), наведені на рисунку 3. Зі зростанням температури пряма напруга збільшується, але залишається порівнянною з прямою напругою кремнієвих діодів з  $p$ - $n$ -переходом при відповідних струмах. У той же час величина зворотного струму SiC-діода Шотткі при максимально допустимих напругах та температурах не перевищує 1 мкА.

SiC-діоди Шотткі від Onsemi можна умовно розділити на два покоління, що відрізняються величинами прямої напруги, зворотного струму та ємності, результатом чого є значне зниження енергії втрат [2]. Діоди випускаються в корпусах TO-220, TO-247, а також DPAC для поверхневого монтажу та в безкорпусному виконанні (Die) [3]. Зовнішній вигляд діодів показано на рисунку 4.



**Рис. 3.** Вольт-амперні характеристики SiC-діода Шотткі FFSH1065B-F085 за різних температур: прямі (а); зворотні (б)



Рис. 4. Типи корпусів SiC-діодів, що випускаються компанією Onsemi

Таблиця 2. Узагальнені параметри двох поколінь SiC-діодів Onsemi

Покоління	Максимальна напруга, В	Максимальний струм, а		Пряма напруга, В
	тип	мін	макс	тип
1	650	4	50	1.5
	1200	5	50	1.45
	1700	10	100	1.7
1.5	650	6	50	1.35
2	1200	20	50	1.4

Максимальна робоча температура всіх типів діодів +175 °С. Літерно-цифрове маркування містить інформацію про гранично допустимі параметри діода та тип корпусу, наприклад FFSH20120A — діод на 1200 В, 20 А, корпус TO-247-2L. Такий самий діод у корпусі D2PAK маркується FFSB20120A. У номенклатурі виробів є діоди з трьома значеннями максимально допустимої зворотної напруги: 650, 1200 і 1700 В з максимальними прямими струмами 5–50 А. Узагальнені параметри діодів наведені в таблиці 2.

Як уже було зазначено, застосування діодів з карбиду кремнію найбільш ефективно у потужних високовольтних пристроях, що працюють у широкому діапазоні температур, — коректорах коефіцієнта потужності, імпульсних перетворювачах напруги (ІСН), зарядних пристроях та приводах електромобілів, сонячній енергетиці тощо. Проста заміна кремнієвих діодів силових ключів у імпульсних джерелах живлення на SiC-діоди підвищує ККД ІСН на 3–5%.

Перейдемо до розгляду карбід-кремнієвих МОН-транзисторів від Onsemi. Використання SiC МОН-транзисторів у високовольтних імпульсних додатках дає цілу низку важливих переваг порівняно з традиційними кремнієвими МОН-транзисторами та біполярними транзисторами із ізольованим затвором IGBT. Комутація високовольтних ланцюгів з напругою понад 1000 В та з частотою в кілька сотень кілогерц є нетривіальним завданням, яке лежить за межами можливостей навіть найкращих кремнієвих МОН-транзисторів. Для таких застосувань можуть бути використані кремнієві IGBT, але через струмові хвости і повільні вимкнення їх робоча частота виявляється досить низькою. В результаті кремнієві МОН-транзистори залишаються кращим варіантом для систем з низькою робочою напругою і високою частотою комутації, в той час як IGBT оптимальні для високовольтних та низькочастотних застосувань з великими робочими струмами. Карбід-кремнієві МОН-транзистори поєднують високу робочу напругу з високою частотою перемикачів і низьким рівнем втрат, тим самим вдається забезпечити комутацію високих напруг на рівні IGBT з частотою перемикачів, що перевищує частоту кремнієвих MOSFET.

Одним із найважливіших параметрів ключових МОН-транзисторів є опір каналу у відкритому стані. У зменшенні останнього SiC транзистори від Onsemi знаходяться на передових позиціях. На рисунку 5 наведені результати вимірювань залежності опору  $R_{DS(on)}$  каналу відкритого транзистора з максимальною напругою 650 В від величини напруги затвор-виток  $V_{GS}$  при струмі стоку  $ID = 20$  А і температурі

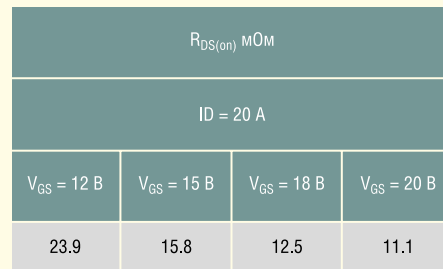


Рис. 5. Залежність опору каналу SiC-MON-транзистора від керуючої напруги затвор-виток

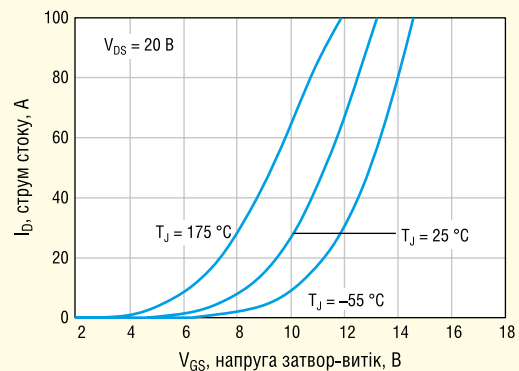


Рис. 6. Сімейство передавальних (стокзатворних) характеристик польового транзистора NTHL040N120SC1

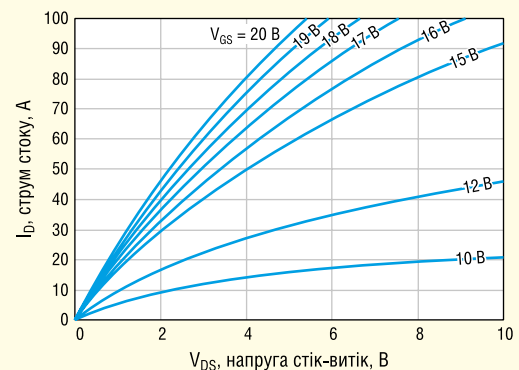
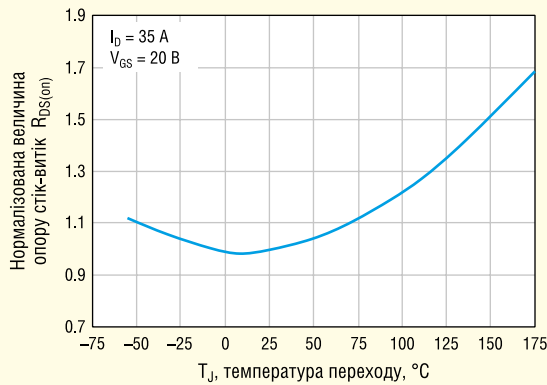


Рис. 7. Сімейство вихідних характеристик польового транзистора NTHL040N120SC1

+25 °С. Значення  $R_{DS(on)} = 11.1$  мОм можна як рекордне серед аналогічних виробів інших фірм.

Тут слід зазначити, що на відміну від кремнієвих МОН-транзисторів, SiC-транзистори демонструють меншу крутість передавальної характеристики і більш високий внутрішній опір затвора, а їх гранична напруга може бути менше 2 В. Тому для надійного замикання такого транзистора на його затвор необхідно подавати негативну напругу (зазвичай -5 В). У той же час для забезпечення низького опору каналу SiC-тран-



**Рис. 8. Нормована залежність опору відкритого транзистора від температури**

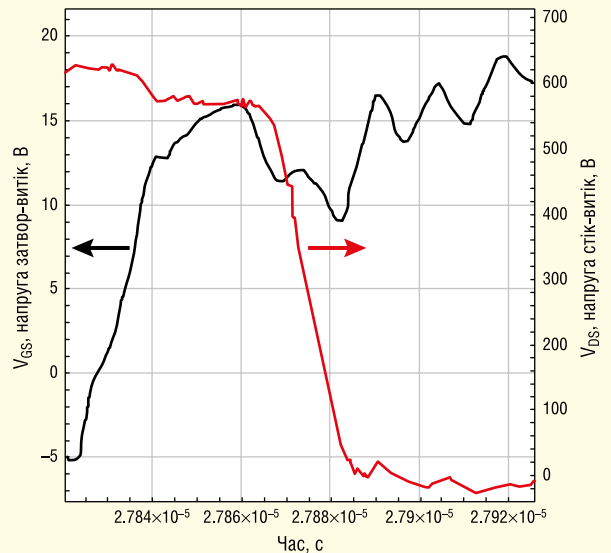
зистора у відкритому стані необхідний драйвер, що здатний формувати напругу керування порядку 20 В. Таким чином, для надійної та ефективної роботи ключів з використанням карбід-кремнієвих МОН-транзисторів потрібні спеціальні драйвери затвора, опис яких виходить за рамки цієї статті.

Типові передавальні (стокзатворні) характеристики для різних температур переходу  $T_J$  і напруги стік-вентік  $V_{DS}$ , а також вихідні характеристики SiC-МОН-транзистора на прикладі NTHL040N120SC1 (1 200 В, 60 А) наведені на рисунках 6, 7 відповідно. Транзистори працездатні у діапазоні температур  $-55...+175$  °С. Нормована залежність опору відкритого транзистора від температури наведена на рисунку 8.

На рисунку 9 наведено динамічну характеристику перемикання транзистора. Як очевидно з рисунку, час основного перехідного процесу не перевищує 20 нс.

Номенклатура SiC-МОН-транзисторів від Onsemi представлена трьома групами з максимальною напругою стік-вентік 650, 900 та 1 200 В [4]. Всі SiC-МОН-транзистори Onsemi оптимізовані та сертифіковані за стандартами АЕС-Q101 та РРАР для застосування в автомобільній та промисловій сфері. Літерно-цифрове маркування транзисторів так само, як і для діодів, містить інформацію щодо їх електричних характеристик та типу корпусу. Основні параметри низки транзисторів кожної групи наведено у таблиці 3.

Окрім одиночних діодів та транзисторів з карбиду кремнію, компанія Onsemi випускає два типи силових модулів на їх основі. Модулі SiC, що включають SiC-МОН-транзистори та SiC-діоди з напругою 1 200 В, позиціонуються для застосування в DC/DC-перетворювачах для сонячної енергетики. Гібридні Si/SiC-модулі містять транзистори IGBT, кремнієві



**Рис. 9. Динамічна характеристика перемикання SiC-польового МОН-транзистора**

діоди та SiC-діоди. Їхнє основне призначення — каскади постійного та змінного струму сонячних інверторів, систем накопичення енергії та джерел безперебійного живлення.

Насамкінець статті слід зазначити, що компанія Onsemi значно посилсила свої позиції після поглинання в 2016 році однієї з найстаріших напівпровідникових компаній — Fairchild Semiconductor. Номенклатура виробів компанії, зокрема, порівняно до нових напівпровідникових приладів на основі карбиду кремнію, досить велика, щоб задовольнити потреби розробників широкого класу різних електронних пристроїв.

#### Література:

1. Лебедев А., Сбруев С. SiC-електроніка. Прошлое, настоящее, будущее // *Электроника: Наука, Технология, Бизнес*. 2006. № 5.
2. *Technical Documentation & Design Resources*. [www.onsemi.com/products/wide-bandgap/silicon-carbide-sic-diodes#overview](http://www.onsemi.com/products/wide-bandgap/silicon-carbide-sic-diodes#overview)
3. *Package Drawings*. [www.onsemi.com/support/design-resources/drawing?category=8305](http://www.onsemi.com/support/design-resources/drawing?category=8305)
4. *Technical Documentation & Design Resources*. [www.onsemi.com/products/wide-bandgap/silicon-carbide-sic-mosfets#overview](http://www.onsemi.com/products/wide-bandgap/silicon-carbide-sic-mosfets#overview)

CN

**Таблиця 3. Основні параметри SiC-МОН-транзисторів Onsemi**

Тип	Максимальна напруга стік-вентік, В	Максимальний струм стоку, А	Опір стік-вентік у відкритому стані, мОм	Вихідна ємність, пФ	Корпус
	$V_{DSmax}$	$I_{Dmax}$	$R_{DS(on)}$	$C_{oss}$	
NVH4L045N065SC1	650	55	33	162	D2PAK7 (TO-263-7L HV)
NVVG045N065SC1		62	31	168	
NVHL015N065SC1		263	12	430	
NVH4L060N090SC1	900	46	60	113	TO-247-4
NVVG020N090SC1		112	20	295	D2PAK7 (TO-263-7L HV)
NTH4L020N090SC1		148		280	TO-247-4
NVH4L160N120SC1	1200	17	160	50	TO-247-4
NTBG080N120SC1		30	80	79	D2PAK7 (TO-263-7L HV)
NTHL040N120SC1		60	40	140	TO-247-3LD
NVHL020N120SC1		103	20	260	TO-247-3LD

# Питання безпеки при використанні оптронів та альтернативних ізоляторів для захисту від ураження електричним струмом

Олександр Зейніков

**Оптрони, так само, як і інші типи ізоляторів, знаходять широке застосування в рішеннях, де потрібна організація розв'язки керуючих сигналів і сигналів з високим рівнем напруги. Оптрони використовуються у високовольтному устаткуванні для забезпечення безпеки оператора. Застосування оптронів або альтернативних ізоляторів для забезпечення безпеки потребує відповідності їх характеристик існуючим стандартам та розуміння цих стандартів розробником.**

## ОСНОВИ ЕЛЕКТРОБЕЗПЕКИ

Електричний удар, викликаний проходженням електричного струму через тіло людини, може призвести до негативних фізіологічних наслідків, починаючи від мимовільного скорочення серцевого м'яза і закінчуючи фібриляцією шлуночків та летальним кінцем. Значення порогу напруги, за якої можуть виникнути негативні наслідки для людини, є не постійним і може змінюватись в залежності від вологості та опору поверхні шкіри, а також інших факторів. Загальноприйнятим значенням порогу безпечної напруги вважається 42 В АС і 60 В DC. Будь-які системи, в яких оператор може бути вражений струмом, значення якого перевищує встановлений поріг, вважаються потенційно небезпечними та вимагають наявності електричної ізоляції.

## КОЕФІЦІЄНТ БЕЗПЕКИ

Коли під час розробки рішення, крім іншого, необхідно забезпечити безпеку оператора, проєктувальники змушені враховувати так звані коефіцієнти безпеки. Дані коефіцієнти служать для

врахування різних умов, які не визначені (детерміновані) повною мірою та здатні викликати відмову устаткування чи інші негативні наслідки лише у віддаленій перспективі. Коефіцієнти безпеки є невід'ємною частиною більшості інженерних дисциплін.

Як приклад, у цивільному будівництві загальний коефіцієнт безпеки, що використовується для розрахунку опорних елементів при зведенні будівель, зазвичай дорівнює 2. Більш високе значення коефіцієнта слід застосовувати в тих випадках, коли невідома якість будь-якого з матеріалів, що використовуються.

Для аерокосмічної галузі зазвичай використовується коефіцієнт безпеки, що дорівнює 1.25. Нижче значення ко-

ефіцієнта в даному випадку виправдано суворим контролем якості та ваги устаткування, і навіть частими перевірками на відповідність і обслуговування. Для електротехнічних рішень, які потребують наявності посиленої ізоляції, значення коефіцієнта безпеки прийнято вважати 2.

## ВПЛИВ РОБОЧОЇ НАПРУГИ

При нормальній роботі пристрою оптрон або ізолятор іншого типу піддається впливу постійної напруги певної величини. Таку напругу зазвичай називають робочою.

Оскільки вплив напруги на ізолятор в даному випадку має безперервний характер, пробій ізоляції значно підвищує ризик ураження оператора. З цієї причини значення допустимої робочої напруги ізолятора, як правило, встановлюється в 2 рази вище за номінальну напругу системи.

## ВПЛИВ ПЕРЕХІДНОЇ НАПРУГИ

Крім здатності витримувати постійну робочу напругу, оптрон або ізоля-

Таблиця 1. Номінальні значення напруги в імпульсних системах згідно з IEC60664\_1

Номінальна напруга системи, В		Фаза напруга DC або AC, В	Номінальна імпульсна напруга, В			
3 фази	1 фаза		Категорія перенапруги			
			1	2	3	4
		50	330	500	800	1500
		100	500	800	1500	2500
	120–240	150	800	1500	2500	4000
230/400 277/480		300	1500	2500	4000	6000
400/690		600	2500	4000	6000	8000
1000		1000	2500	4000	6000	8000

тор, виконані за іншою технологією, повинні витримувати стрибки напруги під час перехідних процесів, що умовно поділяються на процеси з високим та низьким значенням енергії (табл. 1).

Перехідні процеси з високим значенням енергії можуть становити небезпеку для оператора. У той же час перехідні процеси з низьким значенням, хоч і не становлять безпосередньої загрози для оператора, можуть завдати шкоди ізоляційному матеріалу, що також може порушити загальну безпеку системи.

### ПЕРЕХІДНІ ПРОЦЕСИ З НИЗЬКИМ ЗНАЧЕННЯМ ЕНЕРГІЇ

Один із найпоширеніших перехідних процесів, що породжують стрибок напруги, — електростатичний розряд (ЕСР, ESD). Значення напруги при впливі ESD у системі може перевищувати 15 кВ, що, в свою чергу, здатне спровокувати пробій ізолятора. На щастя, електростатичний розряд рідко становить пряму загрозу безпеці оператора.

Що ж до впливу на ізолятор, то пробій ізоляційного бар'єру є своєрідною самообмежувальною подією, що зводить до мінімуму максимальну напругу на виході ізолятора. Однак, незважаючи на це, навантаження на ізолятор, що викликає перехідною напругою, яка ще не досягла значення напруги пробою, може бути надзвичайно високим. Значення величини ESD залежить від багатьох зовнішніх факторів, таких як висота над рівнем моря, вологість та інших.

Навіть відносно низький рівень ESD може призвести до миттєвого чи розтягнутого у часі пошкодження ізоляції. Як наслідок, це може спричинити негативні наслідки, пов'язані з безпекою оператора (якщо робоча напруга системи виходить за межі порога безпеки).

При використанні оптичних ізоляторів подібному сценарію можна запобігти масштабування товщини ізоляції. Зокрема, збільшення товщини ізоляційного матеріалу дозволяє гарантувати, що напруга пробою внутрішнього шару ізоляції буде вищою, ніж зовнішнього. Однак подібний захист набагато складніше організувати при використанні альтернативних типів ізоляторів, де сам принцип роботи побудований на застосуванні досить тонких ізоляційних шарів.

Такі типи пристроїв уразливі для ESD. З точки зору ізоляційного матеріалу їх можна розділити на дві групи:

ізолятори з поліімідною плівкою у вигляді спіралі (spin on polyimide coatings) та ізолятори з використанням діоксиду кремнію (SiO<sub>2</sub>).

Пристрої з SiO<sub>2</sub> як ізоляційним матеріалом особливо сильно піддаються впливу ESD, і розробникам мікросхем доводиться застосовувати додаткові методи захисту, щоб уникнути пробою ізолятора.

Як правило, для цього застосовуються спеціальні обмежувачі напруги. Однак підключення обмежувача напруги безпосередньо до ізолятора не дуже практичне рішення, оскільки тільки збільшує ризик ураження ESD.

### ПЕРЕХІДНІ ПРОЦЕСИ ІЗ ВИСОКИМ ЗНАЧЕННЯМ ЕНЕРГІЇ

Події, за яких відбувається викид високої напруги під час перехідного процесу, зазвичай поширені у системах розподілу енергії. Викид напруги в даному випадку може бути викликаний вимкненням великих навантажень або в окремих випадках — ударом блискавки.

Так як подібні викиди становлять безпосередню небезпеку для життя і здоров'я оператора, необхідно, щоб товщина ізоляційного матеріалу в ізоляторах точно відповідала вимогам, а сам ізолятор забезпечував належний рівень захисту. Товщина ізолятора регулюється спеціальним стандартом для обладнання, що називається «категорія перенапруг», і залежить від класу перенапруги. Таким чином, для кожного окремого випадку застосування можна підібрати відповідний клас вимог до товщини рівня ізоляції та забезпечити належний рівень безпеки.

### ТЕСТУВАННЯ КОМПОНЕНТІВ НА ВПЛИВ ВИСОКОЇ НАПРУГИ

Придатність оптичного ізолятора або ізолятора іншого типу, окрім відповідності необхідним стандартам безпеки, також залежить від результатів проведення електричних випробувань.

#### Випробування діелектрика

Мета цього випробування — встановити здатність ізолятора витримувати високу напругу протягом короткого періоду часу, що зазвичай становить близько 1 хв.

Приклад стандарту, що регулює проведення подібних випробувань, є UL1577. Критерієм проходження ви-

пробувань є значення струму витoku. Цей стандарт також дозволяє визначити здатність ізолятора витримувати навантаження у реальних умовах експлуатації.

На жаль, UL1577 має дуже обмежений діапазон застосувань, зокрема він не встановлює безпечного значення постійної напруги ізолятора.

#### Тестування на частковий розряд

Тестування на частковий розряд дозволяє визначити здатність ізолятора не лише витримувати високе значення напруги під час перехідних процесів, а й зберігати цілісність ізоляційного матеріалу за номінальної робочої напруги. Суть тестування полягає у перевірці на наявність в ізоляційному матеріалі мікропорожнин, які згодом можуть спровокувати ерозію ізоляційного матеріалу через накопичений заряд і подальше розрядження, що в кінцевому підсумку загрожує виходом ізолятора з ладу.

Проведення тестування на частковий розряд при значеннях напруги, близьких до номінального, дозволяє виявити порушення цілісності ізоляційного матеріалу, визначити механізм старіння ізолятора і встановити точне значення напруги, при якому ізолятор відповідатиме необхідним параметрам безпеки в умовах його реального застосування.

Ще одна перевага даного методу тестування — можливість проведення випробувань з напругою, максимально наближеною до реальних умов експлуатації. Кінцева мета виконання тесту на частковий розряд — визначення наявності або відсутності порожнин в ізоляційному матеріалі компонента.

Варто зазначити, що жоден ізоляційний матеріал не може забезпечити 100%-ї відсутності мікропорожнин, тому дане тестування не може видати абсолютного значення: є порожнини чи ні. Типова установка для випробувань фіксує значення розряду величиною від 1 пКл. У разі реального застосування безпечним вважається значення часткового розряду лише на рівні 5 пКл.

Одним із перших стандартів, що визначили методику та вимоги до тестування на частковий розряд для оптичних ізоляторів, став VDE0884, згодом перетворений на міжнародний стандарт IEC60747-5-5.

Ізоляційний бар'єр оптичних ізоляторів є гібридною конструкцією, яка складається з прозорого ізолятора (поліімід-

ної плівки) та непрозорого матеріалу (епоксидної смоли), який його оточує.

Виникає питання, який саме матеріал піддається тестуванню під час проведення тесту на частковий розряд згідно з IEC60747-5-5? Загалом відповіддю є тестування обох складових матеріалів.

Під час проведення тестування на частковий розряд визначення наявності порожнин в ізоляційному матеріалі необхідно брати до уваги загальне значення накопиченого заряду в діелектрику. Якщо електричне поле є однорідним, то накопичений заряд рівномірно розподіляється по всьому ізоляційному матеріалу, тому вимірювання часткового розряду застосовується для всієї конструкції ізолятора. Загальна ємність для типового оптичного ізолятора становить приблизно 0.7 пФ. У реальних умовах однорідність електричного поля може мати певний дисбаланс, проте даним явищем можна знехтувати і вважати тестування на частковий розряд прийнятним методом визначення цілісності як зовнішнього шару ізоляційного бар'єру, так і внутрішнього ізоляційного матеріалу.

У деяких випадках тестування на частковий розряд також застосовується до ізоляторів, виконаних за іншими технологіями (ємнісний та індуктивний ізолятори). Однак у цьому випадку достовірність результатів тестування значно поступатиметься оптичним ізоляторам через куди менш однорідний розподіл електричного поля.

Наприклад, типовий ізолятор, виконаний за альтернативною технологією, може мати значення ємності близько 100 мкФ, що при проведенні тестування на частковий розряд з прикладеною напругою 1000 В видасть 100 пКл накопиченого заряду.

У цьому контексті значення 5 пКл, яке є межею та критерієм проходження тесту для оптичних ізоляторів, має мало спільного з реальними значеннями для ізоляторів, виконаних за альтернативними технологіями. Якби в даних ізоляторах значення накопиченого заряду дійсно становило 5 пКл, то, швидше за все, такий ізолятор був би схильний до лавинного пробою ще на етапі тестування.

У той час як тестування на частковий розряд є прийнятним методом для визначення порожнин у зовнішньому ізоляційному матеріалі для всіх типів ізоляторів, дана методика зовсім не підходить для тестування основного ізоляційного шару ємнісних та індуктивних ізоляторів.

## ВИМОГИ ДО КОНСТРУКЦІЇ ОПТИЧНОГО ІЗОЛЯТОРА З ПОГЛЯДУ ЕЛЕКТРОБЕЗПЕКИ

Говорячи про конструктивні вимоги безпеки, слід враховувати два основні аспекти: внутрішню структуру ізолятора та зовнішні параметри компонента.

### Внутрішня структура ізолятора

Перш ніж ухвалити рішення щодо структурних та конструктивних вимог, необхідно визначити область використання, а також необхідний рівень ізоляції (базова чи посилена):

- Базова ізоляція передбачає забезпечення роботи та функціоналу пристрою за нормальних умов. Ця ізоляція не забезпечує належного рівня захисту від ураження електричним струмом.
- Посилена ізоляція використовується в тих випадках, коли пристрій потребує захисту від ураження електричним струмом. Термін «посилена» також іноді замінюється терміном «подвійна» ізоляція.

Подвійна ізоляція буквально означає здатність підтримувати безпечну роботу пристрою при збільшенні напруги, яка прикладається, в два рази від номінального значення. Фізичний спосіб досягнення цього рівня ізоляції також може мати буквальний характер: використання двох окремих шарів ізоляції, кожен з яких здатний утримувати рівень номінальної напруги. Тим не менш, у деяких випадках посилена ізоляція досягається і при використанні тільки одного шару ізоляції (залежить від матеріалу, що використовується).

Вимоги до ізоляційних бар'єрів можуть змінюватись в залежності від нормативних стандартів. Наприклад, якщо

як стандарт кінцевого обладнання використовується IEC60950, то для забезпечення подвійної, або посиленої, ізоляції вважається достатньою товщина ізоляційного бар'єру 0.4 мм і більше. Крім товщини бар'єру, також важлива якість і структура матеріалу, наприклад, товста поліімідна плівка може вважатися твердим ізоляційним матеріалом, а окремі шари полііміду в якості покриття на зразок емалі вже ні.

### ЗОВНІШНІ ПАРАМЕТРИ КОМПОНЕНТА

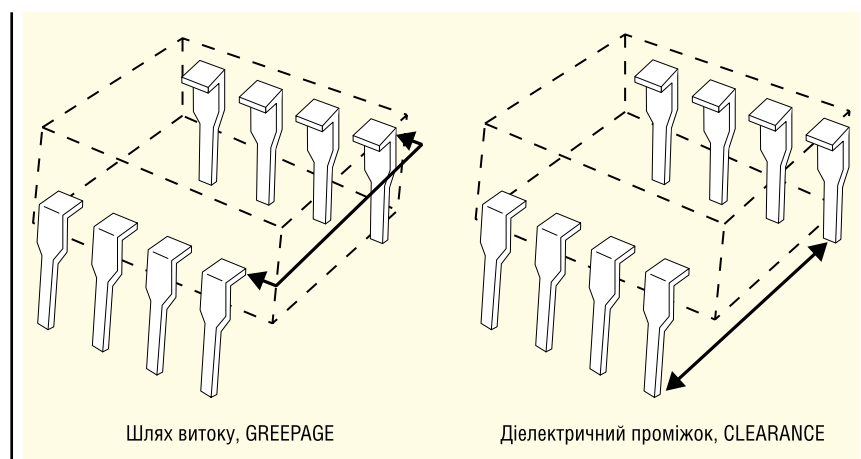
Вимоги до зовнішніх параметрів компонента також є важливими для забезпечення безпеки. Двома ключовими критеріями оцінки у цьому відношенні є діелектричний проміжок (clearance) та мінімальний шлях витoku поверхнею ізолятора (creepage distances) (рис. 1).

#### Clearance

Clearance — це діелектричний проміжок, найкоротша відстань між вхідними та вихідними клемми мікросхеми. Значення даного параметра має бути достатнім, щоб на контактах мікросхеми не виникало електричного пробою.

Величина напруги пробою залежить від зовнішніх факторів, таких як висота над рівнем моря та вологість. Можливість пробою зростає при використанні компонента на великій висоті з низьким значенням вологості повітря.

Вимоги до фізичних параметрів мікросхеми для запобігання пробою визначені у спеціальних стандартах, наприклад, IEC60664. У цьому стандарті наведено рекомендовані параметри компонента для запобігання виникненню пробою за різних умов експлуатації.



**Рис. 1. Шлях витoku поверхнею ізолятора (creepage distances) та діелектричний проміжок (clearance)**



Ці значення ґрунтуються на емпіричних вимірах та феноменологічному розумінні процесу пробою ізолятора. Для відповідності вимогам посиленої ізоляції величина відстані між контактами множить на коефіцієнт безпеки, за замовчуванням 2.

Крім конструкції самої мікросхеми, також необхідно враховувати відстань між контактами після встановлення на друкованій платі в кінцевому пристрої і бути обережним, щоб не змінити геометрію відстані до критичного значення під час паяння або складання.

### Шлях витоку (creepage distances)

Іншим важливим зовнішнім параметром є шлях витоку поверхнею ізолятора — найкоротша відстань між контактами по корпусу компонента. Причина, за якою даний параметр вважається важливим, полягає в тому, що в деяких випадках доріжка, здатна слугувати провідником, може почати формуватися на поверхні ізолятора. До факторів, здатних вплинути на цей процес, відносяться зовнішнє забруднення (пил або волога), а також категорія та схильність матеріалу корпусу до подібних видів забруднення. Вимоги до шляху витоку на поверхні ізолятора описані в стандарті IEC60664.

### Термін служби ізолятора

Оскільки переважна більшість сфер застосування ізоляторів не потребує регулярної перевірки цілісності ізоляційних бар'єрів цих компонентів, дуже важливо, щоб їх характеристики відповідали нормам безпеки протягом усього терміну служби без необхідності будь-якого втручання з боку користувача.

### ВИЗНАЧЕННЯ ЧАСУ ЖИТТЯ КОМПОНЕНТА

Визначення того, що вважається безпечним часом життя для компонента, є дещо суб'єктивним та залежить від конкретного виробника. Наприклад, виробник ємнісних або індуктивних ізоляторів може розглядати кінцеве значення безпечної роботи життя компонента як час, коли 1% пристроїв з партії виходить з ладу за номінального значення робочої напруги. Проблема з такою установкою кінцевого значення терміну життя полягає в тому, що вихід із ладу навіть 1% компонентів може нести загрозу життю та здоров'ю оператора в критичних умовах. Також за такого підходу не враховується вплив стрибків

напруги при перехідних процесах та інших факторів безпеки.

Більш традиційним способом є розгляд кінця часу безпечної роботи як моменту, коли виникає статистично незначна ймовірність виникнення одного з наступних двох сценаріїв:

1. Ізоляція компонента погіршилася настільки, що стрибок напруги при перехідному процесі, значення якої відповідає характеристикам компонента, може призвести до незворотного руйнування ізоляційного бар'єру.
2. Ізоляція компонента погіршилася настільки, що ізоляційний бар'єр не здатний витримати напругу яка прикладається та в 2 рази перевищує номінальне робоче значення.

У зв'язку з тим, що існує два можливі сценарії відмови компонента, необхідно розглянути їх окремо, особливо з урахуванням того факту, що на практиці дані сценарії не є взаємовиключними.

### Зношування, викликане впливом стрибків напруги при перехідних процесах

Допустимі значення стрибків напруги при перехідних процесах описані в стандарті UL1577, а також IEC60747-5-5. Однак обидва стандарти не надають даних щодо допустимих значень перенапруги протягом усього терміну служби, а наводять відомості лише для коротких періодів часу.

Ймовірність виникнення перенапруги, що викликає пошкодження ізоляції через коронарну ерозію та інші механізми руйнування, досить висока. Як наслідок, накопичення подібних пошкоджень протягом усього терміну служби ізолятора є важливою проблемою, навіть у випадках, коли вплив перенапруги мав короткостроковий характер. Легко помітити, що сумарний час дії всіх перехідних процесів, навіть за помірною терміну служби обладнання, може легко перевищити номінальний час тестування.

Для усунення такого недоліку та більш точного прогнозу часу безпечної роботи ізолятора необхідно масштабувати товщину ізоляційного бар'єру під час проведення випробувань на перенапругу згідно з UL1577.

Особливо слід відзначити значну різницю у результатах випробувань на вплив перенапруги для оптичних ізоляторів та ізоляторів, виготовлених на основі інших технологій. Відомі випадки, за яких оптичний ізолятор здатний витримувати перенапругу протягом сотень

годин, проте ємнісний або індуктивний ізолятор може витримати менше 15 хв. Така різниця при тестуванні неминує спричиняє розбіжності в терміні служби за реальних умов експлуатації в кінцевому пристрої.

### Зношування, викликане безперервним впливом робочої напруги

Другий сценарій зносу має на увазі вихід з ладу компонента через постійну дію робочої напруги номінального значення.

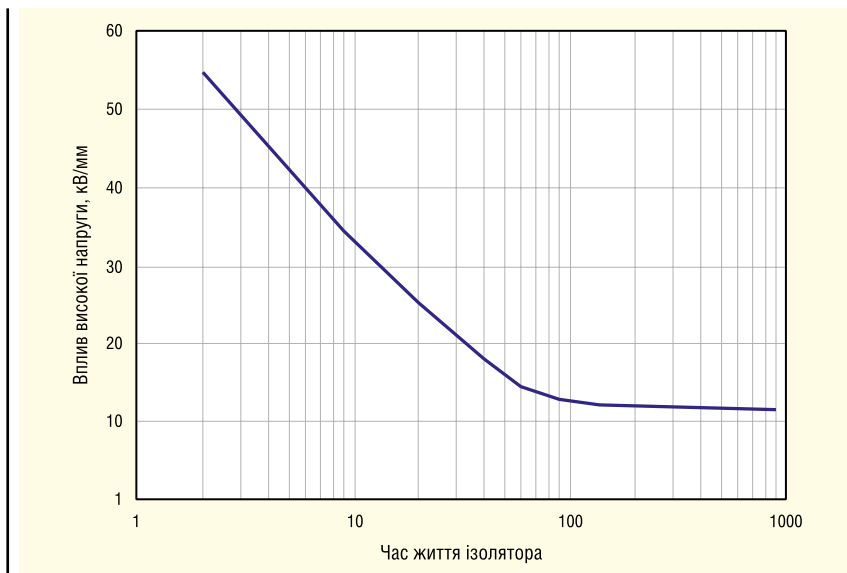
Основна проблема тестування на ймовірність виникнення даного сценарію полягає в тому, щоб не допустити впливу факторів, що викликають активне зношування компонентів, а також визначення того, що ерозія ізоляції відбувається не через часткові розряди у внутрішній структурі ізоляційного матеріалу. Крім того, існують інші механізми старіння, які необхідно враховувати при проведенні тестування. Для полімерних ізоляційних матеріалів одним із таких механізмів є деградація просторового заряду (рис. 2).

Просторовий заряд — це назва, яка дається заряду, що генерується в ізоляційному матеріалі під впливом високої напруги. Просторовий заряд здатний змінювати електричне поле та провокувати виникнення високої напруги на певних ділянках ізолятора. Рівень просторового заряду визначається як співвідношення напруги до товщини матеріалу ізолятора (кВ/мм). Іншими чинниками, що впливають на величину заряду, є робоча температура, тип і частота сигналу.

Деградація просторового заряду в полімерних матеріалах сьогодні стала сферою активних досліджень, хоча повного розуміння процесу поки що досягти не вдалося. Існують деякі чіткі та постійно фіксовані ознаки деградації просторового заряду, які можна застосувати при прогнозуванні терміну служби. При розгляді графіка часу життя ізолятора видно, що він набуває форми асимптоти і при зниженні рівня заряду в ізоляторі збільшується час його життя.

Термін служби ізолятора збільшується при зниженні напруги нижче початкового рівня, що також знижує ефект деградації просторового заряду до мінімальної величини.

Оскільки оптичні ізолятори використовують досить товсті ізоляційні матеріали з низьким значенням кВ/мм, деградація просторового заряду не є для них суттєвою проблемою.



**Рис. 2.** Час життя ізолятора під час деградації просторового заряду

Однак для ізоляторів, виготовлених за альтернативними технологіями, деградація просторового заряду може мати відчутний характер через використання в них досить тонких ізоляційних матеріалів. І тут первинне високе значення кВ/мм призводить до деградації просторового заряду. Цей ефект можна спостерігати під час проведення тестування на тривалість терміну служби при дії високої напруги. Ще більш тривожним є той факт, що тривалі випробування при дії напруги, порівняно з значенням з номінальною робочою, показують, що відмови присутні навіть у рамках тих часових періодів, які зазвичай вважаються безпечними для обладнання, що використовується кінцевим користувачем.

## ВИСНОВОК

Вже кілька десятиліть оптичні ізолятори знаходять широке застосування у різних додатках, пов'язаних із електробезпекою. Однак, незважаючи на це, слід зазначити, що в деяких випадках стандарти безпеки, пов'язані з обладнанням та компонентами, не повністю відповідають реальним умовам застосування та не можуть дати абсолютних гарантій.

Зокрема, це стосується прогнозування часу життя ізолятора при дії високої напруги та перехідних процесів. На щастя, ці недоліки нівелюються самою структурою оптичних ізоляторів та їх безпека може бути підтверджена експериментально. Однак для ізоляторів, виконаних на основі альтернативних тех-

нологій (ємнісні та індуктивні ізолятори), ці недоліки можуть викликати серйозні проблеми з точки зору безпеки.

Стандарти для обладнання, яке потребує підвищеного рівня безпеки, зазвичай забороняють використання ізоляторів, виконаних за альтернативними технологіями.

Тим не менш, деякі застарілі стандарти можуть містити неоднозначні рекомендації щодо використання альтернативних ізоляторів замість їх повної заборони, або взагалі не згадувати про тип ізолятора, що може нести ризик з точки зору безпеки для кінцевого користувача. Ця ситуація часто посилюється і технічно неможливим використанням стандартів, розроблених для оптронів, з метою оцінки безпеки ізоляторів, виготовлених за іншими технологіями.

## Література:

1. Mazzanti G., Montanari G. C., Dissado L. A. A Space-charge Life model for ac electrical Aging of Polymers // *IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation*. 1999. Vol. 6. Iss. 6.
2. Mayoux C., Laurent C. Contribution of Partial Discharges to Electrical Breakdown of Solid Insulating Materials // *IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation*. 1995. Vol. 2. Iss. 4.
3. IEC60950-1. 2th edit. Information Technology Equipment Safety, 2005.
4. IEC60664-1 Insulation coordination for equipment within low-voltage systems.
5. Broadcom Regulatory Guide for Isolation Circuits. Publication number: AV02-2041EN.

## НОВИЙ ТИП ВЕРТИКАЛЬНИХ ВІТРОГЕНЕРАТОРІВ ДОЗВОЛИТЬ ПОДВОЇТИ КІЛЬКІСТЬ ЕНЕРГІЇ, ЩО ВИРОБЛЯЄТЬСЯ

Норвезька компанія **World Wide Wind** представила проєкт вітрогенератора абсолютно нового типу, який найближчим часом зможе буквально зробити революцію в галузі морської вітряної енергетики. Цей плаваючий вертикальний вітрогенератор має два набори лопастей, що обертаються в протилежних напрямках, і таке інженерне рішення, згідно з наявною інформацією, дозволить подвоїти кількість енергії, що виробляється в порівнянні з вітрогенераторами традиційної конструкції.

Переваги нової конструкції вітрогенератора видно, як кажуть, навіть неозброєним поглядом. За такого підходу немає потреби піднімати на велику висоту найгрозоміздкіші та найважчі вузли — електрогенератор, трансмісію та коробку передач. Все це знаходиться нижче рівня води і це значно спрощує монтаж, експлуатацію та ремонт таких турбін. Один набір лопастей вертикальної турбіни приєднаний до ротора електрогенератора, а другий набір лопастей, що обертається в протилежному напрямку, приєднаний до статора, який у цьому випадку не є нерухомим. Це, у свою чергу, дозволяє подвоїти відносну швидкість обертання і, як наслідок, кількість електрики, що виробляється.

Вертикальний вітрогенератор, хоч і називається вертикальним, але максимальну ефективність демонструє, нахилившись під оптимальним кутом під впливом вітру. Його лопасті, у разі, охоплюють кінцеву область простору, і це дозволяє зменшити створювану їм турбулентність. Більше того, здатність змінювати кут нахилу дозволяє турбіні легко витримувати раптові сильні пориви вітру, хвилювання та інші неприємності.

Згідно з проведеними компанією **World Wide Wind** розрахунками, максимальна висота або довжина з іншого погляду вітрогенератора може становити до 400 метрів, що є неможливою величиною для традиційних вітрогенераторів. Такий вітрогенератор матиме потужність 40 МВт, а енергія, що виробляється ним, коштуватиме близько 50 доларів за 1 МВт.

<https://newatlas.com>

# П'ять основних причин електромагнітних завад на друкованих платах

Кеннет Уайт (Kenneth Wyatt), Wyatt Technical Services

Адаптований переклад українською та технічне редагування:

Юлія Ямненко, д.т.н., професор, кафедра ЕПС, ФЕЛ, КПІ ім. Ігоря Сікорського

**У статті розглянуто п'ять основних причин виникнення електромагнітних завад на друкованій платі з некоректною топологією. Надаються рекомендації щодо усунення помилок, наводяться практичні приклади.**

## ВСТУП

Найбільш поширеними причинами порушення працездатності виробу під час проведення тестування на електромагнітні завади (ЕМЗ) є:

- високий рівень випромінюваних завад;
- сприйнятливість до зовнішніх завад;
- порушення роботи внаслідок впливу електростатичного розряду.

Результати дослідження та вивчення роботи сотень пристроїв протягом багатьох років свідчать про те, що ці причини обумовлені п'ятьма основними факторами, які певним чином наведені у порядку зростання кількості порушень стану працездатності:

- неправильне компонування та розведення шарів під час проектування друкованої плати;
- екранувальне обплетення кабелів не запроваджене (екранування кабелів порушене), відсутність синфазних фільтрів в неекранованих конструкціях, використання гнучких та скручених з'єднувальних провідників;
- розриви в тракті зворотного проходження сигналу призводять до виникнення проблеми із поширенням високочастотних (ВЧ) сигналів;
- помилки у конструкції або схемі подачі електроживлення (power distribution network, PDN);
- занадто великі прорізи чи отвори в корпусі, що призводять до порушень екранування.

Розглянемо ці фактори докладніше.

## Проектування друкованої плати

Найбільш важливим фактором, що впливає на відповідність пристрою вимогам електромагнітної сумісності (ЕМС), є топологія та конструкція друкованої плати. Зауважимо, далеко не всі джерела, що описують проектування друкованих плат (книги, статті або документація від виробників компонентів) є коректними з точки зору вимог ЕМС, особливо якщо ці джерела більш ніж 10-річної давності. Крім того, багато правил проектування, які були засновані на практичних висновках, справедливі лише для конкретних випадків, тому їх важко застосовувати в інших проектах.

Насамперед під час проектування друкованих плат слід керуватися загальними фізичними принципами. Наприклад, необхідно враховувати, що ланцюги поширення високочастотних сигналів, сигналів тактування, а також ланцюги електроживлення повинні проектуватися як свого роду лінії передачі, якою сигнал або енергія поширюються у вигляді електромагнітної хвилі. Причому у випадку з ланцюгами електроживлення лінії повинні не тільки пропускати постійний струм, але й забезпечувати заданий рівень енергії для комутації з мінімальними перехресними завадами від синхронно комутованих ланцюгів (simultaneous switching noise, SSN). Характеристичний імпеданс PDN-ланцюгів у таких схемах повинен мати досить низьке значення (зазвичай 0.1–1.0 Ом), тоді як типові значення характеристичного імпедансу сигнальних ліній на платі знаходяться в діапазоні 50–100 Ом.

Таким чином, проектування друкованої плати з урахуванням вимог до ЕМС ґрунтується на розумінні двох основних принципів:

- всі струми течуть замкнутими контурами;
- ВЧ-сигнали поширюються так само, як електромагнітні хвилі в лініях передачі.

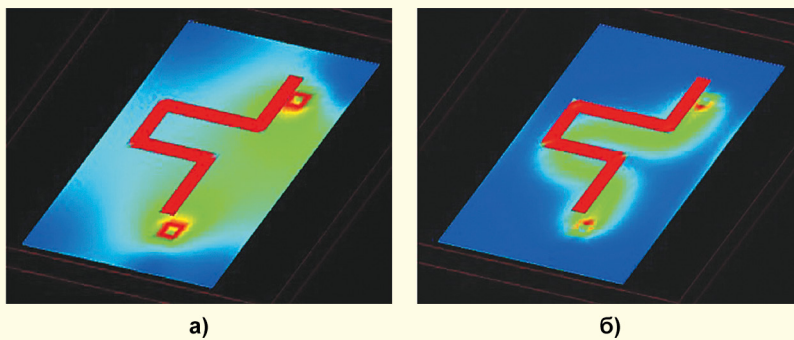
Обидва принципи тісно пов'язані між собою.

## Струми в замкнутих контурах

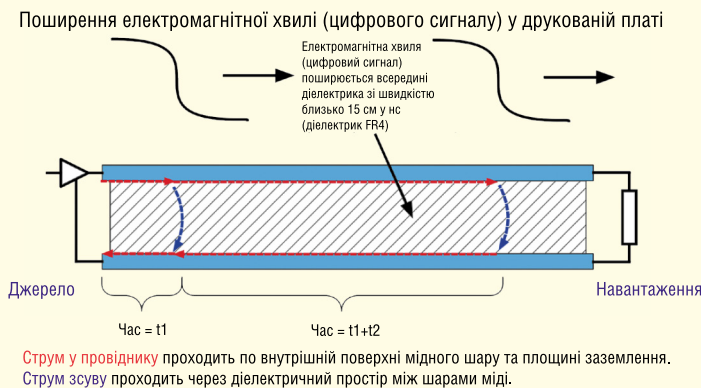
Згідно з теорією побудови схем, струм протікає від джерела до навантаження і знов повертається до джерела, утворюючи замкнутий контур. Однак у більшості пристроїв, які не пройшли випробування на ЕМС, зворотний тракт чітко не був позначений, а в деяких випадках взагалі мав розриви. Таким чином, другим аспектом, який часто не береться до уваги під час проектування друкованих плат, є визначення зворотного тракту високочастотних сигналів до джерела. Часто більшість розробників навіть не позначає цей тракт на схемі, використовуючи замість нього символи заземлення.

Однак, перш ніж визначити зворотний тракт, слід встановити кілька важливих понять. Першим з них є частота. Високою частотою прийнято вважати значення понад 50–100 кГц. За менших значень зворотний струм прагне слідувати найкоротшим шляхом назад до джерела (шлях найменшого опору). За вищих значень зворотний струм проходить під провідною доріжкою до джерела (шлях з найменшим імпедансом). Обидва випадки наочно показані на рисунку 1.

Щоб зменшити рівень завад, розробник повинен мінімізувати площу контурів, створюваних за допомогою зворотного тракту. Тракти, не визначені



**Рис. 1. Зворотний тракт (виділено зеленим) на: низьких (а); високих частотах передачі (б)**



**Рис. 2. Поширення цифрового сигналу шаром плати**

розробником, зазвичай призводять до утворення контурів більшої площі, які в результаті починають працювати як рамкові антени, наводячи шумові струми на інші антенно-подібні компоненти, наприклад, кабелі вводу-виводу. Найбільш часто збої через високий рівень звад виникають під час передачі сигналів з високим значенням похідної напруги, наприклад, від низькочастотних DC/DC-перетворювачів, або сигналів з високим значенням похідної струму від цифрових логічних схем, які поєднуються зі зворотними струмами схеми та порушують роботу чутливих радіочастотних модулів (як правило, найчастіше страждають приймачі сигналу) або інших компонентів. Таким чином, необхідно забезпечити проектування зворотних трактів, причому краще використовувати спеціально виділені шари плати, а також окремі шари для ВЧ- та НЧ-сигналів.

### Розповсюдження сигналів на платі

На частотах вище за 50–100 кГц цифрові сигнали починають розповсюджуватися як електромагнітні хвилі. Як видно з рисунку 2, ВЧ-сигнал передається по лінії (наприклад, по доріжці плати), і його фронт індукуює струм в шарах плати, формуючи зворотний тракт. Ін-

дукований струм не може протікати через діелектрик друкованої плати, однак заряду на фронті сигналу виявляється достатньо, щоб між ним і шаром зворотним виникла різниця потенціалів, що викликає протікання струму по шару. За таким самим принципом конденсатори пропускають змінний струм. Максвел назвав цей ефект «струмом зміщення».

Фронт сигналу рухається з деякою швидкістю, сумірною зі швидкістю світла, і залежить від діелектричної проникності матеріалу шару, тоді як індукований струм є нічим іншим, як потоком електронів, що рухаються зі швидкістю близько 1 см/с. Рух фронту зі швидкістю, порівняннюю зі швидкістю світла, обумовлено «зломом» в електричному полі, що розповсюджується вздовж мідних провідників. Однак необхідно, щоб тракт, яким поширюється

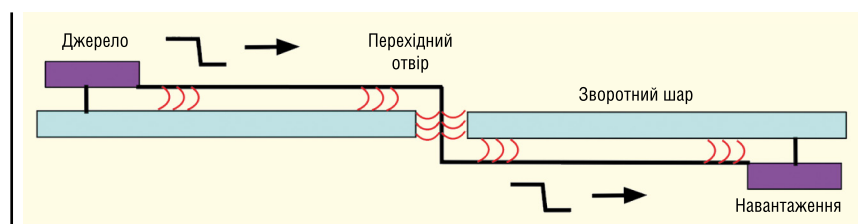
індукований струм і струм зміщення, в результаті привів назад до джерела. У тих випадках, коли зворотний тракт має розриви, електричне поле «чіпляється» за найближчий металізований шар, перенаправляючи на нього струми та збільшуючи довжину зворотного шляху, а також площу контуру в цілому. Коли ж зворотний тракт зовсім не визначений, поле «просочується» через діелектрик, перенаправляючи струми на всі шари плати, на які впливає через перехідні отвори, що неминуче викликає перехресні завади. У результаті синфазні струми потрапляють в антенно-подібні частини пристрою — кабелі вводу-виводу або прорізи в екранованих корпусах, що призведе до неминучого зростання рівня звад.

### Структура шарів плати

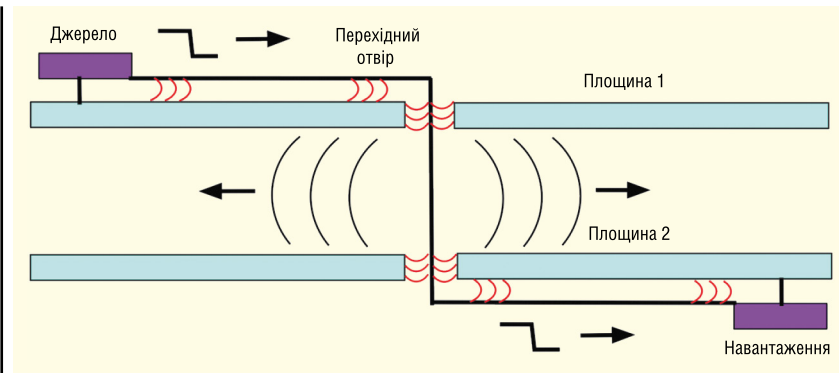
Як правило, більшість розробників орієнтується на основні принципи теорії кіл, які застосовуються в тому числі для аналізу трактів. Проте слід враховувати, що сигнал — це не тільки струм, а й фронт електромагнітної хвилі, що рухається через діелектрик, для аналізу якого необхідно керуватися вже іншою теорією — теорією поля. Врахування цих двох обставин наголошує на важливості проектування на платі не просто сигнальних доріжок, а ліній передачі, в яких паралельно сигнальному шару плати розташовується зворотний тракт.

Щоб наочніше продемонструвати необхідність вибору правильного підходу до проектування друкованої плати як з погляду теорії кіл, так і з погляду теорії поля, розглянемо приклад поширення сигналу в суміжних шарах плати. Сигнал, що розповсюджується в одному шарі, завжди має зворотний тракт, що замикає контур у напрямку джерела. На рисунку 3 показаний приклад поширення електромагнітного поля всередині діелектрика по обидва боки від зворотного шару. Сам діелектрик на рисунку не показаний.

У тому випадку, коли сигнал проходить через два опорні шари плати (див. рис. 4), схема його поширення виглядає дещо складніше. Зокрема, якщо два



**Рис. 3. Сигнальна доріжка проходить через один шар друкованої плати**



**Рис. 4.** Сигнальна доріжка проходить через два опорні шари друкованої плати

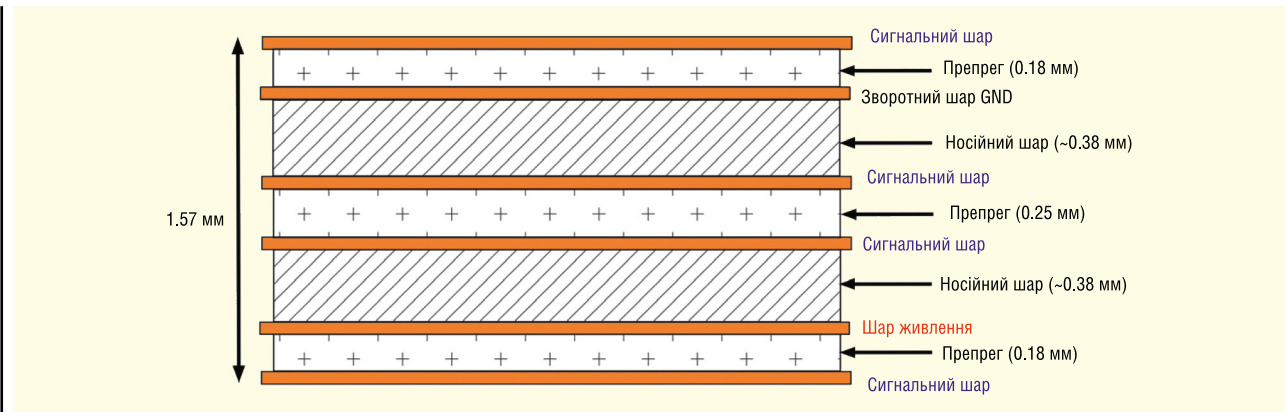
опорних шари мають однаковий потенціал (наприклад, обидва є зворотними), для коректної роботи схеми достатньо створити кілька «зшиваючих» перехідних отворів поруч із сигнальним отвором, щоб сформувати зворотний шлях від навантаження до джерела. Однак якщо у шарів різні потенціали (наприклад, у шарів живлення та зворотного тракту), то дуже близько до сигнального перехідного отвору встановлюються «зшиваючі» конденсатори (stitching capacitors). За відсутності виділеного зворотного тракту електромагнітне поле поширю-

ється по діелектрику і впливає на інші сигнальні отвори. Крім того, воно випромінюється за межі друкованої плати.

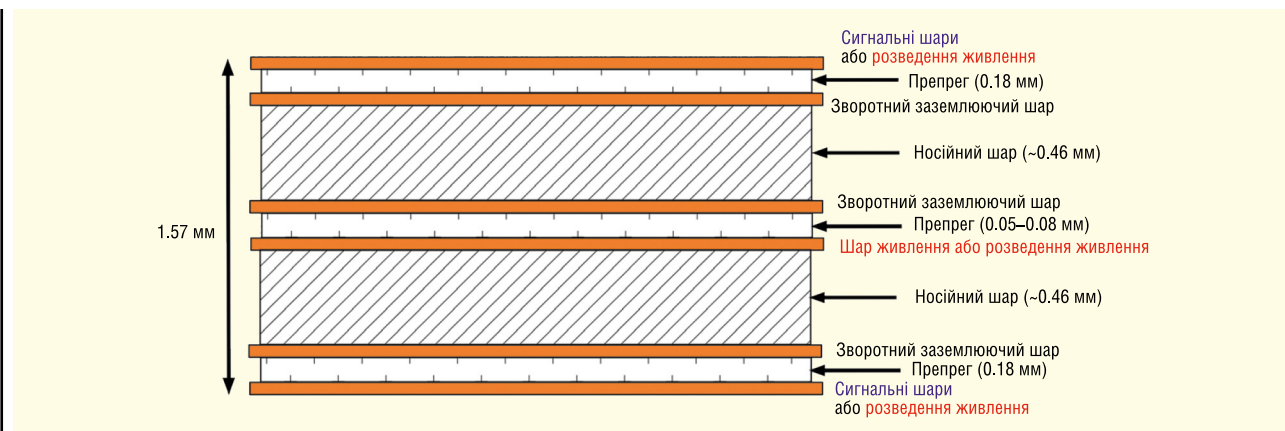
Як видно з попереднього прикладу, на електромагнітні характеристики плати впливає як розташування доріжок і перехідних отворів, так і порядок проходження шарів. Як приклад невіддалого проектування розглянемо багатшарову плату, в якій між шаром живлення та зворотним трактом живлення є три інші шари (див. рис. 5). У цій платі будь-які струми, що виникають в результаті перехідних процесів у схемі подачі живлення,

спричиняють завади на два проміжні сигнальні шари. Аналогічно, оскільки у кількох сигнальних шарів є суміжні зворотні тракти, хвилі, що розповсюджуються по них, впливатимуть на найближчі провідники при поверненні до джерела. В результаті використання такої структури призводить до утворення та накладення тактових шумів по всій платі.

На рисунку 6 показана та сама плата, але з покращеним компонуванням шарів. Один із сигнальних шарів видалений, але шар живлення та зворотний шар тепер є суміжними. Те саме стосується і сигнальних шарів: по сусідству з кожним із них з'явився зворотний тракт. Для поліпшення характеристик рекомендується також створити кілька перехідних отворів між зворотними шарами, щоб сформувати зворотний тракт до джерела з найменшим імпедансом. В ідеалі перехідні отвори для зворотних шарів повинні розташовуватися на відстані 1–2 мм від перехідних сигнальних отворів. Використання такої чи схожої схеми розташування шарів дозволяє значно покращити характеристики плати з погляду EMC. У багатьох випадках цього цілком достатньо для успішного проходження тестів.



**Рис. 5.** Шестишарова друкована плата з високим рівнем завад



**Рис. 6.** Шестишарова друкована плата з покращеними електромагнітними характеристиками. Кожен сигнальний шар або шар живлення межує із зворотним шаром

### Додаткові рекомендації

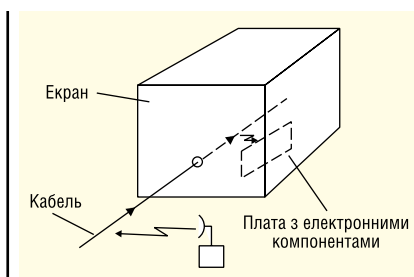
Ще однією важливою рекомендацією є розміщення всіх роз'ємів живлення та роз'ємів інтерфейсів вводу-виводу вздовж одного краю плати. Таке розташування сприяє зниженню ефекту падіння напруги між роз'ємами, зводячи до мінімуму випромінювання кабелю. Крім того, рекомендується розділяти ділянки цифрових, аналогових та радіочастотних кіл на друкованій платі, щоб знизити рівень перехресних завод та їх вплив на чутливі компоненти. Рекомендується також скоротити довжину трактів передачі ВЧ-сигналів між тактовими генераторами або іншими джерелами та приймачами. Зокрема, такі сигнали не повинні проходити краєм плати або поруч з роз'ємами. Додаткову інформацію щодо конструкції друкованої плати та принципів розповсюдження сигналів по лініях передачі див. у [1–4].

### ЗАПРАВЛЕННЯ КАБЕЛІВ

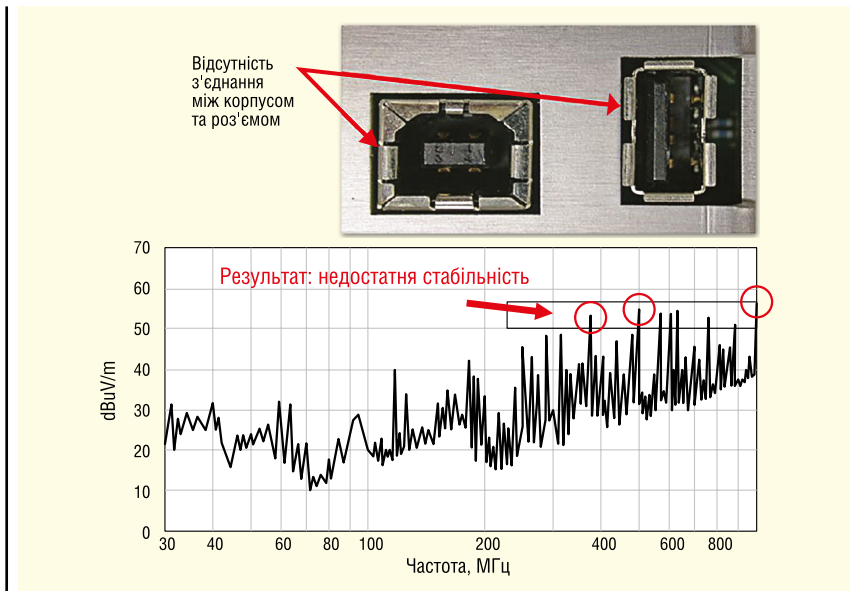
#### Проходження кабелю в корпус

Перше, на що слід звернути увагу при аналізі впливу завод на роботу пристрою, є заводи, що випромінюються кабелем при їх проходженні через екранований корпус. Вони виникають, якщо кабельні оболонки не заземлені на екранований корпус або відсутня фільтрація синфазних завод на портах вводу-виводу або на роз'ємі живлення (див. рис. 7–8).

Так відбувається досить часто, оскільки більшість роз'ємів для підключення кабелів встановлюється безпосередньо на плату, а потім для проводки кабелю в екранований корпус в ньому робиться отвір. В результаті підключений кабель, проходячи крізь екран, вносить електромагнітні заводи.



**Рис. 7.** Прокладання кабелю через корпус порушує цілісність захисного екрану, і заводи від зовнішніх джерел проникають у пристрій, а заводи від пристрою порушують роботу зовнішніх систем



**Рис. 8.** Результат прокладання кабелю до плати без підключення роз'ємів або екрануючого шару кабелю до корпусу



**Рис. 9.** Приклад поганого заправлення HDMI-кабелю

Таким чином, розробнику слід врахувати наявність у пристрої екранованих або неекранованих корпусів (або відсутність корпусу), а також чи екрановані кабелі. Наприклад, силові кабелі для побутових або комерційних виробів зазвичай не екрановані і тому потребують інтеграції до схеми додаткових ланцюгів фільтрації для ліній живлення. У свою чергу, екрановані кабелі вводу-виводу повинні бути обрані екранованим шаром на 360° і мати з'єднання з корпусом пристрою. Якщо у виробі відсутній екранований корпус, до схеми додаються ланцюги фільтрації (синфазний фільтр). На рисунку 8 показаний приклад використання роз'ємів, які не мають контакту з корпусом, в результаті чого кабель наводить перешкоди на пристрій.

#### Заправлення кабелів

Ще однією проблемою, що впливає на електромагнітні характеристики пристрою, є використання гнучких провідників для з'єднання кабелю з корпусом роз'єму (див. рис. 9). В ідеальному випадку екран має охоплювати кабель на 360° для забезпечення найменшого імпедансу. Використання цих провідників знижує ефективність екрана кабелю

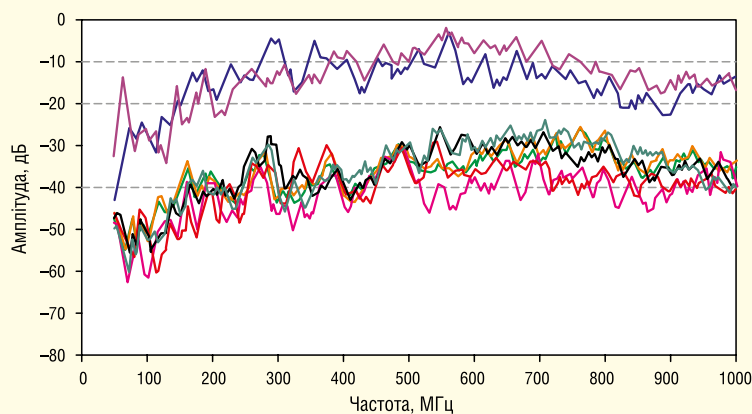
через високий імпеданс. Наприклад, імпеданс одножильового шлейфу дорівнює 12 Ом на частоті 100 МГц. Він збільшується зі зростанням частоти, перешкоджаючи екрануванню кабелю.

Проблема екранування особливо актуальна для HDMI-кабелів, тому що розробники HDMI [5] не вказали коректний спосіб підключення екрана кабелю до роз'єму. Можливо, ця проблема вирішиться у наступній версії стандарту. Тим часом, немає гарантій того, що під час тестування пристрою на EMC той чи інший підключений HDMI-кабель покаже прийнятний результат. У такому разі найкраще проводити тестування з використанням кількох кабелів від різних виробників.

На рисунку 10 наведено результати тестування (залежність амплітуди завод від частоти) восьми кабелів HDMI від різних виробників. Кожен з кабелів був підключений до того самого джерела сигналу [6].

### РОЗРИВИ У ЗВОРТНОМУ ТРАКТІ

Розриви або щілини у зворотному тракті є однією з основних причин під-



**Рис. 10. Результати тестування восьми кабелів HDMI в діапазоні 30–1000 МГц. У двох кабелів рівень завад в діапазоні, що вимірюється, виявився на 25 дБ вище, ніж у інших**

зниження напруги живлення, що викликає виникнення завад, що наводяться від синхронно комутованих ланцюгів (SSN). Грамотне проектування PDN-схеми дозволяє мінімізувати рівень SSN-ланцюгів. У свою чергу, щоб запобігти зменшенню напруги на шині живлення, в PDN-схемі застосовуються згладжуючі (bulk), розділові (decoupling) та чип-конденсатори (on-chip). На рисунку 13 показаний приклад типової моделі PDN-схеми з джерелом живлення у лівій частині та перетворювачем у правій (показаний вихідний каскад перетворювача). Між двома основними компонентами знаходиться ланцюг конденсаторів, що служать для накопичення енергії. Потрібний досить значний час для передачі необхідної енергії від джерела живлення перетворювачу. Наприклад, для передавання необхідного значення струму на відстань 16 мм необхідно приблизно 600 пс [10]. Як наслідок, ланцюги PDN повинні бути якомога коротшими та прямими.

В ідеальному випадку збереження необхідного значення напруги на ши-

вищеного рівня завад, а також високої чутливості пристрою до електростатичних розрядів. Розглянемо проблему на конкретному прикладі. У тих випадках, коли зворотний тракт обривається, струм у місці розриву знаходить найкоротший шлях до джерела. Електромагнітне поле при цьому витісняється за межі зворотного тракту та поширюється по всій платі. Цей ефект описаний докладніше у [7].

На рисунку 11 наведено приклад плати з двома сигнальними лініями із загальним опором 50 Ом, одна з яких має розрив у зворотному тракті. До плати підключений генератор імпульсів тривалістю 2 нс, які по черзі подаються на один із двох роз'ємів BNC; при цьому вимірюються гармонійні струми у зворотному шарі.

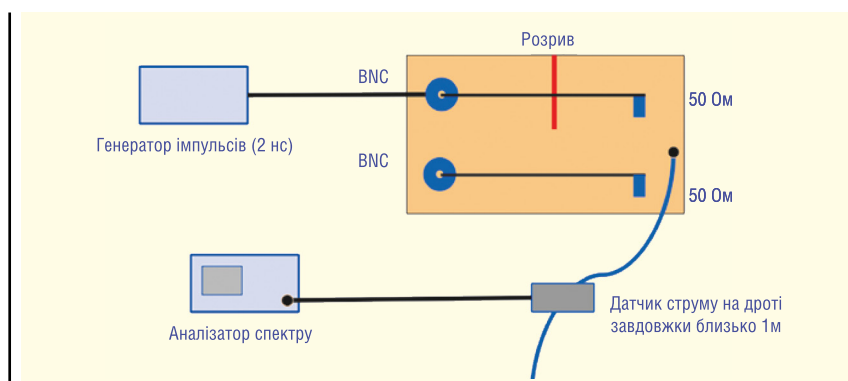
На рисунку 12 показані результати вимірів обох сигнальних ліній. Зауважимо, що величина амплітуди струму у випадку лінії з розривом (графік червоного кольору) виявляється на 10–15 дБ вище. Відсутність належної уваги до цілісності зворотних трактів є однією з основних причин відмов, що виникають через вплив випромінюваних завад.

### ПРОЄКТУВАННЯ СХЕМИ ПОДАЧІ ЕЛЕКТРОЖИВЛЕННЯ

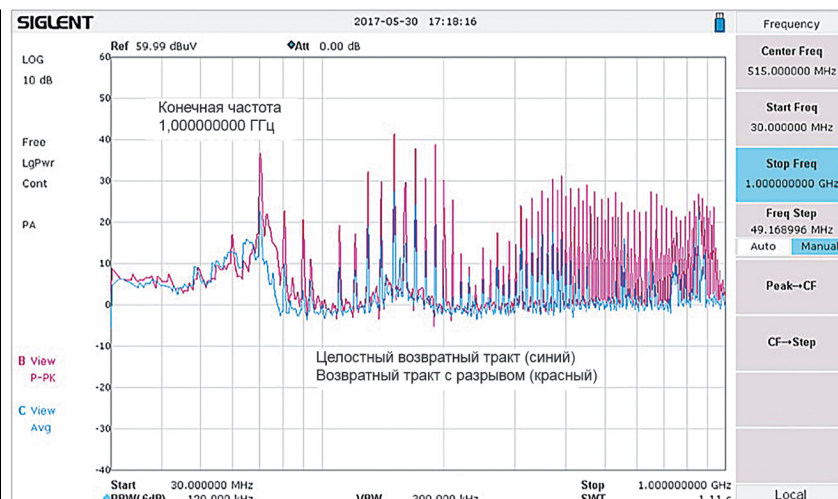
Під час проектування схеми подачі живлення в якості основи вибирається коло із низьким опором (як правило, у діапазоні 0.1–1.0 Ом) на частотах щонайменше 30 МГц. Призначення PDN-схеми полягає в тому, щоб якнайшвидше передати енергію від джерела живлення (від стабілізатора напруги на друкованій платі) до перетворювача.

Однак під час проектування PDN слід врахувати той факт, що в момент

перемикання вихідного каскаду перетворювача з низького стану на високий, або, навпаки, є короткий проміжок часу, коли обидва ключі знаходяться в замкнутому стані. Воно викликає помітний стрибок струму між шиною живлення та зворотним трактом живлення мікросхеми. Цей імпульс призводить до



**Рис. 11. Приклад плати з двома сигнальними лініями, одна з яких розірвана**



**Рис. 12. Результати вимірювань зворотних струмів на платі із двома сигнальними доріжками. Синім кольором показані результати вимірювання лінії з цілісним зворотним трактом, червоним – для лінії з розривом**

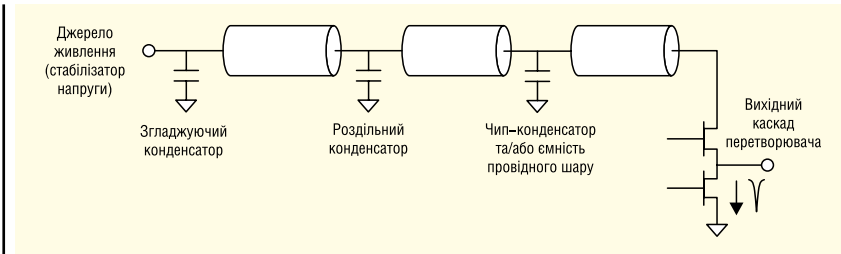


Рис. 13. Типова PDN-схема

ні живлення відбувається за рахунок чип-конденсаторів, якщо вони є, а також за рахунок енергії, накопиченої ємністю шару живлення. Однак на практиці при побудові PDN-схеми існує велика потреба в розділових конденсаторах, що заповнюють брак енергії. При виборі цих конденсаторів критично важливим параметром, крім ємності, є значення послідовної індуктивності, яке має бути якнайменшим. Чим вище ця індуктивність, тим складніше здійснюється передача енергії в навантаження, що призводить до появи завад від синхронно комутованих ланцюгів, і відповідному поширенню завад по всій друкованій платі.

Якщо завдання розділових конденсаторів і конденсаторів друкованої плати полягає в забезпеченні шини живлення енергією, то призначення згладжуючих конденсаторів в тому, щоб «перезаряджати» конденсатори на друкованій платі, що йдуть далі у схемі, наприклад, конденсатори, встановлені в безпосередній близькості до мікросхем і роз'ємів, між процесами комутації. Щоб мінімізувати час перезарядження, потрібно, щоб PDN-схема була виконана у вигляді низькоімпедансної лінії передачі.

Згладжуючі конденсатори більшої ємності (зазвичай в діапазоні 4.7–10 мкФ, а іноді і до 100 мкФ) встановлюються поруч із вхідним роз'ємом живлення, а конденсатори меншої ємності (1–10 нФ) — якомога ближче до перехідних отворів і компонентів, що відповідають за комутацію, що дозволяє зменшити послідовну індуктивність. Щоб додатковою мірою зменшити послідовну індуктивність, рекомендується у кожного кінця конденсатора використовувати відразу кілька перехідних отворів. Докладніше про проектування PDN-схем див. [7–9].

**КОНСТРУКЦІЯ КОРПУСУ**

Головною проблемою під час виготовлення екранованого корпусу є забезпечення щільного з'єднання між його частинами зі збереженням можливості такого проходження кабелю

вводу-виводу, коли не виникають додаткові синфазні завади. Зокрема, для забезпечення щільного з'єднання можуть знадобитися спеціальні прокладки для нейтралізації завад, однак також

враховуються розміри прорізу для прокладання кабелю та розміри вентиляційних отворів. На рисунку 14 показана залежність ефективності придушення завад від частоти для корпусів з прорізом різної довжини. З графіка видно, що чим більше довжина прорізу, тим нижче рівень придушення завад і для забезпечення ефективності екранування не менше 20 дБ довжина прорізу не повинна перевищувати 127 мм.

Прорізи та отвори в екранованих корпусах викликають проблеми у тому випадку, якщо розмір прорізу наближається до половини довжини хвилі. На рисунку 15 представлено залеж-

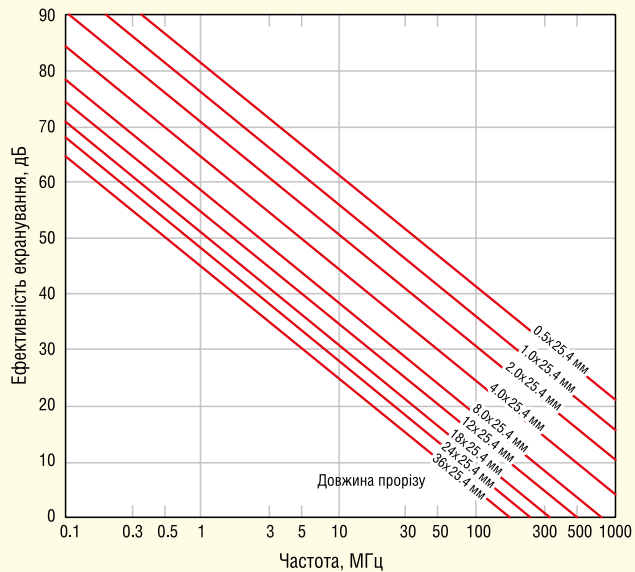


Рис. 14. Залежність ефективності придушення завад від частоти під час використання корпусів із прорізом різної довжини

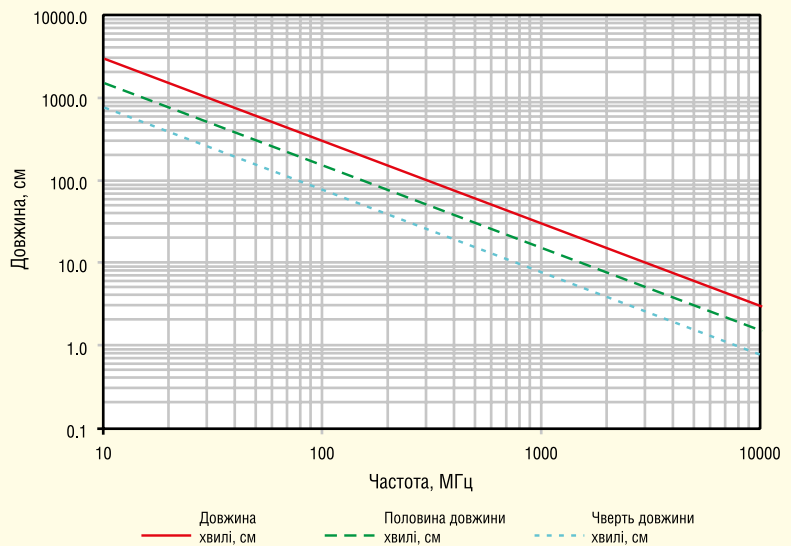


Рис. 15. Залежність резонансної частоти від довжини прорізу в екранованому корпусі. Прорізи в половину довжини хвилі працюють як дипольні антени та викликають особливі труднощі під час експлуатації пристрою



ність довжини хвилі від частоти. Видно, що при довжині прорізу 15 см на частоті 1 000 МГц виникне напівхвильовий резонанс. Щодо вентиляційних отворів корпусу, то рекомендується робити їх круглими діаметром не більше 0.64 мм. Допустимо також використання прорізів іншої форми, але в такому випадку для збереження прийнятного рівня ефективності екранування необхідно, щоб довжина отворів не перевищувала 127 мм. Докладніше щодо екранування див. [11–13].

## ВИСНОВКИ

**В**раховання основних причин появи проблем з електромагнітним випромінюванням значно знижує ризик відмови пристрою при тестуванні на відповідність вимогам EMC, а також підвищує надійність системи при її експлуатації в реальних умовах. Правильний підхід до проектування на ранніх етапах розробки зрештою заощадить фінансові витрати та дорогоцінний час.

### Література:

1. Bogatin. *Signal Integrity — Simplified*, Prentice-Hall. 2009.
2. Morrison. *Grounding and Shielding — Circuits and Interference*. Wiley. 2016.
3. Morrison. *Digital Circuit Boards — Mach 1 GHz*. Wiley. 2012.
4. Beeker. *Effective PCB Design* // [www.nxp.com](http://www.nxp.com).
5. HDMI.org.
6. Bergey & Altland. *EMI Shielding of Cable Assemblies*. DesignCon 2008 // [www.magazines007.com](http://www.magazines007.com).
7. Wyatt. *Gaps in Return Planes — Bad News for EMI* // <https://interferencetechnology.com>.
8. Smith and Bogatin. *Principles of Power Integrity for PDN Design*. Prentice-Hall. 2017.
9. Sandler. *Power Integrity — Measuring, Optimizing, and Troubleshooting Power Related Parameters in Electronic Systems*. McGraw Hill. 2014.
10. Novak and Miller. *Frequency-Domain Characterization of Power Distribution Networks*. Artech House. 2007.
11. Ott. *Electromagnetic Compatibility Engineering*. Wiley. 2009.
12. Andrii and Wyatt. *EMI Troubleshooting Cookbook for Product Designers*. SciTech. 2014.
13. *Interference Technology's 2016 EMI Shielding Guide* // <https://interferencetechnology.com>. **CN**



**ТОВ «АДС ТІМ» — ВЛАСНЕ ВИРОБНИЦТВО  
В УКРАЇНІ МОТОЧНИХ ВИРОБІВ  
ЗГІДНО ДОКУМЕНТАЦІЇ АБО ЗА ТЕХНІЧНИМ ЗАВДАННЯМ**

**[www.adcgr.com](http://www.adcgr.com)  
[www.adc-team.com](http://www.adc-team.com)**

**тел. +38 044 206 22 52  
моб. +38 067 249 77 58  
+38 050 464 22 52**

# Розробка, аналіз та оптимізація комбінованої системи бездротової передачі енергії на основі NFC

Крістіан Мерц (Christian Merz), Кем Сом (Сем Сом)

Адаптований переклад українською та технічне редагування:

Андрій Мовчанюк, к.т.н., доцент, кафедра ПРЕ, РТФ, КПІ ім. Ігоря Сікорського

**Компанія Würth Elektronik eiSos (далі — Würth Elektronik) розробила пристрій, в якому поєднується бездротова передача енергії (WPT) та система бездротового зв'язку на основі ближнього поля (NFC). У статті представлено методику налаштування системи WPT та NFC. Складові системи аналізуються шляхом моделювання, а результати підтверджуються експериментальними вимірами. Розглянуто конструкцію резонансного контуру та вибір силових компонентів для досягнення високого ККД. Представлено методологію узгодження мінімального коефіцієнта відбиття та імпедансу котушки NFC з контролером. Також у статті наведено деякі типові застосування та розглянуто переваги системи порівняно з традиційною системою NFC.**

## ВСТУП

Ринок пристроїв з технологією NFC (Near field communication, NFC — «комунікація ближнього поля», «ближній безконтактний зв'язок») експоненційно зростає, і очікується, що до 2024 він сягне \$47 млрд [4]. На даний час вже є понад 2 млрд мобільних пристроїв з технологією NFC і близько 2.1 млрд людей у всьому світі користуються послугами мобільних платежів на основі цієї зручної безконтактної технології зв'язку.

NFC — це технологія радіочастотно-го бездротового зв'язку з малим радіусом дії та невисокою пропускну здатністю, що забезпечує стандартизований зв'язок між двома пристроями, такими як смартфони, смарт-картки, наклейки або мітки. У технології NFC використовується та сама носійна частота (частота-носії), що й у мітках радіочастотної ідентифікації (radio frequency identification, RFID), а саме 13.56 МГц. Хоча RFID може приймати та передавати дані на відстань до декількох метрів, технологія NFC для

безпеки передачі даних обмежується дуже близькою дистанцією до 10 см. Швидкість передачі даних NFC становить 106–848 кбіт/с. Крім того, технологія NFC завжди включає «ініціатор», на кшталт пристрою для читання банківських карт, та «ціль», наприклад, кредитну картку. При цьому ініціатор активно генерує РЧ-поле, яке живить ціль [2].

У пристроях, що використовують технологію NFC, є три різні режими зв'язку. Перші два — це режим читання/запису та режим емуляції карти, в яких передбачені схеми пасивного зв'язку, де пасивна ціль використовує РЧ-поле, що генерується ініціатором. Режим читання/запису дозволяє читати інформацію, що зберігається на NFC-мітках або смарт-картках. Режим емуляції карти надає можливість мобільному пристрою з підтримкою NFC функціонувати як безконтактна смарт-картка (наприклад, кредитна картка, картка доступу або електронний транспортний квиток). У татті описується пасивний режим читання/запису та режим емуляції картки [3].

Третій режим, одноранговий, може застосовуватися як з активною, так і з пасивною схемою зв'язку. При активній взаємодії ініціатор та ціль генерують власні поля. Одноранговий режим використовується для обміну інформацією, такою як дані «візитної» картки між двома мобільними NFC-пристроями, наприклад між смартфонами.

У сучасних системах із NFC максимальна швидкість передачі даних становить 848 кбіт/с. Оскільки потужність генератора радіочастотного поля обмежена 1 Вт, то NFC переважно використовується для зв'язку. І навпаки, системи бездротової передачі енергії (wireless power transfer, WPT) можуть забезпечувати передачу потужності до сотень ват або більше, але при низьких швидкостях внутрішньосмугової передачі даних — до кількох сотень байт/с.

Команда інженерів-розробників компанії Würth Elektronik об'єднала переваги високої швидкості передачі даних NFC-зв'язку та передачі потужності до 100 Вт в одному невеликому та економічному комбінованому пристрої WPT/NFC, що дозволило створити ефективне рішення для комерційних та фінансових транзакцій та керування технологічними процесами промислових підприємств.

## СИСТЕМА НА ОСНОВІ КОМБІНАЦІЇ WPT/NFC

### Організація системи WPT/NFC

У ході роботи над проектом було реалізовано наступну концепцію побудови системи WPT/NFC. Для частини WPT для бездротової передачі енергії використовувався комплект Power Transfer Development Kit 760308EMP потуж-

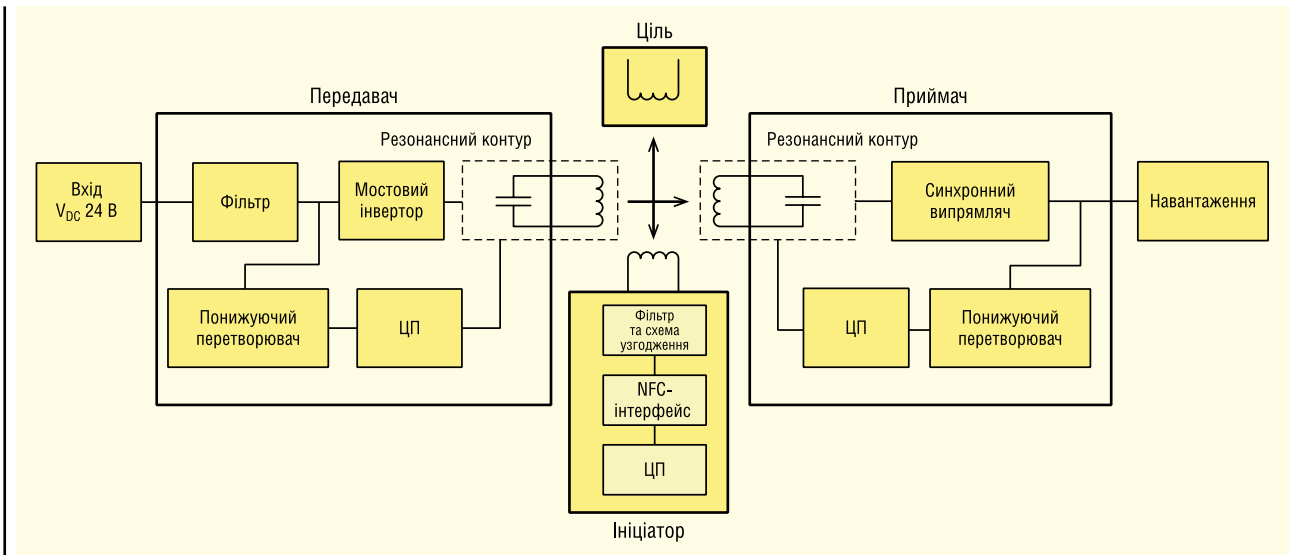


Рис. 1. Спрощена блок-схема WPT/NFC-системи

Таблиця 1. Комбіновані WPT/NFC-котушки компанії Würth Elektronik

Котушка	Номер замовлення	Індуктивність $L_1$ , мкГн	Індуктивність $L_2$ , мкГн	Добротність $Q_1$	Добротність $Q_2$	Тип
A	760308103305	8.8	1.4	30	47	Rx
B	760308102306	8	1.4	19	47	Rx
C	760308103307	7.8	1.6	19	47	Rx
D	760308101312	24	0.7	125	30	Tx

ністю 200 Вт власної розробки компанії Würth Elektronik [5]. Комунікаційна частина системи була виконана за допомогою комплекту розробника NFC OM27462CDK компанії NXP [6].

На рисунку 1 представлена спрощена блок-схема системи WPT/NFC. В якості пасивних «цілей» застосовувалися зразки NFC-карт, що входять до комплекту розробника NFC. Картки, що спочатку використовувалися на цьому етапі, є тегами NFC типу 2. У режимі читання/запису вони забезпечують швидкість передачі даних 106 кбіт/с. Також була протестована картка MifareDESFire EV1, яка забезпечує максимальну швидкість передачі даних 848 кбіт/с та працює в режимі емуляції картки [8].

На даний час компанія Würth Elektronik пропонує чотири різні котушки WPT/NFC, одну як передавальну і три як приймальні (табл. 1).



Рис. 2. Котушка типу D системи WPT/NFC, пропонується компанією Würth Elektronik

У таблиці 1  $L_1$  і  $Q_1$  — це індуктивність та добротність частини котушок для WPT, виміряна на частоті 125 кГц, а  $L_2$  та  $Q_2$  — індуктивність та добротність котушок для NFC, виміряна на частоті 13.56 МГц. Котушка D використовувалася в комбінованій системі WPT/NFC (рис. 2).

Складова NFC-котушки D використовується «ініціатором», а складова WPT — для передачі та приймання енергії. Характеристики фільтра та схеми узгодження ініціатора, резонансні контури приймача та передавача, були розраховані, змодельовані та уточнені за результатами експериментів під час прототипування.

### Узгодження імпедансу котушки NFC з IC NFC

Узгодження імпедансу — це дуже важлива процедура під час розробки радіочастотних схем, що забезпечує максимально можливу передачу енергії від джерела до навантаження та мінімізує відбиття сигналу назад до джерела.

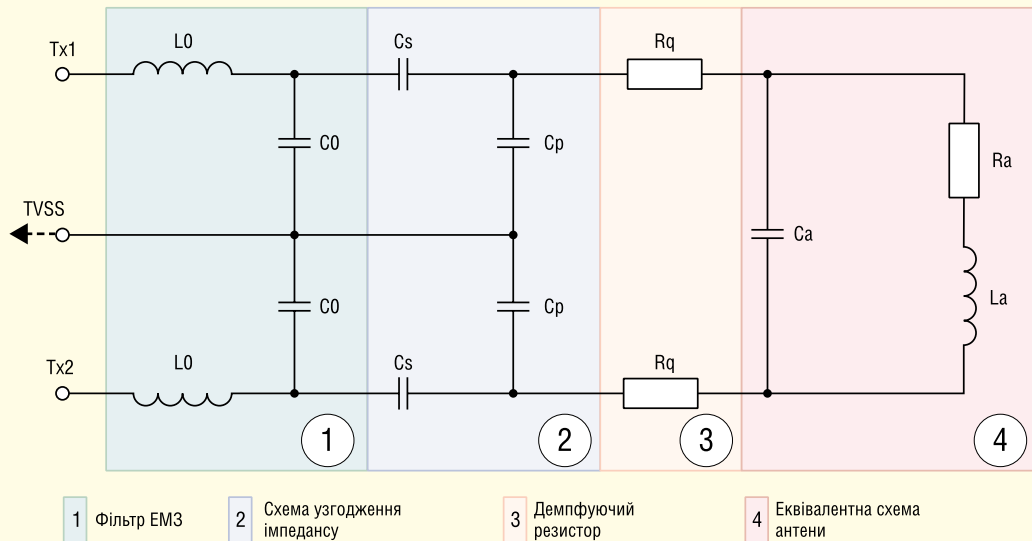
У комбінованій WPT/NFC-системі узгодження імпедансу необхідне для узгодження диференціального вихідного імпедансу NFC IC, що дорівнює 50 Ом, з імпедансом NFC-котушки. З цією метою на виході NFC IC застосовують фільтр. Він вирішує дві задачі: фільтрація гармонік сигналу NFC та вирішення проблеми електромагнітної сумісно-

сті (ЕМС), а також використовується для узгодження імпедансу. Як фільтр електромагнітних завад (ЕМЗ) рекомендується використовувати фільтр нижніх частот (ФНЧ) другого порядку, що складається з котушки індуктивності та конденсатора. Частота зрізу такого фільтра повинна бути вищою, ніж частота верхньої бічної смуги, що визначається найвищою швидкістю передачі даних у системі, а це, як уже було сказано, 848 кбіт/с. Фільтр ЕМЗ та узгоджувальна схема повинні трансформувати імпеданс котушки NFC до рівня 50 Ом.

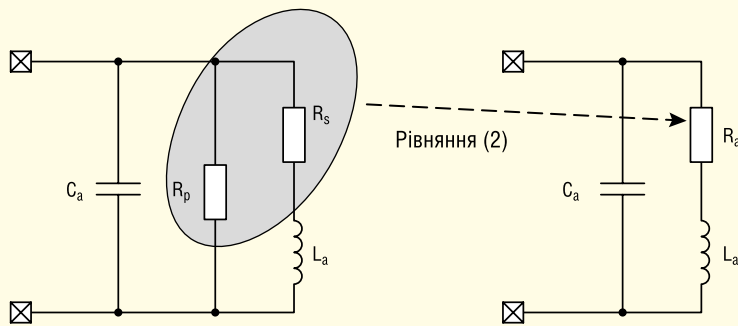
На рисунку 3 показана електрична принципова схема фільтра ЕМЗ та коло узгодження для режиму читання/запису, включаючи еквівалентну схему котушки NFC. Контакти Tx1 і Tx2 є вихідними контактами диференціальної передачі NFC IC, а TVSS — контактом заземлення.

На схемі рисунку 3  $L_0$  і  $C_0$  — це індуктивність та ємність фільтра ЕМЗ;  $C_S$  і  $C_p$  — конденсатори для узгодження, які ввімкненні у вигляді Г-ланки, а  $R_a$  — демпфуючий резистор, що зменшує добротність котушки для придушення перехідних процесів. Елементи  $R_a$ ,  $L_a$  і  $C_a$  — еквівалентний опір котушки, індуктивність та її власна ємність.

Під час розробки проблему узгодження імпедансу було виконано наступним чином:



**Рис. 3. Стандартний фільтр ЕМЗ та узгоджувальна схема для режиму читання/запису [7]**



**Рис. 4. Послідовна еквівалентна схема котушки [1]**

1. Було виміряно для котушки NFC послідовний опір  $R_s$ , паралельний опір  $R_p$ , індуктивність  $L_o$ , власну резонансну частоту  $f_s$  та визначено значення елементів для еквівалентної схеми заміщення котушки.
2. Розраховано індуктивність та ємність конденсатора для фільтра ЕМЗ.
3. Визначено компоненти схеми узгодження шляхом моделювання режиму читання/запису.
4. Адаптовано параметри схеми узгодження для режиму емуляції карти.

На правій частині рисунку 4 показана послідовна еквівалентна схема заміщення котушки.

На рисунку 4  $R_p$  — це еквівалентний паралельний опір котушки;  $R_s$  — внутрішній власний опір котушки;  $L_o$  — індуктивність котушки;  $C_o$  — паралельна еквівалентна ємність на власній резонансній частоті  $f_s$ ;  $R_o$  — еквівалентний послідовний опір. Значення  $R_p$ ,  $R_s$  та  $L_o$  повинні вимірюватись на робочій частоті  $f_{op} = 13.56$  МГц. В результаті вимірювань можна обчислити  $C_o$  та  $R_o$ .

За результатами вимірювань векторним аналізатором кіл були отримані наступні значення елементів еквівалентної схеми:

- $f_s = 63$  МГц;
- $L_o (13.56 \text{ МГц}) = 0.7$  мкГн;
- $R_s (13.56 \text{ МГц}) = 1.7$  Ом;
- $R_p (13.56 \text{ МГц}) = 1.9$  кОм.

Значення ємності конденсатора  $C_o$  можна розрахувати за формулою (1) з [1]:

$$C_o = 1 / (2\pi f_s)^2 L_o \quad (1)$$

Підставляючи в (1) виміряні значення, отримуємо  $C_o = 9.12$  пФ.

Значення  $R_o$  також можна розрахувати за допомогою (2) з [1]:

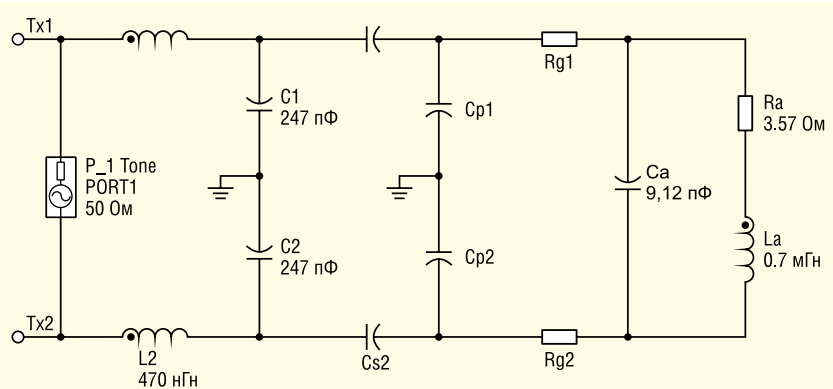
$$R_o = R_s + (2\pi \times f_{op} \times L_o)^2 / R_p \quad (2)$$

Підставляючи у формулу 2 виміряні значення, отримуємо  $R_o = 3.57$  Ом.

Частоту зрізу  $f_c$  фільтра ЕМЗ можна розрахувати за допомогою загальновідомої формули (3):

$$f_c = \frac{1}{2\pi \sqrt{L_o C_o}} \quad (3)$$

Беручи до уваги верхню бічну смугу для максимальної швидкості передачі даних (13.56 МГц + 848 кГц), частота зрі-



**Рис. 5. Схема стандартного фільтра ЕМЗ та узгоджувального кола, використана для моделювання за допомогою програми Advanced Design System від компанії Keysight Technologies**

зу визначається на рівні 14.8 МГц, що, згідно з визначеною раніше умовою, знаходиться вище за частоту верхньої бічної смуги 14.4 МГц.

Для цього випадку була обрана індуктивність фільтра  $L_0 = 470$  нГн, що з рівняння (3) дає ємність конденсатора фільтра  $C_0 = 247$  пФ. У свою чергу ємності конденсаторів  $C_s$  і  $C_p$  і значення опору демпфуючого резистора  $R_q$ , були визначені шляхом моделювання в програмі Advanced Design System (ADS) від компанії Keysight Technologies.

Була промодельована схема на рисунку 3. В програмі симуляції вона набула вигляду, представленого на рисунку 5.

Інструмент оптимізації в ADS застосовувався для визначення значень  $C_s$ ,  $C_p$  і  $R_q$ . Моделювання призводить до наступних значень елементів схеми:

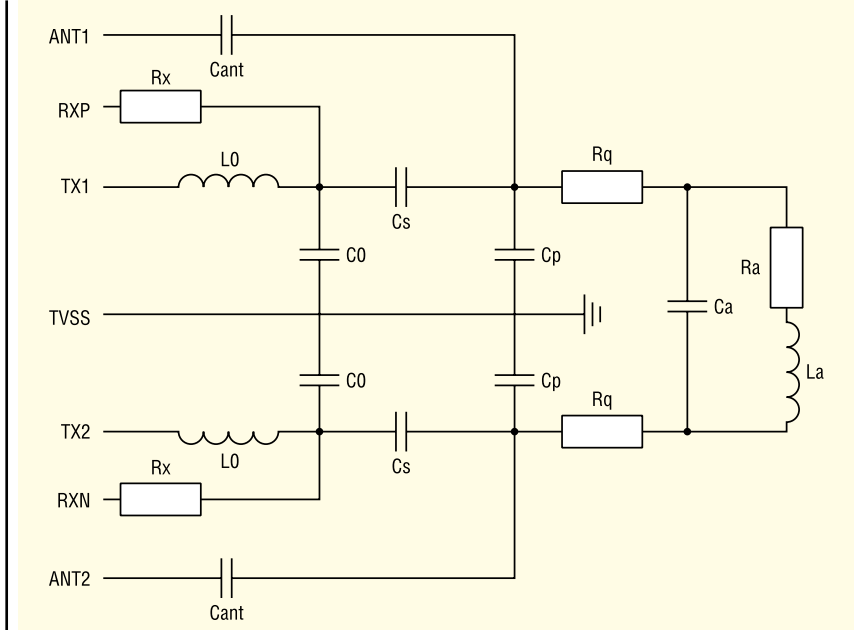
- $C_s = 12$  нФ;
- $C_p = 284$  пФ;
- $R_q = 11$  Ом.

Ці компоненти, визначені шляхом вимірювання, розрахунку та моделювання, були підставлені у схему, показану на рисунку 5. Оскільки в моделюванні застосовано ідеалізовані елементи з зосередженими параметрами, а реальні компоненти мають допуски та втрати, значення  $C_s$ ,  $C_p$  та  $R_q$  коригуються для покращення узгодження. В результаті для режиму емуляції карти, який забезпечує швидкості передачі даних 848 кбіт/с, схема, представлена на рисунку 3 була приведена до схеми, показаної на рисунку 6.

Номінали елементів  $C_{ant}$  і  $R_x$  були обрані рівними 82 пФ і 4.7 кОм, як це рекомендовано у посібнику до комплекту моделювання та перевірки рішень NFC від компанії NXP — UM10883 PN7462AU Quick Start Guide [6].

## ВИЗНАЧЕННЯ ХАРАКТЕРИСТИК РЕЗОНАНСНИХ КОНТУРІВ НА СТОРОНІ ПЕРЕДАВАЧА ТА ПРИЙМАЧА

Щоб оптимізувати ефективність бездротової передачі енергії в системі WPT, конденсатори резонансних контурів, що є у складі передавача та приймача, повинні бути коректно розраховані. Резонансний контур складається з індуктивності котушки та паралельно під'єданого конденсатора. Тобто, ми маємо справу з резонансом струмів. Значення ємності конденсаторів резонансного кола були визначені шляхом вимірювання та розрахунку. Щоб врахувати вплив котушки передавача, вимірюється індуктив-



**Рис. 6. Розширена схема фільтра EM3 та відповідна узгоджувальна схема для режиму емуляції карти для режиму читання/запису в системі WPT/NFC**

ність котушки приймача  $L'_s$ , коли котушка приймача відокремлена від котушки передавача. Вимірювання проводилися на відстані 4 мм. Для цієї відстані значення  $L'_s$  виміряне за допомогою LCR, становило 31.2 мкГн на частоті 100 кГц.

Ємність конденсатора  $C_r$ , який має бути доданий в приймачі, може бути розрахована за формулою (4):

$$C_r = 1 / (2\pi f_0)^2 L'_s \quad (4)$$

де  $f_0$  — робоча частота системи передачі енергії, що дорівнює 100 кГц.

З урахуванням виміряного значення  $L'_s$ , ємність  $C_r$  склала 81 нФ. Індуктивність котушки  $L_p$  передавача вимірюється на тій самій відстані між приймачем і передавачем. Виміряне на частоті 100 кГц значення індуктивності  $L_p$  склало 29.8 мкГн.

Значення ємності конденсатора  $C_T$ , який є конденсатором в резонансному колі передавача, розраховується аналогічно за формулою (5):

$$C_T = 1 / (2\pi f_0)^2 L_p \quad (5)$$

З урахуванням виміряного значення  $L_p$ , ємність  $C_T$  склала 85 нФ.

## ОТРИМАНІ РЕЗУЛЬТАТИ

### Узгодження імпедансів

Як було сказано, для перевірки застосованих рішень було використано розширену схему узгодження (рис. 6), а також змодельовані та виміряні зна-

чення елементів. Для покращення узгодження застосовувалося більше значення  $R_q$ , що дорівнює 20 Ом.

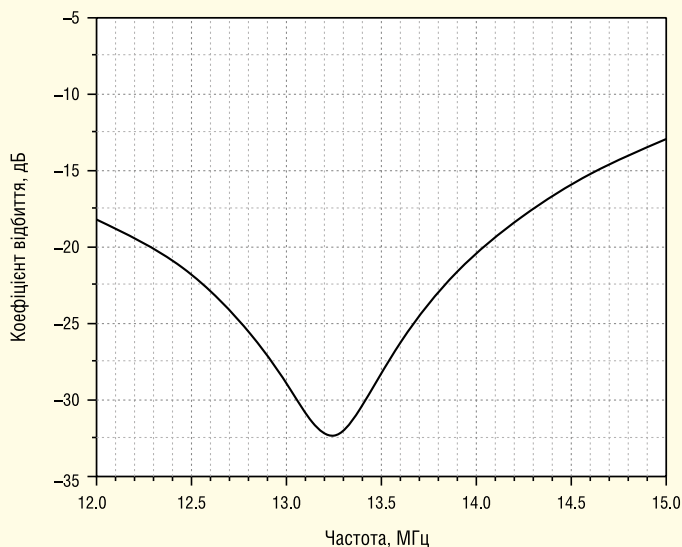
Коефіцієнт відбиття на вході (між Tx1 і Tx2) було виміряно за допомогою векторного аналізатора кіл VNA. На рисунку 7 наведено вимірний коефіцієнт відбиття у дБ в діапазоні частот 12–15 МГц. Видно, що коефіцієнт відбиття на робочій частоті 13.56 МГц має значення близько -27 дБ. Це означає, що лише близько 0.2% падаючої потужності відбивається.

### Зв'язок та передача енергії

Зі стандартним фільтром та узгоджувальною ланкою (рис. 3), а також з використанням змодельованих значень узгодження для котушки D може бути досягнуто зв'язок з NFC-міткою типу 2 зі швидкістю передачі даних 106 кбіт/с на відстані до 3 см.

Використовуючи більш складний фільтр та схему узгодження, що представлені на рисунку 6, зі змінним значенням демпфуючого резистора на 20 Ом, можна збільшити швидкість передачі даних до 848 кбіт/с, хоча відстань обміну даними між ініціатором і ціллю (у цій ролі виступала смарт-карта Mifare DESFire EV1) зменшилася до 4 мм.

Для передачі енергії в передавачі і приймачі використовувалася складова WPT котушки D. При значенні ємності конденсатора  $C_R = 81$  нФ в приймачі і  $C_T = 85$  нФ в передавачі, на відстані між котушками 4 мм була досягнута ефек-



**Рис. 7.** Зміна коефіцієнта відбиття розширеного фільтра ЕМЗ та узгоджувальної схеми залежно від частоти

**Таблиця 2.** Комбінації WPT/NFC-котушок компанії Würth Elektronik та максимального значення ефективності (ККД)

Тх котушка (табл. 1)	Rx котушка (табл. 1)	Коефіцієнт зв'язку k	Добротність Q	$\eta_{\max}$ , %
D	A	0.56	61	94
D	B	0.52	48	92
D	C	0.33	48	87

тивність DC/DC-перетворення близько 85%. При цьому бездротова передача потужності до 60 Вт була досягнута за стандартних температур.

Максимальний ККД системи  $\eta_{\max}$  WPT можна розрахувати за допомогою формули (6) з [8]:

$$\eta_{\max} = \frac{k^2 Q^2}{(1 + \sqrt{1 + k^2 Q^2})^2} \approx 1 - \frac{2}{kQ}. \quad (6)$$

Добротність Q — це сукупний коефіцієнт добротності системи двох окремих котушок, який можна розрахувати за допомогою формули (7) [8]:

$$Q = \sqrt{Q_1 \times Q_2}. \quad (7)$$

Для розрахунку коефіцієнта зв'язку k котушок використовувалося рівняння:

$$k = \sqrt{1 - \frac{L_p}{L_{\text{leakp}}}}. \quad (8)$$

$L_p$  у формулі (8) — вимірня індуктивність котушки передавача при заданій відстані між котушками 4 мм;  $L_{\text{leakp}}$  — паразитна індуктивність котушки передавача, яка вимірюється шляхом закорочення котушки приймача та вимірювання індуктивності котушки передавача. Використовуючи формули (6)–(8), можна обчислити максимальну ефективність комбінованих котушок передавача

та приймача, що призводить до значень, зведених до таблиці 2.

Таблиця 2 показує, що максимальна ефективність системи бездротової передачі енергії WPT становить 94%, що досягається з котушкою А в приймачі і котушкою D в передавачі. Основні причини втрат WPT-котушок — омичні втрати, ефект близькості та скін-ефект. Крім того, для оцінки загальної ефективності системи до уваги повинні бути прийняті втрати в інверторі передавача та втрати синхронного випрямляча в приймачі.

## ВИСНОВКИ

У статті описано основу WPT/NFC-системи на котушках компанії Würth Elektronik. Зокрема, розглянуті параметри узгодження та схема фільтрів для NFC частини. При цьому показано, що може бути реалізована швидкість передачі даних 106 кбіт/с на відстані між ініціатором та ціллю до 3 см та 848 кбіт/с на відстані до 4 мм. Для WPT частини було виконано розрахунок резонансних контурів і протестовано саму систему бездротової передачі. При цьому був досягнутий ККД 85% на відстані між передавачем і приймачем 4 мм з використанням складової WPT котушки D як передавача і приймача енергії. При комбінації котушки D як пере-

давача та котушки А як приймача може бути досягнута максимальна ефективність системи 94%.

Наступним кроком у процесі розробки стане розробка приймача, здатного демодулювати потік даних NFC та візуалізувати передане повідомлення. NFC-частина котушок А і С буде використовуватися як мітки. Мета — продемонструвати, що зв'язок та передача енергії можуть працювати одночасно.

Прикладом застосування подібної WPT/NFC-системи може бути система бездротової зарядки для мобільних пристроїв, що одночасно забезпечує платіжні послуги. Перевага подібної WPT/NFC-системи полягає в тому, що в одному невеликому та ефективному пристрої може бути поєднана висока швидкість передачі даних системи NFC з одночасною бездротовою передачею великої енергії.

## Література:

1. AN11564 PN7120 Antenna Design and Matching Guide, Rev. 1.1. 18 April 2016, 299411. Application note. [www.nxp.com/docs/en/application-note/AN11564.pdf](http://www.nxp.com/docs/en/application-note/AN11564.pdf)
2. Coskun V., Ok K., Ozdenizci B. Near Field Communication from theory to practice. Wiley, 2012.
3. Desai E., Shajan M. G. A Review on the Operating Modes of Near Field Communication, International Journal of Engineering and Advanced Technology (IJEAT). 2012.
4. The exponential growth of mobile internet application and advancement of 3G and 4G networks is anticipated to drive the market. [www.grandviewresearch.com/industry-analysis/near-field-communication-nfc-market](http://www.grandviewresearch.com/industry-analysis/near-field-communication-nfc-market)
5. Würth Elektronik eiSos, ANP70c, Proprietary wireless power transfer solution for high performance including data transmission. Application Note, 2018. [www.we-online.com/web/en/electronic\\_components/produkte\\_pb/application\\_notes/ANP070\\_Proprietarywirelesspowerttransfersolution.php](http://www.we-online.com/web/en/electronic_components/produkte_pb/application_notes/ANP070_Proprietarywirelesspowerttransfersolution.php)
6. UM10883 PN7462 family Quick Start Guide — Development Kit. User manual. Rev. 1.6. 14 May 2018, 319816. [www.nxp.com/docs/en/user-guide/UM10883.pdf](http://www.nxp.com/docs/en/user-guide/UM10883.pdf)
7. Baier T. Automated Impedance Adjustment of 13.56 MHz NFC Reader Antennas. Master Thesis, 2014.
8. Bosshard R., Muhlethaler J., Kolar J. W., Stevanovic I. Optimized magnetic design for inductive power transfer coils. Twenty-Eighth Annual IEEE Applied Power Electronics Conference and Exposition (APEC). Long Beach, CA, USA, 2013. **CH**

# Рішення компанії Semtech для бездротової передачі даних

Костянтин Верхулевський

**Під час проектування систем різного призначення виникає завдання бездротової передачі даних на відстані від десятків метрів до кількох кілометрів. Як правило, на апаратному рівні для таких цілей використовуються ISM (Industrial, Scientific, Medical) діапазони частот, що не вимагають реєстрації пристроїв за дотримання певних вимог. Компанія Semtech Corporation — один із лідерів у галузі розробки радіочастотних ISM-приймачів. У статті наведено огляд їх основних характеристик, особливу увагу приділено функціональним особливостям та перевагам застосування LoRa-трансиверів, рекордних показників яких досягнуто завдяки однойменному методу модуляції.**

## ВСТУП

Бездротова передача даних стає все більш затребуваною у повсякденному житті. Поширення пристроїв, що забезпечують безпечний та надійний зв'язок з віддаленими об'єктами по радіоканалу, пояснюється широкою номенклатурою доступних виробів, простотою та гнучкістю їх експлуатації, легкістю монтажу. Під час організації бездротового з'єднання вибір технології зв'язку залежить від багатьох факторів (області застосування, топології, завантаженості мережі тощо). Бувають ситуації, коли жоден з існуючих стандартів бездротового зв'язку не відповідає вимогам пристрою, що розробляється. Для таких випадків у світі виділена група радіочастотних діапазонів, відкритих для вільного використання. Радіочастотні ISM-діапазони, що не ліцензуються, широко використовують у системах комерційного обліку, автоматизації та контролю параметрів віддалених об'єктів, керування виробничими процесами та інших побутових і промислових пристроях різного призначення. Їх використання не вимагає оформлення спеціальних дозволів та реєстрації відповідно до технічних характеристик виробу, що проектується, певним нормам, що встановлюються регулюючими органами.

## ХАРАКТЕРИСТИКИ ТА ОСОБЛИВОСТІ РАДІОЧАСТОТНОЇ ПРОДУКЦІЇ SEMTECH

Лінійка бездротових пристроїв компанії Semtech складається з приймачів, передавачів та трансиверів, здатних працювати у стандартних ISM-діапазонах частот. Характерною рисою всіх пристроїв є гнучкість застосування. Завдяки наявності внутрішніх конфігураційних реєстрів пам'яті можна динамічно змінювати робочу частоту, девіацію, швидкість передачі даних, тип модуляції, вихідну потужність та інші параметри, а також встановлювати режими роботи всіх периферійних блоків, що робить можливим використання одного і того ж виробу для вирішення різних завдань. Всю продукцію можна умовно поділити на пристрої загального призначення та спеціалізовані, що адаптовані для використання у LoRaWAN-мережах.

## БЕЗДРІТОВІ ТРАНСИВЕРИ ЗАГАЛЬНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ

Першу групу складають мікросхеми радіочастотного зв'язку ближнього радіусу дії, що працюють в УВЧ-діапазоні частот і забезпечують передачу даних на короткі та середні відстані.

Вони широко застосовуються в різних побутових та промислових пристроях, дозволяючи організувати бездротові системи безпеки, моніторингу та домашньої автоматизації. Робота IC першої групи заснована на використанні частотної маніпуляції (FSK, Frequency Shift Keying), гауссівській FSK (GFSK, Gaussian Frequency Shift Keying), маніпуляції з мінімальним частотним зсувом (MSK, Minimum Shift Keying), гауссівської MSK (GMSK, Ga та амплітудній модуляції ввімкненням/вимкненням (OOK, On/Off Keying). Основні характеристики бездротових пристроїв загального призначення показані у таблиці 1.

Серія SX121x представлена приймачем SX1213 та трансиверами SX1211 та SX1212. Вона характеризується мінімальним власним енергоспоживанням (не більше 3 мА в активному режимі та 100 нА в сплячому режимі) та оптимізована для створення бюджетних рішень з низькою вартістю. До типових сфер їх застосування відносяться автономні вузли збору даних та мережі сенсорів різного призначення. Розглянуті компоненти відповідають вимогам стандартів, прийнятих у Європейському Союзі (ETSI EN 300-220 V2.1.1) та у Північній Америці (частина 15.247 та 15.249 FCC). Однокристальний приймач SX1213 і сумісний з ним по виводах приймач-передавач SX1212 функціонують в діапазоні частот носійних 300–510 МГц. Вони підтримують швидкість передачі даних від 1.56–200 кбіт/с при використанні частотної модуляції до 32 кбіт/с при OOK. Типові значення чутливості при прийомі становлять — 104 дБм для модуляції FSK (на швидкості 25 кбіт/с) — 110 дБм для OOK (на швидкості 2 кбіт/с). Всі радіочастотні характеристики мають змогу програмного налаштування і можуть динамічно змінюватися за допомогою SPI-інтерфейсу. Мікросхеми даного сімейства випускаються в корпусах TQFN-32 з розмірами 5 × 5 мм та можуть експлуатуватися за температури –40...+85 °С.

Таблиця 1. Основні характеристики трансиверів загального призначення компанії Semtech

Найменування	Тип	Діапазон робочих частот, МГц	Вихідна потужність, дБм	Тип модуляції	Максимальна швидкість передачі, кбіт/с	Чутливість, дБм (макс.)	Бюджет каналу зв'язку, дБ (макс.)	Споживання струму в режимі передачі, мА	Споживання струму в режимі прийому, мА	Корпус
SX1208	Tx/Rx	290–510	–18...+20	FSK/GFSK; MSK/GMSK; OOK	100 (FSK); 10 (OOK)	–124 (FSK); –122 (OOK)	144	33 (при P <sub>out</sub> = 10 дБм)	16	QFN-24 (5 × 5 мм)
SX1209		290–928			300 (FSK); 32 (OOK)	–120 (FSK); –112 (OOK)	140			
SX1211		863–960	–8.5...+12.5		200 (FSK); 32 (OOK)	–107 (FSK); –113 (OOK)	125.5	25 (при P <sub>out</sub> = 10 дБм)	3	
SX1212		300–510				–104 (FSK); –110 (OOK)	122.5			
SX1213	Rx	300–510	–	–	–	–	–	–	–	TQFN-32 (5 × 5 мм)
SX1230	Tx	290–1020	–18...+17	FSK/GFSK; MSK/GMSK; OOK	600 (FSK); 32 (OOK)	–	–	33 (при P <sub>out</sub> = 10 дБм)	16	MLPQ-24 (4 × 4 мм)
SX1231H	Tx/Rx	290–1020	–18...+20		300 (FSK); 32 (OOK)	–120 (FSK); –112 (OOK)	140			QFN-24 (5 × 5 мм)
SX1231J		424–1020	–18...+17			137	TSSOP-24 (9.7 × 4.4 мм)			
SX1231		290–1020				–123 (FSK); –117 (OOK)	143	28 (при P <sub>out</sub> = 13 дБм)	9.3	QFN-24 (5 × 5 мм); QFN-28 (6 × 6 мм)
SX1232		862–1020	–1...+20			600 (FSK); 32 (OOK)	–120 (FSK); –112 (OOK)	137	33 (при P <sub>out</sub> = 10 дБм)	16
SX1233		290–1020	–18...+17		300 (FSK); 32 (OOK)	–123 (FSK); –117 (OOK)	143	28 (при P <sub>out</sub> = 13 дБм)	9.3	QFN-28 (6 × 6 мм)
SX1235		862–1020	–1...+20			151	158 (при P <sub>out</sub> = 17 дБм)	25.3	MLPQ-40 (7 × 5 мм)	
SX1236		137–1020	–1...+27			–124 (FSK); –121 (OOK)	–	–	16	QFN-24 (5 × 5 мм)
SX1238		863–928	–			–	–	–	–	–
SX1239	Rx	290–1020	–		–	–	–	–	–	–
SX1243	Tx	310–928	0...+10	FSK; OOK	100 (FSK); 10 (OOK)	–	–	15 (при P <sub>out</sub> = 10 дБм)	–	–

Для прикладу на рисунку 1 наведено структурна схема приймача SX1213 з відображенням основних блоків. Високоінтегрована архітектура дозволяє мінімізувати кількість зовнішніх компонентів, зберігаючи при цьому гнучкість застосування для розробників.

Приймач SX1213 реалізований за супергетеродинною схемою. Вхідний сигнал надходить на малозумний підсилювач (LNA), потім у змішувач послідовно піддається подвійному зниженню частоти, фільтрується і посилюється до рівня, необхідного для демодуляції FSK або OOK. Генерація частот гетеродина здійснюється за допомогою блоку формування частоти, що складається з прецизійного синтезатора із системою фазового автопідстроювання (ФАПЧ),

генератора, керованого напругою (ГКН), дільників частоти та фільтрів. Для роботи всього блоку достатньо п'яти зовнішніх пасивних компонентів. Джерелом тактових імпульсів є кварцовий резонатор на 12.8 МГц, що підключається до виводів XTAL\_P і XTAL\_M. Додатковий вивід CLKOUT призначений для вимірювання значення робочої частоти та за потреби її програмного коригування. Також він може виступати як джерело тактування керуючого мікроконтролера, скорочуючи специфікацію кінцевого рішення. Індикатор потужності сигналу (RSSI) має динамічний діапазон більше 70 дБ і роздільну здатність 0.5 дБ.

Крім радіоприймального тракту, IC SX1213 містить бітовий синхронізатор,

що використовується для обробки демодульованої послідовності та отримання синхронізованих цифрових даних без шумових викидів. Блок контролю здійснює взаємодію між приймачем та контролером за допомогою інтерфейсу SPI, виводів IRQ\_0, IRQ\_1 та DATA. Його робота залежить від обраного режиму: безперервного, буферизованого чи пакетного. У першому з них кожен отриманий біт даних у режимі реального часу з'являється на виході DATA. У другому кожен прийнятий байт зберігається в 64-байтному FIFO-буфері і потім передається SPI-інтерфейсом. При цьому навантаження на контролер значно знижується, а довжина повідомлення не обмежується. У пакетному режимі додатково задіяні схеми виявлення

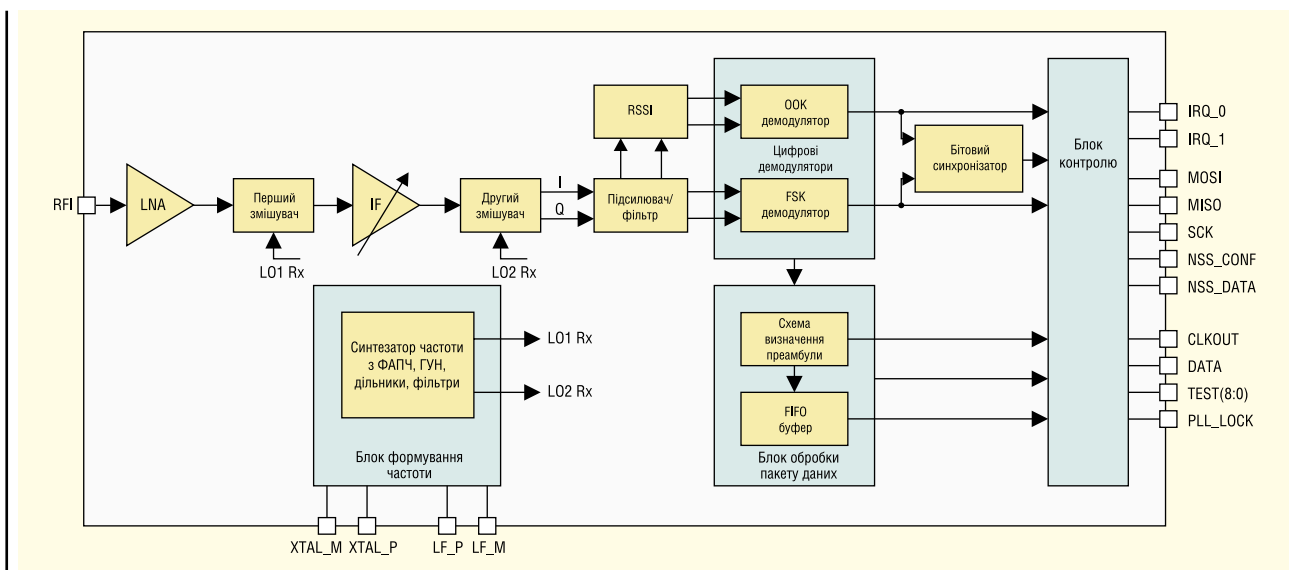
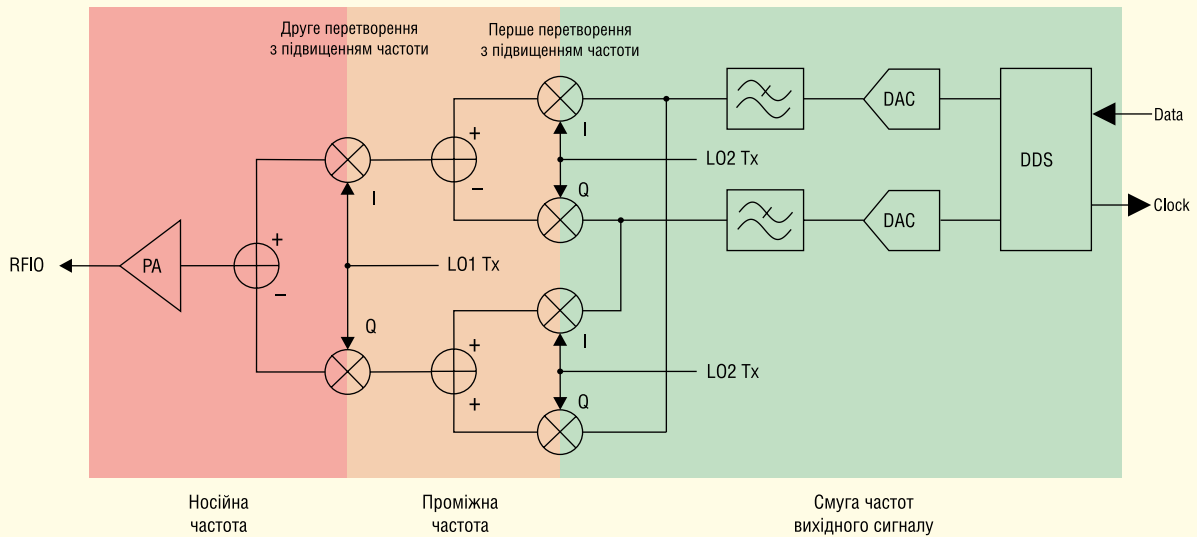


Рис. 1. Спрощена структурна схема приймача SX1213





**Рис. 2.** Спрощена структурна схема передавальної частини трансивера SX1212

преамбули, CRC-перевірки та обробки пакета даних, максимальна довжина якого не має перевищувати розміру FIFO-буфера. Для живлення мікросхеми потрібне джерело постійного струму з вихідною напругою 2.1–3.6 В. Необхідні для окремих блоків рівні напруги (0.85, 1 і 1.4 В) забезпечуються за допомогою вбудованих стабілізаторів.

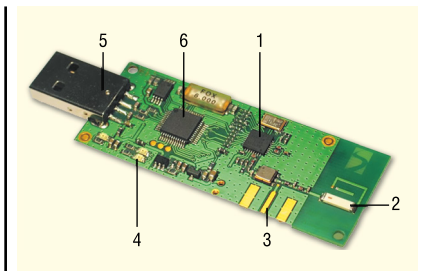
Трансивер SX1212 має аналогічну будову приймальної частини, його передавач забезпечує вихідну потужність  $-8.5...+12.5$  дБм з програмованим кроком 3 дБ. В цьому режимі власне енергоспоживання може зростати до 25 мА. На рисунку 2 наведена спрощена структурна схема передавальної частини ІВ SX1212. Вихідний сигнал перетворюється в аналогову форму шляхом послідовного перетворення в блоках DDS, ЦАП і згладжуючих фільтрах нижніх частот. Далі двічі здійснюється підвищення частоти та підсилення сигналу носійної. Приймальний і передавальний тракт ІС SX1212 використовують один і той же вивід RFIO, у відповідному режимі відбувається відключення або включення вихідного підсилювача потужності та інтегрованого регулятора його живлення.

Приймач SX1211 має низьку вартість і призначений для функціонування в діапазонах 863–870, 902–928 і 950–960 МГц. Від інших пристроїв серії, крім робочих частот, відрізняється покращеними показниками чутливості:  $-107$  дБм при швидкості передачі даних 25 кбіт/с (FSK) та  $-113$  дБм при 2 кбіт/с (OOK). Для оцінки можливостей ІС SX1211 пропонується кілька варіантів демонстраційних плат, адаптованих

під конкретні діапазони частот. Наприклад, на рисунку 3 наведено зовнішній вигляд SX1211SKA868 — модуля, що включає всі вузли, необхідні для швидкого старту. Крім трансивера (1) та його пасивної обв'язки він містить керамічну антену компанії Johanson Technologies (2), посадкове місце для опціонального SMA-рознімача зовнішньої антени (3), світлодіодну індикацію режимів роботи (4), USB-роз'єм типу А (5) та FTDI-міст для підключення до ПК (6).

Слід зазначити наявність широкого набору апаратних і програмних засобів Semtech, пропонує виробником, що значно полегшують життя розробнику. Крім того, для кожного виробу є детальна технічна документація, рекомендовані топології друкованих плат, переліки елементів із зазначенням номіналів, GUI для конфігурування внутрішніх регістрів.

Трансивери SX1208 та SX1209 призначені для організації вузькосмугових та широкосмугових систем зв'язку з двонаправленою передачею даних у діапазонах частот 290–510 та 290–928 МГц відповідно. До їх типових застосувань відносяться бездротові сенсори охоронних та пожежних систем, пристрої моніторингу та контролю, детектори диму, лічильники споживання енергоресурсів і т.д. Вихідна потужність програмується в діапазоні  $-18...+20$  дБм з кроком 1 дБ, з урахуванням максимальної чутливості  $-124$  дБм, енергетичний бюджет лінії зв'язку може досягати 144 дБ. Дані приймачі підтримують наступні типи модуляції: FSK, GFSK, MSK, GMSK і OOK. Вибір конкретного методу ґрунтується на компромісі між пропускнуою здатністю



**Рис. 3.** Зовнішній вигляд демонстраційної плати SX1211SKA868

каналу і необхідною дальністю зв'язку. Також вони мають досить непогані селективні властивості. Наприклад, ІС SX1209 забезпечує придушення завод сусідніх каналів на 42 дБ, у поєднанні з відмінними показниками по інтермодуляційних спотвореннях третього порядку  $-18$  дБм — це дозволяє отримати стійке та надійне рішення для різних умов експлуатації. Конструктивно виготовляються у низькопрофільних корпусах для поверхневого монтажу типу QFN-24 із зовнішніми габаритами  $5 \times 5$  мм.

Для інтеграції основних функціональних вузлів на одному кристалі та мінімізації числа зовнішніх компонентів інженерами компанії Semtech було використано технологію TrueRF. На рисунку 4 представлено основні вузли ІВ SX1208.

Радіоприймальний тракт реалізований за схемою квадратурного перетворення, з метою спрощення проектування застосовується вхідний несиметричний сигнал. Спочатку він подається на малошумний підсилювач, охоплений колом зворотного зв'язку для автоматичного регулювання посилення. Далі для усунення гармонік відбувається його пере-

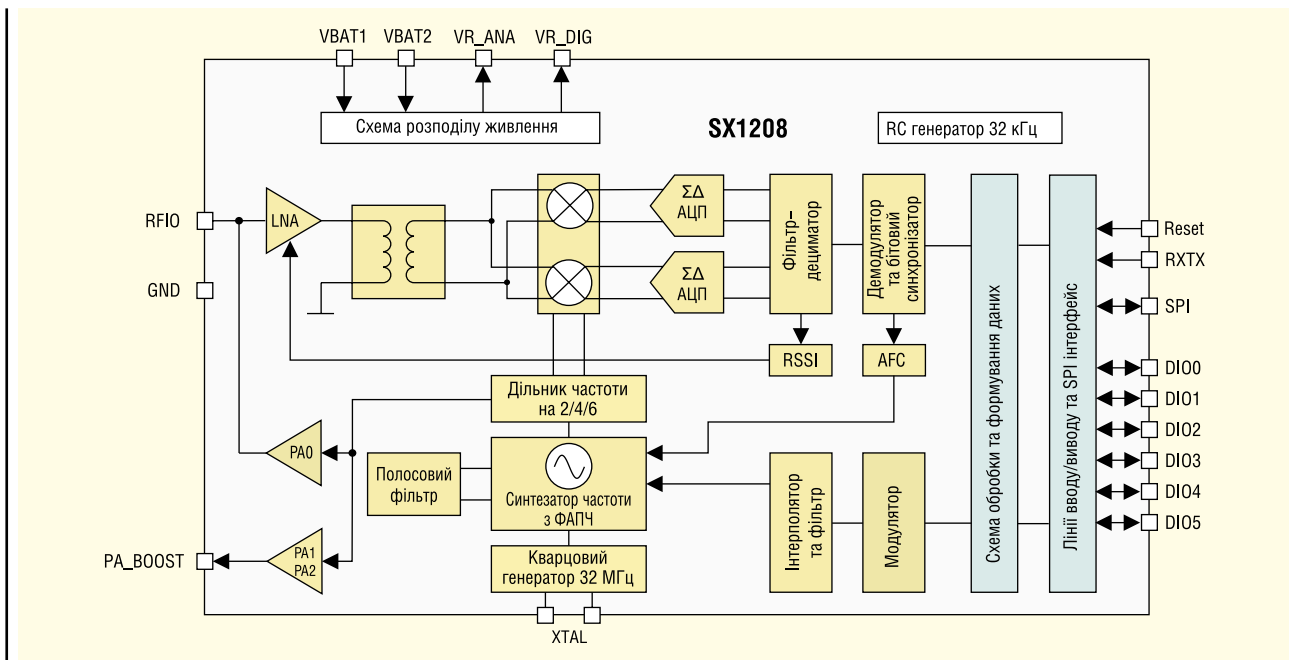


Рис. 4. Внутрішня структура трансивера SX1208

творення в диференціальну форму, потім із сигналу проміжної зниженої частоти, отриманого в змішувачі, виділяються синфазна і квадратурна складові, що надходять на два  $\Delta\Sigma$  АЦП. Вся подальша обробка (фільтрація, демодуляція тощо) виконується методами цифрового оброблення. Придушення дзеркального каналу здійснюється за допомогою квадратурного перетворення. З корисних функцій варто відзначити вбудований блок надшвидкого автопідстроювання частоти (AFC) і наявність схеми індикації рівня сигналу з широким динамічним діапазоном 127 дБм. Параметри каналного фільтра 16-го порядку з кінцевою імпульсною характеристикою (KIX), що використовується для усунення шумів та інтерференційних складових, залежать від обраного типу модуляції, його робоча смуга визначається в межах 2.6–250 кГц. У режимі передачі сигнал гетеродина модулюється за допомогою цифрового модулятора, після чого посилюється та подається на вихід. Доступні три підсилювачі потужності: перший, з'єднаний з виводом RFIO, забезпечує посилення до +13 дБм, PA1 і PA2, підключені до PA\_BOOST, при використанні рекомендованого узгоджувального кола, можуть видавати до +20 дБм (100 мВт). Для спрощення узгодження з антеною вихід зроблений несиметричним, його вбудований захист від перевантаження струмом блокує передавач при перевищенні максимальних рівнів потужності. Прецизійний синтезатор частоти з ФАПЧ, що має дробо-

вий коефіцієнт поділу, слугує для отримання опорного сигналу з роздільною здатністю 61 Гц, що використовується для роботи окремих вузлів приймача і передавача. Схема обробки та формування даних організує взаємодію між модулятором/демодулятором та зовнішнім керуючим контролером. Також допускається функціонування трансивера в автономному режимі. У цьому випадку вбудований програмований автомат станів задає послідовність та умови переходу між режимами роботи за заздалегідь заданим алгоритмом. Часові інтервали автомату станів (64 мкс, 4.1 мс або 262 мс) встановлюються за допомогою двох вбудованих таймерів. Серед додаткових корисних функцій можна відзначити наявність вбудованого давача температури та індикатора зниженої напруги живлення, що генерує сигнал переривання при досягненні заданого порога.

Практично за аналогічною схемою, але з деякими відмінностями побудовані компоненти сімейства SX123x. Поєднуючи в собі компактні розміри, низьке енергоспоживання і хороші показники бюджету каналу зв'язку, вони стають відмінним вибором під час розробки бездротових пристроїв широкого спектру призначення. Тут найбільший інтерес представляють трансивери SX1236 та SX1238. Ключовою особливістю SX1236 є можливість організації двох незалежних каналів з різними носійними частотами в діапазоні 137–1020 МГц. Для цього в структуру мікросхеми впро-

ваджено два окремі синтезатори частот, перший з них розрахований на діапазон до 525 МГц, другий — на генерування частот вище 868 МГц. З урахуванням низького власного споживання (12 мА в режимі прийому та 200 нА в режимі збереження даних у регістрах) SX1236 підходить для M2M-застосувань із батарейним живленням. Висока вибірковість сигнального тракту (придушення сусіднього каналу до 60 дБ, дзеркального каналу до 50 дБ, інтермодуляційні спотворення третього порядку –11 дБм) дозволяє використовувати цей трансивер у найважчих умовах, у тому числі за високого рівня каналних завад та при щільному розміщенні вузлів. Приймач SX1236 також відповідає вимогам WMBus, IEEE 802.15.4g та ряду інших регулюючих стандартів.

Основна відмінна риса приймача SX1238 — наявність інтегрованого front-end-блоку, що складається з вихідного підсилювача потужності та вхідного малошумного попереднього підсилювача. Використання такого підходу оптимізує розміри та технічні характеристики кінцевого рішення. Зокрема, отримана в результаті максимальна вихідна потужність +27 дБм дозволяє за потреби підвищити бюджет каналу зв'язку до 151 дБ.

## LORA-ТРАНСИВЕРИ

Один із сучасних напрямів розвитку технологій зв'язку — розробка

малоспоживчих мереж передачі даних, що поєднують компактні пристрої з великим радіусом дії. Особливої популярності останнім часом набувають мережі LoRaWAN (Long Range Wide Area Networks), які позиціонуються як рішення для «Інтернету речей». Фізично в основі LoRaWAN-мереж лежить використання запатентованого компанією Semtech методу модуляції LoRa (від англ. Long Range), що є різновидом методу розширення спектру, при якому дані кодуються лінійно-частотно модульованими (ЛЧМ) імпульсами з частотою, що збільшується або зменшується на деякому часовому інтервалі. Технологія LoRa дозволяє здійснювати демодуляцію сигналів з рівнями на 20 дБ нижче рівня шумів, що забезпечує рекордні показники бюджету каналу зв'язку за рахунок значного підвищення чутливості приймача і відрізняється низькою критичністю до розладу частоти між передавачем і приймачем.

Лінійка трансиверів компанії Semtech, що випускається під торговою маркою LoRa, зараз налічує 11 моделей (табл. 2). Найбільшого поширення набули IC серії SX127x, що з'явилися на ринку електронних компонентів ще декілька років тому. Переважна більшість доступних зараз LoRa-модулів, які застосовуються в кінцевих вузлах мереж LoRaWAN, виготовлено саме на їх основі. Серії SX127x присвячено безліч публікацій та посібників із застосування, у мережі нескладно знайти приклади коду, тому далі варто основну увагу приділити іншим серіям.

Серія високоінтегрованих IC SX126x складається з трьох приймачів. Однотипні SX1261 та SX1262, що працюють у діапазоні частот 150–960 МГц, а також SX1268 з робочими частотами 410–810 МГц повністю відповідають вимогам регламентуючих стандартів ETSI EN 300 220, FCC CFR 47 Part 15. Вони відрізняються один від одного, перш за все, максимальним рівнем вихідної потужності:

+15 дБм з програмованим кроком 1 дБ SX1261 і до +22 дБм SX1262 і SX1268. На рисунку 5 для прикладу зображена внутрішня структура SX1261, тут можна виділити чотири основні частини: аналоговий блок перетворення вхідного або вихідного сигналу, блок цифрових модемів, блок керування живленням, а також блок контролю, що забезпечує обробку корисних даних та конфігурування внутрішніх параметрів за допомогою цифрових інтерфейсів зв'язку.

Живлення мікроосхем здійснюється від джерела постійного струму з напругою 1.8–3.7 В, вбудовані DC/DC- або лінійні LDO-регулятори служать для отримання необхідних для окремих вузлів значень напруги. Серія SX126x вигідно відрізняється низьким власним споживанням, наприклад, у режимі прийому при LoRa-модуляції та ширині смуги каналу 125 кГц воно становить лише 4.6 мА (при використанні DC/DC-перетворювача) або 8.8 мА при живленні від LDO-стабілізатора.

Таблиця 2. Основні характеристики LoRa-трансиверів компанії Semtech

Найменування	Діапазон робочих частот, МГц	Вихідна потужність, дБм	Швидкість передачі під час використання модуляції LoRa, кбіт/с	Чутливість, дБм (макс.)	Бюджет каналу зв'язку, дБ (макс.)	Споживання струму в режимі передачі, мА	Споживання струму в режимі прийому, мА (макс.)	Корпус
SX1272	860–1020	-1...+20	0.24–37.5	-123 (FSK); -137 (LoRa)	157	28 (при P <sub>out</sub> = 13 дБм)	11.2	QFN-28 (6 × 6 мм)
SX1273			1.7–37.5	-123 (FSK); -130 (LoRa)	150			
SX1276			0.018–37.5	-123 (FSK); -148 (LoRa)	168			
SX1277			0.11–37.5	-123 (FSK); -139 (LoRa)	159			
SX1278			0.018–37.5	-123 (FSK); -148 (LoRa)	168			
SX1279			0.018–37.5	-123 (FSK); -148 (LoRa)	168			
SX1261	150–960	-1...+15	0.018–62.5	-123 (FSK); -148 (LoRa)	163	39 (при P <sub>out</sub> = 14 дБм)	4.6	QFN-24 (4 × 4 мм)
SX1262	-1...+22	-123 (FSK); -148 (LoRa)		170	32 (при P <sub>out</sub> = 14 дБм)			
SX1268	-123 (FSK); -148 (LoRa)	170		32 (при P <sub>out</sub> = 14 дБм)				
SX1280	2400–2500	-18...+12.5	0.476–200	-123 (FSK); -132 (LoRa)	144.5	24 (при P <sub>out</sub> = 12.5 дБм)	<5	
SX1281								

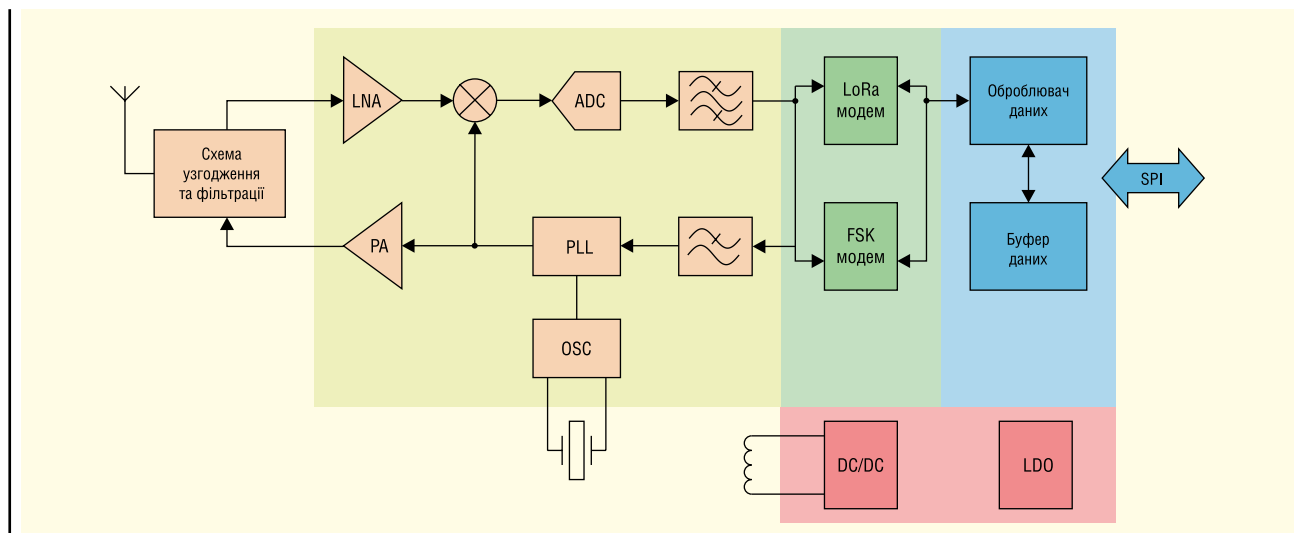


Рис. 5. Спрощена внутрішня структура трансивера SX1261

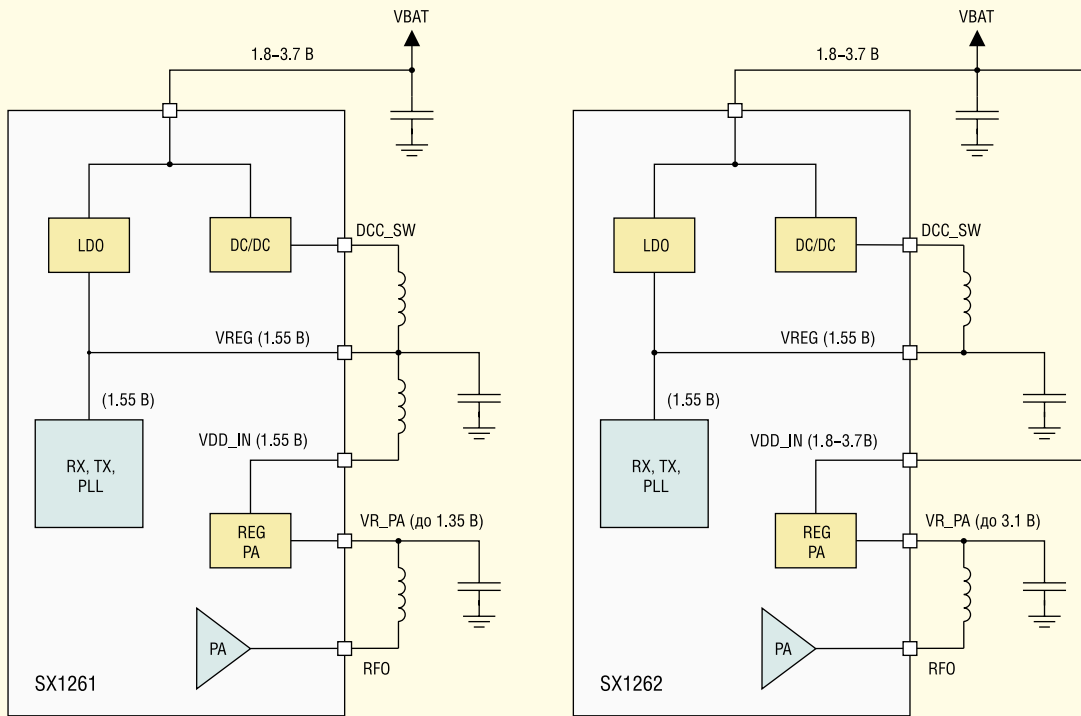


Рис. 6. Схеми керування живленням трансиверів SX1261 та SX1262

Синтезатор з ФАПЧ і дробовим коефіцієнтом поділу частоти, що має функцію автокалібрування і малий час запуску (40 мкс), забезпечує функціонування як приймального, так передавального тракту. Його крок частоти становить 0.95 Гц. Крім зовнішнього термостабілізованого генератора або зовнішнього кристала кварцу, розрахованого на частоту 32 МГц, як джерело тактових імпульсів можна використовувати внутрішні RC-генератори на 64 кГц (для періодичного виведення трансивера з

режиму сну) і 13 МГц (для синхронізації роботи SPI-інтерфейсу).

Тому що під час створення серії як базова модель був використаний трансивер SX1232, схеми приймача і передавача багато в чому повторюють структуру попередника. В режимі приймання використовується квадратне перетворення, інтегрований  $\Delta\Sigma$  ЦП з динамічним діапазоном більше 80 дБ, що виконує переведення сигналу в цифровий вигляд і в залежності від вибраного методу модуляції

він подається на FSK або LoRa-модему. При FSK- або GFSK-модуляції гарантується швидкість передачі даних 0.6–300 кбіт/с, LoRa-модуляція розрахована на нижчу пропускну здатність (0.018–62.5 кбіт/с). Ключовим вузлом реалізації переваг LoRa є відповідний блок модулятора/демодулятора. Для оптимізації роботи трансивера необхідно задати наступні характеристики: коефіцієнт розширення (5–12), смугу модуляції (10 стандартних значень у діапазоні 7.8–500 кГц) та швидкість

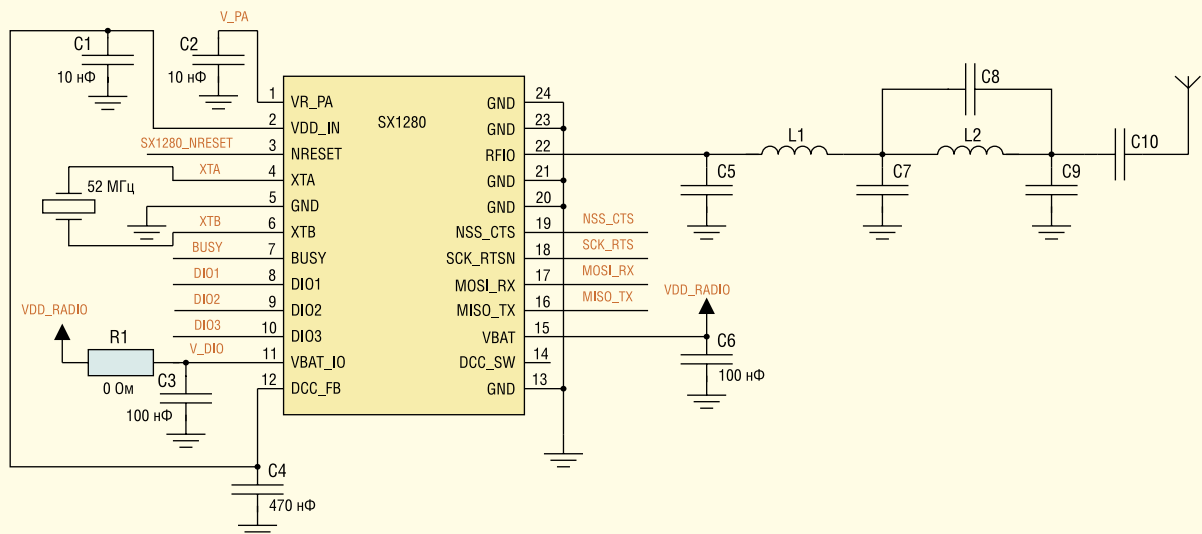
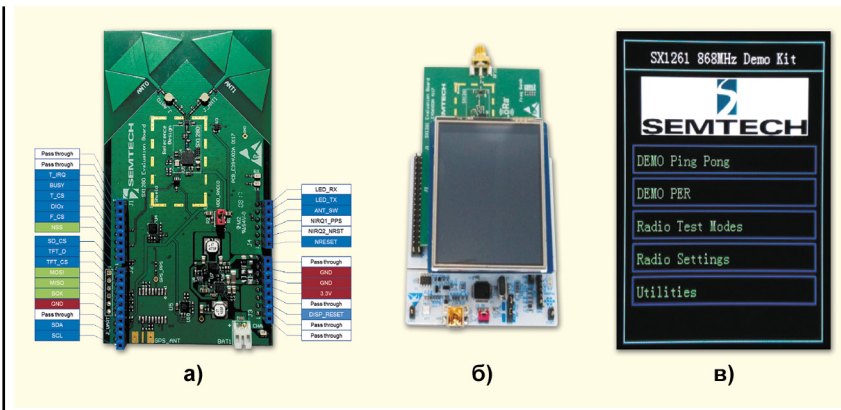


Рис. 7. Типова схема підключення ІВ SX1280



**Рис. 8.** Зовнішній вигляд демонстраційної плати SX1280 (а), комплекту в збірці (б) та головного вікна вбудованого ПЗ (в)

кодування для корекції помилок. Ці параметри дозволяють знайти бажане поєднання між бюджетом каналу зв'язку, стійкістю до завад та швидкістю передачі даних.

Підсилювач потужності передавача живиться від вбудованого регулятора. На рисунку 6 показані відмінності схем керування живленням IC SX1261 та SX1262. З'єднання VDD\_IN безпосередньо з батареєю дозволяє збільшити рівень вихідної потужності до +22 дБм.

Мікросхеми трансиверів SX1280 і SX1281, що забезпечують великий радіус дії при використанні частоти носійної 2.4 ГГц, здатні надійно функціонувати при високому рівні інтерференційних завад. Компоненти серії SX128x сумісні з технологією BLE, мають досить високий рівень чутливості (−132 дБм), вихідну потужність передавача −18...+12.5 дБм та підтримують види модуляції LoRa, FLRC та FSK/GFSK. Крім того, IC SX1281 відрізняється можливістю локалізації та відстеження розташування бездротового вузла мережі без застосування додаткових технічних засобів типу GPS/ГЛОНАСС. Ця функція, призначена для вимірювання координат людей, домашніх тварин, радіокерованих квадрокоптерів, спортивних трекерів, промислових пристроїв і т.д., реалізована за допомогою методу вимірювання часу проходження (ToF, Time of Flight) сигналів від кількох вузлів. На рисунку 7 зображено типову схему підключення IB SX1280].

Внутрішня структура пристроїв аналогічна до мікросхем серії SX126x, схеми приймача та передавача працюють на одну антену. Блок модемів, розширений за рахунок додаткового FLRC-каналу, забезпечений цифровим автоматичним регулюванням частоти. Робота FLRC-модему ґрунтується на когерентній

демодуляції GMSK-сигналу в сукупності з використанням прямої корекції помилок та принципу чергування біт. Дана технологія допомагає підвищити бюджет каналу зв'язку приблизно на 8–10 дБ порівняно з FSK за такої ж швидкості передачі даних. Як інтерфейс зв'язку з керуючим контролером поряд із SPI можливе використання UART.

Для оцінки можливостей трансиверів серії випускаються комплекти розробника з підтримкою Arduino і сумісністю з платами Nucleo компанії ST Microelectronics. На рисунку 8а показаний зовнішній вигляд демонстраційної плати з IB SX1280 на рис. 8б — вона ж разом з сенсорним екраном, що входить в комплект поставки, і Nucleo-L476RG. ПЗ включає ряд тестових прикладів і утиліти для налаштування параметрів зв'язку (рис. 8в).

## ВИСНОВОК

Лінійка радіотрансиверів, що випускається компанією Semtech, відрізняється гнучкістю застосування, відмінними функціональними можливостями та великою різноманітністю доступних моделей. Бюджетні серії з модуляціями типу FSK/GFSK, MSK/GMSK або OOK призначені для домашньої автоматизації, використання в обладнанні дистанційного моніторингу та контролю, охоронно-пожежних системах і т.д., забезпечують надійний двосторонній канал зв'язку і можуть бути корисні при організації як пропріетарних, так і стандартизованих енергоефективних мереж передачі даних. Хороша технічна підтримка, оціночні комплекти практично для кожного компонента, рекомендовані топології друкованих плат — усе це сприяє підвищенню швидкості розробки кінцевого пристрою. **CN**

## SIERRA WIRELESS ПРИДБАНА КОМПАНІЮ SEMTECH ЗА 1.2 МЛРД ДОЛ.

Виробник мікросхем **Semtech** офіційно оголосив про плани придбати **Sierra Wireless**, розробника мережних технологій для підключених пристроїв. **Sierra Wireless** оцінена в 1.2 млрд дол.

Компанія **Semtech** має особливо велику присутність на ринку бездротових мереж та постачає мікросхеми, які можна вбудовувати в IoT-пристрої для підключення їх до мережі. Чипи **Semtech** встановлюють з'єднання за допомогою технології бездротової передачі даних **LoRa**, яка спеціально оптимізована для випадків використання Інтернету речей.

Компанія з Ванкувера (Канада) **Sierra Wireless** також фокусується на ринку IoT і випускає спеціалізовані плати, які використовуються для підключення пристроїв до мереж 4G і 5G. Також компанія пропонує інші типи мережного обладнання, включаючи маршрутизатори, оптимізовані для ринку IoT.

Слід зауважити, що **Semtech** створює власний набір хмарних можливостей, щоб допомогти клієнтам ефективніше розгортати IoT. Компанія вірить, що додавання технології **Sierra Wireless** до її продуктового портфоліо дозволить їй відкрити нові можливості отримання прибутку в цій сфері. Крім того, **Semtech** очікує, що ця угода дозволить їй краще працювати на таких ринках, як сільське господарство, будівництво та логістика.

«Ми віримо, що наступна ера технологічного зростання — це повна цифровізація нашого промислового світу — Інтернет усього», — сказав президент і головний виконавчий директор **Semtech** Мохан Махесваран. — Наше бачення полягає в створенні простої горизонтальної платформи з метою прискорення цієї трансформації та створення розумнішої та стійкішої планети».

**Semtech** планує завершити придбання у 2023 році. З цього моменту, за оцінками компанії, придбання допоможе подвоїти річний дохід, а також покращить скоригований прибуток на акцію. Крім того, компанія очікує реалізувати річну операційну синергію в розмірі 40 мільйонів доларів протягом 12–18 місяців після завершення угоди.

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

# Новий світлодіод для зовнішнього освітлення

Маркус Хофманн (Markus Hofmann)

Переклад з англійської: Василина Рочева

**Останнім часом CSP-світлодіоди активно використовуються в різних областях. Однак вони мають не лише переваги, а й низку серйозних недоліків. Нова розробка компанії OSRAM Opto Semiconductors покликана ці недоліки усунути. У статті представлений новий світлодіод Osconiq C 2424, описуються його особливості, що відрізняють його від звичайних CSP-світлодіодів, і наводиться його порівняння зі світлодіодами OSRAM, що застосовуються в даний час, такими як CSP Oslon Pure 1010, або світлодіодами надвисокої потужності 7070 або 505.**

За останні роки на ринку з'явилося багато типів світлодіодів з різними характеристиками. Асортимент цих пристроїв досить великий: починаючи від світлодіодів середньої потужності в пластикових корпусах і закінчуючи світлодіодами надвисокої потужності в керамічних корпусах, і кожен має свої сильні сторони. Останнім часом велику увагу привертають CSP-світлодіоди (Chip Size Package — пропорційний чипу корпус). Одна з причин цього — малий розмір оптичної поверхні, що дозволяє ефективно керувати просторовим розподілом сили світла за умови використання вторинної оптики менших розмірів. За рахунок цього зменшуються розмір і вага пристрою загалом і, отже, знижуються логістичні витрати. Крім того, CSP-світлодіоди можна компактно групувати, що дозволяє створювати невеликі джерела світла зі змінною кольоровістю.

Однак застосування CSP-світлодіодів несе в собі деякі труднощі. Поводження з CSP-світлодіодами в процесі виробництва світлових приладів може виявитися складнішим у порівнянні зі стандартними світлодіодами. CSP-світлодіоди більш чутливі до електростатичних розрядів, ніж корпусовані, оскільки в них зазвичай не вбудований захисний діод. Крім цього, необхідно дуже ретельно прораховувати відведення тепла, щоб гарантувати, що CSP-світ-

лодіод не перегріється. Для боротьби з цими проблемами новий світлодіод у пластиковому корпусі поєднує в собі переваги CSP-світлодіодів, такі як невеликі зовнішні розміри та мала світловипромінююча поверхня, з перевагами стандартних світлодіодів, а саме з простою складання та монтажу. Детальний опис світлодіода та чипа наведено далі у статті. Ми обговоримо тепловий опір світлодіода та тепловий розрахунок для матриць світлодіодів, встановлених на друкованих платах. Крім того, буде наведено оптичний аналіз окремих світлодіодів та світлодіодних матриць.

## ПЛЮСИ ТА МІНУСИ CSP-СВІТЛОДІОДІВ

Розміри CSP-світлодіода лише трохи перевищують розміри чипа. Насправді, вони практично ідентичні.

Для досягнення такого співвідношення необхідно зменшити корпус, що оточує чип, до абсолютного мінімуму або його повністю усунути. Для споживачів світлодіодів це позитивний момент. Розмір світлодіода та випромінююча поверхня невеликі, що забезпечує високу яскравість. Коли використовується чип з поверхневим випромінюванням, яскравість висока, тому що з боків чипа випромінювання практично відсутнє.

Це дозволяє зменшити розмір вторинної оптики. Можна отримати вузьконаправлений пучок ( $<10^\circ$ ) з мінімальними втратами і, таким чином, досягти високих значень сили світла у центрі пучка.

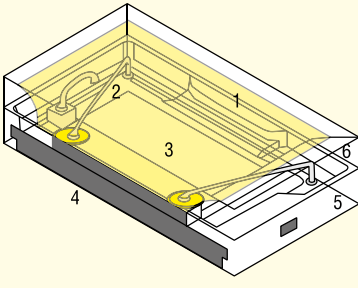
З іншого боку, така мінімалістична конструкція світлодіода створює деякі проблеми. У звичайних світлодіодів корпус навколо чипа є захисною оболонкою. Оскільки у CSP-світлодіодів така захисна оболонка відсутня, вони більш чутливі до механічних пошкоджень. У процесі захвату та встановлення на плату, а також подальшої роботи із зібраними модулями необхідно переконатися, що світлодіоди не пошкоджуються. Крім того, корпус захищає чип від впливу навколишнього середовища, наприклад, вологи або агресивних матеріалів. Таким чином, корпус підвищує надійність та термін служби світлодіода. Однак нестача місця в CSP-світлодіодах не дозволяє встановити діод для захисту від електростатичного розряду. Це робить CSP-світлодіоди чутливими до електростатичних розрядів, що необхідно брати до уваги під час збирання та транспортування. До того ж корпус звичайного світлодіода робить свій внесок у відведення тепла, що виділяється чипом. У разі CSP цю функцію повинні взяти на себе контактний майданчик і друкована плата. Для забезпечення належної теплопередачі, особливо за високої теплової потужності, необхідно ретельно вибирати як конструкцію, так і матеріали друкованої плати.

## НОВИЙ ТИП СВІТЛОДІОДУ

У новій конструкції світлодіода (рис. 1) взяті на озброєння переваги світлодіодів, призначених для автомобільної промисловості, де дуже важливі висока яскравість та невелика світловипромінююча поверхня, а також висока надій-



**Рис. 1. Нове сімейство світлодіодів компактне та ефективне**



**Рис. 2. Новий світлодіод у розрізі**

ність та тривалий термін служби. Зовнішні розміри компонента становлять 2.4×2.4 мм. Він поєднує переваги CSP-світлодіодів (невеликий розмір компонентів, невелику світловипромінюючу поверхню та високу яскравість) з перевагами добре відомих потужних корпусних світлодіодів.

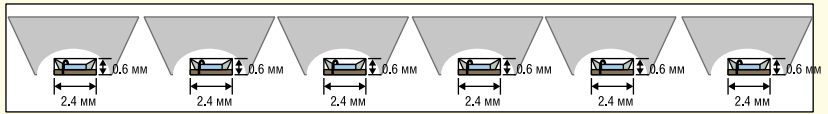
На рисунку 2 показаний новий, вдосконалений компактний світлодіод у розрізі. Високоєфективний чип із поверхневим випромінюванням (3) встановлений на вивідну рамку (4). На вивідній рамці відліто пластиковий термостійкий корпус (5). Для забезпечення тривалого терміну служби чип покритий інкапсулянт (1, жовтий) на основі спеціального силікону та новітніх матеріалів для перетворення випромінювання. Для контакту із чипом на верхній стороні використовуються золоті перемички (2). Борттик (6) на верхній частині корпусу використовується для відбиття світла назовні. Діод захищений від електростатичного розряду (7) забезпечує захист до 8 кВ.

**ОПТИКА**

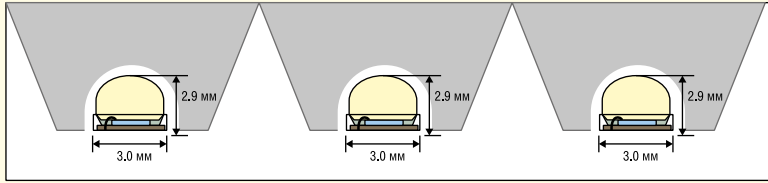
Завдяки своєму невеликому розміру (2.4×2.4 мм) та малій площі випромінювання (2.1×2.1 мм) стає можливим використання вторинної оптики невеликих розмірів. Це допомагає значно скоротити необхідний простір та загальні витрати (рис. 3).

З використанням нового світлодіода було розроблено та створено невели-

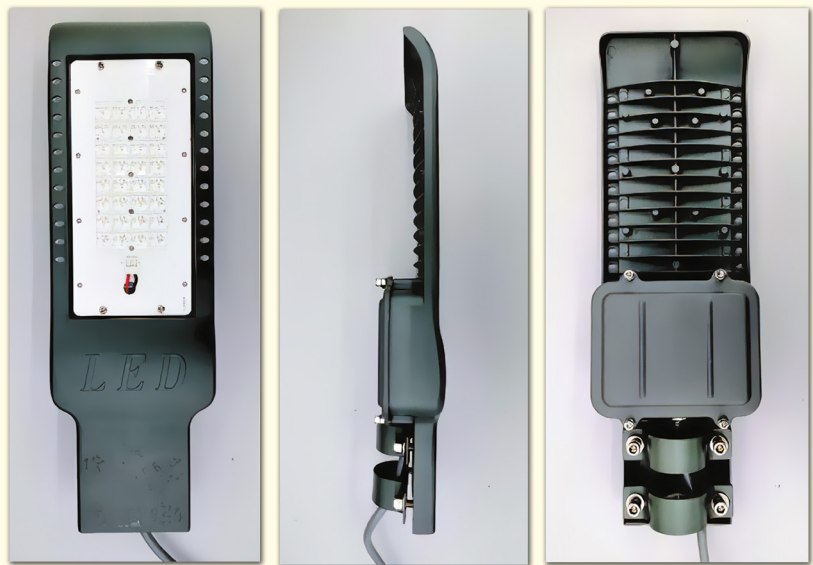
**Вторинна оптика для плоских CSP-світлодіодів**



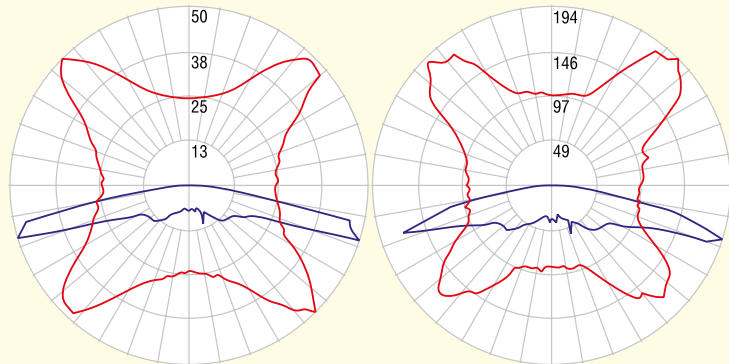
**Вторинна оптика для світлодіодів з первинною лінзою**



**Рис. 3. Порівняння необхідного простору для вторинної оптики CSP-світлодіодів (вгорі) та світлодіодів з первинною лінзою (внизу)**



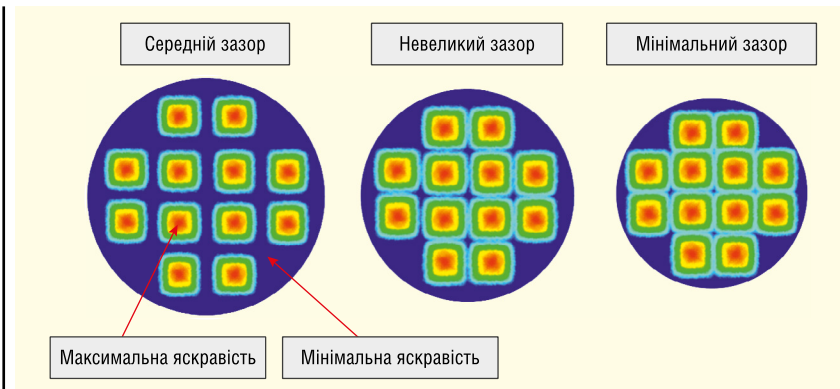
**Рис. 4. Прототип компактного вуличного світильника на основі 32 світлодіодів зі світловим потоком 10 000 лм**



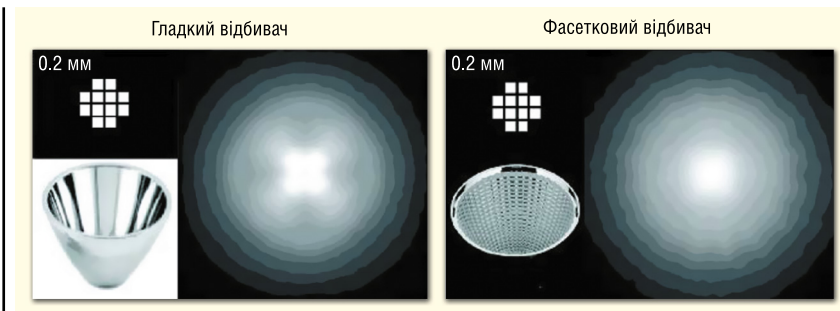
**Рис. 5. Розподіл сили світла одного світлодіода 7070 (ліворуч) та матриці з чотирьох світлодіодів Osconiq C2424 (праворуч)**

кий компактний прототип вуличного світильника (рис. 4). Цей прототип, маючи 3 світлодіоди у поєднанні зі стандартною оптикою для вуличних світильників, досягає світлового потоку 10 000 лм.

Ефективність усієї системи, включаючи електронний драйвер, становить 125 лм/Вт. Прототип має зовнішні розміри 36×11.5 см та товщину всього 5 см. Вид прототипу збоку показує, наскільки



**Рис. 6.** Розподіл яскравості світлодіодних матриць з різними відстанями між світлодіодами



**Рис. 7.** Фасетковий відбивач (праворуч) повністю згладжує проєкцію від окремих 12 світлодіодів

можна зменшити розміри та вагу за допомогою цієї нової технології.

Важливою особливістю нових CSP-світлодіодів є невеликі розміри та площа випромінюючої поверхні, що дозволяє збирати їх у компактні матриці. Матриці з чотирьох світлодіодів можуть замінити надпотужні світлодіоди 7070 або 5050 із сумарним потоком більше 1000 лм при тому ж оптичному розмірі. За допомогою моделювання виконано порівняння світлодіода 7070 та матриці з чотирма (2×2) світлодіодами 2424, з використанням тієї ж оптики (рис. 5). Відстань між світлодіодами у матриці становила 0.4 мм.

Хоча оптика була оптимізована для світлодіода 7070, діаграми спрямованості виглядають аналогічно. «Старий» світлодіод 7070 досягає оптичної ефективності 78%, у той час як матриця з чотирма новими світлодіодами — 82%.

При більшій кількості світлодіодів у матриці вони можуть навіть замінити COB світлодіоди (чип-на-платі).

На рисунку 6 показано, що чим менше проміжок між світлодіодами, тим менша випромінююча поверхня і тим вища однорідність. Можна також порівняти матриці з 12 світлодіодів, показані на рисунку 6, при встановленні різної вторинної оптики. Із застосуванням гладкого вузькоградусного відбивача

з'являються проєкції окремих світлодіодів, проте використання фасеткового відбивача дозволяє уникнути такого ефекту (рис. 7).

### ТЕПЛОВИЙ РОЗРАХУНОК

Вимірювання температури в точці паяння окремого світлодіода саме по собі є складним завданням, але визначити температуру в точці паяння світлодіода в матриці ще складніше. Оскільки при монтажі світлодіода на друковану плату контактні майданчики

Фактична $T_s$	$T_{mp}$ анода	$T_{mp}$ катода	$T_{mp}$ теплового контакта
46.6	26.3	42.0	41.6

повністю «приховуються», важко виміряти температуру в точці пайки  $T_s$ . Якщо температура  $T_s$  одиночного світлодіода вимірюється за допомогою термопар, її розташування дуже важливе. На рисунку 8 показано моделювання розподілу температури на контактних майданчиках. Вимірювання у різних точках показують різні значення температури (рис. 8, табл. 1).

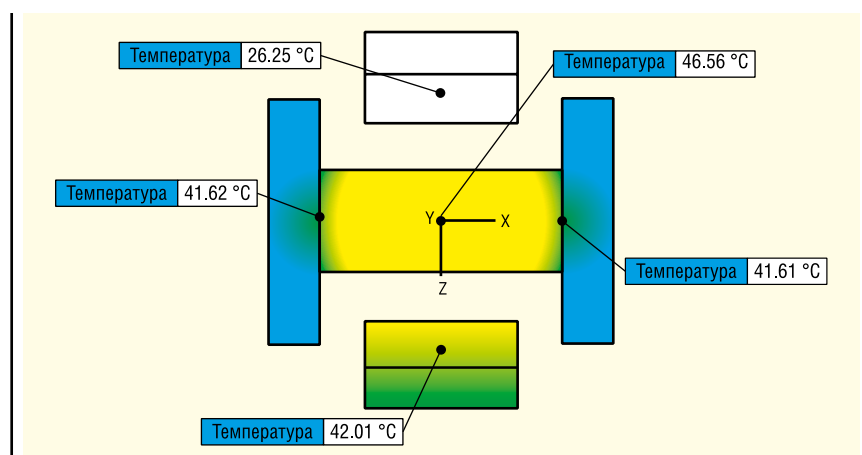
Температуру напівпровідникового переходу світлодіода можна розрахувати за такою формулою:

$$T_j = T_{mp} + I_f \times V_f \times R_{th Jmp el} \quad (1)$$

де:  $T_j$  — температура напівпровідникового переходу;  $T_{mp}$  — температура точки вимірювання;  $R_{th Jmp el}$  — тепловий опір між напівпровідниковим переходом і точкою паяння (електричний);  $I_f$  — прямий струм світлодіода;  $V_f$  — пряма напруга світлодіода.

Значення теплового опору наведено у таблиці 2.

Аналогічним чином необхідно визначити температуру світлодіодів у матриці. У центрі матриці неможливо забезпечити великі розміри мідних майданчиків, необхідних для розсіювання тепла. З цієї причини особливої важливості набувають теплові характеристики друкованої плати. Тепло від центральних світлодіодів має відводитися безпосередньо через плату, що робить її теплопровідність найважливішим фактором у тепловому розрахунку. Теплопровідність плати має бути достатньою, щоб належним чином відводити тепло від світлодіодів.



**Рис. 8.** Розподіл температури на контактному майданчику



Таблиця 2. Зведені значення електричного теплового опору для різних конструкцій друкованих плат

Технологія ДП		GW PLLRA1.PM		GW PLLRA1.EM		GW PLLRA1.CM	
Опис	Мідна фольга	Алюмінієва ДП					
		$R_{th\ SB\ el}$	$R_{th\ Jmp\ el}$	$R_{th\ SB\ el}$	$R_{th\ Jmp\ el}$	$R_{th\ SB\ el}$	$R_{th\ Jmp\ el}$
<b>Алюмінієва ДП</b>							
Діелектрик 38 мкм (3.0 Вт/мК)	35 мкм	3.2	4.6	3.4	4.8	3.7	5.2
Діелектрик 38 мкм (3.0 Вт/мК)	70 мкм	3.0	4.5	3.2	4.8	3.5	5.1
Діелектрик 75 мкм (2.2 Вт/мК)	35 мкм	5.6	4.9	6.0	5.2	6.4	5.6
Діелектрик 100 мкм (1.3 Вт/мК)	35 мкм	9.7	5.0	10.3	5.3	11.1	5.8
<b>СМЕЗ з отворами для тепловідведення</b>							
9x крок 1 мм отвору D 0.6 мм	35 мкм	10.1	5.2	10.8	5.4	11.5	6.0
<b>FR4 з отворами для тепловідведення</b>							
9x крок 1 мм отвору D 0.6 мм	35 мкм	10.3	5.2	11.0	5.4	11.7	6.0

## ТЕРМІН СЛУЖБИ ТА НАДІЙНІСТЬ

Щоб довести надійність нових світлодіодів, їх необхідно піддати різним випробуванням. Випробування на термін служби в режимі, що встановився, до 1500 мА і за температури навколишнього середовища +125 °С показують, що цей компонент здатний витримувати високі навантаження при експлуатації. Температурні цикли -40...+125 °С доводять, що він підходить для роботи за високої різниці температур, яка може виникнути при використанні поза приміщеннями, наприклад, у вуличних світильниках.

Випробування за високої вологості та у присутності сірководню показують, що цей світлодіод легко витримує суворі умови докільця. Тривалі випробування в режимі, що встановився, тривалістю понад 20 000 год показують, що термін служби може становити 100 000 год і більше, навіть при високому струмі і високих температурах.

## ПЕРСПЕКТИВИ

Досягнення у світлодіодній технології дозволили не лише значно покращити

характеристики та термін служби світлодіодів, а й суттєво підвищити їхню енергоефективність. Крім того, впровадження CSP світлодіодів принесло розробникам світильників низку переваг та нових можливостей. Невеликий розмір, мала світловипромінююча поверхня та висока яскравість дозволяють використовувати компакту вторинну оптику. Проте виникає питання про те, в якому напрямку рухатиметься технологія найближчими роками. Чи зможуть вуличні світильники завтрашнього дня стати розумними?

На сьогодні завдяки інтеграції матриці CSP світлодіодів або мікропіксельних світлодіодів з 1 000 або більше індивідуально керованими пікселями вже можна не тільки забезпечувати класичне освітлення тротуарів, але і створювати прості проєкції.

Крім того, стає можливою розробка динамічного освітлення, що йде за пішоходами, доки вони не дійдуть до наступного ліхтаря. Аналогічним чином, поєднання освітлення з технологією 5G має потенціал у міських районах, де платформу, що живиться електрикою, можна буде легко підключити до інших модулів, наприклад, як антени 5G. **CNY**



**Офіційний дистриб'ютор**

**BETTERFUSE**

You build electronics, We safeguard them!





**Захист від перевантаження по струму**  
(серія запобіжників, запобіжники SMD, відновлювані запобіжники)



**Комплексний захист від перевантаження по струму і високій температурі**  
(серія BTU потужність 0.5, 1 і 2 Вт)



**Захист від високої температури**  
(серія запобіжників та серія термостатів)



**Захист від перенапруги**  
(супресори обмежувачі електростатичного заряду та напруги)



**Акcesуари для запобіжників**  
(термінали, кліпси та тримачі запобіжників, утримачі панелей)

**Тел. 044-3-922-911**  
**E-mail: sales.int@altwaygroup.com**

**Altway Electronics, Inc.**  
5970 Unity Drive Suite E,  
Norcross, GA 30071, USA  
[www.altwaygroup.com](http://www.altwaygroup.com)

# TE Connectivity: «розумний» світ починається з «розумного» освітлення

Володимир Рентюк

За останнє десятиліття світлодіодне освітлення стало реальністю, яке вигідно відрізняється від інших систем своєю економічністю, надійністю, керованістю, причому не лише за яскравістю, а й за кольором. З внутрішнього побутового освітлення воно крокує в офіси, на підприємства та на вулиці. Однак якщо світлодіодні лампи побутового освітлення — це в своїй основі ретрофітні виробы невеликої потужності з вже вбудованим малопотужним драйвером, виконані під стандартні патрони E27 або E14, які дісталися нам у спадок ще від Едісона (E — це Edison Screw type), то з вуличним освітленням, яке характеризується більшою потужністю і експлуатується в жорсткому зовнішньому середовищі, ситуація інша — тут потрібні потужний драйвер та відповідне підключення. У статті розглядаються пристрої для організації внутрішнього та зовнішнього підключення в системах «розумного» світлодіодного вуличного освітлення від компанії TE Connectivity, яка до 2011 року відома як Tусо Electronics, а ще раніше TУСО<sup>1</sup>.

## ВСТУП

В одній відомій книзі йдеться про те, що спочатку була темрява, а потім — «світло», яке було названо «днем», а «темрява» — залишилася «вночі». Творець, як ми знаємо, не пішов далі за організацію економного, на нашу думку, природного освітлення, запропонувавши для цього зірки і непостійний Місяць, але людина, як креативна істота, та ще й створена «за образом і подобою», внесла в це свої корективи. Перефразовуючи відомий вираз, можна сказати: «І стало світло. І побачила людина світло, що воно добре, і відокремилася людина світло від темряви». Але для цього потрібен час і не малий, і зараз ми маємо те, що космонавти, астронавти та тайконавти, а може, і не тільки вони, бачать із космосу (рис. 1).

Системи вуличного освітлення є не окрасою міст, а нагальною потребою мало не з часу їх виникнення. Якщо вірити «Вікіпедії», найперші вуличні ліх-

(в деяких містах частина каналів досі не огорожена).

## СВІТЛОДІОДНЕ ОСВІТЛЕННЯ ТА ЙОГО ПРОБЛЕМИ

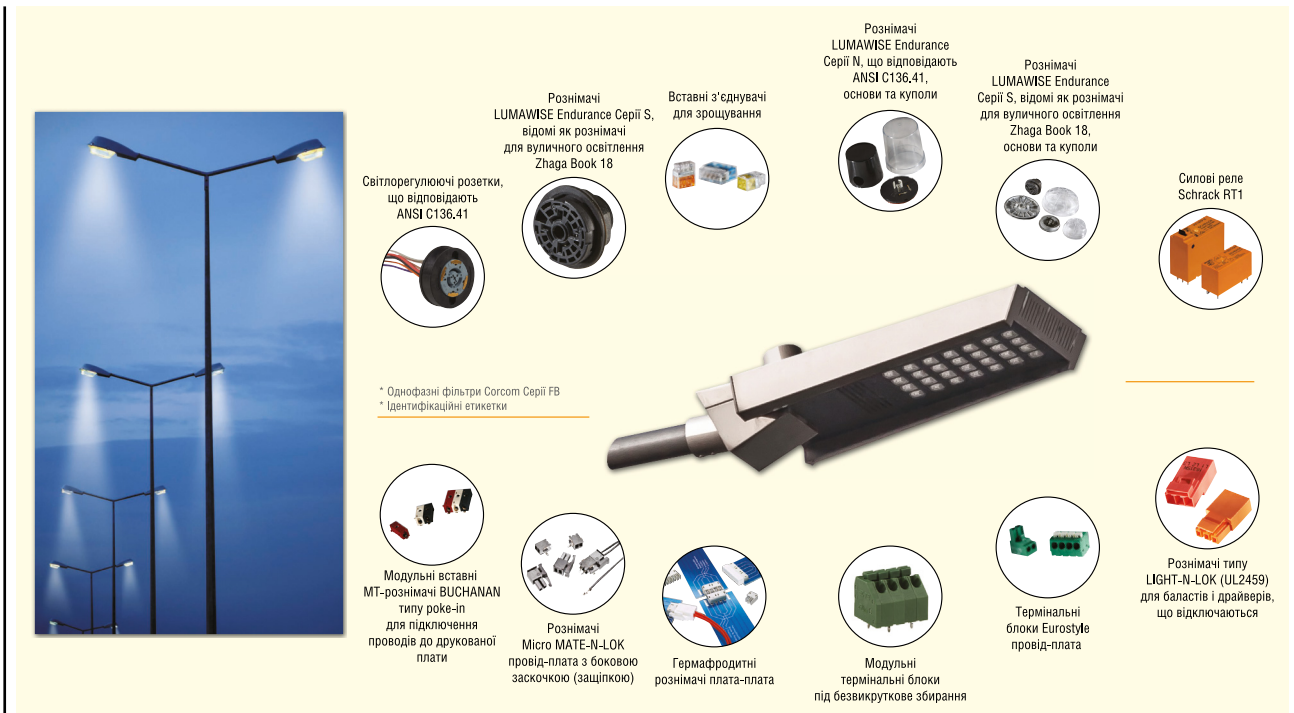
Однак масовий розвиток систем освітлення пов'язаний з електрикою, і тепер він перейшов на новий рівень, чому сприяла технологія створення над'яскравих світлодіодів (історія створення світлодіода в [1]). Основна їх перевага в тому, що на відміну від ламп розжарювання, в яких 95% потужності, що підводиться, йде в тепло і лише 5% у світлову енергію, зі світлодіодами все навпаки — вони більше світять, ніж гріють. Окрім чистої економіки, вирішується ще одне не менш важливе завдання — екологічне. І хоча енергоспоживання поменшало, оскільки ми ще не повністю відмовилися від використання викопної сировини, але скоротилися викиди вуглекислого газу в атмосферу, а більш тривалий термін служби світлодіодів призводить до меншого засмічення середовища при їх утилізації, до того ж вони не містять парів ртуті та виконані

тарі з'явилися в 1417 році за розпорядженням мера Лондона Генрі Бартонна. А перша система міського вуличного освітлення була створена на 200 років пізніше в Амстердамі з метою не стільки освітлення, скільки для допомоги у боротьбі зі злочинністю та для того, щоб ночами городяни не падали в канали



Рис. 1. Вид Землі з космосу вночі

<sup>1</sup> TE Connectivity — назва бренду, а не юридичної особи.



**Рис. 2. Сучасний вуличний світильник системи «розумного» освітлення та його складові від компанії TE Connectivity**

відповідно до вимог Директиви RoHS, втім, стосовно пайки тут далеко не все так однозначно [2], проте *durum lex, sed lex* («закон є закон»).

Однак зі світлодіодним освітленням пов'язані не лише приємні моменти, але й проблеми, частина яких потребує технологічного та схмотехнічного вирішення самих світлодіодів та драйверів, — це проблема синього світла та мерехтіння [3]. Ще одне питання пов'язане з конструктивним виконанням — це насамперед відведення тепла та формування потрібного світлового потоку, для чого необхідна розробка оптичної системи як самого світлодіода, так і системи загалом [4]. Розгляд власне систем освітлення до завдання статті не входить, у цьому плані нас буде цікавити один звичайний, але вкрай важливий елемент.

Якщо ми подивимося на системи зовнішнього і особливо вуличного освітлення, то, крім перерахованих раніше, тут є ще одна проблема, і, як це не дивно, це надійність.

Надійність? Чи не правда, звучить дещо дивно, адже термін служби світлодіодів становить десятки тисяч годин! І саме це є перевагою таких освітлювальних систем. Світлодіодів — так, які використовуються в драйверах напівпровідникових приладів та дискретних компонентів — ще більше. Але як визначається надійність? При її розрахунку всі елементи видаються послі-

довним ланцюжком, простіше кажучи де тонко, там і рветься. І в системах освітлення є елемент (а в системі вуличного освітлення він не один), який може нівелювати всі ці десятки тисяч годин напрацювання на відмову світлодіодів та електронної начинки, — йдеться про рознімачі. Як кажуть фахівці з надійності, «надійність пристрою — це надійність з'єднань». І такий копійчаний, в порівнянні з рештою системи освітлення, елемент, як рознімач, стає в даному випадку критичним. і до його вибору слід ставитися з усією відповідальністю. Отже, брати його слід у виробника, що повністю гарантує якість своєї продукції, і у постачальника, який відповідає за відповідність бренду, що називається, своєю головою. Таким виробником є компанія TE Connectivity, а постачальниками її авторизовані реселери.

Компанія TE Connectivity, яка раніше відома як Tyco Electronics і входила до складу концерну Tyco International, не новачок на ринку компонентів електроніки, у тому числі і для систем світлодіодного освітлення. Це багатопрофільний міжнародний концерн, зареєстрований у Швейцарії і має штаб-квартиру в Принстоні, Нью-Джерсі, США (Tyco International (US) Inc.). Компанія була заснована в 1960 році (засновник Arthur J. Rosenberg) і в перші два роки займалася в основному лабораторними дослідженнями на замовлення уряду США. І лише 1962 року вийшла на ко-

мерційний ринок. Спочатку складалася з двох підрозділів: Tyco Semiconductors та лабораторії з дослідження матеріалів, але досягла успіхів і швидко виросла до п'яти умовно самостійних компаній. У червні 2007 року концерн Tyco був поділений на три формально незалежні компанії: Covidien Ltd. (колишня Tyco Healthcare), Tyco Electronics Ltd. та Tyco International Ltd. (колишня Tyco Fire & Security and Tyco Engineered Products & Services).

Корпорація TE Connectivity займає провідні позиції на ринку протягом 60 років і є світовим постачальником електронних компонентів для тисяч одиниць побутової та промислової продукції, мережних рішень, систем для телекомунікацій та енергетики, бездротових систем для спеціалізованого зв'язку, радарів та оборонного комплексу. TE Connectivity випускає продукцію для автомобілебудування, побутової техніки, авіакосмічної та оборонної промисловості, телекомунікацій, комп'ютерів та побутової електроніки. У її номенклатурі представлено понад 500 тис. найменувань, за якими стоїть праця її 94 тисяч співробітників у 20 країнах світу, які відповідають за якість та високу ефективність кожного виробу чи послуги. Що ж може запропонувати компанія TE Connectivity щодо вирішення проблем надійності внутрішніх та зовнішніх підключень у системах «розумного» вуличного освітлення?

## СВІТЛОДІОДНИЙ СВІТИЛЬНИК ЯК СИСТЕМА

Якщо ми подивимося на світлодіодний світильник, призначений не для побутового, а для вуличного, цехового або офісного освітлення, то побачимо, що такий прилад є системою, що складається з:

- джерел живлення та перетворювачів напруги;
- драйверів світлодіодів;
- ланцюгів контролю та керування;
- засобів для відведення тепла;
- безпосередньо світлодіодів;
- лінз або інших оптичних елементів для змішування, розсіювання та направлення світла.

Для отримання повнішої інформації саме щодо систем світлодіодного освітлення можна звернутися, наприклад, до [5], а варіанти їх застосування описані в [6]. А ми розглянемо елементи типового вуличного світлодіодного світильника системи «розумного» освітлення, що цікавлять нас у рамках цієї статті. Такий світильник і його складові, що цікавлять нас, запропоновані компанією TE Connectivity, показані на рисунку 2.

А тепер докладніше зупинимося на деяких компонентах, які пропонуються для систем «розумного» освітлення компанією TE Connectivity.

## ВСТАВНІ З'ЄДНУВАЧІ PUSH GRIP WIRE SPLICE CONNECTOR

Вставні з'єднувачі серії PUSH GRIP WIRE SPLICE CONNECTOR (рис. 3) є ізолюваними з'єднувачами для зрощування проводів в електроустановках. Ці вставні з'єднувачі, що не вимагають інструментів, підходять для одножильних та багатожильних проводів і легко встановлюються в системах освітлення та скрізь, де потрібно надійно та просто з'єднати проводів ланцюги. Для полегшення ідентифікації з'єднувальні елементи цього типу мають кольорне кодування, а компактний розмір робить їх оптимальним вибором для застосування в обмеженому просторі.



**Рис. 3. Вставні з'єднувачі серії PUSH GRIP WIRE SPLICE CONNECTOR**

рі. З'єднувачі оснащені тестовим слотом для контролю напруги, допускають підключення різних діаметрів проводів до одного стикового з'єднання, а виконання корпусу з прозорого полікарбонату забезпечує візуальний контроль термінації, що є великою перевагою.

Основні технічні характеристики та переваги:

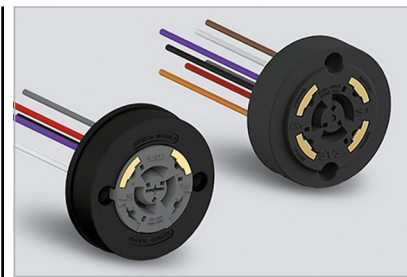
- виконання: 2, 3, 4, 5 та 6 позицій з кольорним кодуванням;
- номінальна робоча напруга: 600 В постійного та змінного струму;
- початковий контактний опір: не більше 25 мОм;
- контактний опір наприкінці терміну експлуатації: трохи більше 100 мОм;
- діапазон робочих температур:  $-40...+105$  °C;
- сортамент проводів, що підключаються:
  - одножильні: від 2.5 мм<sup>2</sup> (14 AWG) до 0.5 мм<sup>2</sup> (20 AWG);
  - багатожильні: 18 жил або менше, від 2.5 мм<sup>2</sup> (14 AWG) до 1.5 мм<sup>2</sup> (16 AWG);
  - багатожильний: 7 або менше жил, 1 та 0.75 мм<sup>2</sup> (18 AWG).

## СВІТЛОРЕГУЛЮЮЧІ РОЗЕТКИ, ЩО ВІДПОВІДАЮТЬ ANSI C136.41

Світлорегулюючі розетки LUMAWISE Endurance серії N (рис. 4), що відповідають NEMA/ANSI C136.41, забезпечують електричне та механічне з'єднання між фотоелементом ANSI C136.41-2013 та світильником. Розетка, що відповідає стандарту ANSI C136.41, оптимальна для зовнішнього комерційного та комунального освітлення, доступна з двома або чотирма світлорегулюючими контактами для підтримки світлорегулювання 0–10 В постійного струму або цифрового адресного інтерфейсу освітлення (DALI), забезпечуючи при цьому надійне з'єднання живлення міцними контактами із поворотним замком (twist lock).

Основні технічні характеристики та переваги:

- підтримує стандартні кришки, фотоелементи та інші елементи керування, які забезпечують підключення до світильника;
- доступна із двома або чотирма контактами регулювання яскравості для підтримки протоколів одно- або двоканального світлорегулювання;
- міцні контакти із поворотним замком (twist lock) для надійного підключення живлення;



**Рис. 4. Світлорегулюючі розетки LUMAWISE Endurance серії N**



**Рис. 5. Елементи систем керування вуличним освітленням, що відповідають NEMA/ANSI**

- розетка поставляється з дрітними виводами для полегшення інтеграції в нові або існуючі освітлювальні прилади;
- доступний із ізоляцією проводів, розрахованих на температуру  $+105$  і  $+150$  °C;
- поворотна версія повністю обертається на 355°.

## ЕЛЕМЕНТИ СИСТЕМ КЕРУВАННЯ ВУЛИЧНИМ ОСВІТЛЕННЯМ, ЩО ВІДПОВІДАЮТЬ NEMA/ANSI

У складі елементів керування вуличним освітленням LUMAWISE Endurance N та аксесуарів (рис. 5) є основа в зборі, що сумісна з NEMA/ANSI, діаметром 76 і 81 мм і купольна кришка, що забезпечує інтегроване рішення, що поєднує живлення та інтерфейс сигналу між пристроєм керування освітленням та розеткою затемнення. Збірка забезпечує захист зі ступенем IP66, що оберігає від суворих умов, у тому числі дощу, снігу та сольових бризок.

Основні технічні характеристики та переваги:

- забезпечує довгострокову надійність, використовуючи перевірений інтерфейс передачі та сигналу;
- напівпрозорі кришки дозволяють передавати світло на світлочутливі пристрої;
- забезпечує захист від пилу та сильних бризок за допомогою рішення зі ступенем захисту оболонкою IP66;

- відповідає класу пожежної безпеки з кришкою з рейтингом UL 94 5-VA;
- втулки розроблені з бічними або верхніми вікнами (апертурою) для розміщення спрямованих світлочувливих пристроїв;
- наявність вентиляційного отвору в базових вузлах забезпечує тривалий термін служби електроніки, розміщеної всередині корпусу.
- високий захист від ударів: рейтинг IK09;
- гнучке монтажне положення: вгору, вниз та в сторони;
- масштабоване рішення дозволяє використовувати фотоелемент  $\varnothing 40$  мм і CMS  $\varnothing 80$  мм з тим самим інтерфейсом підключення;
- конструкція вставних контактів знижує логістичні проблеми;
- до рознімачів поставляються основи та куполи;
- сертифікація: CB.

## РОЗНІМАЧІ ZHAGA ДЛЯ ВУЛИЧНОГО ОСВІТЛЕННЯ

Рознімачі LUMAWISE Endurance серії S (рис. 6), відомі як рознімачі для вуличного освітлення Zhaga Book 18, спрощують архітектуру вуличного освітлення, усуваючи потребу у допоміжних модулях та відповідній проводці. Рознімачі Zhaga складаються зі стандартного інтерфейсу розеток на освітлювальній арматурі, а також компонентів у вигляді основи і купола, які об'єднуються для розміщення модуля керування. Інтегральні прокладки, доповнені конструкцією сполучення з низьким обертаючим моментом, герметизують світильник і модуль. До тієї ж розетки можна підключати модулі, побудовані на основі діаметром 40 або 80 мм. Стійкі до ультрафіолетового випромінювання матеріали та конструкція, яка здатна протистояти сильним ударам, — гарантія надійного вуличного освітлення за допомогою цих рознімачів.

Основні технічні характеристики та переваги:

- компактний розмір, що забезпечує велику гнучкість під час проектування світильників;
- покращена герметизація для досягнення IPx5 та IPx6 без монтажних гвинтів;
- проста вставка та поворот для фіксації, відсутність необхідності в інструментах, а встановлення однією рукою дозволяє легко та швидко модернізувати світильники;



Рис. 6. Рознімачі LUMAWISE Endurance серії S

## МОДУЛЬНІ ВСТАВНІ SMT-РОЗНІМАЧІ BUCHANAN ТИПУ ROKE-IN ДЛЯ ПІДКЛЮЧЕННЯ ПРОВІДІВ ДО ДРУКОВАНОЇ ПЛАТИ

З'єднувачі BUCHANAN типу roke-in (рис. 7) призначені для організації з'єднань типу «провід-плата». Провідники для підведення живлення лудяться та вставляються у з'єднувач, розташований на платі, де фіксуються конструктивними елементами з'єднувача. Для роз'єднання необхідно докласти певне зусилля, яке, як передбачається, не може виникнути мимоволі від вібрації та ударів. Функціонально є альтернативою не тільки клемним з'єднувачам, що часто застосовуються, але й традиційним рознімачами типу «плата-кабель». З'єднувачі BUCHANAN типу roke-in зручніші під час експлуатації, а їх низький профіль дає переваги для виробів з обмеженням по висоті. Контакти виготовлені з мідного сплаву з олов'яним покриттям.

Основні технічні характеристики та переваги:

- спрощення з'єднання світлодіодних модулів;
- низькопрофільна конструкція;
- широка кольорова гама;
- можливість автоматичного встановлення;
- мінімальне зусилля роз'єднання: 20 Н;
- доступні гнізда з низьким зусиллям з'єднання;
- номінальна робоча напруга: 400 В змінного струму;
- електрична міцність: 1500 В змінного струму;
- діапазон робочих температур:  $-40...+105$  °C.

## РОЗНІМАЧІ MICRO MATE-N-LOK

Низькопрофільні рознімачі Micro MATE-N-LOK (рис. 8) є однією з моди-

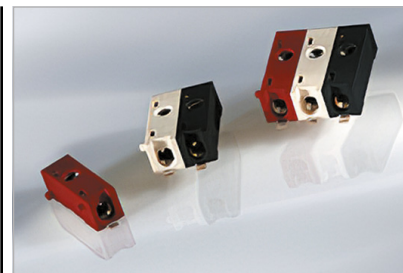


Рис. 7. З'єднувачі BUCHANAN типу roke-in



Рис. 8. Низькопрофільні рознімачі Micro MATE-N-LOK

фікацій системи MATE-N-LOK широкого застосування з обтискними контактами. До особливостей системи MATE-N-LOK відносяться наявність механічного ключа на кожному контакті, що забезпечує правильну взаємну орієнтацію вилки та розетки, та наявність спеціального замкового пристрою у вигляді бічної засточки (защіпки), що забезпечує надійну фіксацію вилки та розетки в з'єднаному стані. Рознімачі Micro MATE-N-LOK мають висоту приблизно на 45% меншу, ніж у інших представників цього сімейства. Сімейство включає кутові рознімачі для поверхневого монтажу і відповідні кабельні рознімачі. У рішеннях для систем освітлення використовуються стандартні контакти із фосфористої бронзи з покриттям із олова або золота мікро MATE-N-LOK із зусиллям роз'єднання 6.7 Н (макс.).

Основні технічні характеристики та переваги:

- однорядне виконання: 2, 3 та 4 контакти;
- нейлоновий корпус у чорному або натуральному кольорі;
- клас пожежної безпеки: UL94V-0;
- висота установки: не більше 4.7 мм.
- поляризовані корпуси допомагають запобігти неправильному підключенню рознімачів;
- стандартні контакти Micro MATE-N-LOK;

- сортament дротів під обтискання: 24–20 та 30–26 AWG;
- номінальна робоча напруга: 250 В (5 А) постійного та змінного струмів.
- контактний опір наприкінці терміну експлуатації: трохи більше 20 мОм.
- опір ізоляції: не менше 1000 МОм.
- діапазон робочих температур: –40...+105 °С.

### ГЕРМАФРОДИТНІ РОЗНІМАЧІ «ПЛАТА-ПЛАТА»

Відмінна риса даного сімейства (рис. 9) — відсутність рознімачів типу «вилка» і «розетка», звідси — гермафродитні. Кожен рознімач має однакову кількість контактів «гніздо» та «штекер». Відповідно, електричне з'єднання утворюється з'єднанням двох ідентичних рознімачів одного типу. Контакти «штекер» є однією металевою пластиною (Blade). Контакти «гніздо» складаються з двох пружних пластин, що забезпечує надійний електричний контакт. Для взаємної фіксації блокової та кабельної частини рознімача використовується замкова конструкція, що виключає мимовільне роз'єднання.

Основні технічні характеристики та переваги:

- кількість контактів: 2, 4 або 6;
- крок між контактами: 4 мм по центральній лінії;
- кабельні виконання призначені для провідників сортаменту AWG 22–18, з'єднання провідника з контактом обтискне;
- максимальне значення струму для кожного контакту: до 6 А;
- спрощення збирання за допомогою вертикальних або горизонтальних з'єднань: з'єднувач може повертатися під кутом 90–180°;
- гнучкість конструктивних рішень за допомогою варіантів підключення плата-плата або провід-плата;

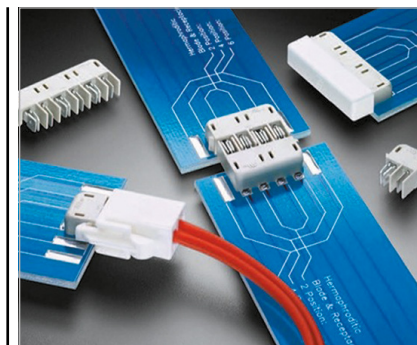


Рис. 9. Гермафродитні рознімачі «плата-плата»



Рис. 10. Однокомпонентні модульні безвинтові термінальні блоки

- низькопрофільний рознімач із закругленими кутами, що виключають затемнення;
- висока стійкість до вібрації та навантажень на дроти завдяки примусовій фіксації;
- вибір золотого покриття унеможливує фретинг-корозію, викликану мікрорухом у жорстких умовах середовища, характерного для вуличного світлодіодного освітлення;
- низькопрофільна конструкція, сумісна з поверхневим монтажем та паюванням оплавленням;
- номінальна робоча напруга: 125 В постійного або змінного струму.

### СЕРІЯ МОДУЛЬНИХ ТЕРМІНАЛЬНИХ БЛОКІВ ПІД БЕЗВИКРУТКОВЕ ЗБИРАННЯ

Однокомпонентні модульні безвинтові термінальні блоки (рис. 10) дозволяють легко вставляти та затискати провід. Функція вставного контакту без використання інструментів забезпечує швидке та просте встановлення, а компактна конструкція цих рознімачів робить їх оптимальним рішенням для застосування в обмеженому просторі. Широкий асортимент продукції забезпечує гнучкість дизайну.

Основні технічні характеристики та переваги:

- забезпечують швидке збирання без необхідності використання спеціального інструменту;
- економія місця завдяки компактній конструкції високої щільності;
- гнучкість конструктивного рішення кінцевого продукту завдяки широкому вибору варіантів;
- проста ідентифікація за допомогою конфігурації блоків із різними кольорами.

### РОЗНІМАЧІ ТИПУ LIGHT-N-LOK

Вставні з'єднувачі серії LIGHT-N-LOK (рис. 11) є пристроями для підключення провідів без допомоги інструментів,



Рис. 11. Вставні з'єднувачі серії LIGHT-N-LOK

придатними для відключення баласту та інших освітлювальних приладів. Компактна конструкція та проста установка в польових умовах — дві основні переваги рознімачів LIGHT-N-LOK. Функція вставного контакту без використання інструментів забезпечує швидке та просте встановлення, а компактна конструкція цих рознімачів робить їх відмінним рішенням для застосування в обмеженому просторі. Модульна технологія забезпечує гнучкість у дизайні (модульна версія).

Основні технічні характеристики та переваги:

- кількість контактів: 2, 3;
- просте та швидке встановлення без інструментів з функцією вставного контакту;
- економія місця з компактним дизайном;
- підтримка тесту на ненормальне навантаження із можливістю гарячої заміни (UL2459);
- проста ідентифікація за допомогою конфігурації блоків із різними кольорами;
- максимальне значення струму для кожного контакту: до 5 А;
- номінальна напруга: 600 В;
- сортament дротів:
  - стандартна версія: 22–18 AWG (0.33–0.75 мм<sup>2</sup>);
  - модульна версія із заскочкою (защипкою): 22–16 AWG (0.33–1.0 мм<sup>2</sup>);
  - версія з можливістю гарячої заміни з одножилним провідом: 18 AWG (0.75 мм<sup>2</sup>).

### СИЛОВІ РЕЛЕ SCHRACK RT1

Серія силових реле RT (рис. 12) була випущена на ринок компанією Schrack — одним із найбільших виробників електромеханічних реле. На даний момент Schrack входить до концерну TE. Висока продуктивність та конкурентоспроможна ціна дозволили серії RT стати галузевим стандартом, який досі

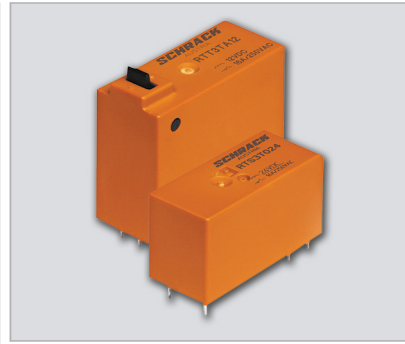


Рис. 12. Силові реле Schrack RT1

копіюється великою кількістю європейських та азійських виробників. Реле сімейства RT компанії TE Connectivity можуть монтуватися як на друковану плату, так і на колодки: або для DIN-рейки, або для друкованої плати в системах промислової автоматики. Доступні пускові, моностабільні та бістабільні версії. Реле випускаються в герметичному, бризко- та вологозахисному виконанні. Основні технічні характеристики серії силових реле RT1 представлені у таблиці 1.

## ОДНОФАЗНІ ФІЛЬТРИ ЕМП CORCOM

Фільтри Corcom (рис. 13) визнані у всьому світі як оптимальне з точки зору відношення ціна/якість рішення для фільтрації електромагнітних завад (ЕМЗ), як кондуктивних, так і випромінюваних, і вирішення проблем електромагнітної сумісності (EMC). Компанія TE Connectivity у своєму каталозі комерційно доступних продуктів пропонує широкий вибір більш ніж 70 серій фільтрів Corcom, які підходять для широкого спектру застосувань

у різних галузях промисловості. Всі фільтри Corcom спроектовані та протестовані на предмет сприйнятливості та/або викидів та отримали схвалення основних агентств з безпеки у всьому світі, включаючи UL, CSA та VDE.

Однофазні фільтри доступні з номінальним струмом 0,5–60 А з різними варіантами підключення клем, у тому числі конструкції для монтажу на шасі та плату, а також одноступінчасті та двоступінчасті фільтри.

Основні технічні характеристики та переваги фільтрів ЕМП серії FB:

- мережні фільтри серії FB спеціально розроблені для освітлювальних пристроїв, люмінесцентних ламп та відповідних освітлювальних баластів;
- підходять для програм, які потребують 277 В змінного або постійного струму;
- тип введення: провід;
- тип виходу: провід;
- струм витоку (макс.):
  - 120 В змінного струму, 60 Гц: 0.12 mA;
  - 250 В змінного струму, 50 Гц: 0.21 mA.

## АКСЕСУАРИ ДЛЯ ІДЕНТИФІКАЦІЇ

Етикетки типу WV (рис. 14) є оптимальними для круглих, нерівних або гнучких поверхонь, що робить їх придатними для маркування пристроїв. Вони також підходять для ідентифікації проводів і кабелів (охоплюючи їх), включаючи плоскі стрічкові кабелі, які піддаються багаторазовому вигину. Етикетки типу WV стійкі до мастил, слабких розчинників та води.



Рис. 13. Однофазні фільтри ЕМП Corcom



Рис. 14. Етикетки типу WV

Етикетки типу MP спеціально розроблені для маркування обладнання з детальною інформацією щодо продукту, а також табличок із серійними номерами, що робить їх надійним вибором для ідентифікації під час збирання систем освітлення. Етикетки типу MP стійкі до впливу різних промислових розчинників, зберігаючи при цьому чудову якість друку. Продукт вогнетривкий.

Термоусаджувальні трубки захищають з'єднання від стирання та корозії. Вони мають номери та забезпечують електричну ізоляцію, механічний захист, захист від впливу навколишнього середовища та розвантаження від напруги для захисту з'єднань типу скрутки, а також для ущільнення рознімача на задній панелі, захисту від роз'єднання розриву та переходу між рознімачем і кабелем.

Рішення компанії TE Connectivity для підключення розроблені для підвищення технологічності та прискорення виведення на ринок. Низькопрофільні, прості в установці розетки, пристрої для зрощування проводів, термінальні блоки і фільтри ліній електроживлення заощаджують час і легко інтегруються в нові або вже існуючі світлодіодні світильники. У постачаннях від компанії TE Connectivity передбачено буквально все — навіть етикетки та термоусаджувальна трубка для фіксації, що скорочує ланцюг поставок і спрощує логістику.

Для того, щоб забезпечити швидке впровадження підключених систем керування вуличним світлодіодним освітленням, компанія TE Connectivity використовує міжгалузевий інженерний досвід.

Таблиця 1. Основні технічні характеристики та переваги реле серії RT1		
Параметри	Тип реле RT1	
	12 А	16 А
<b>Контакти</b>		
Кількість контактних груп	Одна, на перемикання	
Тип контактних груп	Нормально розізнена	
Номінальний струм, А	12	16
Номінальна напруга, комутована напруга	250 В АС	
Максимальна комутована напруга	440 В АС	
Максимальна комутована потужність, В·А	3000	4000
Пусковий струм, макс. (4 с при тривалості включення 10%), А	25	30
Матеріал	AgNi 90/10, AgNi 90/10 позолочені	
<b>Котушка</b>		
Номінальна напруга спрацьовування	5–110 В DC	
	24–230 В АС	
Номінальна потужність увімкнення	DC	0,40 мВт
	АС	0,75 В мВт
Напруга спрацьовування/напруга відпускання/опір обмотки (приклад)	24 В DC	16.8 В/2.4 В/1440 Ом ±10%
	230 В АС	172.5 В/34.5 В/32 500 Ом ±10%

Її продукти скорочують час виведення на ринок, спрощують кінцеві рішення та знижують витрати за рахунок компактних з'єднань, пропозиції нових рішень та рішень, що модернізуються на місці.

Звичайно, в рамках оглядової статті неможливо уявити всю гаму продукції такої багатонаменклатурної компанії, як TE Connectivity. Крім того, подана інформація має довідковий характер. Детальні відомості щодо описаних в рамках цієї статті та інших комерційно доступних компонентів для систем «розумного» вуличного освітлення наведені на сайті компанії і доступні за посиланнями зі сторінки [7] або через гіперпосилання в [8]. Також усю необхідну інформацію можуть надати авторизовані реселери компанії.

## ВИСНОВОК

**Щ**о якби вуличні ліхтарі могли не лише «відокремлювати світло від темряви», перетворюючи темряву на день, а й контролювати якість повітря, могли б адаптуватися до погоди та трафіку дорожнього руху, попереджати відповідні органи управління та контролю про ту чи іншу надзвичайну ситуацію — і все це при керуванні з хмари? Чому б і ні?

Міста по всьому світу вже переходять на інтелектуальне керування, що передбачає не тільки зниження витрат на обслуговування і значне скорочення споживання енергії, але і «розумне» керування на основі аналітики великих даних та прогнозного обслуговування. І перехід на «розумні» системи вуличного освітлення тут відіграє не останню роль. У цьому напрямку компанія TE Connectivity, пропонуючи інтерфейси керування вуличним освітленням, рознімає живлення та даних, реле, фільтри для лінії електроживлення, є вашим партнером протягом усього процесу розробки таких систем. При цьому її індивідуальні рішення для міжз'єднань допоможуть створити стійку, продуктивну інфраструктуру розумного освітлення, без якого не буде і розумного світу, світу нашого підключеного майбутнього.

Компанія TE Connectivity має багаторічний досвід співпраці з підприємцями та інженерами, і її команда завжди готова допомогти вам у розробці ваших проєктів, як у нинішніх реаліях, так і в галузі інтелектуального висвітлення майбутнього. Маючи номенклатуру більш ніж півмільйона номерів компонентів і деталей, а також повний спектр продуктів, призначених для застосування

у світлодіодному вуличному освітленні, компанія TE Connectivity має у своєму розпорядженні все необхідне, щоб допомогти максимально скоротити витрати часу і сил і перейти від креслення до завершеного виробу, а потім і до швидкого його виведення на ринок.

Якщо вам необхідний унікальний продукт, компанія TE Connectivity може розробити і поставити його в стислі терміни. Чи потрібні зразки для перевірки рішень? Ви отримаєте їх безкоштовно та без будь-яких витрат на пересилання. Від проєктування та складання до встановлення та технічного обслуговування компанія TE Connectivity прагне вашого успіху, без якого неможливий і її успіх. Всесвітня мережа інженерів компанії пропонує найвищий стандарт як перед, так і післяпродажного обслуговування. Незалежно від того, де ви знаходитесь, ви можете бути впевнені, що фахівці компанії TE Connectivity будуть поруч, щоб допомогти з технічними проблемами та проблемами проєктування.

## Література:

1. Рентюк В. Светодиод — такой знакомый и неизвестный. Часть 1: история, особенности применения // «CHIP NEWS Украина». 2017. № 6.
2. Рентюк В. RoHS-директива — защита экологии или рынков? // Технологии в электронной промышленности. 2013. № 5.
3. Энергосберегающие лампы и их влияние на здоровье, или Потребитель на распутье. Часть 2 // Электрик. 2017. № 5.
4. Хюбнер М. Отражатели и линзы для использования в системах с твердотельными источниками света (SSL) // Полупроводникова светотехника. 2015. № 1.
5. Никитин А. Соединители для света: решения TE Connectivity в области светодиодного освещения // Новости электроники + Светотехника. 2013. № 1.
6. Рентюк В. Светодиод — такой знакомый и неизвестный. Часть 3. Почему светодиоды? Управление яркостью // «CHIP NEWS Украина». 2017. № 10.
7. Street & Area Lighting Solutions. [www.te.com/usa-en/industries/intelligent-buildings/applications/street-area-lighting.html](http://www.te.com/usa-en/industries/intelligent-buildings/applications/street-area-lighting.html)
8. LIGHTING APPLICATION GUIDE: A Smarter World Starts With Smarter Lighting, 2019 TE Connectivity, 1-1773977-9 05/19 Merit. [www.te.com/content/dam/te.com/documents/industrial/usa/1-1773977-5-ind-lighting-applicationguide.pdf](http://www.te.com/content/dam/te.com/documents/industrial/usa/1-1773977-5-ind-lighting-applicationguide.pdf)

## АКВАБОТИ — НАЙМ'ЯКІШІ СЕРЕД РОБОТІВ З М'ЯКИМ ТІЛОМ

Нещодавно дослідники з Національного університету Гонконгу та Національної лабораторії імені Лоуренса в Берклі створили новий вид роботів, які здебільшого складаються з рідини та є найм'якшими серед усіх інших роботів з м'яким тілом. Це, своєю чергою, робить роботів Aquabots дуже цінним інструментом для їх використання в біомедицині, екології тощо.

Створення роботів Aquabots стало можливим завдяки розробці спеціалізованого методу тривимірного друку в рідині, об'єднаного з технологією ATPS (aqueous two-phase assemblies), яка дозволяє створювати об'ємні структури, наслідуючи біологічні системи. У процесі створення робота в його тіло, що складається з гідрогелю, інтегруються магнітні наночастинки, що дозволяє керувати діями робота за допомогою зовнішніх магнітних полів.

Структура перших створених дослідних зразків роботів Aquabots дуже проста і невагадлива. А в майбутньому такий самий технологічний процес може бути використаний для створення більш складних роботів, здатних справлятися з виконанням більш складних завдань.

У далекій ще перспективі вчені бачать можливість створення простих трубчастих структур роботів, що мають приховану в них функціональність. Коли такий робот досягне місця призначення в живому організмі, він зможе буквально вирости собі додаткові компоненти-органи, призначені для виконання будь-якої конкретної задачі. Для цього будуть використовуватися розчинені в навколишній рідині матеріали, а після виконання поставленого завдання сам робот зможе повністю розчинитися в рідині, не залишаючи жодного сліду в організмі. Як вже згадувалося вище, основною сферою застосування роботів Aquabots стане медицина. Ці роботи можуть використовуватися для цільової доставки лікарських препаратів у задане місце тіла людини, провести процедуру відновлення біологічних тканин або тимчасово взяти на себе виконання функцій певних систем або органів організму, які пошкоджені травмою та захворюванням та знаходяться на стадії відновлення.

<https://techxplore.com>



# Машинне навчання – сьогодення технологія майбутнього

Дмитро Огоньков,

Адаптований переклад українською та технічне редагування:

Юлія Боярінова, к.т.н., доцент, кафедра СПіКСК, ФПМ, КПІ ім. Ігоря Сікорського

**Незважаючи на зростання популярності систем машинного навчання, тонкощі їхньої роботи залишаються поза увагою. У статті проаналізовано основні типи нейронних мереж та надано рекомендації щодо їх вибору.**

Машинне навчання (МН) — актуальна тема, яка стосується всього, що пов'язане з обчисленнями, починаючи з аналізу даних у хмарі та систем виявлення дефектних компонентів або друкованих плат і закінчуючи самокерованими автомобілями, що розпізнають особи та об'єкти. Як і системи штучного інтелекту (ШІ), системи машинного навчання дуже різноманітні, хоча мають однаковий принцип роботи: наперед визначена модель тренується, поступово покращуючи результати. Для навчання машини необов'язково розуміти глибокі процеси та принципи функціонування моделі. Модель — це інструмент досягнення поставленої мети.

Особливо виділяють системи глибокого навчання (Deep learning), що відрізняються складнішою структурою. Цей термін введений як скорочений варіант вираження «глибокі нейронні мережі» (deep neural networks, DNN). Процес навчання називається глибоким, оскільки структура штучних нейронних мереж складається з кількох вхідних, вихідних та прихованих шарів. Кожен шар перетворює вхідні дані на такі дані, які наступний шар може використовувати для прогнозування власного набору параметрів. Завдяки цій структурі система може вчитися самостійно. Глибокі нейронні мережі багатогранні — використовуються і як прості попередньо встановлені моделі, так і складні моделі, що враховують особливості конкретних проектів.

## БАЗОВІ ПОНЯТТЯ

Існують дві основні технології МН — експертні системи з використанням правил на зразок автоматів та нейронні мережі.

Експертні мережі все ще широко застосовуються та стають розумним рішенням для багатьох задач. Як правило, у них використовуються прості правила, які задають поведінку системи у відповідь на вхідні дані. Зазначимо, що такого типу системи, що самотренуються, не показали високих результатів. Експертні системи відрізняються швидкістю, точністю

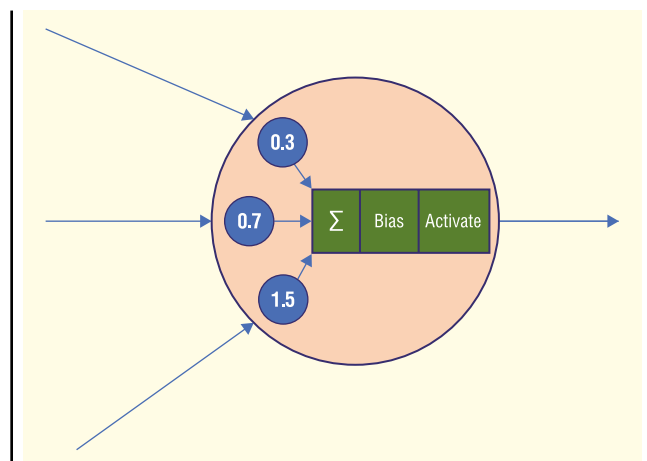
та високою ефективністю, якщо вони розроблені вірно. На жаль, побудова експертної системи є процесом, дуже витратним за часом.

У той же час нейронні мережі ґрунтуються на логічній моделі мозку, і такий підхід застосовується вже кілька десятиліть. У сучасному обладнанні він більш практичний і дозволяє реалізувати складні моделі машинного навчання та штучного інтелекту.

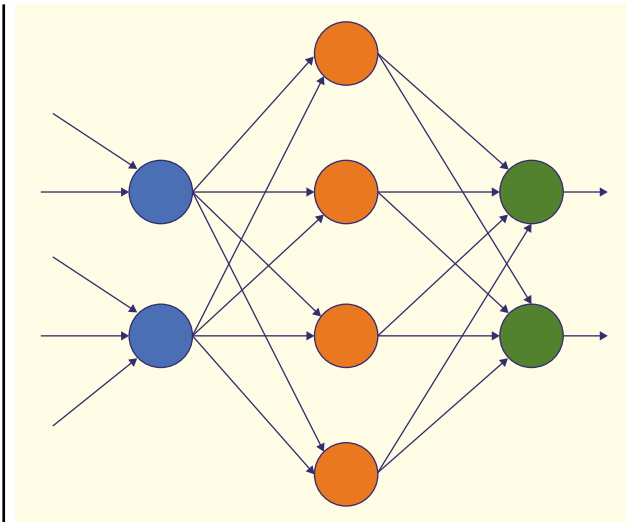
Основа нейронної мережі — перцептрон (перцептрон). Це модель біологічного нейрона (див. рис. 1). Він поєднує вхідні значення з урахуванням їхньої ваги (коефіцієнта), підсумовує їх з функцією зсуву та активації, а далі видає дані.

Наступний крок — поєднання перцептронів (див. рис. 2). Зазвичай у моделі задіяні кілька рівнів. Їх кількість залежить від кількості входів, виходів та функцій системи. Модель — це комбінована архітектура, яка враховує коефіцієнти, що використовуються в системі. Коефіцієнти зазвичай одержують шляхом навчання моделі. Кількість шарів може бути великою, звідси й походить термін «глибокі нейронні мережі», вказаний вище. Глибокі нейронні мережі описують загальний розмір моделей, а не конкретний підхід. Розглянемо його докладніше.

Вхідні дані представлені у форматі ймовірностей. Найчастіше в системі встановлені граничні значення для прийнятних ідентифікацій, які залежать від призначення моделі. Наприклад, при аналізі зображення рівень деталізації може



**Рис. 1.** Перцептрон підсумовує вхідні дані з урахуванням вагових коефіцієнтів та складає їх з функцією зміщення та активації



**Рис. 2. У моделях МН персептрони групуються у шари. Проміжні шари часто називаються прихованими, їх може бути кілька**

змінюватись від визначення класу об'єкта (предмет або тварина) до розпізнавання всередині класу, зокрема, коли робиться різниця між кішками різних порід.

Робота із зображеннями може значно збільшити складність моделі. Навіть невелике зображення розміром  $320 \times 240$  пікселів перетворюється на  $320 \times 240 = 76\,800$  вхідних даних. Якщо в якості вхідних даних використовується колір замість відтінків сірого, то кодування червоний-зелений-синій (RGB) збільшує це значення втричі.

Крім того, робота з меншою кількістю вхідних даних дозволяє реалізувати простіші моделі програмним способом на мікроконтролері. Скажімо, програма для керування двигуном може мати менше десяти входів у моделі профілактичного обслуговування.

## ТИПИ НЕЙРОННИХ МЕРЕЖ

Існує безліч різних типів нейронних мереж, включаючи штучні нейронні мережі (ANN) та спайкові нейронні мережі Spike (нейромережі з шипами) (SNN). В перших використовується паралельна обробка вхідних даних, вихідні дані надаються після передачі всього вхідного потоку через мережу. Спайкові мережі (нейромережі з шипами) з шипами імітують роботу біологічних нейронів — вони обробляють дані асинхронно, тобто по мірі їх надходження (див. рис. 3). Нейрон SNN випромінює імпульс, коли на мембрані досягається поріг напруги. Після цього напруга скидається на залишковий потенціал, і новий цикл починається, поки не накопичиться енергія для наступної операції. У той же час враховуються витоки, коли потік даних (або іонів, якщо ми говоримо про біологічну нейронну мережу) не є достатньо потужним, щоб викликати спрацювання.

Спайкові нейронні мережі (нейромережі з шипами) не відрізняються високою точністю, але вони ефективні. Вони засновані на принципі ймовірності, і абсолютна точність - лише мета. Крім того, SNN часто можна навчати в непристосованих умовах, тоді як навчання інших нейронних мереж зазвичай проводиться в хмарі, де накопичуються додаткові дані.

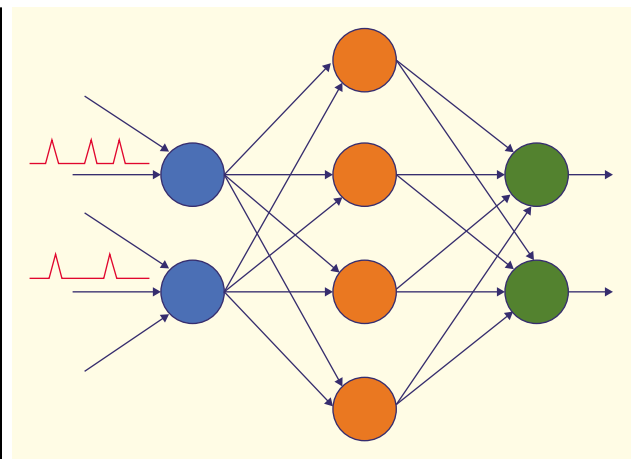
Існує ряд інших типів нейронних мереж, і багато моделей відповідають цим широким категоріям:

- згорткові мережі (CNN);
- рекурентні нейронні мережі (RNN);
- генеративні змагальні мережі (GAN).

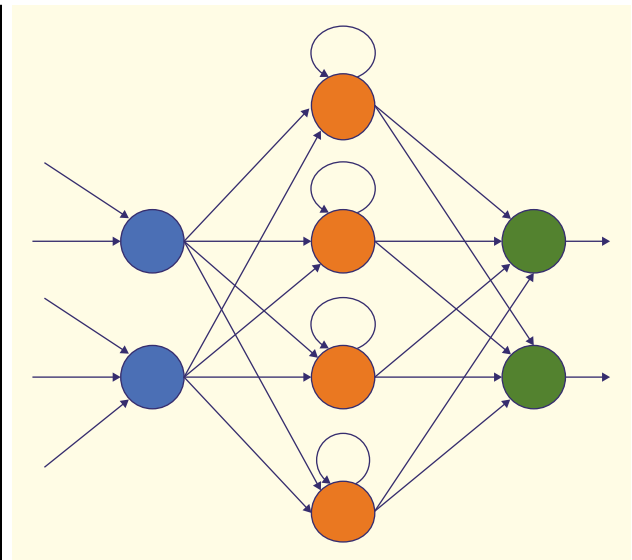
Згорткові мережі зазвичай використовуються для аналізу зображень, наприклад, у системах розпізнавання обличчя та документів, при сегментації зображень. Згорткові мережі також є типом просторово-інваріантних штучних нейронних мереж (SIANN).

Насправді модель CNN формує фільтри в процесі навчання. Операції зсуву та активації включають внутрішній добуток Фробеніуса. Модель містить згорткові та об'єднуючі шари. Кількість входів і виходів загорткового шару, як правило, однакова. Через шари об'єднання кількість результатів зменшується. Це часто досягається після отримання вхідних даних за максимальним значенням вхідного параметра або середнім значенням групи вхідних даних.

Персептрони в рекурентних мережах приймають свої вихідні дані як вхід для наступного набору даних (див. рис. 4). Реалізація потоку даних зазвичай включає фіксовані вхідні дані, щоб вихід можна було використовувати в подальшому розрахунку. Часто RNN використовується для аналізу аудіопотоків, тексту та інформації про часові ряди.



**Рис. 3. Моделі SNN подібні до біологічних нейронів, оскільки вхідними даними є послідовність імпульсів**



**Рис. 4. У рекурентних мережах кожен персептрон має зворотний зв'язок**

Генеративні змагальні мережі — це нейронні мережі, розроблені для генерування вихідних даних, подібних до введених. Отже, модель GAN може перетворити кота в собаку, яка знаходиться в одному положенні тощо. Моделі такого типу здатні змінити кольори зображення або масштабувати відео.

Генеративна змагальна мережа складається з генератора та дискримінаційної мережі. Перший створює кандидатів на основі вхідних даних, а другий оцінює нові дані. Кожен з них повинен проходити навчання за допомогою дискримінаційної мережі, яка, в свою чергу, вивчає вхідні дані, багато в чому так, як це відбувається зі згортковою мережею. Генератор, як правило, — це деконволюційна нейронна мережа, яка навчена збільшувати частоту помилок дискримінаційної мережі.

## АПАРАТНЕ ПРИСКОРЕННЯ

Моделі нейромереж подібні до програм. Це специфікації, виконані у різний спосіб — як програми або у вигляді апаратної реалізації. Апаратні реалізації зазвичай швидші і споживають менше енергії, що забезпечує більшу продуктивність, наприклад, можливість аналізу відеопотоків в режимі реального часу.

При надмірній кількості обчислень у програмах штучного інтелекту потрібне апаратне прискорення. Це пов'язане з розміром вхідних даних чи складністю моделі. Відеопрограми, як правило, вирають від апаратної підтримки.

Апаратне прискорення здійснює підтримку потоку даних або конкретної програми, застосування багатоядерних спеціалізованих модулів, збільшення набору команд. Найчастіше в чипах штучного інтелекту використовується потокова обробка або багатоядерні модулі, зокрема сигнальні процесори DSP або архітектури з однією інструкцією і декількома даними (SIMD). Для збільшення набору команд передбачені спеціалізовані процесори, наприклад, Arm Cortex-M55, який містить інструкції для роботи з числовими кодуваннями та проведення складних обчислень, наприклад, таких, як маніпуляції з матрицею.

Моделі ШІ можуть бути реалізовані за допомогою формату подвійної точності з плаваючою комою, але це дуже неефективно через різні причини. Використання більш компактних форматів, таких як 8- та 16-розрядний з плаваючою точкою і 8-розрядний з фіксованою точкою, значно знижує вимоги до сховища даних, апаратних обчислювальних блоків та часу обчислень. При цьому збільшується продуктивність і зменшуються вимоги щодо живлення.

Інший аспект стосується розріджених мереж. Виявляється, що в багатьох випадках вагові коефіцієнти дорівнюють нулю або дуже близькі до нього. Це дозволяє шляхом оптимізації виключити незначні обчислення та відповідний зсув даних. Більша частина такого процесу проводиться компіляторами моделей, які приймають моделі зі стандартних фреймворків, наприклад TensorFlow та Caffe2.

Ще одна думка, що стосується апаратного забезпечення, має на увазі використання кількох моделей та поділ їх на різні типи апаратного забезпечення. Існують випадки, коли для підвищення функціональності використовуються кілька моделей на основі тих самих вхідних даних або для вирішення різних аспектів загального застосування.

Наприклад, електромобіль може мати вдосконалену систему допомоги водієві (ADAS) або повністю автономну

систему водіння, в якій передбачені моделі розпізнавання об'єктів та профілактичного обслуговування електродвигунів. Для виконання подібних завдань призначені спеціалізовані системи-на-кристалі.

Слід зауважити, що часто моделі доцільно розбивати, оскільки апаратна підтримка різних елементів може відрізнятися. Багатоядерні мікроконтролери, наприклад ESM3532 Eta Compute, містять сигнальний процесор NXP CoolFlux, що оптимізований для роботи з моделями ШІ та МН, та допоміжне ядро Cortex-M4.

## ГАЛУЗЬ ВИКОРИСТАННЯ

Вибір моделей та апаратних платформ для їх підтримки буває складним. Основне рішення — чи доцільно використовувати ШІ в даному проєкті — слід ухвалити на самому початку. Якщо переваги використання перевищують потенційні ризики, необхідно здійснити аналіз ринку з метою пошуку готових моделей.

Оскільки технології машинного навчання та ШІ в цілому недостатньо вивчені, слід віддавати перевагу виробам, що вимагають мінімального навчання або взагалі не потребують його. До цієї категорії належать зокрема роботизовані сенсори, орієнтовані на сферу освіти. По суті це інтелектуальні датчики, оснащені функцією зворотного зв'язку з хостом.

Наперед визначені та попередньо натреновані моделі, не прив'язані до однієї апаратної платформи, мають широку сферу застосування. У той же час вибір моделі може залежати від апаратної платформи або навпаки. У цьому полягає перевага використання таких платформ, як TensorFlow або Caffe, які підтримуються виробниками обладнання. Крім того, надається інформація про показники продуктивності — за ними можна оцінити, яка платформа є оптимальною для конкретного застосування.

Якщо модель доступна і є дані для її навчання, то подальша робота зводиться до пошуку компромісу між витратами, продуктивністю, потужністю, споживанням. Завдання ускладнюється, якщо не існує моделі, яка б задовольняла заявлені вимоги.

Створення нової моделі передбачає значні фінансові та часові витрати, а також великий досвід у галузі машинного навчання та штучного інтелекту.

## ВИСНОВКИ

В даний час технології штучного інтелекту бурхливо розвиваються, постійно з'являються нові моделі та рішення, а інші, навпаки, зникають.

У деяких випадках модернізація компілятора дозволяє подвоїти продуктивність, завдяки чому платформа отримує можливість підтримувати раніше недоступні програми (застосунки). Крім того, з'являється багато нових чипів зі штучним інтелектом та спеціалізованих чипів. Нові конструкції процесорів мають розширені набори інструкцій та форматів даних, придатних для моделей ШІ/МН.

**Від редакції.** Досі ми вважали, що тематика статті не є актуальною для повсякденної практичної діяльності наших читачів, однак швидке впровадження машинного навчання та розширення області його застосування змусили нас змінити цю думку.

## ЕЛЕКТРОННІ КОМПОНЕНТИ

від провідних виробників світу,  
зі складу та під замовлення

Гнучкі ціни



## ТОВ "АДС ТІМ"

Україна, 03680, м. Київ  
пров. Радищева, буд. 3  
+38 (044) 361-46-78, 206-22-52  
+38 (067) 249-77-58, (050) 464-22-52  
zapros@adcgr.com www.adcgr.com

## ТОВ Аіронікс КОМПОНЕНТС

тел.: +38 044 384-17-55  
+38 044 501-07-29  
+38 044 501-80-09  
info.aironics@gmail.com

- електронні компоненти
- друковані плати
- виготовлення дослідних зразків приладів
- контрактне виробництво
- перетворювачі частоти до 11 кВт (Україна) до 220 кВт (Китай)

м. Київ, вул. О. Довженка, 3  
www.aironics.com.ua  
www.aironics.prom.uaAltway Electronics, Inc  
5970 Unity Drive Suite E,  
Norcross, GA 30071, USA  
www.altwaygroup.comОПЕРАТИВНІ ПОСТАВКИ  
ЕЛЕКТРОННИХ КОМПОНЕНТІВТел. 044-3-922-911  
E-mail: sales.int@altwaygroup.com

SONISON Amphenol LTW TE DARKCO OSRAM SAMSUNG MORNSUN

- Електронні компоненти
- Світлодіодне освітлення
- Друковані плати
- Контрактне виробництво

bis\_electronics @BISelectronic bis@bis-el.kiev.ua | bis-el.com  
+38 (044) 490-35-99

## VD MAIS

ДИСТРИБ'ЮЦІЯ +  
КОНТРАКТНЕ  
ВИРОБНИЦТВО03061, Київ,  
вул. Михайла Донця, 6  
тел.: +380 (44) 201 02 02  
info@vdmals.ua  
www.vdmals.ua

- електронні компоненти
- електромеханічні компоненти
- промислова автоматизація
- вимірювальні прилади
- обладнання та матеріали для виробництва електроніки
- друковані плати
- контрактне виробництво

ТОВ «НВП АСТЕРА»

директор ТЕРЕЙКОВСЬКИЙ  
Артем Семенович

Ферритові осердя,  
аксесуари, індуктивні елементи

61072, Україна, Харків, вул. Тобольська 42 оф. 222  
тел.: 057-757-2859, факс: 057-728-1808  
050-323-3763, 067-575-4440, 068-616-7777  
http://www.ferrite.com.ua E-mail: ferrite@ukr.net

## Weidmüller

Представництво „Вайдмюллер Интерфейс  
ГмбХ & Ко. КГ“вул. Здолбунівська, 7Д (корп. Ж), оф. 414  
02081 Київ  
Т +38 044 574 97 20  
Ф +38 044 574 97 20info.ua@weidmueller.com  
www.weidmueller.com

## VD MAIS

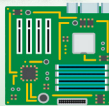
Контрактне  
виробництво  
електроніки  
(за стандартом IPC-A-610)

- автоматизований монтаж SMD-компонентів (до 2.5 млн на добу)
- автоматизована селективна пайка компонентів, що монтується у отвори
- монтаж прототипів друкованих плат
- 100% автоматичний оптичний контроль якості монтажу
- виготовлення дослідних зразків виробів
- дрібносерійне та серійне виробництво
- більш ніж 10-річний досвід контрактного виробництва
- гарантія якості продукції

Сертифікація на відповідність вимогам  
стандартів ISO 9001:2015, ISO 14001:2015,  
IATF 16949:2016 та ISO 13485:2016.Ціни – оптимальні  
Україна, 03061, Київ, вул. Михайла Донця, 6  
тел./факс: (044) 201-0202, (057) 719-6718,  
(0562) 319-128, (032) 245-5478, (048) 734-1954,  
info@vdmals.ua; www.vdmals.ua

## ВЕРІКОМ КОМПОНЕНТС

- Виробництво друкованих плат від 1 шт
- Контрактне виробництво
- Власний склад електронних компонентів
- Покриття плат лаком і компаундами
- Відповідаємо вимогам стандарту ISO 9001:2015

Україна, м. Київ  
вул. Марії Капніст, 2а, оф. 114  
URL: www.verikom.kiev.uaтел./факс: (+380) 44-501-9335  
(+380) 67-508-0229  
E-mail: sales@temys.kiev.uaWINTEX (044) 5036112  
(067) 2983455  
Професійний ремонт (050) 2665517

- Електронні компоненти
- Модулі та датчики для розробників електроніки
- Модулі для ремонту ТВ, комп'ютерів, планшетів, комп'ютерів
- Роз'єми та конектори
- Розробка елементів альтернативної енергетики
- Ремонт усіх видів електроніки та побутової техніки



03150, Київ, вул. Велика Васильківська, 80

www.wintex.com.ua

## ДП «Гальванотехніка» ПАТ «Київський завод "Радар"»

ТОВ «НВЦ друкованих плат»

### Виготовлення друкованих плат:

- одно-, дво- та багатшарових 3<sup>го</sup>–5<sup>го</sup> класів складності;
- жорсткоконучних друкованих плат, гнучких кабелів;
- друкованих плат на металі (алюміній, мідь).

Швидке виготовлення (від 3-х днів).

Висока якість. Оптиміальне співвідношення ціна/якість.

### Послуги по монтажу плат.

03680, м. Київ, вул. Предславинська, 35  
тел.: (044) 592-5467, 528-2068, 528-3656

<http://plata.com.ua>  
order@plata.com.ua

**Gamma**  
радіокомпоненти

Trxcom, FUZETEC, XTD, MICROCHIP, FUZETEC, AVID, NORDIC, IF, SIK, HOPERF, nuvoton, LAZE

**ГАММА УКРАЇНА**

(056) 745-46-65, (0562) 36-07-92  
(044) 494-35-72, (044) 223-84-63

[www.microchip.ua](http://www.microchip.ua) sale@microchip.ua

**Науково-Впроваджувальна Фірма "Гранато"**

Тел / факс: 044-453-44-04, 453-44-06  
E-mail: granato@granato.kiev.ua, office@granato.kiev.ua  
http://www.granato.com.ua, http://www.multiport.com.ua  
м. Київ, вул. Вацлава Гавела, 8, для листів: 03067, а/с 63, НВФ Гранато

СИСТЕМИ ВІДОБРАЖЕННЯ, ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ ТЕЛЕКОНФЕРЕНЦІЙ,  
МУЛЬТИПОРТОВІ ПЛАТИ, ЕЛЕКТРОННІ ГОДИННИКИ, КОНТРОЛЕРИ

### Інформаційні транспортні системи

Розробка та виготовлення на основі електромеханічних та світлодіодних індикаторів.

Бортові комп'ютери, передні, бокові, задні, внутрішні табло, аудіоінформатори.



група компаній  
**GRAND**  
Electronic

Прямі поставки від виробника

FLUKE Biomedical, AEB Group, ALEXANDER ELECTRIC, JET

Комплексні поставки електронних комплектуючих

- Автоматика
- Датчики
- Джерела живлення
- Компоненти і модулі СВЧ
- Мікросхеми
- Рознімачі
- Реле
- Системи бездротового зв'язку
- Системи відображення інформації
- Хімічні джерела струму

38 (044) 239-96-06  
38 (044) 498-01-68

[www.grandelectronic.com](http://www.grandelectronic.com)  
office@grandelectronic.com

Бульвар Вацлава Гавела, 8  
м. Київ, 03124

**DACPOL** **ВСЕ ДЛЯ СИЛОВОЇ ЕЛЕКТРОНІКИ ТА АВТОМАТИКИ**

діоди, тиристори, триаки, IPM, IGBT;  
давачі струму та напруги LEM;  
запобіжники BUSSMANN;  
конденсатори електролітичні ВНС, плівкові, високовольтні;  
резистори середньої та великої потужності;  
напівпровідникові, електромеханічні реле;  
вентилятори радіальні та центробіжні;  
обладнання для шафів;  
кінцеві вимикачі, давачі тиску, рівня, вологості;  
світлові та звукові сигналізатори;  
UF та IR промислові лампи PHILIPS.

02090, м. Київ, вул. Сновська, 20  
E-mail: kiev@dacpol.ua, www.dacpol.ua  
Т/ф: (+380 44) 501 93 44, GSM: (+380 50) 447 39 12

**MASTEK**

м. Київ, пров. Радищева, 3, офіс 307  
тел. +38 (044) 451-60-80  
моб. +38 (067) 919-51-15

info@mastek.com.ua  
www.mastek.com.ua

Авторизований дистриб'ютор  
NXP, STMicroelectronics, AMPLEON, WeEn в Україні

Незалежний постачальник електронних компонентів

**EVOCOM**  
www.evocom.ua

- Швидкі терміни поставок (до 7 днів)
- Безкоштовна доставка по Україні
- Більш ніж 6 млн. товарів в каталозі

[www.evocom.ua](http://www.evocom.ua)  
email: info@evocom.ua  
тел. (044) 520-19-13

Промислові комп'ютери та монітори, модулі вводу виводу

ekzot.com.ua

ask@ekzot.com.ua  
Київ, М. Донця, 6, оф. 102 Б  
+38 (050) 807-97-62  
+38 (068) 972-95-70

**ЕКЗОТ**

**EUROCOM COMPONENTS**

дистрибуція електронних компонентів  
контрактне виробництво

08298, смт. Коцюбинське  
вул. Пономарьова, 7

Тел. +38 044 33 44 575  
E-mail: info@eurocom-c.com

[www.eurocom-c.com](http://www.eurocom-c.com)


ЕЛЕКТРОНІКА • ЕЛЕКТРОТЕХНІКА • АВТОМАТИКА

**CHIP NEWS**

НАУКОВО-ТЕХНІЧНИЙ ЖУРНАЛ  
ВИДАЄТЬСЯ З 2001 РОКУ

(044) 490 74 99  
(044) 490 74 30  
info@chipnews.com.ua  
www.chipnews.com.ua

03061, Київ,  
просп. Відрадний, 10



**Інтегральні Комплексні Системи**  
Контрактне виробництво електроніки

+38 (050) 469-12-07    info@incos.kiev.ua    www.incos.kiev.ua  
Київ, вул. Бориспільська, 9, корпус 111



**IMRAD**  
Електронні Компоненти

Електронні компоненти  
провідних світлових виробників  
зі складу в Києві та на замовлення

Інформаційна та технічна підтримка

- 03113, Україна, м. Київ  
вул. Шутова 9, офіс 211
- Тел. (044) 495-21-09, 490-91-59  
факс: (044) 495-21-10  
E-mail: imrad@imrad.kiev.ua  
www.imrad.com.ua



**ІНКОМТЕХ-ПРОЕКТ**

електронні компоненти  
електромеханічні компоненти  
контрактне виробництво  
промислова автоматизація

Україна, 04050, м. Київ,  
вул. Герцена, 17-25, оф. 9  
e-mail: office@i-p.com.ua  
www.i-p.com.ua

тел.: (+38 044) 230-01-81  
(+38 044) 486-25-37  
факс: (+38 044) 483-95-11

we who are not as others



Телефон: 044 501 90 90  
Web: info@cogito.com.ua



**ТОВ "КОМПАНІЯ ОЛЬВІЯ"**  
Корпуса пластиків. Клавіатура плівкова.  
Кабельно-провідникова продукція.


[044].599.7550    [044].503.3323    KORPUS.KIEV@GMAIL.COM  
IC# #: 268-782-777  
03113, м. Київ, вул. Дружківська, 12 А    korpus.kiev.ua



**КОМПАНІЯ СК-ТЕХНО**  
контрактне виробництво

- контрактне виробництво
- друковані плати
- монтаж
- комплектація

http://spcb.com.ua  
e-mail: info@spcb.com.ua  
тел./факс: (044) 369-53-67



м. Київ, пров. Радищева, 3, офіс 307  
тел. +38 (044) 451-60-80    info@mastek.com.ua  
моб. +38 (067) 919-51-15    www.mastek.com.ua

Авторизований дистриб'ютор  
NXP, STMicroelectronics, AMPLEON, WeEn в Україні



http://melsys.com.ua

- контрактне виробництво електроніки
- монтаж і виготовлення друкованих плат
- виготовлення трафаретів

ТОВ "Мелсис"    +38 044 578 18 15  
Київ, вул. Новозабарська, 2/6, оф. 204    +38 096 926 70 69  
info@melsys.com.ua    +38 063 435 68 10

Microdis Electronics GmbH  
Rheinauer Straße 1  
68766 Hockenheim  
Germany

**MICRODIS**

Дистриб'ютор електронних компонентів

Роман Прокопець  
Менеджер з продажу

M +380 67 475 81 86  
Roman.Prokopets@microdis.net

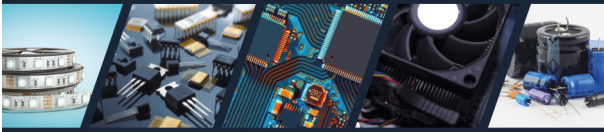
www.microdis.net

Партнерство в електроніці



03142, м. Київ, вул. Кржижановського, 4, офіс 101  
Тел.: 044 392-93-86, Факс: 044 392-93-87  
www.micropribor.com.ua    sales@micropribor.com.ua

## ОПТОВИЙ ПРОДАЖ ЕЛЕКТРОННИХ КОМПОНЕНТІВ



Польща | 30-198 Краків | вулиця Е. Годлевського 38  
тел. | WhatsApp | Telegram | VIBER | IMO: +48 601 480 223  
тел. +48 12 636 95 66 ext. 146 SKYPE: pavlogrd

[www.otlodka.com.ua](http://www.otlodka.com.ua)


Автоматизований SMD монтаж  
друкованих плат



Фрезерування панелей,  
корпусів та пластику



3D-друк

+38 050 447-12-58 +38 098 661-97-97

ФОП Сарієв Р.Б.



КОНТРАКТНИЙ  
ВИРОБНИК ЕЛЕКТРОНІКИ  
ПІД ЗАМОВЛЕННЯ

+38 044 338 97 73  
info@pcba.com.ua  
pcba.com.ua

вбудовані процесорні плати

COMexpress  
Qseven  
PC-104  
ETX



промислові комп'ютери та системи

www.proxis.ua  
+380(44)4675977  
+380(44)5995977

**RADIODETAILS**

- Паяльне обладнання
- Вентилятори
- Трансформатори
- Реле
- Конденсатори
- Резистори
- Світлодіодне обладнання
- Акумулятори
- Блоки живлення
- Мобільні аксесуари

КУПУЙ ВИГІДНО

radiodetali.com.ua

**MASTEK**

м. Київ, пров. Радищева, 3, офіс 307  
тел. +38 (044) 451-60-80  
моб. +38 (067) 919-51-15

info@mastek.com.ua  
www.mastek.com.ua

Авторизований дистриб'ютор  
NXP, STMicroelectronics, AMPLEON, WeEn в Україні

**РАДІОМАГ**  
МЕРЕЖА МАГАЗИНІВ РАДІОДЕТАЛЕЙ

Львів Київ Харків  
Одеса Дніпро

www.rcscomponents.kiev.ua  
+38(044)299-77-55 sales@radiomag.com.ua

- мікросхеми
- транзистори
- діоди і діодні містки
- GSM, GPS, GPRS
- паяльне обладнання
- вимірювальне обладнання
- блоки живлення
- рознімачі
- інструмент
- пасивні компоненти
- батарейки та акумулятори та багато іншого

**RAINBOW TECHNOLOGIES**

www.rainbow.com.ua

Rainbow Technologies – офіційний дистриб'ютор і постачальник в Україні:

**MICROCHIP, MAXIM, INFINEON, WINBOND, ALTERA, SAMSUNG (LED), LEDIL, VISHAY, ANALOG DEVICES, TEXAS INSTRUMENTS**

04112, Україна, м. Київ, вул. Дегтярівська, 62, оф. 46  
Тел./факс: +38 (044) 290-41-69, 290-41-82  
e-mail: cov@rainbow.com.ua

**МП "РЕМІКС"**  
www.remix.com.ua  
Офіційний дистриб'ютор в Україні

FineTek, Venanzetti Vibrazioni, Nivelko

Пропонує датчики рівня рідин та сипучих матеріалів, датчики тиску, різноманітні регулятори, панель метри, пневмо та електровібратори

Тел./факс +38 04563 99-760, 99-926, 99-775

ЕЛЕКТРОНІКА • ЕЛЕКТРОТЕХНІКА • АВТОМАТИКА

**CHIP NEWS**

НАУКОВО-ТЕХНІЧНИЙ ЖУРНАЛ  
ВИДАЄТЬСЯ З 2001 РОКУ

03061, Київ,  
просп. Відрадянний, 10

(044) 490 74 99  
(044) 490 74 30  
info@chipnews.com.ua  
www.chipnews.com.ua

**Rich El**  
electronic components

**ТОВ "РИЧЕЛ"**

Постачки електронних компонентів  
Асортимент зі складу та технічна підтримка

вул. Семена Скляренка, 9, оф. 401  
04073, м. Київ  
info@rekkon.kiev.ua  
http://rekkon.kiev.ua

тел.: +38 (044) 490-92-50  
факс: +38 (044) 494-27-08



**SEA** | ІННОВАЦІЇ ТА ЕФЕКТИВНІСТЬ

м. Київ, вул. Краківська, 13-Б  
тел.: +38 (044) 330-00-88  
sea.com.ua, info@sea.com.ua

**Постачання:** Електронні компоненти • Джерела живлення • Світлодіодна продукція та оптоелектроніка • Обладнання для енергетики • Електротехнічна продукція  
Кабельно-провідникова продукція • Обладнання для промислової автоматизації  
Вимірювальні прилади • Паяльне обладнання та матеріали для пайки • Сонячна енергетика

**Виробництво:** Світлофори та технічні засоби керування дорожнім рухом • Паркувальне обладнання і системи • Система управління міським освітленням • Система диспетчеризації ліфтів  
Плати зі світлодіодами для LED освітлення • WIM - системи динамічного зважування транспортних засобів

**Послуги:** Комерційні розробки • Проектування та виготовлення друкованих плат  
Контрактне виробництво • Модернізація та обслуговування паркінгів



Харків: kharkiv@sea.com.ua Дніпро: dnipro@sea.com.ua Львів: lviv@sea.com.ua



**SIM Com**  
a SUNSEA IGBT company

**Євгеній Рахно**  
технічна підтримка  
моб. +38 (050) 14-00-345

evgenij.rakhno@simcom.com

ЕЛЕКТРОННІ КОМПОНЕНТИ  
ТА  
КОНТРАКТНЕ ВИРОБНИЦТВО

**SMD UKRAINE**

03057, м. Київ, вул. Желябова, 2-А,  
корп. 7, кім. 303

тел.: (044) 223-12-42  
(073) 705-70-05  
(096) 705-70-05

info@smdua.in.ua www.smdua.in.ua

**НВП ТЕХНОСЕРВІСПРИВІД**  
ВСЕ ДЛЯ СИЛОВОЇ ЕЛЕКТРОНИКИ ТА ЕЛЕКТРОТЕХНІКИ

Діоди та містки,  
діодні, тиристорні, IGBT модулі,  
силові напівпровідники (**SEMİKRON**),  
конденсатори косинусні, імпульсні, моторні  
(**ELECTRONICON**)

Продаж, ремонт перетворювачів частоти,  
пристроїв плавного пуску (**DANFOSS**)

Для пошти: 04211, Київ-211, а/с 141  
Тел./факс: (044) 458-47-66, 456-19-57  
E-mail: tsdrive@ukr.net, Web: www.tsdrive.com.ua



Committed to excellence  
CONSULT | COMPONENTS | LOGISTICS | QUALITY

**RUTRONIK**  
ELECTRONICS WORLDWIDE

**Wilhelm Fleischhauer**  
Country Manager  
Phone: +49 7231 801 1403  
Mail: Wilhelm.Fleischhauer@rutronik.com

**Михайло Єлізаров**  
представник в Україні  
Тел. +038 (050) 312 01 07  
Mail: Mykhaylo.Yelizarov@rutronik.com

- Напівпровідники
- Пасивні компоненти
- Електромеханіка та кабельні рішення
- Дисплеї та монітори
- Промислові комп'ютери
- Рішення по DDR і SSD
- Бездротові технології

**Semisvit**  
Create with us

**ТОВ "СЕМІСВІТ"**  
вул. Б. Хмельницького, 16-22, оф. 504-Г  
01601, м. Київ, Україна  
тел./факс: +380 44 586-2580  
www.semisvit.com.ua  
info@semisvit.com.ua

Електронні компоненти  
зі всього світу.

Створітьте з нами!

**Сімметрон**  
Україна

Україна, Київ  
вул. Є. Сверстюка, 13, оф. 903  
тел. 044 239 20 65 багатоком.  
e-mail: kiev@symmetron.ua  
www.symmetron.ua

Електронні компоненти зі складу  
Пряма офіційна дистрибуція

**SOFTPROM BY ERC**  
VAD DISTRIBUTOR

www.softprom.com  
altium@softprom.com

офіційний дистриб'ютор Altium



Електронні компоненти Рознімачі З'єднувачі

**ТЕХПРОГРЕСС**  
www.tpss.com.ua

ТОВ «КП «Техпрогрес»  
04070, м. Київ,  
вул. Ігорівська, 8/10-А, оф. 38  
(044) 461-91-00





## TRANSFER MULTISORT ELEKTRONIK



ПОНАД 800  
ПРОВІДНИХ ВИРОБНИКІВ

ПОНАД 160 000  
ПРОДУКТІВ



Electronic Components

tme.eu

- ЕЛЕКТРОТЕХНІКА
- ЕЛЕКТРОННІ КОМПОНЕНТИ
- ВИМІРЮВАЛЬНІ ПРИЛАДИ
- ІНСТРУМЕНТИ
- ПРОМИСЛОВА АВТОМАТИКА

Łódź, Poland, +48 42 645 54 44, export@tme.eu

## ELFA DISTRELEC

ПОСТАВКИ ЕЛЕКТРОННИХ КОМПОНЕНТІВ  
ЗІ СКЛАДУ У ЄВРОПІ.

ТОК ЕЛЕКТРОНІКС  
ОФІЦІЙНИЙ ДИСТРИБ'ЮТОР В УКРАЇНІ



04080, Київ  
вул. Вікентія Хвойки, 18/14, офіс 710

тел./факс +38 (044) 451-48-34  
e-mail: office@west-l.com  
www.west-l.com

## PHOENIX CONTACT

phoenixcontact.ua

## ФІЛУР ЕЛЕКТРИК



Електронні компоненти  
Електротехнічна продукція  
Технологічне обладнання, інструмент, матеріали

1-й пов., вул. Попудренка, 22/14, м. Київ  
тел. 044 495 75 75, моб. 068 496 75 75

www.filur.net  
office@filur.net



ТОВ "ЮНІТЕСТ"  
вул. Олесь Гончара, 6  
04053, м. Київ, Україна  
тел: +38 (044) 272-60-94  
тел./факс: +38 (044) 272-60-95  
e-mail: web@unitest.com  
http://www.unitest.com

КОНТРОЛЬНО-  
ВИМІРЮВАЛЬНІ ПРИЛАДИ

АВТОРИЗОВАНИЙ ДИСТРИБ'ЮТОР В УКРАЇНІ  
продаж • навчання • сервіс



Авторизований дистриб'ютор



## TMS PROJECT

Контрактне виробництво  
Сертифіковано ISO9001  
Постачання електронних компонентів



Україна, Київ  
вул. Марії Капніст, 2а, оф. 114  
тел./факс: (044) 501-9335  
URL: www.tmsproject.com.ua  
E-mail: sales@temys.kiev.ua

## Trafaret

Полімерні трафарети для SMD монтажу

www.trafaret.net.ua

e-mail: order@trafaret.net.ua

тел. 063-851-12-76, 098-871-58-76



м. Київ, пров. Радищева, 3, офіс 307  
тел. +38 (044) 451-60-80  
моб. +38 (067) 919-51-15

info@mastek.com.ua  
www.mastek.com.ua

Авторизований дистриб'ютор  
NXP, STMicroelectronics, AMPLEON, WeEn в Україні

People · Power · Partnership



HARTING  
Polska  
Sp. z o.o.

Kateryna Bodaratska  
Business Manager

ul. Duńska 11 · 54-427 Wrocław, Polska · kateryna.bodaratska@HARTING.com  
☎ +48 (71) 352 81 71 int. 9 · mobile +48 607 078 277 · www.HARTING.com

ЕЛЕКТРОНІКА • ЕЛЕКТРОТЕХНІКА • АВТОМАТИКА

## CHIP NEWS

НАУКОВО-ТЕХНІЧНИЙ ЖУРНАЛ

ВИДАЄТЬСЯ З 2001 РОКУ

03061, Київ,  
просп. Відрадний, 10

(044) 490 74 99  
(044) 490 74 30  
info@chipnews.com.ua  
www.chipnews.com.ua



### РОЗМІРИ РЕКЛАМНИХ БЛОКІВ

1 сторінка (200×270 мм)\*  
 2/3 сторінки (112×240 мм)  
 1/2 сторінки (170×120/83.5×240 мм)  
 1/3 сторінки (54×240/112×120/170×80 мм)  
 1/4 сторінки (112×100 мм)  
 1/6 сторінки (54×120/112×60/127×55 мм)  
 «Візитка» (80×40 мм)

\* Для усунення неточностей при обрізанні, розмір реклами, яка подається, повинен бути 210×280 мм (дообрізний формат з урахуванням «вильотів» по 5 мм з кожного боку, які краще заповнити основним фоном реклами). Значимі символи (текст, логотип та інші елементи оформлення, які гарантовано не повинні потрапити під обрізку) не повинні підходити до краю сторінки менш ніж на 10 мм (післяобрізний формат сторінки 200×270 мм).

Редакція журналу «CHIP NEWS» приймає до розміщення тільки повнокольорові рекламні блоки, розміри яких повинні в точності відповідати розмірам, наведеним у таблиці.

**Текст реклами повинен бути виключно українською мовою.**

### ЦІНА ПЕРЕДПЛАТИ НА 2022 рік

звичайна	550 грн
для студентів і бібліотек	450 грн

\* ПДВ не обкладається.

### ПРИ ОФОРМЛЕННІ ПЕРЕДПЛАТИ НА ЖУРНАЛ ЧЕРЕЗ РЕДАКЦІЮ, ПОЧИНАЮЧИ З БУДЬ-ЯКОГО НОМЕРА, НЕОБХІДНО:

переказати на вказаний нижче розрахунковий рахунок ТОВ «Булавія-Посад л.т.д.» суму, згідно з ціною на передплату.

Для **фізичних осіб** обов'язково передати факсом (044) 490-74-99 або на email: [peredplata@chipnews.com.ua](mailto:peredplata@chipnews.com.ua), або вислати поштою на адресу редакції заповнений талон чи копію платіжного доручення, або іншого документа, який підтверджує оплату.

Банківські реквізити:

р/р № UA403510050000026008572392300 в ПАТ «УкрСиббанк», м. Київ МФО 351005, код по ЄДРПОУ 21500793, ІПН 215007926586

Отримувач: ТОВ «Булавія-Посад л.т.д.»

Призначення платежу: Передплата на журнал «CHIP NEWS»

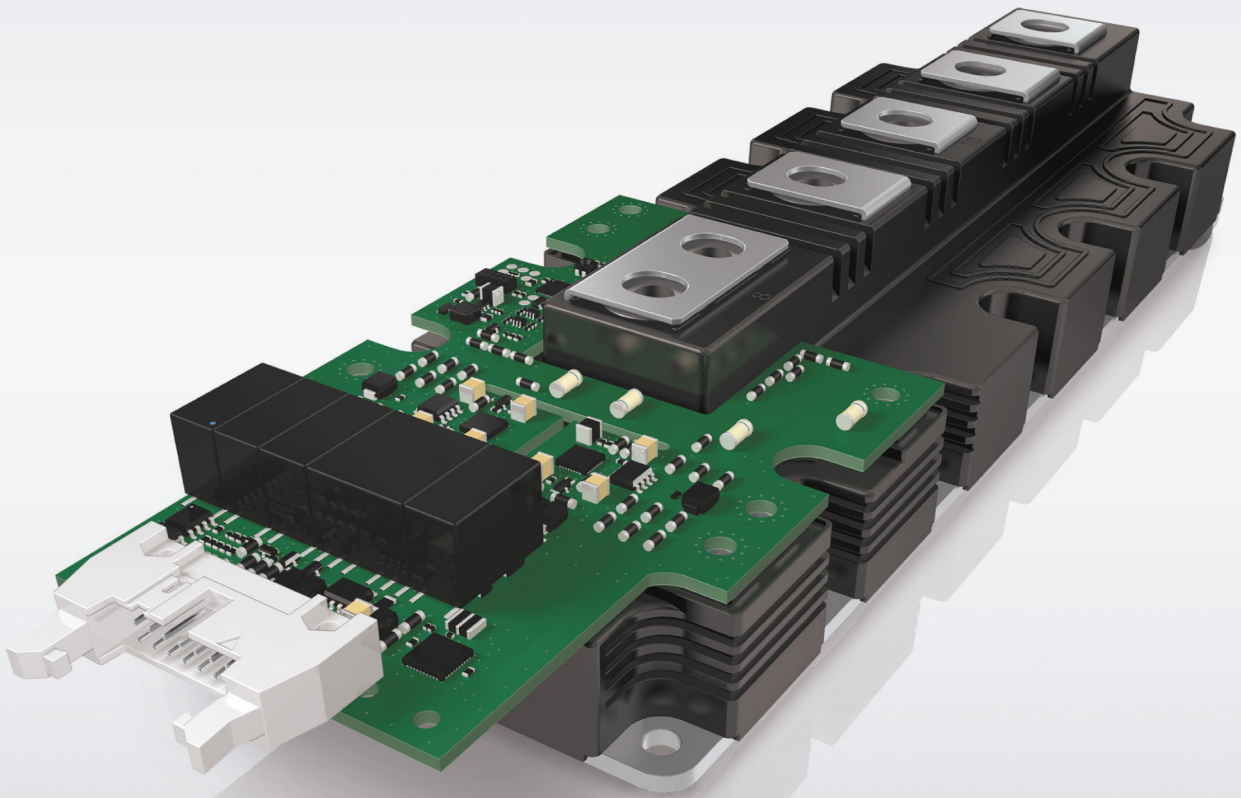
Тут також вкажіть точну поштову адресу (індекс обов'язково), телефон, П.І.Б. особи, відповідальної за передплату.

### ВИМОГИ ДО РЕКЛАМНИХ І АВТОРСЬКИХ МАТЕРІАЛІВ

**Рекламні матеріали** приймаються **тільки українською мовою в форматах «.eps» або «.tif» (300 dpi)**. Кольорова модель — **СМΥК**. Сумарний процент фарб — не більше 300%. Якщо в форматі «.eps» є впроваджені растрові зображення, вони також повинні мати роздільну здатність 300 dpi і кольорову модель СМΥК. **Всі шрифти обов'язково повинні бути переведені в криві.**

**Авторські матеріали.** Текст статті приймається в форматі «.doc» (Microsoft Word). Всі рисунки повинні бути підготовлені **тільки в форматах «.eps»**, фотографії — в форматі **«.tif» (300 dpi)**, кольорова модель — **СМΥК** і надані окремими файлами. Кожний рисунок повинен мати підписувачий підпис і посилання на нього в статті. Якщо в статті є таблиці, то кожна таблиця повинна мати назву, посилання на неї в статті і надаватись в форматах «\*.doc» або «\*.xls».

# Нове покоління модулів SEMITRANS 10 і цифрових драйверів SKYPER PRIME



## Діапазон потужностей 500 кВт–1,5 МВт

Модулі IGBT в стандартному промисловому корпусі

Висока стійкість до термоцикування

Цифровий драйвер із наднизьким рівнем джиттеру та вихідним струмом 50 А

Два ізольованих канали передачі сигналів сенсорів з ШИМ-модуляцією

Волоконно-оптичний інтерфейс (опціонально)



Моторні  
приводи



Альтернативні  
джерела енергії



Перетворювачі  
потужності

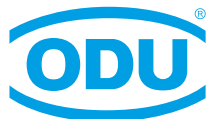


Електротранспорт

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

[shop.semikron.com](http://shop.semikron.com)





A PERFECT ALLIANCE.

## Наступне покоління рознімачів для модернізації військової техніки — рознімачі серії ODU AMC

**Радіотелефонія та передача даних по радіоканалу**

- Відмінне екранування
- Відмінні характеристики

**3'єднання з каскою**

- Мінімальні розміри / низькопрофільний рознімач

**Прилади нічного бачення / дисплеї TFR**

- Версія з підпружиненими контактами rого ріп

**Персональний комп'ютер**

- Малий розмір
- Мала вага
- Можливе колірне кодування

**Модуль навігації**

- Версія з простим очищенням контактів

**Обмін даними з автомобілем**

- 3'єднання-роз'єднання під навантаженням

**Блок управління, що носитья**

- 3'єднання кабель—кабель

**GPS антена**

- Коаксіальні рознімачі розміру "0"
- Push-pull засочка

[www.odu.de](http://www.odu.de)

**Rainbow Technologies**

[www.rainbow.com.ua](http://www.rainbow.com.ua)

04112, Україна, м. Київ, вул. Дегтярівська, 62, оф. 46

Тел./факс: +38 (044) 290-41-69, 290-41-82

[esp@rainbow.com.ua](mailto:esp@rainbow.com.ua)