

CHIP NEWS



ТОВ «НВП АСТЕРА»

- Осердя з порошкових матеріалів ... стор. 10
- Конформне покриття: рекомендації ... стор. 18
- Покриття радіочастотних з'єднувачів ... стор. 22
- Аналіз цілісності живлення ... стор. 28
- Огляд ПЛІС Xilinx Versal ... стор. 36
- Карбід-кремнієві компоненти ... стор. 52



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

**Партнерство
з нами – успіх
Вашого бізнесу!**



№ 03 (228), 2024 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.,
Кунчак Н. К., Кураєв П. П.,
Макаренко В. В., Мовчанюк А. В.,
Першин М. О., Поліщук С. Й.,
Рентюк В. К., Стецюк Л. В.,
Файер О. М., Шевченко В. Л.Адреса редакції:
03061, Київ,
просп. Відрадий, 10E-mail: info@chipnews.com.ua
<https://www.chipnews.com.ua>© «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

НА ДОПОМОГУ РОЗРОБНИКУ

Артем Терейковський
Осердя з порошкових матеріалів 10

ВИРОБНИЦТВО ЕЛЕКТРОНІКИ: МАТЕРІАЛИ

Андрій Григоревський
Рекомендації щодо конформного покриття 18

ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНІ КОМПОНЕНТИ

Кива Джуринський
Покриття радіочастотних з'єднувачів 22

ПРОЄКТУВАННЯ ДРУКОВАНИХ ПЛАТ

Закарайа Петерсон (Zachariah Peterson)
Переклад та технічне редагування:
Олександр Соколовський
Аналіз цілісності живлення за допомогою програмного забезпечення для проєктування друкованих плат 28

ВИМІРЮВАЛЬНА ТЕХНІКА

Переклад та редагування: Віктор Бутирін
Інтерпретація та застосування поняття ймовірності перехоплення при спектральному аналізі в реальному часі. 32

ПЛІС

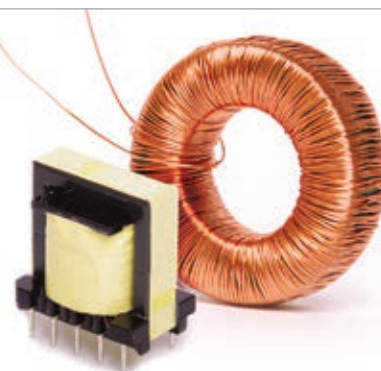
Ілля Тарасов
Огляд характеристик ПЛІС Xilinx Versal. 36

www.adcgr.com

**ВЛАСНЕ ВИРОБНИЦТВО
В УКРАЇНІ МОТОЧНИХ ВИРОБІВ
ЗГІДНО ДОКУМЕНТАЦІЇ
АБО ЗА ТЕХНІЧНИМ
ЗАВДАННЯМ**



ТОВ «АДС ТІМ»
Україна, м. Київ
пров. Ю. Матушка, 3, оф. 126



тел. +38 044 206 22 52
моб. +38 067 249 77 58
+38 050 464 22 52

СИЛОВА ЕЛЕКТРОНІКА

Ануп Бхалла (Anup Bhalla)

Переклад та доповнення:

Володимир Рентюк

Ви за SiC чи кремній?

Частина 6. Використання польових SiC-транзисторів у блоках живлення центрів обробки даних і телекомунікаційного обладнання

42

Джордж Уорд (George Ward)

Переклад та редагування:

Євген Тетерев, Віталій Шевченко

Карбід-кремнієві компоненти компанії

Microchip для промисловості, авіації

та оборонної сфери

52

РИНОК ЕЛЕКТРОНІКИ

Нові рішення для безпеки, живлення

та АЦП від Analog Devices

56

ДАТЧИКИ

Удосконалені акселерометри зі штучним

інтелектом підвищують продуктивність

та ефективність додатків

59

МЕРЕЖІ, СИСТЕМИ, АПАРАТУРА

Крейг Міллер (Craig Miller),

Дразен Дрініч (Drazen Drinic)

4G LTE vs 5G: боротьба із занепадом

мереж 2G і 3G

60

Міхаель Радау (Michael Radau)

Використання наявної інфраструктури

для однопарного Ethernet (SPE).

Збереження енергії, ресурсів та матеріалів

64

МІКРОКОНТРОЛЕРИ

Створені за технологією SOTB

мікроконтролери Renesas

працюють на енергії, яку отримують

із навколишнього середовища

68

ІНТЕРФЕЙСИ

Лі Голдберг (Lee Goldberg)

Переклад та редагування: Роман Горелков

У чому різниця між шинами I²C та I³C?

72

ВІЗИТКИ

76

ВИСТАВКИ

81

ІНФОРМАЦІЙНА СТОРІНКА

84



Захисні покриття для електроніки

Холодний цинкувальний спрей ZINC Bright 63 ECS, 400 мл



Спрей ZINC Bright – це суміш із високим вмістом цинку для холодного гальванічного цинкування, призначена для захисту від корозії та іржі. ZINC Bright формує міцну та еластичну плівку, яка з'єднується з будь-яким металом основи. Плівка містить 99,5% чистих цинкових пігментів та з'єднується з чистим металом електрохімічним способом. Покриття забезпечує активний захист гальванічними анодами та зупиняє утворення іржі навіть при подряпинах та стиранні. Покриття швидко сохне, має відмінну адгезію та утворює сірий шар. Спрей ZINC Bright відповідає стандартам DIN 50976 та Mil. Specs.

Застосування

Підходить, зокрема, для захисту від корозії конструкційних сталей, будівель зі сталевих конструкцій, сталеві дахи, вікна та двері; для нанесення на цинкові покриття, зварювальні шви та шви точкового зварювання, обладнання для дому та саду, кондиціонери, вежі охолодження та сільськогосподарське обладнання.

Важливо

Максимальний захист гальванічними анодами гарантується лише за умови розпилення на чисту та суху поверхню.

Для цього попередньо видаліть пухкі продукти корозії та залишки старих покриттів металевою щіткою. Потім потрібно знежирити та видалити забруднення за допомогою спрею ECS ELECTRO-CLEANER або ізопропилового спирту. Перед нанесенням спрей необхідно ретельно перемішати: потрясти балон протягом 2 хвилин, щоб кульки всередині вільно переміщувались. Розпиліть спрей на всю поверхню деталей, які потрібно обробити з відстані близько 30 см, неближче, бо інакше нанесений шар розтікатиметься. Розпилювальна форсунка має самоочищувальну функцію. Якщо вона все ж таки засмітиться, очистіть її за допомогою будь-якого розчинника.

Технічні дані:

- Колір сірий
- Питома густина (20° C): 0,95 г/см³
- Умови висихання: 30 хв., покриття сухе на дотик
- Кімнатна температура: 24 години, повна витримка
- Термостійкість: до +200 °C
- Короткострокова термостійкість: +300 °C
- Оптимальна товщина плівки: 60 – 80 мкм
- Чистота цинковмісного пігменту: 99,5%

Зберігання / Термін придатності

Термін придатності становить 5 років за умови правильного зберігання.

Видаляч флюсу ECS FLUX-OFF 05

Ефективно видаляє каніфольні флюси та інші залишки після паяння. FLUX-OFF — м'який, але ефективний очищувач, що легко видаляє найстійкіші залишки флюсу, паяльних мастил та інших забруднень, таких як: жир, бруд і формувальні суміші. FLUX-OFF безбарвний і не залишає залишків. Використовується для обережного й інтенсивного очищення друкованих плат, електронних вузлів та інших електронних компонентів, також придатний для знежирення деталей та обладнання. Він не пошкоджує матеріали, що широко використовуються в електронній промисловості та побуті. Однак при цьому його не слід використовувати для ПВХ і полістиролу.

Застосування

FLUX-OFF доцільно використовувати для обережного, але інтенсивного очищення друкованих плат, електронних вузлів та інших електронних компонентів. Крім того, він також підходить для знежирення установок і приладів. Ретельно нанесіть FLUX-OFF на залишки, які необхідно видалити. Для більш точного нанесення використовуйте подовжувальну трубку, що додається до засобу. Для більш ефективного очищення слід використовувати адаптер-пензель Brush Adapter. Розчинникам необхідний певний час, щоб подіяти. Для захисту друкованих плат після процесу очищення ми рекомендуємо використовувати захисні покриття PLASTIC 70 та URETHANE 71.

Адаптер — пензель



Важливо

Під час очищення електронні пристрої слід вимкнути, кабель живлення також має бути від'єднаний від джерела живлення. Також слід прийняти до уваги інструкції щодо очищення від виробників пристроїв, що підлягають очищенню.



Артикул	Назва
42673	Холодний цинкувальний спрей ZINC Bright 63 ECS, 400 мл
39770	Видаляч флюсу FLUX-OFF 05 ECS, 400 мл
39809	Адаптер — пензель Brush Adapter ECS

Новини світу електронних компонентів

ECC608 TRUSTMANAGER З KUDELSKI IOT KEYSTREAM

Оскільки світ покладається на взаємопов'язані системи Інтернету речей — від побутових приладів, таких як розумні термостати, технології віртуальних помічників і цифрові дверні замки, до медичних і промислових застосувань — потреба в надійному кіберзахисті вбудованих систем ніколи не була такою великою. Щоб підвищити безпеку продуктів Інтернету речей і полегшити їх налаштування та керування, компанія **Microchip Technology** додала ECC608 TrustMANAGER з Kudelski IoT keySTREAM, програмне забезпечення як послугу SaaS (Software as a Service), до свого портфоліо пристроїв, сервісів та інструментів Trust Platform.

Завдяки керуванню та оновленню облікових даних безпеки в реальних умовах за допомогою keySTREAM — замість того, щоб обмежуватися статичним ланцюжком сертифікатів, впровадженням під час виробництва — ECC608 TrustMANAGER дозволяє точно надавати користувацькі криптографічні облікові дані в кінцевій точці, не вимагаючи налаштування ланцюжка постачання, і може бути керованим кінцевим користувачем. keySTREAM пропонує рішення «від пристрою до хмари» для наскрізного захисту ключових активів в екосистемі Інтернету речей впродовж усього життєвого циклу продукту.

ECC608 TrustMANAGER покладається на захищену мікро-

схему аутентифікації, яка призначена для зберігання і захисту криптографічних ключів і сертифікатів, які потім керуються за допомогою сервісу keySTREAM SaaS. Комбінований кремнієвий компонент та керування ключами SaaS дозволяють користувачеві налаштувати кореневий центр сертифікації, що обслуговує себе сам (root Certificate Authority), та пов'язану з ним інфраструктуру відкритих ключів PKI (public key infrastructure), захищену Kudelski IoT, створювати та керувати динамічним ланцюжком сертифікатів та пристроями забезпечення в польових умовах при першому підключенні. Після реєстрації в обліковому записі SaaS пристрої автоматично активуються в сервісі keySTREAM користувача за допомогою функції забезпечення в польових умовах.

«Оскільки кількість підключених пристроїв стрімко зростає, а стандарти й правила безпеки посилюються, розробники IoT шукають більш ефективні способи керування своїми пристроями після того, як продукція потрапляє до рук клієнтів, — сказав Нурі Дагдєвірен, корпоративний віце-президент групи безпечних рішень компанії Microchip. — Наше партнерство з Kudelski та додавання keySTREAM до нашого ECC608 TrustMANAGER дозволяє клієнтам ефективно керувати, масштабувати та оновлювати екосистему Інтернету речей за допомогою хмарного сервісу безпеки SaaS для забезпечення безпеки на місцях та керування сертифікатами.

Стандарти безпеки та майбутні нормативні акти все частіше вимагають модернізації інфраструктури безпеки для пристроїв Інтернету речей. Це складне завдання для традиційно статичних реалізацій безпеки Інтернету речей, які вимагають фізичної модернізації, наприклад, заміни мікросхем безпеки в кожному пристрої, щоб відповідати вимогам. З ECC608 TrustMANAGER цей процес автоматизований і масштабований, що дозволяє безпечно й ефективно керувати пристроями протягом усього їх життєвого циклу. Він також дозволяє легко керувати правами власності на пристрої без необхідності заміни обладнання, оскільки ключі безпеки оновлюються в цифровому вигляді з хмари на пристрій. Такий підхід також спрощує процеси ланцюжка постачання для партнерів з дистрибуції.

«ECC608 TrustMANAGER з keySTREAM знаменує собою ключовий момент у нашому прагненні захистити ландшафт Інтернету речей і спростити процес забезпечення. Наша співпраця з Microchip — це не просто виведення на ринок передових рішень безпеки, це встановлення нового стандарту безпеки розумних пристроїв у всьому світі, — сказав Харді Шмідбауер, старший віце-президент Kudelski IoT. — Використовуючи відомі напівпровідникові технології Microchip разом з послугами безпеки Kudelski IoT, ми готові забезпечити захист і нову простоту надання послуг для виробників пристроїв IoT».

Цей тип динамічного забезпечення та керування пристроями в польових умовах відповідає стандартам безпеки Інтернету речей і буде корисним для оновлення сертифікатів пристроїв, необхідних для забезпечення відповідності вимогам безпеки, що постійно змінюються. KeySTREAM SaaS дозволяє постійно оновлювати ключі, призначені для запобігання та захисту від нових загроз і вимог безпеки. Надання послуг на місці також усуває необхідність кастомізації для більш ефективного виробництва.

ECC608 — це перша мікросхема безпеки в серії TrustMANAGER. Для початку завантажте Trust Platform Design Suite і протестуйте сценарій використання keySTREAM під керуванням ECC608 TrustMANAGER.

www.microchip.com

ПОКРАЩЕНИЙ ЗАХИСТ КОДУ ТА ВИХІДНА ПОТУЖНІСТЬ ДО 15 ВТ

Загальновідомими перевагами інтерфейсу універсальної послідовної шини USB (Universal Serial Bus) для вбудованих систем є його сумісність з різними пристроями, спрощений протокол зв'язку, можливість оновлення в польових умовах і можливість подачі живлення. Щоб допомогти легко інтегрувати цю функціональність у вбудовані системи, компанія **Microchip Technology** випустила сімейство мікроконтролерів (MCU) AVR[®] DU. Як наступне покоління 8-розрядних мікроконтролерів Microchip з підтримкою USB-з'єднання, сімейство AVR DU розроблено для забезпечення розширених функцій безпеки й вищої енергоефективності, ніж попередні версії.

«USB — це стандартний протокол зв'язку та спосіб подачі живлення для електронних пристроїв, — говорить Грег Робінсон (Greg Robinson), корпоративний віце-президент підрозділу 8-розрядних мікроконтролерів компанії Microchip. — Сімейство AVR DU від Microchip поєднує в собі гнучкість наших найсучасніших 8-розрядних мікроконтролерів з універсальністю покращеної подачі живлення,

Pcb24 — сервіс з експрес виробництва прототипів і невеликих партій одно- та двохшарових друкованих плат

**За 24 години ВИГОТОВИМО
Ваше замовлення**

Власне виробництво у м. Львів



ТОВ «Крієйтів Лоджікс»
www.pcb24.com.ua

pcbprint24@gmail.com
068 614 38 28

що дозволяє використовувати переваги USB в широкому спектрі вбудованих систем».

Мікроконтролери AVR DU підтримують подачу живлення потужністю до 15 Вт через інтерфейс USB, що нечасто зустрічається в інших USB-мікроконтролерах цього класу. Ця функція дозволяє заряджати USB-C® струмом до 3 А при напрузі 5 В, що робить ці мікроконтролери чудовим вибором для таких пристроїв, як портативні повербанки та іграшки, що перезаряджаються.

Для посилення захисту від атак зловмисників у сімействі AVR DU реалізована функція PDID (Program and Debug Interface Disable) від компанії Microchip. Коли ця функція увімкнена, посилений кодовий захист блокує доступ до інтерфейсу програмування/налагодження та блокує несанкціоновані спроби зчитування, модифікації або стирання прошивки. Для безпечного оновлення мікропрограми в сімействі AVR DU використовується флеш-пам'ять RWW (Read-While-Write), а в поєднанні з захищеним завантажувачем розробники можуть використовувати USB-інтерфейс для виправлення помилок,

вирішення проблем безпеки і додавання нових функцій без порушення роботи пристрою. Ця оновлена функціональність в мікроконтролерах AVR DU призначена для безперервного оновлення без відриву від виробництва, щоб допомогти продовжити термін служби виробів.

Крім того, сімейство AVR DU допомагає знизити загальну вартість розробки та специфікацію завдяки функції відновлення синхронізації по USB, яка усуває необхідність у дорогому зовнішньому кристалі. Незалежні від ядра периферійні пристрої CIP (Core Independent Peripherals) дозволяють розробникам об'єднати основні функції пристрою і завдання керування системою в компактному однокристальному рішенні, заощаджуючи місце на платі і знижуючи трудомісткість проектування.

Розробники широкого спектра вбудованих пристроїв, від фітнес-браслетів і побутової техніки до сільськогосподарських і промислових застосувань, можуть отримати вигоду від використання високоефективних мікроконтролерів AVR DU у своїх проєктах. Віртуальна демонстра-

ція сімейства AVR DU доступна на сайті.

MPLAB® Code Configurator (MCC) містить стек програмного забезпечення, який підтримує апаратні функції USB-модуля мікроконтролера AVR DU. Повністю інтегрований в систему засобів розробки MPLAB, готовий до використання стек програмного забезпечення USB легко налаштовується за допомогою MCC Melody, полегшуючи процес розробки та скорочуючи час виходу на ринок. Для швидкого створення прототипів і розробки доступні також плата розробки Curiosity Nano (EV59F82A), інтегроване середовище розробки (IDE) MPLAB X і компілятор MPLAB XC8 для підтримки сімейства AVR DU.

www.microchip.com

ІНТЕЛЕКТУАЛЬНІ ДРАЙВЕРИ ДЛЯ СВІТЛОДІОДІВ

Сфера світлодіодного освітлення вже стала доволі зрілою галуззю з прогресом у «люменах на ват» та інтеграцією інтелектуального управління освітленням. Різні країни вста-

новили детальні правила безпеки та норми енергоощадження, щоб забезпечити безпеку користувачів. Новітні блоки живлення для світлодіодів від **MEAN WELL** серії XLN/XLC мають найповнішу сертифікацію з безпеки та найбільше варіантів дімування. MEAN WELL також підтримує глобальну ініціативу щодо досягнення нульових викидів вуглецю до 2050 року шляхом енергоощадження.

Нові серії XLN-25/40/60 це компактні драйвери для світлодіодів в герметичних корпусах захищених по стандарту IP67, які підключаються за допомогою незалежних дротів. В XLC-25/40/60 для підключення використовуються клемні колодки, які можуть бути як відкритими, так і закритими. В драйверах є можливість обрати декілька параметрів вихідного струпу за допомогою DIP-перемикача або NFC. Що стосується дімміну, то тут також є різні дрові або бездротові інтерфейси, такі як: «3 в 1», DALI-2, KNX, Casambi, Matter (IoT) тощо. Мінімальна яскравість може бути відрегульована до 0.1%.

www.meanwell.com



Нові компактні джерела живлення потужністю 200 та 300 Вт

Серії LOP-200/300

- Діапазон вхідної напруги 80...264 В AC та 113...370 В DC
- Активний PFC, споживання < 0.5 Вт в режимі Stand-By
- Номінальні вихідні напруги від 12 до 54 В DC
- Пікове навантаження до 150% протягом 3 секунд
- Додатковий вихід 12 В / 0.5 А
- Максимальний ККД до 94%
- Діапазон робочих температур від -40 до +80°C
- Розміри 101.6×50.8×25.4 мм
- Глобальні сертифікати безпеки IEC/EN 62368-1, 60335-1, 60601-1
- Відповідність 2×MOPP для медичних приладів Type BF

Компанія SEA — офіційний дистриб'ютор MEAN WELL на території України



ІННОВАЦІЇ ТА
ЕФЕКТИВНІСТЬ

Україна, 02094, м. Київ, вул. Краківська, 13-Б
тел./факс: +38 044 330-00-88
info@sea.com.ua, www.sea.com.ua

НАДШИРОКОДІАПАЗОННІ DC/DC-ПЕРЕТВОРЮВАЧІ

Компанія **RECOM** поповнила економічну лінійку DC/DC-перетворювачів RMOD двома новими продуктами — RMOD300-UW та RMOD360-UW. Обидва DC/DC-перетворювачі виконані в корпусі розміром 190x76x44 мм з охолодженням, оснащені роз'ємами MOLEX і мають надширокий вхід від 18 до 106 В постійного струму (126 В DC/10 хв), що дозволяє використовувати батареї від 24 до 90 В. RMOD300-UW потужністю 300 Вт доступний з одним повністю регульованим виходом 12.2, 13.7 або 24.5 В постійного струму, а RMD360-UW потужністю 360 Вт має один вихід 24.5 В постійного струму.

Обидві моделі мають корпус з полікарбонату та алюмінієву основу з ущільненням IP67 для електронних компонентів і класом захисту IP20 для всього виробу в цілому в умовах забруднення 2 ступеня (PD2) на висоті до 5000 м над рівнем моря, що дозволяє встановлювати їх на будь-яку частину шасі транспортного засобу. Деякі моделі доступні з альтернативними роз'ємами для забезпечення класу захисту IP67.

Ізоляція становить 2250 В постійного струму між входом і виходом «базового» класу та 550 В постійного струму між входом і опорною плитою відповідно до IEC/EN/UL/CSA 62368-1. Стандарти електромагнітної сумісності серії IEC 61000 відповідають вимогам стандарту EN 12895 — EMC для промислових вантажівок, а деталі відповідають вимогам стандарту IEC 60068-2 щодо ударостійкості та вібрації.

Досягнутий час напрацювання на відмову — до 740 тис. годин.

Нові продукти RMOD мають комплексний захист — блокування від неправильної полярності на вході та низької напруги, перегріву, перенапруги на виході, перевантаження по струму та короткого замикання. Як додаткові функції, передбачено керування увімкненням/вимкненням, а також можливість паралельного з'єднання виробів з однаковою вихідною напругою для збільшення потужності. Ці компактні DC/DC з ККД близько 90% здатні працювати при температурі навколишнього середовища від -40 до +75 °C із зазначеним зниженням.

Типове застосування цих DC/DC-перетворювачів — забезпечення стабільної напруги 12 або 24 В у транспортних засобах, електромобілях, вилочних навантажувачах, вантажівок і будівельній техніці від тягової акумуляторної батареї з великою змінною або високою напругою, а також у складних умовах експлуатації.

www.recom-power.com

ОБ'ЄДНАННЯ НОВИТНІХ МІКРОСХЕМ BLUETOOTH У ДВОХ НОВИХ КОМПАКТНИХ МОДУЛЯХ

Нові універсальні Bluetooth LE модулі від компанії **u-blox** ALMA-B1 і NORA-B2, що інтегрують нові мікросхеми Nordic серії nRF54, забезпечують потужну обробку даних і високий рівень безпеки для високотехнологічних і промислових застосувань IoT.

Компанія u-blox оголосила про поповнення свого портфоліо

Bluetooth LE двома новими модулями — ALMA-B1 і NORA-B2. Модулі базуються на новітньому поколінні систем на кристалі (SoC) серії nRF54 від Nordic Semiconductor. Обидва модулі підтримують Bluetooth LE 5.4 та технології Thread/Matter у компактному, енергоефективному та безпечному форматі.

ALMA-B1 і NORA-B2 розроблені для широкого спектра застосувань Інтернету речей, включаючи промислову автоматизацію, охорону здоров'я та розумний дім. ALMA-B1 — це бездротовий мікроконтролер високого класу, в той час як NORA-B2 забезпечує наднизьке енергоспоживання для менш складних застосувань. У прикладі позиціонування в приміщенні ALMA-B1 може виступати як опорна точка завдяки своїм широким обчислювальним можливостям, в той час як енергоефективність NORA-B2 робить його придатним для міток для відстеження об'єктів.

За даними ABI Research, очікується, що до 2028 року обсяги постачання пристроїв Bluetooth LE приблизно подвоються. Водночас нові застосування, що з'явилися завдяки AI / EdgeML і злиттю сенсорів, викликають потребу в додаткових і більш жорстких вимогах, включаючи вищий рівень безпеки, більшу обчислювальну потужність і ефективне споживання енергії акумулятора.

Працюючи на малопотужних багатопрокольних мікросхемах nRF54H20 і nRF54L15 Nordic, ALMA-B1 і NORA-B2 надають пристроям IoT обчислювальну потужність для периферійних обчислень і машинного навчання без додаткових компонентів. Маючи більш ніж удвічі більшу обчислювальну потужність, ніж

попередні модулі Bluetooth LE, ALMA-B1 може навіть замінити універсальні мікроконтролери в компактному рішенні.

Обидва модулі також пропонують значне зниження енергоспоживання. NORA-B2 споживає до 50% менше струму порівняно з попередніми поколіннями модулів Bluetooth LE. Це означає менший розмір батареї або довший час автономної роботи в кінцевих продуктах.

Розроблені для PSA Certified Level 3, ALMA-B1 і NORA-B2 забезпечують найвищий рівень безпеки IoT. На додаток до таких функцій, як безпечне завантаження, безпечне зберігання даних, безпечні інтерфейси налагодження та апаратні криптоприскорювачі, обидва модулі мають функції безпеки наступного покоління, такі як фізичне виявлення несанкціонованого доступу та захист від атак з побічних каналів.

Розміри модулів (10x11 мм або 10x14 мм) значно економлять простір і полегшують міграцію з інших модулів u-blox. Обидва модулі мають міжнародну сертифікацію.

«Ми раді бачити, що чипсети Nordic останнього покоління, серія nRF54, інтегровані в ці модулі u-blox. Їхній повний потенціал, безсумнівно, відкриє безліч революційних кінцевих продуктів IoT, які раніше були неможливими. Чудова енергоефективність ALMA-B1 при обробці радіосигналів і мікроконтролерів та наднизьке енергоспоживання NORA-B2 для масового ринку є явними ринковими диференціаторами», — говорить Томас Холмберг (Thomas Holmberg), регіональний директор з продажу Nordic Semiconductor.

MAXTENA

<p>M7HCT-A-SMA</p>  <ul style="list-style-type: none"> • Active quadrifilar helix antenna for RTK applications • Concurrent GNSS reception on L1: GPS, GLONASS, Galileo, Beidou L2: GPS L2C, GAL E5B, GLO L3OC L5: GPS (M8HCT-A-SMA) L-Band (M9HCT-A-SMA) • Rugged IP-67 rating with SMA • Dimensions (mm) Ø 35 x H 37 <p style="text-align: center; color: red;">MAXTENA MPA-254-WIFI</p> 	<p>M1575HCT-22P-SMA (GG)</p>  <ul style="list-style-type: none"> • I High performance passive GPS or GPS/GLO antenna • Very low axial ratio • IP-67 mounted and unmounted • Ultra light weight - 10 grams • Ground plane independent • Dimensions (mm) Ø 18.5 x H 38 • SMA connector • Internal version available: Ø 12.85 x H 24.30, only 2g weight <p style="text-align: center; color: red;">MAXTENA MEA-2400-UWB-SM</p> 	<p>M1575HCT-22P-SMA (GG)</p>  <p style="text-align: center; color: red;">MAXTENA MEA-2400-MM</p> 
---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

WWW.MICRODIS.NET

Роман Прокопєць – менеджер з продажу

(067) 475-81-86

Roman.Prokopets@microdis.net

ALMA-B1 і NORA-B2 доступні у вигляді бездротових мікроконтролерів. Обидва модулі пропонують два варіанти антени: штирова антена або вбудована антена на друкованій платі.

www.u-blox.com

5G EMBB LGA-МОДУЛІ НА БАЗІ СИСТЕМИ SNAPDRAGON X72 5G MODEM-RF

Компанія **Telit Cinterion** представила сімейство модулів Telit Cinterion FE990B34/40 LGA на базі 5G-модерно-радіочастотної системи Snapdragon® X72 від Qualcomm Technologies, Inc. Нові революційні модулі оснащені потужним чотириядерним процесором для оптимальної обчислювальної потужності, а також широким спектром інтерфейсів для максимальної гнучкості інтеграції периферійних пристроїв, що значенує собою значний стрибок вперед в області підключення 5G.

Завдяки чипсету Snapdragon X72, розробленому для наступного етапу еволюції 5G, передбаченого 3GPP Release 17, сімейство

FE990B34/40 LGA переосмислює можливості зв'язку в мережах 5G NR, LTE і WCDMA, надаючи розробникам можливість створювати передове абонентське обладнання CPE (customer premise equipment), маршрутизатори та шлюзи. Модулі підтримують два або трибазові варіанти виконання (component carriers), забезпечуючи гнучкість і сумісність, задовольняючи різноманітні вимоги ринку.

Завдяки потужному чотириядерному процесору ARM Cortex A55 з тактовою частотою 2.2 ГГц, що забезпечує неперевершені обчислювальні можливості, та операційній системі OpenWRT з розширеними мережевими функціями, сімейство модулів FE990B34/40 LGA дозволяє клієнтам інтегрувати власне програмне забезпечення без використання зовнішнього процесора, в той час як широкий спектр інтерфейсів забезпечує пряме підключення до трьох Wi-Fi трансиверів та двох чипів Ethernet, забезпечуючи максимальну гнучкість для безперешкодної інтеграції периферійних пристроїв і підвищуючи загальну універсальність.

Нові модулі також оснащені технологією 5G sub-6 з підтрим-

кою гігабітного LTE і WCDMA, а також високотехнологічним приймачем GNSS з підтримкою декількох супутникових систем. Ці модулі ідеально підходять для захищених застосувань, мають компактні розміри та багатий функціонал, що робить їх придатними для високопродуктивних корпоративних і промислових застосувань, включаючи фіксований бездротовий доступ FWA (fixed wireless access) всередині й зовні приміщень, пристрої потокового відео і відеоспостереження, а також мобільні та промислові маршрутизатори і шлюзи.

www.telit.com

РОЗШИРЕННЯ ПРОПОЗИЦІЇ REDCAP

Компанія **Quectel Wireless Solutions** повідомила про комерційну доступність LGA-модуля RG255C-GL 5G Redcap Sub-6GHz, що забезпечує комплексне покриття 5G і 4G по всьому світу. Заснований на чипсеті Snapdragon® X35 від Qualcomm Technologies, RG255C-GL пропонує виняткову продуктивність

бездротового зв'язку, забезпечуючи безперебійний зв'язок 5G з низькою затримкою і розширені функції, включаючи 5G LAN, URLLC і мережеве розгалуження.

RG255C-GL, що відповідає стандартам 3GPP Release 17, має компактний форм-фактор LGA з розмірами 32.0 × 29.0 × 2.4 мм. Завдяки високій швидкості передачі даних (223 Мбіт/с у низхідному напрямку і 123 Мбіт/с у висхідному напрямку), він підходить для таких застосувань, як CPE, MiFi, маршрутизатор, шлюз або промисловий КПК. Крім того, цей модуль підтримує режими LTE Cat 4 і 5G Sub-6 SA, забезпечуючи сумісність з мережами Rel-15 і Rel-16 для безперешкодної інтеграції та універсального розгортання.

Крім того, модуль сумісний з модулями 4G Quectel серії EG2x з меншими розмірами, які можуть задовольнити різні вимоги клієнтів до середньої швидкості, великої ємності, низької затримки і високої надійності, що робить його ідеальним рішенням для клієнтів при проектуванні поточних пристроїв.

«Комерційна доступність модуля RG255C-GL 5G RedCap пропонує нашим клієнтам доступ до переваг 5G без супутніх витрат і



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

енергоспоживання, — прокоментував Норберт Мюер (Norbert Muhrer), президент і головний виконавчий директор Qucetel Wireless Solutions. — Ця технологія прокладає шлях для різноманітних застосувань Інтернету речей, які потребують глобального покриття 4G і 5G з наднадійним зв'язком з низькою затримкою (URLLC) і розгалуженням мережі».

Модуль RG255C-GL розроблений для глобального ринку і охоплює майже всіх основних операторів зв'язку в усьому світі. Модуль оснащений технологією визначення місцезнаходження Qualcomm® IZat™, пропонуючи функції позиціонування GPS, ГЛОНАСС, BDS і Galileo. Завдяки вбудованому GNSS-приймачу клієнти можуть спростити дизайн свого продукту, насолоджуючись розширеними можливостями позиціонування з більшою швидкістю і точністю. Широкий вибір інтерфейсів, зокрема USB 2.0, PCIe 2.0, PCM, UART, SGMII і SPI, а також велика кількість драйверів означає, що цей модуль ідеально підходить для широкого спектра застосувань RedCap.

Компанія Qucetel надає пріоритет безпеці на всіх етапах розробки своїх модулів Інтернету речей. Починаючи з архітектури продукту і закінчуючи розробкою прошивки/програмного забезпечення, Qucetel інтегрує кращі галузеві практики і стандарти для усунення потенційних вразливостей. Компанія співпрацює зі сторонніми незалежними випробувальними центрами для зниження ризиків і впровадження заходів безпеки, таких як генерація SBOM і VEX-файлів, а також проведення бінарного аналізу прошивки протягом усього життєвого циклу розробки програмного забезпечення.

RG255GC-GL RedCap буде доступний разом з серією антен, що дозволить розробникам придбати модуль і антени одночасно.

www.quectel.com

**КОМПАКТНЕ РІШЕННЯ
ДЛЯ ВЕЛИКИХ ЗАВДАНЬ**

Простір — дефіцитний товар, особливо у світі електротехніки, де кожен міліметр на рахунок. Незалежно від того, чи це портативний оптичний пристрій, чи стаціонарна установка. Тенденція до все менших застосувань ставить нові виклики перед користувачами та виробниками. Щоб задовольнити ці вимоги, компанія ODU пропонує відповідне рішення — ODU MINI-SNAP® Super Shorty серії F. Цей роз'єм вирішує проблеми там, де немає місця для помилок, зокрема, завдяки можливості адаптації кабельної збірки до конкретного застосування.

www.odu-connectors.com

**НАСТУПНЕ ПОКОЛІННЯ
ТЕХНОЛОГІЇ КАРБІДУ
КРЕМНІЮ**

Компанія **Infineon Technologies AG** відкриває новий розділ в енергетичних системах і перетворенні енергії та представляє наступне покоління транзисторів MOSFET з карбіду кремнію (SiC). Нові Infineon CoolSiC™ MOSFET 650 і 1 200 В покоління 2 покращують ключові показники продуктивності MOSFET, такі як накопичена енергія і заряд, на 20% в порівнянні з попереднім поколінням без шкоди для якості і надійності, що призводить до підвищення загальної енергоефек-

тивності та подальшого сприяння декарбонізації.

Технологія CoolSiC MOSFET покоління 2 (G2) продовжує використовувати продуктивні можливості карбіду кремнію, забезпечуючи менші втрати енергії, що перетворюється на вищу ефективність під час перетворення енергії. Це дає значні переваги споживачам для різних силових напівпровідникових застосувань, таких як фотовольтаїка, накопичувачі енергії, зарядки електромобілів постійного струму, моторні приводи та промислові джерела живлення. Станція швидкої зарядки постійного струму для електромобілів, оснащена CoolSiC G2, дозволяє зменшити втрати потужності на 10 відсотків порівняно з попередніми поколіннями, забезпечуючи при цьому більшу ємність зарядки без шкоди для габаритів. Тягові інвертори на основі пристроїв CoolSiC G2 можуть ще більше збільшити дальність пробігу електромобілів. У сфері відновлюваних джерел енергії сонячні інвертори, розроблені з використанням CoolSiC G2, дозволяють мати менші розміри при збереженні високої вихідної потужності, що призводить до зниження вартості за ват.

«Мегатенденції вимагають нових та ефективних способів виробництва, передачі та споживання енергії. Завдяки CoolSiC MOSFET G2 компанія Infineon виводить продуктивність карбіду кремнію на новий рівень, — говорить д-р Пітер Вавер (Peter Wawer), президент підрозділу екологічно чистої промислової енергетики компанії Infineon. — Це нове покоління SiC-технологій дозволяє прискорити розробку більш економичних, компактних, надійних і високоефективних систем, які заощаджують енергію і знижують викиди CO₂ на кожен ват, встановлений на виробництві. Це

чудовий приклад невпинного духу компанії Infineon, яка постійно прагне до інновацій, що сприяють декарбонізації та діджиталізації в промисловому, споживчому та автомобільному секторах».

Новаторська траншейна технологія CoolSiC MOSFET від Infineon забезпечує оптимальний компроміс у дизайні, що дозволяє підвищити ефективність і надійність порівняно з наявними на даний момент технологіями SiC MOSFET. У поєднанні з технологією пакування .XT, Infineon ще більше збільшує потенціал конструкцій на основі CoolSiC G2 завдяки вищій теплопровідності, кращому контролю збірки та підвищеній продуктивності.

Володіючи всіма актуальними енергетичними технологіями на основі кремнію, карбіду кремнію та нітриду галію (GaN), Infineon пропонує гнучкість проектування та переваги прикладної нону-хау, які відповідають очікуванням і вимогам сучасних розробників. Інноваційні напівпровідники на основі широкозонних матеріалів, таких як SiC та GaN, є ключем до свідомого та ефективного використання енергії у сприянні декарбонізації.

www.infineon.com

**СТІЙКИЙ ДО ТЕРМІЧНОГО
СТАРІННЯ**

Компанія **Würth Elektronik** доповнила серію литих силових котушок індуктивності високотемпературними версіями: WE-MAPI та WE-LHMI. Нові котушки індуктивності можна використовувати безперервно при високих номінальних струмах в діапазоні температур від -55 до +150 °C. Компактні компоненти пройшли випробування на термічне старіння протягом більш ніж 1 000 годин за температури 200 °C і відповідають стандарту AEC-Q200.

Висока температура в індукторах з магнітопроводом із залізного сплаву призводить до явищ теплового старіння. Втрати в осерді різко зростають, а ефективність падає. Старіння може призвести до підвищеного самонагрівання компонента, що посилює теплове старіння. Розширюючи свою серію індукторів, Würth Elektronik пропонує силові індуктори, які не тільки не схильні до теплового старіння, але й не зазнають жодних втрат у продуктивності.

Силові котушки індуктивності SMT мають низькі втрати, високу

K206
Електронні компоненти

Все для виробництва та ремонту зі складу та на замовлення

www.k206.net
+38 096 77-99-665

ефективність, легку конструкцію та низький профіль корпусу. Їх висока навантажувальна здатність і здатність витримувати високі перехідні піки струму можуть бути використані в таких застосуваннях, як DC/DC-перетворювачі для великих струмів в джерелах живлення або для польових програмованих вентильних матриць (FPGA), перетворювачів точки навантаження (POL) або блоків живлення процесора/оперативної пам'яті.

www.we-online.com

АНАЛІЗАТОР СИГНАЛІВ ВІД 2 ДО 55 ГГц

Аналізатор сигналів N9032B PXA серії X від **Keysight**, створений для вирішення завдань з високою пропускну здатністю, таких як агрегація носійних сигналів і тестування підсилювачів 5G, 802.11ax/be, супутник, радар і радіоелектронна боротьба (РЕБ), забезпечує найширшу смугу аналізу в своєму класі. Програмне забезпечення для вимірювань допоможе вам оптимізувати найскладніші конструкції й відповідати найсучаснішим вимогам. Отри-

майте найкращі показники середнього відображуваного рівня шуму (DANL), величини вектора помилки (EVM) і чутливості в компактному форм-факторі висотою 4U.

Аналізатор сигналів N9032B PXA серії X забезпечує смугу аналізу до 2 ГГц у всіх моделях, включаючи економічну модель 8.4 ГГц. Вимірювальне програмне забезпечення PathWave дозволяє швидко і легко визначити характеристики пристроїв 802.11be і 5G NR. Новий потужний процесор дозволяє на 40% швидше отримувати практичні висновки. N9032B PXA надає більше можливостей для оптимізації DANL і динамічного діапазону завдяки унікальній передній панелі тракту сигналу.

Завдяки скоригованій смузі аналізу до 2 ГГц і потужному програмному забезпеченню PathWave Vector Signal Analysis (89600 VSA), N9032B PXA пропонує найкращі показники DANL і EVM у своєму класі. RCal підвищує точність без необхідності складного калібрування системи.

Тестування нових, складних, високопродуктивних EMSO вимагає набагато меншої DANL для швидшого пошуку відгалужень, ніж раніше. N9032B PXA

з програмним забезпеченням для векторного аналізу сигналів PathWave (89600 VSA) забезпечує відмінний показник DANL, швидший пошук відгалужень і розширену смугу пропускання, що скорочує час тестування.

Завдяки винятковому динамічному діапазону можна візуалізувати широкосмугові сигнали та гнучкі сигнали в смузі до 2 ГГц. Завдяки компактній конструкції висотою 4U більше не потрібно жертвувати продуктивністю заради лабораторного простору.

www.keysight.com

ЧУДОВЕ ЗОБРАЖЕННЯ НАВІТЬ У ВУЛИЧНИХ УМОВАХ

Компанія **Winstar** випустила IPS TFT-дисплей діагоналю 15.6 дюймів, який вирізняється видатними показниками якості зображення. Новинка WF1560ATWFA5LENO здатна надати картинку із роздільною здатністю в 1920×1080 пікселів з кутами огляду в 89°. Широкий температурний діапазон дає змогу використовувати цей мо-

дуль у вуличних умовах, а висока чіткість зображення допоможе під час візуального контролю на виробництві не упустити навіть найменших змін у графіках.

Новий 15.6-дюймовий дисплей обладнаний контролером IC CH7513A-BFI. Тепер за допомогою вбудованого інтерфейсу DisplayPort (eDP) на робочій площі 344.16×193.59 мм можна відтворювати зображення із роздільною здатністю 1920×1080 пікселів з високою частотою кадрів. Гідна швидкість передачі даних забезпечується завдяки використанню стандарту LVDS. WF1560ATWFA5LENO вирізняється широкими кутами огляду: 89° з усіх боків антивідблискової поверхні. Відмінна деталізація візуальних даних супроводжується високою контрастністю 1500:1 і хорошими показниками яскравості: типове значення знаходиться на рівні 450 кд/м².

15.6-дюймовий IPS TFT-дисплей виробництва Winstar має біле LED-підсвічування, тому вирізняється економічним енергоспоживанням. Напряга живлення становить 5 В (діапазон 4.7...5.3 В).

www.winstar.com



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)



Акcesуари для запобіжників
(термінали, кліпси та тримачі запобіжників, утримачі панелей)



Захист від перенапруги
(супресори обмежувачі електростатичного заряду та напруги)

Altway Electronics, Inc.
5970 Unity Drive Suite E,
Norcross, GA 30071, USA
www.altwaygroup.com

Тел. 044-3-922-911
E-mail: sales.int@altwaygroup.com

Осердя з порошкових матеріалів

Артем Терейковський, директор, ТОВ «НВП АСТЕРА»

E-mail: ferrite@ukr.net

ПРИРОДА ПІДКАЗАЛА

Натуральний перламутр — твердий, жорсткий і дуже міцний матеріал, що складається з шестикутних пластинок CaCO_3 , розташованих паралельними шарами, між якими знаходиться сполучна органічна речовина. На поперечному зрізі така структура нагадує цегляну кладку, яка і забезпечує перламутру механічну міцність (рис. 20б). Подібний принцип широко застосовується при створенні штучних структур і матеріалів [91].

Фундаментальні властивості МПМ, такі як проникність, сумарні втрати і максимальна робоча частота, визначаються формою, розмірами і просторовою орієнтацією магнітних частинок [93, 94]. Хаотична орієнтація частинок може збільшити ізотропність матеріалу. Проникність залежить насамперед від форми частинок, яка також впливає на коефіцієнт розмагнічування, згідно з формулою Ахароні (Aharoni) [95] і законом Снукса (Snook) [96].

Основна частина втрат у МПМ припадає на вихрові струми, що протікають усередині частинок. Зменшення розмірів частинок до значення, меншого за глибину скин-шару, має зменшити ці втрати. Імовірно, тонкі магнітні частинки, об'єднані в структуру, подібну до перламутру, можуть забезпечити таке поєднання μ_e , P_{cv} та стійкості до підмагнічування, яке неможливо отримати за використання частинок сферичної форми.

Л. Ду (L. Du) та інші [97] досліджували властивості МПМ з порошку Fe-Si-Al з частинками у формі лусок товщиною близько 650 нм. На першому етапі порошок було піддано низькотемпературній оксидзації з подальшим відпалом у суміші водню й азоту, внаслідок чого на поверхні частинок сформувалися оксиди всіх трьох елементів — Fe_2O_3 , SiO_2 і Al_2O_3 . Як було показано раніше, SiO_2 і Al_2O_3 є чудовими діелектриками,

а Fe_2O_3 — одночасно діелектриком і слабким феримагнетиком. Під дією водню під час відпалу відбулося часткове відновлення заліза з Fe_2O_3 , отже, у сформованому шарі діелектрика переважали SiO_2 і Al_2O_3 .

Щоб частинки порошку природним чином орієнтувалися в структуру з напрямом, який позначається в кристаллографії як $\langle 100 \rangle$ (рис. 21), потрібно було забезпечити тиск при пресуванні близько 2000 МПа. Після відпалу в чистому аргоні ефективна проникність μ_e досягла 694 @ 100 кГц, а сумарні втрати P_{cv} на цій частоті зменшилися до 108.8 мВт/см³ @ 50 мТ і 977.5 мВт/см³ @ 150 мТ. Показово, що втрати на гістерезис (P_e) становили 80% значення P_{cv} і помітно знижувалися за використання відпаленого порошку.

Лі (Li) та співавтори [99] показали, що проникність «лускатого» сендаста може бути більш ніж на порядок вищою, ніж у контрольного «сферичного» зразка (588.2 проти 42.2 @ 1 МГц). Потрібну форму частинкам надали подрібненням сировини в потужному кульовому млині. Отримані «лусочки» Fe-Si-Al покрили шаром наночастинок SiO_2 за методом Штобера [100]. Ретельно очищений і підготовлений композит Fe-Si-Al@ SiO_2 був спресований у тороїдальні осердя під тиском у 1200 МПа, при цьому частинки утворили структуру, подібну до перламутру.

Порівняно з МПМ зі «сферичного» порошку, «лускатий» сендаст має вищу індукцію насичення і більшу коерцитивну силу. Це пояснюється опором руху стінок магнітних доменів поблизу кордону між Fe-Si-Al і шаром SiO_2 [101], що є вищим у плоских частинок через більше співвідношення площі їхньої поверхні та об'єму. Графіки залежності P_{cv} від частоти обох МПМ перетиналися на позначці 120 кГц, вище якої втрати «лускатого» сендасту ставали меншими, ніж у «сферичного».

М. Цзін (M. Jin) і співавтори [102] досліджували властивості МПМ із «лускатого» Fe-Si-Al, на частинки якого

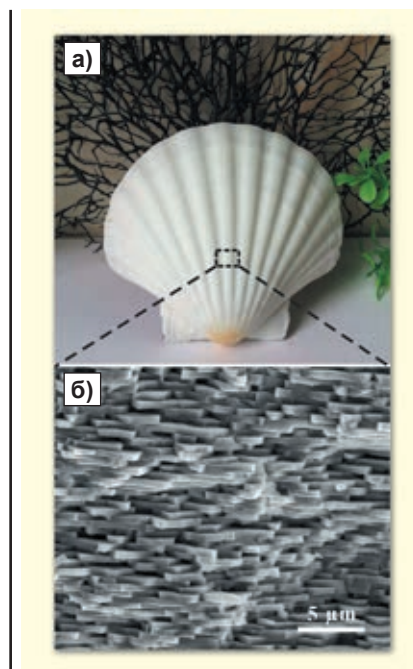


Рис. 20. Фото морської раковини (а); морфологія поперечного зрізу натурального перламутру [92] (б)

методом співосадження нанесли шар наночастинок фериту $\text{NiZnFe}_2\text{O}_4$. Завдяки рівномірному покриттю і високому питомому опору $\text{NiZnFe}_2\text{O}_4$ вдалося досягти відносно високої, близько 100, проникності матеріалу і неперевершеної стабільності характеристик у всьому діапазоні частот від 100 кГц до 10 МГц. Порівняно з контрольним зразком «сферичного» сендасту з фосфатною ізоляцією частинок, пік добротності в Fe-Si-Al@ $\text{NiZnFe}_2\text{O}_4$ змістився в ділянку високої частот ($Q = 72$ @ 1 МГц) за умови збереження низьких втрат у діапазоні 20 кГц–8 МГц.

Таким чином, роботами [97, 99, 102] було підтверджено, що зміна форми частинок зі сферичної на пластівчасту значно підвищує проникність, знижує втрати та підвищує стабільність характеристик МПМ у широкому діапазоні частот. Окрім того, пластівчаста форма магнітно-м'яких частинок покращує

* Продовження. Початок див. CHIP NEWS, № 5, 2023, № 1–2, 2024.

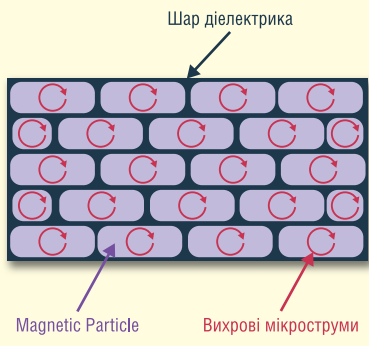


Рис. 21. Схематичне зображення поперечного розрізу МПМ із тонких магнітних частинок, згрупованих за принципом «кладка-розчин» [98]

радіопоглинаючі властивості матеріалу. В. Лі (W. Li) та співавтори [103] дослідили електромагнітні властивості МПМ із «лусок» різних розмірів зі сплаву Fe-Ni у діапазоні частот від 30 МГц до 1 ГГц. Завдяки формі частинок та високій індукції намагнічування, вивчені зразки з'явилися більш ефективними, ніж традиційні ферити, які застосовують для поглинання електромагнітного випромінювання.

У розглянутих прикладах пластівчасті частинки отримували потрібну просторову орієнтацію під дією високого тиску преса. Особливість форми частинок дає змогу використовувати й інші методи, один з яких описано нижче.

АМОРФНІ ТА НАНОКРИСТАЛІЧНІ СПЛАВИ

Аморфний стан у металічних сплавах, за якого кристалічна решітка відсутня, а розташування атомів характерне для безструктурного матеріалу, вперше було отримано в 1960 році [104]. Відтоді поняття «металічне тіло» перестало бути синонімом поняття «кристалічне тіло». Того ж року А. І. Губанов обґрунтував принципову можливість існування аморфних феромагнетиків [105]. Експериментально наявність феромагнетизму в аморфній плівці заліза була підтверджена у 1964 році.

У структурі аморфних сплавів (у подальшому — АС) відсутній дальній порядок у розташуванні атомів (рис. 22), завдяки чому сплави мають близьке до нуля значення кристалічної магнітної анізотропії (k). Ця особливість дає змогу досягти малої коерцитивної сили та високої магнітної проникності матеріалу.

Вважається, що в аморфному металевому сплаві зберігаються впорядковані атомні комплекси (так звані «клас-

тери»), характерні для кристалічного стану. Однак, при поєднанні кластерів у просторі їхній порядок порушується, тому властивості аморфного і кристалічного металів істотно відрізняються. Аморфні сплави в кілька разів міцніші через відсутність таких негативних структурних дефектів, як дислокації та межі зерен, що притаманні кристалічному стану, а також більш стійкі до корозії.

Отримання аморфної фази сплаву вимагає високої швидкості охолодження, близько 10^6 К/сек. Практичне застосування аморфних сплавів почалося тоді, коли на початку 1970-х було розроблено технології отримання АС у вигляді тонких стрічок або дроту виливанням розплаву через вузьке сопло на мідний чи бронзовий валок, що швидко обертається [106]. З таких стрічок методом навивки виробляють переважно кільцеві осердя, мінімальні розміри яких далекі від поняття «мініатюрні». Частотний діапазон трансформаторів і дроселів з аморфних стрічкових осердь зазвичай обмежений смугою 0.6...100 кГц. Для виробництва аморфних осердь складних форм і різних розмірів застосовуються порошки АС, які можна отримати як механічною фрагментацією відлитих стрічок, так і атомізацією розплаву. Однак, подрібнення аморфних матеріалів та ізоляція отриманих магнітних частинок мають деякі особливості.

Механічне дроблення аморфних/нанокристалічних стрічок, отриманих за допомогою надшвидкого охолодження, дає порошки у формі лусочок із гострими гранями, що ускладнює їхню ізоляцію. На рисунку 10е (див. CHIP NEWS, № 1, 2024) наведено фото таких частинок із нанокристалічного сплаву Vitroperm® (Fe-Si-B-Cu-Nb). Для формування заокруглених країв частинок застосовують технології подрібнення, розроблені, наприклад, Вонгом (Wang) і співавторами [107] для аморфного сплаву Fe-Si-B-C і Хуангом (Huang) і співавторами [108] для нанокристалічного сплаву Fe-Si-B-Cu-Nb.

В останні роки розроблено багато технологій виробництва порошків АС

за допомогою методів порошкової металургії [109]. У численних роботах доведено ефективність таких методів при отриманні аморфної фази різних сплавів на основі заліза, таких як Fe-Si-B [110], Fe-Zr-B [111], Fe-Al-P-B-C [112], Fe-Co-Ni-Zr-B [113], Fe-Cu-Nb-Si-B [114] і Fe-Ni-P-Si [115].

Традиційні методи атомізації не дають змоги виробляти порошки з відносно великими частинками сферичної форми, що мають високу проникність і високу індукцію насичення, здебільшого через низьку швидкість охолодження ($<10^5$ °C/сек) і слабку схильність до склоутворення (аморфізації), що називається Glass Formation Ability (GFA). Такі порошки зазвичай мають полікристалічну структуру (рис. 22) з розмірами зерен від часток до одиниць мкм. Метод SWAP [43] забезпечує швидкість охолодження понад 10^6 °C/сек, що дає змогу отримувати аморфні порошки з високим вмістом заліза (79...84%), відмінною сферичністю відносно великих частинок (>50 мкм), які мають індукцію насичення 1.54...1.63 Т та $\mu_e = 78...86$ на частотах аж до 1 МГц.

Аморфні/нанокристалічні магнітно-м'які порошкові матеріали (АМПМ) забезпечують відносно високі значення індукції насичення B_s і низькі сумарні втрати P_{cv} за низької вартості осердь. Завдяки значному питомому опору та низьким динамічним втратам, АС на основі заліза дедалі частіше застосовують у перетворювачах, що працюють на високих частотах.

Лю (Lu) і співавтори опублікували огляд [116], присвячений актуальному стану та перспективам розвитку і застосування аморфних матеріалів у силовій електроніці.

На відміну від аморфних, нанокристалічні сплави поєднують у собі обидві фази — аморфну і кристалічну, що знижує коерцитивну силу H_c і зменшує магнітострикцію сплаву (λ_s). Оскільки нанокристалічні матеріали отримують з аморфних за допомогою відповідної



Рис. 22. Схематичне зображення орієнтації атомів у монокристалічних, полікристалічних та аморфних структурах

термообробки, виробництво ефективних АС є фундаментальним процесом. Ефективність вимагає певного компромісу між індукцією насичення матеріалу B_s і GFA, оскільки введення в сплав Si і B збільшує GFA, але зменшує частку магнітних елементів. Додавання немагнітних Cu і Nb до нанокристалічних сплавів також знижує B_s , але ці елементи відіграють вирішальну роль при утворенні центрів кристалізації та блокуванні росту зерен упорядкованого твердого розчину кременію в залізі. Функція і значення кожного з доданих елементів детально описані в [116].

Зараз у промислових масштабах виробляють нанокристалічні сплави Fe-Si-B-Cu-Nb під торговою маркою Finemet і Fe-B-(Nb, Zr, Hf) під торговою маркою Nanoperm з індукцією насичення 1.24 Т і 1.6 Т відповідно. Сплави з високим питомим вмістом Fe і вищою індукцією насичення, такі, як Nanomet, перебувають на стадіях розроблення та вдосконалення [117].

АМПМ, виготовлені з цих сплавів, мають доволі високу ефективну проникність μ_e в широкому діапазоні частот, низьку коерцитивну силу H_c та помірні сумарні втрати P_{cv} завдяки чому набули широкого застосування [118]. Однак, при цьому вони мають відносно низьку B_s та слабку DCB-характеристику. На сьогодні відомо про невелику кількість робіт, спрямованих на покращення цих параметрів.

Оцука (Otsuka) та співавтори [119] розробили аморфний сплав $Fe_{81}(Si_{0.3}B_{0.7})_{17}C_2$ з індукцією насичення 1.61 Т. Зразки осердь із порошку цього АС, отриманого методом SWAP, мали індукцію насичення 0.9 Т і проникність 54% від початкової за напруженості постійного поля підмагнічування 100 Ерстед.

Періро (Pérido) і співавтори [120] та Чен (Chen) і співавтори [121] створили композитні матеріали на основі аморфних сплавів із додаванням кристалічних порошків (Fe і Fe-Si-Cr відповідно). Густина, індукція насичення та коерцитивна сила композитів лінійно зростали зі збільшенням частки кристалічної складової, але основні магнітні характеристики отриманих матеріалів не були детально описані.

Ю. Чжан (Y. Zhang) та співавтори [122] досліджували характеристики осердь, виготовлених із порошку $Fe_{77}P_6B_{10}Si_4Nb_2Cr_1$. Цей сплав має високу GFA, тому метод водної атомізації (WA) дає змогу отримувати частинки з хорошою сферичністю форми. Мікроструктура частинок аморфних сплавів

Таблиця 4. Густина та магнітні характеристики композитних АМПМ з різними масовими частинами Fe-Co

Зразок	Густина, г/см ³	B_s , Т	H_c , А/м	DCB (@100 Ерстед), %	μ_e , 100 кГц	Pcv (0.1 Т, 100 кГц)	
						мВт/см ³	мВт/г
Fe-Co 0%	5.68	0.83	1.23	50.3	50.2	735	129.5
Fe-Co 10%	5.81	0.96	1.41	53.7	48.2	815	140.3
Fe-Co 20%	5.93	1.03	1.48	57.7	48.2	880	148.4
Fe-Co 30%	6.05	1.13	1.59	62.2	44.2	980	162.0
Fe-Co 40%	6.16	1.21	1.74	65.1	42.3	1315	213.4
Fe-Co 100%	7.04	2.01	2.40	92.8	29.3	3270	464.5

забезпечує дуже низькі втрати АМПМ, однак, через невисоку індукцію насичення ($B_s = 0.83$ Т), DCB-характеристика цього АМПМ виявилася досить слабкою. У роботі [123] предметом вивчення стали властивості композиту Fe-Si-B-P-Nb-Cr@Fe-Co.

Сплави Fe-Co мають рекордно високі індукцію насичення та температуру Кюрі, а також значну механічну міцність, перевершуючи за цими параметрами чисте залізо (рис. 6, CHIP NEWS, № 5, 2023). Проникність Fe-Co сплавів досягає 92% від початкової при підмагнічуванні полем з напруженістю 100 Ерстед [124]. Таким чином, додавання Fe-Co може значно підвищити індукцію насичення і покращити DCB-характеристику композитних АМПМ. Велике значення має розмір магнітних частинок, оскільки дрібні частинки важче намагнічуються, отже, матеріал менше насичується при підмагнічуванні [119].

Для визначення оптимального співвідношення компонентів у композиті було виготовлено зразки осердь із порошку Fe-Si-B-P-Nb-Cr (метод WA, <17.9 мкм) з додаванням 10, 20, 30 і 40% масових частин попередньо відпаленого порошку Fe-Co (<9.5 мкм), а також осердя, що складаються з кожного з порошків окремо. Обидва порошки вкрили шаром нанокompозитного діелектрика з рівних масових частин Al_2O_3 та епоксидної смоли. Зразки осердь сформували у вигляді кілець розміром 20.3×12.7×5.5 мм за 1800 МПа, з подальшим відпалом у вакуумі за 460 °С. Дослідження мікротопографії поперечних зрізів зразків показало рівномірне заповнення простору частинками Fe-Co між більшими аморфними частинками.

Відпалений порошок Fe-Co має вищу індукцію намагнічування (2.35 Т), ніж вихідний сплав (1.91 Т). Індукція насичення осердя з такого порошку склала 2.01 Т. Припущення, що додавання Fe-Co до порошку аморфного сплаву підвищить індукцію насичення композитного АМПМ, підтвердилося результатами випробування зразків (табл. 4). Зі збільшенням частки Fe-Co зростали густина,

коерцитивна сила та індукція насичення композиту, поліпшувалася DCB-характеристика, при цьому очікувано знижувалася μ_e та збільшувалися P_{cv} .

Ефективна проникність (μ_e) всіх зразків залишалася майже незмінною аж до частоти 5 МГц, що свідчить про чудові частотні характеристики композитів. Виміряні значення проникності збіглися з розрахунковими, згідно з формулою, яку запропонував Періро (Pérido) [120]:

$$\mu_e = (\mu_a \cdot f_a) + (\mu_b \cdot f_b), \quad (7)$$

де μ_a і μ_b — значення ефективної проникності компонентів, f_a і f_b — їхні масові частки в композиті. Додавання Fe-Co знижує проникність, але сприяє покращенню DCB-характеристики композитів.

На рисунку 23 наведено DCB-характеристики АМПМ з різними масовими частинами Fe-Co.

Як видно з рисунку 23, осердя з порошку Fe-Co має найкращу DCB-характеристику, при цьому його проникність незначно зростає зі збільшенням підмагнічувального поля до 75 Ерстед, після чого за 100 Ерстед різко знижується до 92.8% від початкової. Це пояснюється тим, що невеликі за величиною магнітні поля зменшують опір руху стінок магнітних доменів, що збільшує проникність матеріалу. Стійкість до підмагнічування осердя з Fe-Co головним чином визначається високою індукцією насичення сплаву. У осердя з «чистого» аморфного порошку проникність становить лише 50.3% від початкової за напруженості постійного поля 100 Ерстед. Зі збільшенням масової частки Fe-Co проникність зростає до 65.1% від початкової за вмісту 40% Fe-Co.

Покращення DCB-характеристики відбувається з трьох причин. По-перше, додавання Fe-Co збільшує густина АМПМ, що вимагає впливу сильнішого поля для насичення матеріалу. По-друге, дрібні частинки Fe-Co з високою H_c мають значну величину розмагнічувального поля, яке послаблює підмагнічувальне поле [125]. По-третє, ефективна проникність композиту зменшується зі збільшенням масової частки Fe-Co, згід-

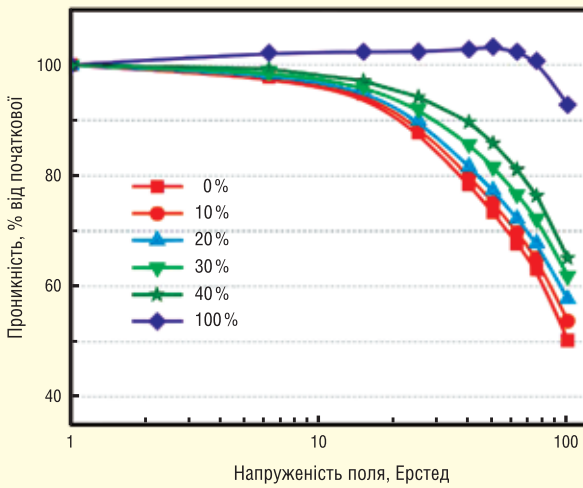


Рис. 23. Залежність проникності композитів Fe-Si-B-P-Nb-Cr@Fe-Co від підмагнічування

но з формулою (7). Низька μ_e призводить до збільшення % проникності від початкової під час насичення матеріалу [126], яке настає за більших значень струму.

Різниця між поняттями «струм збудження» і «струм намагнічування» незначна, тому їх вживають як синоніми. Власне кажучи, струмом збудження вважається та частина струму намагнічування, яка призводить до зміни індукції в осерді. Частина струму, яка викликає насичення осердя, називають «струмом перезбудження».

Осердя з матеріалу з меншою μ_e має більш полого петлю гістерезису, таким чином, насичення матеріалу настає за більших значень струму намагнічування [126]. Це дає змогу збільшити розмах індукції в осерді за однакового значення постійного струму в обмотці. Матеріал із вищою μ_e має менший струм збудження, який істотно зростає при підмагнічуванні. І навпаки, матеріали з низькою проникністю менш чутливі до підмагнічування завдяки більшим струмам збудження за нормальних умов [127, 128].

Високою проникністю матеріалу осердя часто жертвують для отримання хорошої DCB-характеристики, що знижує ефективність дроселів, які працюють при значному підмагнічуванні. У осердя з низькою початковою проникністю матеріалу ефективна проникність під час підмагнічування також зменшується, незважаючи на відмінну DCB-характеристику. Отже, необхідно підвищувати проникність матеріалу при сильному підмагнічуванні, що покращить його DCB-характеристику. Залежність μ_e АМПМ з різними масовими частками Fe-Co і «чистого» Fe-Co від напруженості поля підмагнічування показано на рисунку 24. Пунктирна лінія D1 на проєкції відображає зниження μ_e зі збільшенням масової частки Fe-Co. За напруженості поля 60 Ерстед, АМПМ без додавання Fe-Co зберігає найвищу проникність (пунктирна лінія D2). Однак, за 75 Ерстед ефективна проникність композитів зростає зі збільшенням масової частки Fe-Co (лінія D3). В АМПМ без Fe-Co ефективна проникність за 100 Ерстед є мінімальною ($\mu_e = 25.2$). Проникність композитних АМПМ, які містили 10–40% Fe-Co, за 100 Ерстед становила 25.9, 26.9, 27.5 та 27.5 відповідно. Крім того, проникність АМПМ з 30% і 40% Fe-Co виявилася вищою, ніж у «чистого» Fe-Co (27.1). Отримані результати підтверджують ефективність додавання Fe-Co до складу АМПМ для покращення його DCB-характеристики.

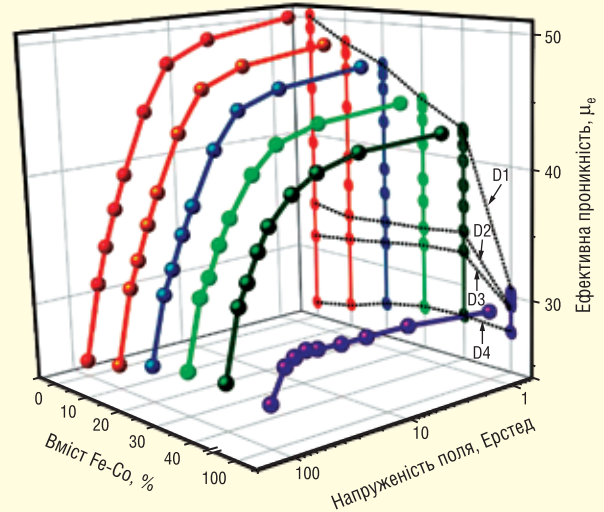


Рис. 24. Залежність ефективної проникності композитів Fe-Si-B-P-Nb-Cr@Fe-Co від підмагнічування

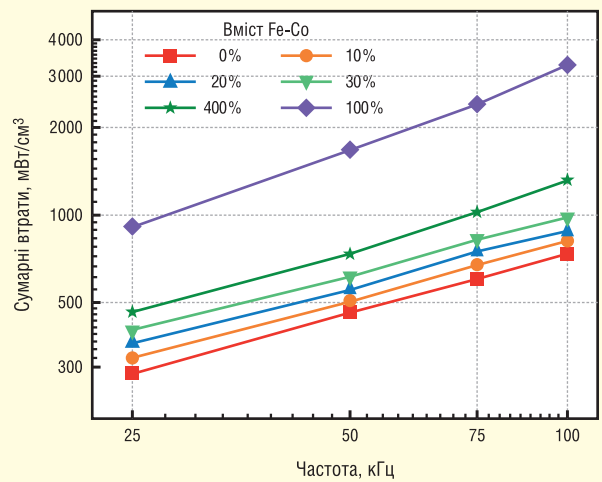


Рис. 25. Залежність сумарних втрат АМПМ із різним вмістом Fe-Co від частоти

На рисунку 25 показано залежність сумарних втрат АМПМ з різним вмістом Fe-Co від частоти. Найбільші втрати має «чистий» Fe-Co через високу коерцитивну силу матеріалу. Мінімальні втрати відмічено в осердя з аморфного матеріалу без вмісту Fe-Co, лише 735 мВт/см³ (0.1 Т, 100 кГц), завдяки унікальній аморфній структурі, невеликому розміру частинок та ефективній ізоляції [129]. Збільшення масової частки Fe-Co у складі композиту призводить до зростання втрат унаслідок збільшення коерцитивної сили АМПМ, однак, за 30% Fe-Co втрати мають прийнятне значення 980 мВт/см³ (0.1 Т, 100 кГц). За масової частки Fe-Co понад 30% збільшується B_p , проте різко зростають втрати і знижується ефективність АМПМ.

Відпал аморфних матеріалів призводить до утворення нанокристалів, що мають набагато кращі базові параметри МПМ, включно з температурною стабільністю. Цією властивістю скористалися багато дослідників, зокрема [130, 131], для отримання композитних аморфно-нанокристалічних МПМ. Авторам [132] вдалося отримати рівномірний шар нанокристалів між оксидною оболонкою та аморфним ядром частинок аморфного сплаву Fe-B-P-C-Nb-Hf шляхом подрібнення в кульовому млині та подальшого відпалу. Коерцитивна сила

Таблиця 5. Магнітні характеристики порошку Fe-Si-B-Nb-Cu після відпалу

Параметр	Невідпалений	Відпалений 30 хвилин		
		525 °C	575 °C	625 °C
H_c (Ерстед)	1.71	0.88	0.91	14.42
M_s (emu/g)	112	134	132	133

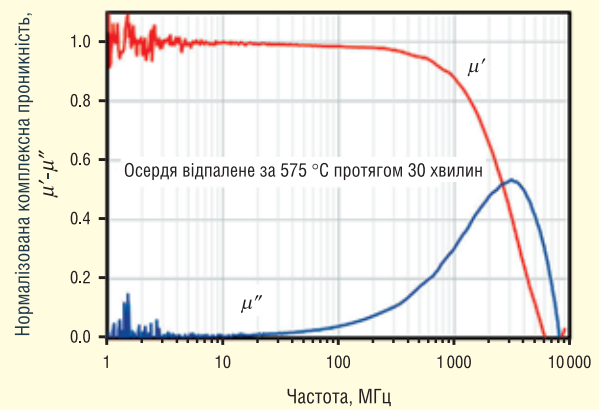
композиту знизилася на 96.88%, а індукція намагнічування зросла на 2.6% за температури відпалу 400 °C. Інший композит з аморфного і нанокристалічного Fe-Si-B-Nb-Cu має малу коерцитивну силу і дуже низькі динамічні втрати завдяки ефективному шару ізоляції частинок, який утворюють нанокристали, що формуються під час відпалу [133].

Оптимальним методом для виробництва порошків АС у промислових масштабах вважається метод газової атомізації (GA), однак, якщо сплав має низьку GFA, швидкість охолодження крапель розплаву при застосуванні GA може виявитися недостатньою. Удосконалення методу GA дасть змогу масово виробляти МПМ з різних АС для різноманітних застосувань, включно з перетворювачами напруги, що працюють на частотах 1...10 МГц. Як було показано вище, одним зі способів зниження динамічних втрат є зменшення розмірів частинок. З цією метою як робочий газ установки газової атомізації було використано гелій, швидкість струменя якого втричі більша, ніж швидкість струменя аргону за того самого тиску. Застосування гелію забезпечило безвідходність та високу продуктивність установки (1 кг/хв), в результаті роботи якої утворювалися частинки з відмінною сферичністю із розмірами від 5 до 60 мкм. Автори [133] порівняли властивості АМГМ, виготовлених з невідпаленого порошку, отриманого газовою атомізацією, та з порошків, відпалених протягом 30 хв. за температур 525, 575 і 625 °C. У невідпаленого порошку кристалічна фаза була повністю відсутня. Присутність нанокристалічних структур Fe₃Si було відзначено після відпалу за температури 525 °C, попри те, що ця температура нижча за температуру кристалізації (558 °C). Зі зростанням температури відпалу відзначалося збільшення розміру зерен нанокристалів Fe₃Si до 13.4 нм, а їхня масова частка досягла 47% після відпалу за 625 °C.

Коерцитивна сила порошків, відпалених за 525 і 575 °C, зменшилася порівняно з невідпаленим порошком (табл. 5). Це пояснюється істотною залишковою напругою і високим значенням магнітострикційної константи (λ_s), що є притаманним для частинок, вироблених методом GA. Відпал зменшує внутрішнє напруження і сприяє зростанню нанокристалічної фази матеріалу. Проте, найменше значення H_c , досягнуте відпалом за 525 °C, все ж таки вище, ніж в аморфних стрічках, через велике співвідношення між площею поверхні та об'єму частинок, отриманих методом GA. Після відпалу за 625 °C спостерігається різке зростання H_c до значення 14.42 Ерстед, що пояснюється виділенням значної кількості бориду заліза Fe₂B з високою магнітокристалічною анізотропією (k).

Намагніченість насичення M_s відпалених порошків (132–134) збільшилася порівняно з невідпаленим (112). Незначна різниця свідчить про те, що цей параметр приблизно однаковий у відпаленої аморфної фази сплаву та кристалічного Fe₃Si, вміст якого під час відпалу змінюється від 0 до 47% за збільшення температури.

В усіх зразках як сполучну речовину застосовували 20% масової частки епоксидної смоли. Оскільки нанокристалічні структури мають вищий опір, ніж аморфні, динамічні втрати осердь з відпалених порошків виявилися значно нижчими. Однак, на частотах вище 500 кГц спостерігалася різке зростання втрат внаслідок емнісного ефекту між частинками. Змен-

**Рис. 26. Залежність нормалізованої проникності осердя з порошку Fe-Si-B-Nb-Cu від частоти**

шити його вплив можна збільшенням відстані між частинками та/або покриттям частинок шаром додаткового діелектрика (див. розділ «Два краще за один», CHIP NEWS, № 2, 2024).

На рисунку 26 показано частотну залежність нормалізованої проникності осердя з порошку, відпаленого за 575 °C. Показовою є дуже стабільна характеристика з частотою феромагнітного резонансу 3 ГГц, що дає змогу розширити робочий частотний діапазон осердь з цього АМГМ аж до сотень мегагерц.

Властивості магнітно-м'яких матеріалів значною мірою визначаються формою та орієнтацією магнітних частинок, тому вплив зовнішнього магнітного поля є ефективним способом формування композитів з упорядкованою структурою. Частинки, одержані дробленням аморфних стрічок, мають форму лусочок (рис. 10е, CHIP NEWS, № 1, 2024). Уолсер (Walser) і співавтори теоретично обґрунтували підвищення проникності під час трансформації форми магнітних частинок зі сферичної в пластівчасту [134]. У розглянутих вище прикладах застосування пластівчастих частинок Fe-Si-Al дало змогу на порядок збільшити проникність МПМ. Крім механічного тиску преса, необхідна орієнтація пластівчастих частинок може бути досягнута за допомогою зовнішнього магнітного або електричного поля, під дією якого частинки групуються в шарувату структуру, орієнтовану паралельно силовим лініям поля. Це дає змогу досягти чудових магнітних властивостей АМГМ, описаних, наприклад, у [135].

Чжен (Zheng) і співавтори [136] вивчили параметри осердь із порошків аморфного сплаву Fe₇₈Si₉B₁₃ з хаотичною DOAMP (*disorderedly orientated amorphous magnetic powder*), поздовжньою COAMP (*circularly orientated amorphous magnetic powder*) та радіальною ROAMP (*radially orientated amorphous magnetic powder core*) орієнтаціями пластівчастих частинок (рис. 27). Поздовжня і радіальна орієнтації частинок формувалися під впливом зовнішніх магнітних полів відповідних напрямків до етапу пресування та відпалу осердь. Оскільки довжина і ширина лусочок значно перевершує їхню товщину, індукований магнітний диполь прагне розгорнути осі частинок уздовж найбільшого розміру паралельно лініям зовнішнього поля, подібно до того, як магнітне поле Землі розгортає стрілку компаса. На рисунку 28 схематично зображено процес орієнтації частинок під дією поля H_e , яке прагне зменшити до 0 кут θ .

Пластівчасті частинки мають вищий коефіцієнт розмагнічування в напрямку, перпендикулярному «довгій» осі, ніж уздовж неї [137]. Напруженість поля всередині осердя може бути визначена за формулою [138]:

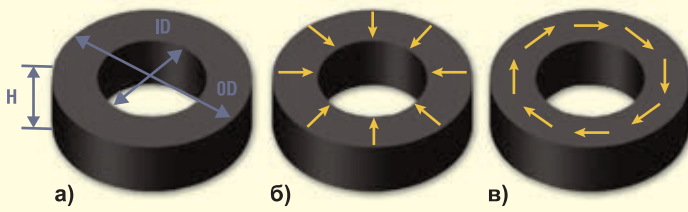


Рис. 27. Схематичне зображення кілець з АМПП з хаотичною (а), радіальною (б) і поздовжньою (в) орієнтацією плоских частинок

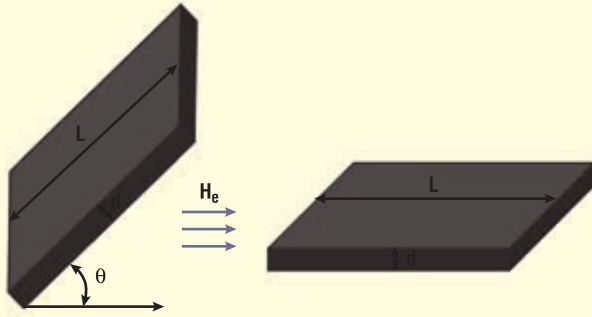


Рис. 28. Схематичне зображення процесу орієнтації плоских частинок під дією зовнішнього магнітного поля

$$H_i = H_e - H_d = H_e - NM, \quad (8)$$

де H_e — зовнішнє магнітне поле, H_d — поле розмагнічування, N — коефіцієнт розмагнічування, M — намагніченість осердя.

Ефективна проникність осердя μ_e визначається за формулою:

$$\mu_e = 1 + \frac{4\pi(\mu - 1)}{4\pi + N(\mu - 1)}\rho, \quad (9)$$

де μ — проникність матеріалу, ρ — відносна густина матеріалу (див. розділ

«Частинки великі, частинки маленькі», CHIP NEWS, № 2, 2024).

Великий коефіцієнт розмагнічування зменшує ефективну проникність осердя. Додатково, вихрові струми, наведені в площині пластівчастої частинки, послаблюють намагніченість матеріалу і також сприяють зниженню проникності [139]. З цього випливає, що ефективна проникність осердь з упорядкованою структурою порошоків є анізотропною, при цьому має найбільше значення в напрямку «довгої» осі частинок.

ДОСКОНАЛІСТЬ КЛАСИКИ

Легований молібденом пермалой (МРР), як і інші сплави на основі заліза, може бути подрібнений механічно або за допомогою описаних раніше методів атомізації, проте ізоляція частинок МРР має свої особливості. Як було показано раніше, одним із найефективніших способів є фосфатація поверхні частинок, під час якої відбувається реакція заліза, що переважає у сплаві, та аніонів PO_4^{3-} . Оскільки вміст заліза в МРР становить лише 17%, фосфатація не забезпечує досить рівномірного і міцного покриття частинок. З іншого боку, мінімальна залишкова напруга в МРР досягається відпалом за температур від 550 до 775 °С, що виключає можливість застосування більшості відомих органічних діелектриків. З цієї причини, для МРР довелося розробити новий термостійкий діелектрик.

Чж. Чжан (Zh. Zhang) і співавтори [140] покрили частинки МРР шаром оксиду хрому Cr_2O_3 , використавши водний розчин хромової кислоти H_2CrO_4 . На відміну від фосфорної, хромової кислота не вступає в хімічну реакцію з елементами сплаву Fe-Ni-Mo, але в результаті низки трансформацій утворює на поверхні частинок рівномірне і міцне покриття з Cr_2O_3 товщиною 290...300 нм. Автори досліджували залежність параметрів МРР від тиску пресу при формуванні осердь та від температури їхнього відпалу. Було встановлено, що ефективна проникність і відносна густина матеріалу лінійно зростають зі збільшенням тиску аж до 1 800 МПа, за яко-

ТОВ «НВП АСТЕРА»

ОСЕРДЯ, ФУРНІТУРА, МОТОЧНІ ВИРОБИ
ВИМІРЮВАЛЬНІ ТРАНСФОРМАТОРИ СТРУМУ

ferrite@ukr.net
ferrite.ua@gmail.com
www.ferrite.com.ua

ТОВ «НВП АСТЕРА»
61072, Харків, вул.Тобольська, 42 оф. 222, 223
+38 (057) 757-2859, 728-1808, (050) 323-3763,
(067) 575-4440, (068) 616-7777

го досягається максимально можлива відносна густина (92%). Такий тиск виявився оптимальним, а подальша зміна параметрів залежить від температури відпалу. Зі збільшенням температури від 400 до 690 °C товщина оксидного покриття зменшується при збереженні ефективності ізоляції, тому μ_e зростає, а сумарні втрати знижуються. Усі зразки, відпалені за температур до 690 °C, показали чудову стабільність проникності на частотах аж до 1 МГц. За вищих температур відпалу діелектрик починає руйнуватися, що призводить до різкого погіршення параметрів.

Можливо, описана вище або подібна технологія була використана компанією Micrometals при створенні покращеної версії матеріалу МРР, який був анонсований у липні 2023 року під назвою New MP. Про початок серійного виробництва осердь з New MP компанія оголосила в березні 2024 року [141]. Як видно з графіків, проникність нового матеріалу за 100 Ерстед підвищилася на 10%, а сумарні втрати знизилися орієнтовно з 900 до 500 мВт/см³ за 0.1 Т, 100 кГц.

Інші новинки від лідерів ринку осердь з порошкових матеріалів будуть розглянуті в наступних частинах цього огляду.

Далі буде

Більш детальну інформацію щодо застосування осердь із МПМ та їх придбання можна отримати, звернувшись до компанії ТОВ «НВП АСТЕРА»:

**61072, Україна, м. Харків,
вул. Тобольська, 42, оф. 222,
факс: (+38) 057-728-1808,
тел.: (+38) 057-757-2859,
(+38) 050-323-3763,
(+38) 067-575-4440,
(+38) 068-616-7777,
e-mail: ferrite@ukr.net,
www.ferrite.com.ua**

Література:

91. F. Bouville, E. Maire, S. Meille, A.J. Stevenson, S. Deville. *Strong, tough and stiff bioinspired ceramics from brittle constituents*. *Nat. Mater.* 13, 2014, pp 508–514.
92. T. Zhang, J. Sun, L. Ren, Y. Yao, M. Wang, X. Zeng, R. Sun, J.-B. Xu, Ch.-P. Wong. *Nacre-inspired polymer composites with high thermal conductivity and enhanced mechanical strength*. *Composites Part A* 121, 2019, pp 92–99.
93. S. Yoshida, M. Sato, E. Sugawara, Y. Shimada. *Permeability and electro-magnetic-interference characteristics of Fe-Si-Al alloy flakes-polymer composite*. *J. Appl. Phys.* 85, 1999, pp 4636–4638.
94. M. Streckova, L. Medvecký, J. Fűzer, P. Kollar, R. Bures, M. Faberova. *Design of novel soft magnetic composites based on Fe/resin modified with silica*. *Mater. Lett.* 101, 2013, pp 37–40.
95. A. Aharoni. *Magnetization Curling*. *Phys. Stat. Sol.* 16, 3, 1966.
96. J.L. Snoek. *Dispersion and absorption in magnetic ferrites at frequencies above one Mc/s*. *Physica, Volume 14, Issue 4, May 1948*, pp 207–217.
97. L. Du, Zh. Long, Q. Zhang, Ch. Li, J. Lai, J. Chen, L. Liu, T. Hu, Y. Ma, B. Shao. *Surface modification of ultra-thin flaky FeSiAl powders by heat treatment with excellent magnetic properties*.
98. B. Dong. *Development of nanostructured soft magnetic composite materials using the field-assisted sintering technique*. *Case Western Reserve University*, 2021.
99. W.C. Li, H.W. Cai, Y. Kang, Y. Ying, J. Yu, J.G. Zheng, L. Qiao, Y. Jiang, S.L. Che. *High permeability and low loss bioinspired soft magnetic composites with nacre-like structure for high-frequency applications*. *Acta Mater.* 167, 2019, pp 267–274.
100. X.-D. Wang, Zh.-X. Shen, T. Sang, X.-B. Cheng, M.-F. Li, L.-Y. Chen, Zh.-Sh. Wang. *Preparation of spherical silica particles by Stober process with high concentration of tetra-ethyl-orthosilicate*. *Journal of Colloid and Interface Science*. 2010. Vol. 341, No. 1. pp 23–29.
101. O. de la Barriere, C. Appino, C. Ragusa, F. Fiorillo, F. Mazaleyrat, M. LoBue. *High-frequency rotational losses in different soft magnetic composites*. *J. Appl. Phys.* 115, 2014, 17A331.
102. M. Jin, F. Zhao, M. Liu. *Improvement of high-frequency magnetic properties and loss characteristics of Flaky FeSiAl coated with Ni_{0.4}Zn_{0.6}Fe₂O₄*. *J. Magn. Magn. Mater.* 574, 2023, 170677.
103. W. Li, X. Zhou, Y. Ying, L. Jiang, Sh. Che. *Particle thickness effect on electromagnetic properties of flake-shaped FeNi alloy*. *Phys. Status Solidi A* 212, No. 12, 2015, pp 2944–2950.
104. W. Klement, R.H. Willens, P. Duwez. *Non-crystalline structure in solidified gold-silicon alloys*. *Nature* 187, 1960, pp 869–870.
105. Губанов А. И. *Квазиклассическая теория аморфных ферромагнетиков // Физика твердого тела*. 1960. Т.2. № 3. С. 502–513
106. Шпак А. П., Маслов В. В., Носенко В. К. *Ресурсозберігаючі технології виробництва нанокристалічних прецизійних магнітних матеріалів як складова інноваційного розвитку енергетичної та електротехнічної галузей промисловості України // Наука та інновації*. 2005. Т.1, № 3. С. 92–111.
107. X. Wang, Z. Lu, C. Lu, G. Li, D. Li. *Magnetic properties of FeSiBC amorphous alloy powder cores using mechanical-crushed powder*. *J. Iron Steel Res. Int.* 21, 2014, pp 1055–1058.
108. Cb. Huang, Tc. Liu, Xy. Wang, Cw. Lu, Dr. Li, Zc. Lu. *Magnetic properties of nanocrystalline powder cores using mechanically crushed powders*. *J. Iron Steel Res. Int.* 21, 2014, pp 348–351.
109. I. Iglesias, R. El Kammouni, K. Chichay, N. Perov, M. Vazquez, V. Rodionova. *Magnetic Properties of CoFeSiB/CoNi, CoFeSiB/FeNi, FeSiB/CoNi, FeSiB/FeNi Biphase Microwires in the Temperature Range 295–1200 K*. *Acta Phys. Pol.* 2015, 127, pp 591–593.
110. J.Q. Marcatoma, V. Rodríguez, E.M. Baggio-Saitovitch. *FeSiB Amorphous Alloy Prepared by Mechano-Synthesis*. *Hyperf. Interact.* 2003, 148, pp 97–102.
111. L. Schultz. *Formation of amorphous metals by mechanical alloying*. *Mater. Sci. Eng.* 1988, 97, pp 15–23.
112. N. Schlorke, J. Eckert, L. Schultz. *Synthesis of multicomponent Fe-based amorphous alloys with significant supercooled liquid region by mechanical alloying*. *Mater. Sci. Eng. A* 1997, 226, pp 425–428.
113. Y.J. Liu, I. Chang, P. Bowen. *Amorphization and microstructural evolution in multicomponent (FeCoNi)₇₀Zr₁₀B₂₀ alloy system by mechanical alloying*. *Mater. Sci. Eng. A* 2001, 304, pp 389–393.
114. J. Wang, Y. Cui, H. Li. *Simultaneous determination of norepinephrine, acetaminophen and tryptophan using a modified graphene nanosheets paste electrode*. *Res. Chem. Intermed.* 2010, 36, pp 17–26.
115. J.J.S. Ol, N. Clavaguera, M.T. Clavaguera-Mora. *Relaxation Kinetics of Mechanically Alloyed Powders. Fe-Ni-Si-P: A Case Study*. *J. Non-Cryst. Solids* 2001, 287, pp 114–119.
116. S. Lu, M. Wang, Z. Zhao. *Recent advances and future developments in Fe-based amorphous soft magnetic composites*. *J. Non Cryst. Solids* 616, 2023, 122440.
117. Y. Li, K. Lu, N. Shen, X.-M. Chen, L. Chen, F. Li, X. Hui. *Novel Fe-C-B-P-Cu nanocrystalline alloys with superb magnetic properties and processability*. *Journal of Magnetism and Magnetic Materials* 530, 2021, 167915.
118. S. Nakahara, E. Périgo, Y. Pittini-Yamada, Y. Hazan, T. Graule. *Electric insulation of a FeSiBC soft magnetic amorphous powder by a wet chemical method:*

- Identification of the oxide layer and its thickness control. *Acta Mater.* 58, 2010, pp 5695–5703.
119. T. Otsuka, K. Ishiyama, M. Yagi. Magnetic properties of Fe-based amorphous powder cores with high magnetic flux density. *IEEE Trans. Magn.* 45, 2009, pp 4294–4297.
120. E. Périgo, S. Nakahara, Y. Pittini-Yamada, Y. Hazan, T. Graule. Magnetic properties of soft magnetic composites prepared with crystalline and amorphous powders. *J. Magn. Mater.* 323, 2011, pp 1938–1944.
121. S. Chen, C. Chen, C. Cheng. Passivation layer for the magnetic property enhancement of $\text{Fe}_{72.8}\text{Si}_{11.2}\text{B}_{10.8}\text{Cr}_{2.3}\text{C}_{2.9}$ amorphous powder. *J. Alloy. Compd.* 644, 2015, pp 17–24.
122. Y. Zhang, Y. Dong, L. Liu, L. Chang, B. Zhou, Q. Chi, X. Wang. High filling alumina/epoxy nanocomposite as coating layer for Fe-based amorphous powder cores with enhanced magnetic performance. *J. Mater. Sci.: Mater. Electron.* 30, 2019, pp 14869–14877.
123. Y. Zhang, Q. Chi, L. Chang, Y. Dong, P. Cai, Y. Pan, M. Gong, J. Huang, J. Li, A. He, X. Wang. Novel Fe-based amorphous compound powder cores with enhanced DC bias performance by adding FeCo alloy powder. *J. Magn. Mater.* 507, 2020, 166840
124. T. Sourmail. Near equiatomic FeCo alloys: constitution, mechanical and magnetic properties. *Prog. Mater. Sci.* 50, 2005, pp 816–880.
125. H. Liu, H. Su, W. Geng, Z. Sun, T. Song, X. Tong, Z. Zou, Y. Wu, Y. Du. Effect of particle size distribution on the magnetic properties of Fe-Si-Al powder core. *J. Supercond. Nov. Magn.* 29, 2016, pp 463–468.
126. L. Huan, X. Tang, H. Su, H. Zhang, Y. Jing, B. Liu. Effects of SnO_2 on DC bias superposition characteristic of the low-temperature-fired NiCuZn ferrites. *IEEE Trans. Magn.* 353, 2014, pp 47–50.
127. C. Ouyang, S. Xiao, J. Zhu, W. Shi. Microwave sintering versus conventional sintering of NiCuZn ferrites. Part II: Microstructure and DC bias superposition characteristics. *J. Magn. Mater.* 407, 2016, pp 182–187.
128. G. Capua, N. Femia, K. Stoyka. Switching power supplies with ferrite inductors in sustainable saturation operation. *Int. J. Electr. Power Energy Syst.* 93, 2017, pp 494–505.
129. Y. Liu, Y. Yi, W. Shao, Y. Shao. Microstructure and magnetic properties of soft magnetic powder cores of amorphous and nanocrystalline alloys. *J. Magn. Mater.* 330, 2013, pp 119–133.
130. F.G. Chen, Y.G. Wang, X.F. Miao, H. Hong, K. Bi. Nanocrystalline $\text{Fe}_{83}\text{P}_{16}\text{Cu}_1$ soft magnetic alloy produced by crystallization of its amorphous precursor. *J. Alloy. Compd.* 549, 2013, pp 26–29.
131. B. Zhou, M. Lv, J. Wu, B. Ya, L. Meng, L. Jianglin, X. Zhang. Preparation and electromagnetic absorption properties of $\text{Fe}_{73.2}\text{Si}_{16.2}\text{B}_{6.6}\text{Nb}_3\text{Cu}_1$ nanocrystalline powder. *Materials* 15, 2022, 2558.
132. Y. Lee, J. Jeon, S. Nam, T. Jang, H. Kim, M. Lee, Y. Kim, D. Yang, K. Min, H. Choi. Soft magnetic properties of Fe-based amorphous/nanocrystalline hybrid materials. *Powder Technol.* 339, 2018, pp 440–445.
133. K.L. Alvarez, H.A. Baghbaderani, J.M. Marín, N. Burgos, M. Ipatov, Z. Pavlovic, P. McCloskey, A. Masood, J. Gonzalez. Novel Fe-based amorphous and nanocrystalline powder cores for high-frequency power conversion. *J. Magn. Mater.* 501, 2020, 166457.
134. R.M. Walsler, W. Win, P.M. Valanju. Shape-optimized ferromagnetic particles with maximum theoretical microwave susceptibility. *IEEE Trans. Magn.* 34, 1998.
135. Y. Zhang, P. Sharma, A. Makino. Sintered magnetic cores of high Bs $\text{Fe}_{84.3}\text{Si}_{14}\text{B}_8\text{P}_3\text{Cu}_{0.7}$ nanocrystalline alloy with a lamellar microstructure. *J. Appl. Phys.* 115, 2014, 322.
136. Y.Y. Zheng, Y.G. Wang, G.T. Xia. Amorphous soft magnetic composite cores with various orientations of the powder-flakes. *Journal of Magnetism and Magnetic Materials* 396, 2015, pp 97–101.
137. T. Liu, P.H. Zhou, L.J. Deng, W. Tang. Spatial orientation and position distribution effect on the effective permeability of composites consisting of aligned flakes. *J. Appl. Phys.* 106, 2009, 114904.
138. G.Q. Lin, Z.W. Li, L.F. Chen, Y.P. Wu, C.K. Ong. Influence of demagnetizing field on the permeability of soft magnetic composites. *J. Magn. Mater.* 305, 2006, pp 291–295.
139. Y.H. Wu, M.G. Han, Z.K. Tang, L.J. Deng. Eddy current effect on the microwave permeability of Fe-based nanocrystalline flakes with different sizes. *J. Appl. Phys.* 115, 2014, 163902.
140. Zh. Zhang, W. Xu, T. Guo, Y. Jiang, M. Yan. Effect of processing parameters on the magnetic properties and microstructures of molybdenum permalloy compacts made by powder metallurgy. *Journal of Alloys and Compounds* 594, 2014, pp 153–157.
141. <https://www.ferrite.com.ua/doc/New%20MP.pdf>

КОМПАНІЯ АСМЕ РОЗПОЧАЛА СЕРІЙНЕ ВИРОБНИЦТВО ПОРОШКОВИХ ОСЕРДЬ

Феритові осердя, вироблені корпорацією **АСМЕ**, стали популярними завдяки великій номенклатурі, широкому вибору матеріалів, високій якості продукції та доступним цінам. Швидка реакція на потреби світового ринку магнітно-м'яких матеріалів, інновації, суворий контроль якості на всіх етапах виробництва забезпечили сталий розвиток компанії.

Феритові осердя з Mn-Zn і Ni-Zn матеріалів загального призначення, а також спеціалізованих марок, широко застосовують виробники електромобілів, побутової, промислової та військової електроніки в США, Німеччині, Австрії, Японії, КНР, Тайвані та інших країнах. З 2021 року феритові осердя АСМЕ регулярно постачаються споживачам в Україні. Того ж року компанія оголосила про початок виробництва осердь з порошкових матеріалів.

Основу нової продукції склали кільцеві осердя з давно відомих матеріалів, таких, як розпопорошене залізо (Iron Powder), сендаст (Sendust), HighFlux, MegaFlux і MPP, із зовнішніми діаметрами від 0.5 до 3 дюймів (12.7... 77 мм). Застосування сучасних технологій забезпечило відмінне співвідношення «ціна/якість» продукції АСМЕ. Дотримуючись традицій, інженери компанії одразу ж розпочали розроблення власних порошкових матеріалів. У 2022 році почалося постачання осердь із порошків аморфних і нанокристалічних сплавів під торговельними марками AmrfusDust® та NanoDust®, а також із сендасту з покращеними параметрами SuperDust® і недорогого композитного матеріалу Fe-Ni @ Fe-Si-Al під назвою NewFlux®. У 2023 році компанія почала виробництво аморфних порошкових осердь з рекордно низькими втратами і високою термостабільністю AmrfusDust® AN-GT і нанокристалічних порошкових NewDust®. Осердя з AmrfusDust® і NewDust® найефективніші в компактних дроселях з високою питомою потужністю, що працюють на частотах до 1 МГц.

Інформацію щодо нових феритів та порошкових матеріалів компанії АСМЕ можна знайти на сайті виробника, а також на сайті його дистриб'ютора в Україні — компанії ТОВ «НВП Астера».

www.acme-ferrite.com.tw
www.ferrite.com.ua

CN

Рекомендації щодо конформного покриття

Андрій Григоревський, менеджер, «Філур Електрик, ЛТД»

E-mail: a.grygorevskyi@filur.net

Вологозахисні покриття (ВЗП), лаки для плат, фарби для плат — все це популярні назви одного продукту — конформного (від лат. *Conformis* — «подібний», «відповідний», «схожий») покриття. Саме конформність, тобто здатність повторювати контури поверхні плати, компонентів та вузлів, цього покриття робить його максимально придатним для застосування в електроніці. Особливо в широкому діапазоні температур, під час впливу погодних та фізичних факторів. Попит на захисні покриття призвів до появи на ринку широкого спектру ВЗП із часто схожими (вологозахист) та досить різними (хімічна стійкість, гнучкість при низьких температурах) характеристиками. В даній статті надано узагальнений опис вологозахисних конформних покриттів, що найбільш часто застосовуються в електроніці.

ЩО ТАКЕ КОНФОРМНІ ПОКРИТТЯ?

Конформні покриття — це прозорі гнучкі покривні матеріали, які після нанесення на друковані плати повністю повторюють їх складну геометрію, в тому числі і під час зміни температури навколишнього середовища у широкому діапазоні. Вони наносяться на друковані плати, щоб зробити їх міцнішими і тим самим продовжити термін служби виробу.

СТАНДАРТИ КОНФОРМНОГО ПОКРИТТЯ

Існує два основних стандарти для конформних покриттів: UL746E та IPC-CC-830. Стандарт конформного покриття UL746E включає серію діелектричних випробувань, які вимірюють ізоляційні властивості покриття після впливу навколишнього середовища, а також його вогнестійкість. Стандарт IPC-CC-830 був створений Інститутом друкованих плат (*Institute for Printed Circuits, IPC*) на заміну стандарту MIL-I-46058C, який був відмінений у 1998 році. Цей стандарт перевіряє стій-

кість покриття до термічного впливу, гідролітичне старіння, насичення вологою, стійкість до грибків та вогнестійкість.

ТИПИ КОНФОРМНИХ МАТЕРІАЛІВ ДЛЯ ПОКРИТТЯ

На даний момент існує вісім різних сімейств конформних покриттів, як зазначено в стандарті IPC-CC-830C. До них належать акрилові, поліуретанові, силіконові, епоксидні, УФ-покриття (УФ-отверджувані), парилєнові, ультратонкі та стирольні блок-сополімери. У таблиці 1 наведено переваги та недоліки, пов'язані з кожним типом покриття.

Вибір правильного методу покриття головним чином буде залежати від того, які сертифікати вам потрібні? Від яких основних екологічних проблем вам потрібен захист? Які ваші технологічні можливості? Зрештою, правильний вибір матеріалу покриття зводиться до розуміння всіх ваших вимог.

ЯК І ДЛЯ ЧОГО ВИКОРИСТОВУЮТЬСЯ КОНФОРМНІ ПОКРИТТЯ?

Конформні покриття використовуються для подовження терміну служби друкованих плат, створюючи шар захисту від звичайних елементів навколишнього середовища, таких як волога, пил, бруд та грибок. Ці покриття мають відмінні діелектричні властивості, які допомагають запобігти спалаху та іскрінню, що дозволяє розташовувати доріжки на друкованих платах ближче одна до одної, що полегшує проектування менших та потужніших електронних вузлів.

ДЕФЕКТИ ТА ПРОБЛЕМИ КОНФОРМНОГО ПОКРИТТЯ

Дефекти, що виникають в конформних покриттях під час їх нанесення,

Таблиця 1. Властивості конформних покриттів

Матеріал	Переваги	Недоліки
Акрилові	Простота використання, низька вартість	Погана стійкість до розчинників
Поліуретан	Стійкість до стирання	Тривалий час висихання
Епоксидна смола	Хімічна стійкість і стійкість до подряпин	Важко використовувати та переробляти
Силікон	Стійкість до високих температур	Погана стійкість до розчинників
УФ-покриття	Дуже швидкий час висихання	Дорого, висока капітальна вартість
Парилєн	Повністю конформний і рівномірний	Дорого, складно наносити
Ультратонкі	Швидко затвердіння, хороша гідрофобність	Менший ступінь захисту поверхні, ніж у інших покриттів
Стирільний блок-сополімер	Чудовий захист від вологи	Погана стійкість до розчинників

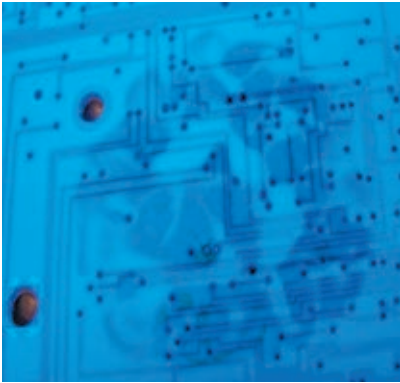


Рис. 1. Зневоложення конформного покриття

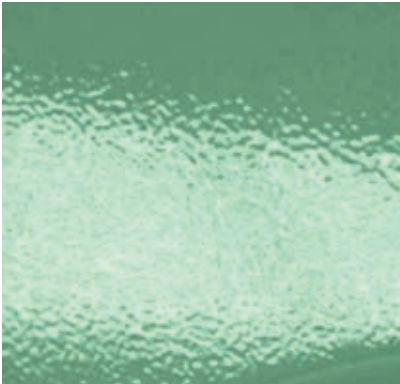


Рис. 2. «Апельсинова кірка» на поверхні конформного покриття

ті самі, що й під час нанесення будь-якої фарби чи лаку. Навчившись правильно наносити конформне покриття, ви зможете оптимізувати роботу та уникнути проблем на лінії фарбування. Нижче наведено короткий перелік найпоширеніших дефектів покриття та те, як їх можна усунути.

Зневоложення

Зневоложення відбувається, коли покриття не розподіляється по всій поверхні друкованої плати, а відтак заливає лише прилеглі ділянки (рис. 1). Це трапляється, якщо на поверхні залишаються звичайні залишки, такі як флюс, мастило, масло або мастильно-охолоджувальна рідина, які перешкоджають природному розтіканню покриття та не дають йому вирівнюватися. Рішення полягає в тому, щоб ретельно очистити основу, доки на ній не залишиться жодних забруднень.

«Апельсинова кірка»

Як випливає з назви, «апельсинова кірка» має вигляд нерівної, рельєфної поверхні, яка нагадує апельсинову кірку (рис. 2). Ця проблема виникає через техніку розпилення, а саме: занадто низький тиск розпилення, що призводить до

недостатнього розпилення, або через використання невідповідного розчинника. Уникайте «апельсинової кірки», використовуючи параметри розпилення та розчинники, рекомендовані в технічному паспорті продукту (*Technical Data Sheet, TDS*).

Пухирчаста поверхня

Пухирчаста поверхня (рис. 3) спричиняється трьома факторами:

- нанесення покриття під занадто сильним тиском, через що повітря проникає в товщу ще рідкого покриття;
- надто швидке висихання покриття, що не дає достатньо часу для вирівнювання та деаерації плівки;
- нанесення покриття занадто товстим шаром, що затримує вихід парів розчинника.

Щоб запобігти утворенню «пухирчастих поверхонь», уникайте товстих шарів; натомість збільшуйте товщину плівки шляхом послідовного нанесення кількох тонких шарів. Зверніться до технічного паспорта виробника для уточнення рекомендованих параметрів щодо розпилення та часу висихання для кожного продукту конформного покриття.

Риб'ячі очі

Риб'ячі очі виглядають як маленькі круглі грудочки з ямками в центрі (рис. 4). Зазвичай вони викликані забрудненням маслом і сміттям у лініях нанесення конформних покриттів. Щоб вирішити цю проблему, просто встановіть фільтр, який забезпечує використання лише чистого повітря для розпилення покриття.

Надмірне розпилення

Надлишок конформного покриття виникає, коли покриття випадково наноситься на неправильну ділянку. Це може статися, коли природна рухливість рідин із низькою в'язкістю дозволяє їм поширюватися на невідповідні ділянки (відомі як «розтікання» або капілярна дія), через помилку оператора або неконтрольоване змочування аерозольними рідкими покриттями. Спосіб вправлення — не намагайтеся уникнути надмірного розпилення, передбачте це та вживайте профілактичних заходів, а саме маскування.

Маскування (рис. 5) передбачає нанесення захисного матеріалу, такого як малярська стрічка або відшаровуваний латекс, на ділянки, де покриття небажане. Після нанесення покриття слід швидко видалити маску, перш ніж вона висохне, щоб запобігти небажаному віддаленню затверділого покриття.



Рис. 3. Пухирчаста поверхня



Рис. 4. Риб'ячі очі



Рис. 5. Маскування компонентів на друкованій платі

ПРОЦЕС НАНЕСЕННЯ КОНФОРМНОГО ПОКРИТТЯ НА ДРУКОВАНУ ПЛАТУ

Нанесення конформного покриття вимагає виконання кількох послідовних процесів для досягнення як належного покривання, так і естетичного вигляду фінішного шару.

Очищення друкованих плат

Для уникнення дефектів покриття, таких як зневоложення, і отримати гладку, однорідну плівку, плати необхідно ретельно очистити, щоб видалити небажані забруднення, такі як флюс,

жир і масло. Компанія Фігур Електрик постачає широкий асортимент мийних засобів, використання яких допомагає гарантувати, що поверхні чисті та готові до однорідного покриття.

Маскування

Щоб запобігти розбризкуванню конформного покриття, коли покриття наноситься на небажані ділянки, такі ділянки мають бути замасковані в зонах, які не допускаються для нанесення. Маскування досягається або за допомогою простих матеріалів, таких як малярська стрічка, або за допомогою маски для припою, що відшаровується, наприклад MG 862. Важливо видалити маску одразу після нанесення та до того, як покриття затвердіє, щоб уникнути відшарування будь-якої частини покриття.

ОСОБЛИВОСТІ НАНЕСЕННЯ КОНФОРМНИХ ПОКРИТТІВ

Залежно від обсягу деталей, які потрібно покрити, і можливостей вашого підприємства, можна використовувати різні методи нанесення покриття.

Для дрібних ремонтів і невеликих робіт **нанесення щіткою або пензлем** є ідеальним способом, оскільки не вимагає підготовки. Він дуже точний і не потребує спеціальних навичок. **Занурення** також ідеально підходить для невеликих обсягів робіт, надійного проникнення покриття під компоненти та загалом швидкої обробки, але воно може вимагати інтенсивного маскування та може бути брудним.

Для масштабних проєктів важливого значення набуває метод **розпилення**, і він ідеально підходить, коли потрібні швидке виконання робіт, покращене покриття країв і краща рівномірність покриття.

Розпилення можна виконати за допомогою простого пневматичного розпилювача у спеціальній витяжній шафі. Однак цей спосіб потребує певного досвіду та може вимагати маскування. Процес розпилення можна оптимізувати за допомогою автоматизованого обладнання. Такі системи забезпечують швидкість і точність для максимізації пропускну здатності та мінімізації повторних робіт.

Затвердіння (висихання)

Існує три типи конформних покриттів, які класифікуються за механізмами затвердіння: термопластичні, термоактивні та УФ-отверджені (УФ-покриття). Термопластичні матеріали

включають акрил і гібридні силікон-акрилові покриття. Вони тверднуть шляхом фізичного висихання, оскільки розчинник просто випаровується, залишаючи плівку покриття. Ці покриття можна висушувати або за умов навколишнього середовища, або за допомогою нагрівання. Термоактивні матеріали — це матеріали, які піддаються хімічній реакції в рамках механізму затвердіння. Як і термопласти, вони, як правило, можуть тверднути в умовах навколишнього середовища. Однак для досягнення оптимальних властивостей і повного затвердіння ці покриття вимагають підвищених температур. Матеріали, що твердіють під дією ультрафіолетового випромінювання, — це акрилати та метакрилати, які твердіють під впливом певної довжини хвилі ультрафіолетового випромінювання.

Контроль якості

Під час перевірки конформних покриттів головним фактором є якість покриття. Це можна зробити швидко і легко за допомогою чорної лампи. Просто помістіть плату з покриттям під чорну лампу та перевірте, чи немає ділянок, які флуоресцюють синім.

ВИМІРЮВАННЯ ТОВЩИНИ КОНФОРМНОГО ПОКРИТТЯ

Типова товщина сухої плівки конформних покриттів коливається від 1 до 5 міл (25.4–127 мкм) і може бути перевірена за допомогою наступних методів.

Мікрометр

Простий неруйнівний метод полягає у вимірюванні точок вздовж непокритої плати за допомогою каліброваних мікрометрів, а після нанесення покриття повторно вимірюються ці ж точки, різниця між якими і є товщиною покриття.

Позитектор

Менш трудомісткий неруйнівний метод, що використовує цифровий вимірювач товщини покриття, який вимірює зміни в магнітних або електричних полях для визначення товщини покриття. Хоча цей метод набагато швидший і простіший, він обмежений використанням на струмопровідних ділянках, і тому не може вимірювати товщину покриття на паяльній масці або інших ізольованих компонентах.

Аналіз мікрозрізів

Найпростішим неруйнівним інструментом для вимірювання товщини по-

криття є вимірювальний мокрий плівкомір з чорною лампою. Однак цей метод можна застосовувати лише для систем з високим вмістом твердої речовини, таких як УФ-покриття. Нарешті, для високоточних вимірювань товщини покриття можна застосувати аналіз поперечного перерізу, під час якого ділянку плати з покриттям вирізають і встановлюють у пластикову форму. Потім поперечний зріз полірується та аналізується під потужним мікроскопом для вимірювання товщини покриття в різних точках. Хоча цей метод забезпечує найточніші вимірювання, він вимагає багато часу та дорогого обладнання, а також руйнує зразок.

Доробка/ремонт

Іноді потрібний ремонт, щоб відремонтувати ділянки, де покриття було пошкоджене, відшароване або іншим чином видалене з плати. Зазвичай це відбувається на дуже невеликій площі, що вимагає точного нанесення. Тому ці ремонтні роботи зазвичай наносять пензлем, щоб локалізувати та обмежити повторне нанесене покриття на невеликій ділянці.

ПОРІВНЯННЯ КОНФОРМНИХ ПОКРИТТІВ

Особливості вибору, рекомендації

Вибір відповідного конформного покриття залежить від ваших потреб у матеріалах, а саме від того, які сертифікати (IPC чи UL) потрібні, які умови навколишнього середовища повинно витримувати покриття та якими є ваші технологічні можливості нанесення. Таким чином, конформні покриття слід оцінювати не за принципом «від кращого до гіршого», а скоріше за принципом «найкраще підходить». Наприклад, друкована плата, що встановлюється всередині приміщення, не потребує надзвичайного захисту, який забезпечує епоксидна смола, достатньо простого акрилового конформного покриття, яке захищає від пилу та стрибків струму. І, навпаки, встановлена під капотом автомобіля друкована плата потребує посиленого захисту епоксидними смолами або УФ-покриттям, які можуть впоратися з парами палива, дорожньою сіллю та частими ударами. Коли ви обираєте метод покриття, ви повинні оцінити його сильні та слабкі сторони з урахуванням ваших конкретних потреб.

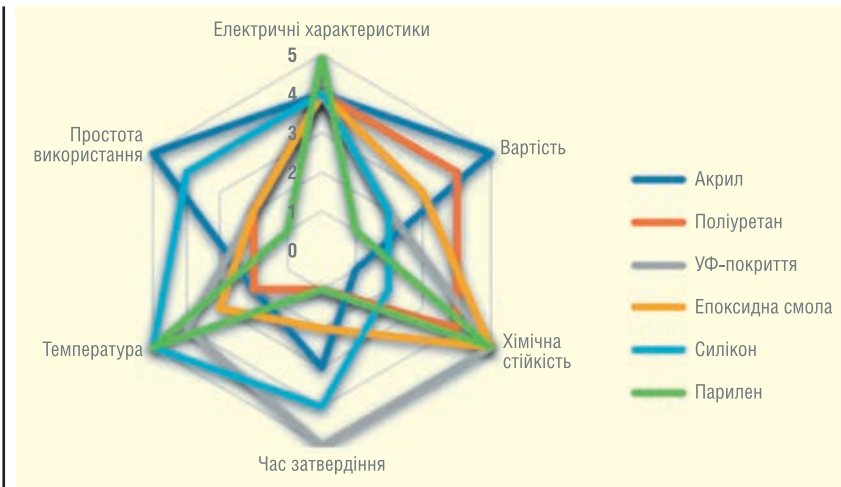


Рис. 6. Радарний графік порівняння 6 типів конформних покриттів

Сімейства конформних покриттів

Акрил. Акрил є чудовим матеріалом для м'яких умов експлуатації, де основними проблемами є періодичний вплив вологості, сольового туману, пилу та грибка. Його сильними сторонами є низька вартість, простота використання та перероблення. Його недолік — погана хімічна стійкість.

Поліуретан. Поліуретани забезпечують повний захист акрилу плюс деяку стійкість до хімічних розчинників, мають чудову стійкість до стирання та зберігають міцну адгезію за низьких температур. Їх недоліком є відносно довгий час затвердіння, що робить їх не ідеальними для застосування для великих обсягів робіт.

Епоксидна смола. Епоксидна смола забезпечує чудовий захист порівняно з акрилом, поліуретаном і силіконом. Вона захищає від звичайних забруднень, таких як волога, а також від агресивних хімічних речовин і стирання та допомагає захистити міцну з'єднання від ударів. Нанесений матеріал може бути відносно громіздким, з тривалим часом затвердіння, тому її використання, як правило, обмежується застосуваннями, які потребують посиленого захисту.

Силікон. Силікони цінуються головним чином за стійкість до високих температур та еластичність. У порівнянні з більшістю інших типів конформних покриттів, вони мають винятково низький модуль пружності, що робить їх ідеальними для покриття делікатних пристроїв для поверхневого монтажу або для застосувань, що передбачають жорсткі термічні цикли. Силіконові покриття не використовуються, коли потрібен захист від оливо та інших розчинників, і іноді можуть бути непомірно дорогими порівняно з іншими продуктами.

УФ-покриття. Матеріали з УФ-отвердінням мають неперевершену швидкість затвердіння. Інші хімікати тверднуть годинами, а УФ-покриття тверднуть за лічені секунди, що допомагає забезпечити високу продуктивність, і робить їх ідеальними для великих проєктів. Однак, щоб повністю реалізувати їх переваги, потрібні значні капітальні витрати, зокрема автоматизоване обладнання для розпилення, радіометри та полімеризаційні лампи/конвеєрні системи. Отже, перш ніж вибрати УФ-покриття, слід провести ретельний аналіз витрат і вигод.

Парилен. Парилен відрізняється від будь-якої іншої технології (матеріалу) конформного покриття тим, що це порошок, який наноситься на друковані плати за допомогою процесу, відомого як хімічне осадження з парової фази. Цей процес вкрай трудомісткий і вимагає використання вузькоспеціалізованого обладнання. Проте затверділе покриття забезпечує неперевершену електроізоляцію, загальне покриття та термостійкість. Парилен використовується виключно тоді, коли потрібне повністю однорідне покриття.

На рисунку 6 наведено радарний графік, який допоможе полегшити вибір конформного покриття для ваших конкретних вимог.

Більш детальну інформацію можна отримати, звернувшись в ТОВ «Філур Електрик, ЛТД»:
02100, м. Київ,
вул. Гетьмана П. Полуботка,
22/14, 1-й пов.,
тел.: +38 (044) 495-75-75,
+38 (068) 496-75-75,
e-mail: office@filur.net,
www.filur.net

ПОКРАЩЕНЕ СИЛІКОНОВЕ ВОЛОГОЗАХИСНЕ ПОКРИТТЯ MG CHEMICALS 422C

MG 422C — це однокомпонентне акрилово-силіконове конформне покриття, яке після висихання утворює міцну, гнучку та гладку фінішну плівку. Легко наноситься і висихає на відліп всього за 10 хвилин. Низька в'язкість (14 сантипуаз) дозволяє цьому покриттю проникати між компонентами на платах з дуже щільним монтажем, а також між выводами мікросхем з малим кроком. Його можна зняти за допомогою відповідного засобу для зняття конформного покриття (MG 8309 або 8310A) або пропаяти наскрізь для ремонту чи переробки.

Це гідроізоляційне покриття для друкованих плат мінімально навантажує компоненти під час термічного циклу, що робить його ідеальним для застосувань, які потребують широкого діапазону температур. Воно забезпечує надійний захист від вологи, корозії, грибка, бруду, пилу, теплового удару, короткого замикання, високовольтної дуги та статичного розряду.

Це покриття для гідроізоляції друкованих плат є найкращим вологозахисним покриттям у випадках, коли потрібен захист від вологи друкованої плати, широкий діапазон робочих температур і гнучкість. Це чудовий вибір для гідроізоляції FPV (англ. first-person view — вид від першої особи) електроніки та дистанційних систем, таких як дрони та автомобілі з дистанційним керуванням.

Для проведення контролю якості нанесення у покриття внесені УФ-флуоресцюючі частинки, що дозволяють визначити зони, в яких наявне відшаровування або відсутність покриття.

Особливості та переваги:

- сертифікований UL94 V-0 (файл № E203094);
- діапазон робочих температур — від -40 до $+200$ °C;
- флуоресцює під УФ-А світлом;
- підходить для нанесення обладнання для селективного нанесення покриття;
- доступне у зручному аерозольному форматі;
- стійкість до корозії;
- час висихання до обробки — 10 хв.;
- час висихання до нанесення наступного шару — 2 хв.;
- теоретична покриваність при товщині шару 25 мкм — 58 900 см²/л.

Покриття радіочастотних з'єднувачів

Кива Джуринський

Радіочастотні з'єднувачі є необхідними компонентами систем зв'язку та телекомунікації, авіаційної та авіакосмічної апаратури, медичної техніки, систем керування транспортом і багатьох інших систем. Найважливіше місце в конструкції та технології виготовлення радіочастотних з'єднувачів займають покриття їхніх металевих поверхонь. Розгляду складу та властивостей сучасних покриттів радіочастотних з'єднувачів присвячена ця стаття.

ОСНОВНІ ВИДИ ПОКРИТТІВ

У радіочастотних з'єднувачах застосовують невелику номенклатуру металевих матеріалів. Корпуси комерційних, а також немагнітних з'єднувачів виготовляють з латуні, рідше — з бронзи, а корпуси герметичних з'єднувачів, у яких герметичність забезпечує металосляний спай, — із залізо-нікель-кобальтового сплаву Kovar. Корпуси вимірювальних, метрологічних і складових з'єднувачів сантиметрового і міліметрового діапазонів довжин хвиль виконують із пасивованої нержавіючої сталі. Внутрішні цангові провідники з'єднувачів усіх типів, як правило, виготовляють із термічно зміцненої берилієвої бронзи. Для виготовлення центральних штирьових провідників застосовують латунь або берилієву бронзу.

Параметри радіочастотних з'єднувачів значною мірою визначаються складом і властивостями покриттів їхніх зовнішніх і внутрішніх провідників. Тому провідні компанії постійно ведуть роботи зі створення нових, досконаліших і економічніших покриттів. Покриття, які застосовують нині компанії — виробники з'єднувачів та інших

електронних компонентів, наведено в таблиці 1 [1–12, 16–31].

ВИМОГИ, ЩО ВИСУВАЮТЬСЯ ДО ПОКРИТТІВ

До покриттів радіочастотних з'єднувачів висувають такі вимоги:

- висока електропровідність, низький і стабільний контактний опір;
- висока корозійна стійкість;
- зносостійкість;
- температурна стійкість;
- хороша паяність;
- немагнітність;
- низький рівень інтермодуляційних спотворень;
- оптимальне співвідношення ціна/якість;
- екологічність: відсутність у складі покриття шкідливих речовин (відповідність директиві RoHS).

Розглянемо перераховані характеристики докладніше.

Контактний опір

З'єднання внутрішніх і зовнішніх провідників вилок та розетки з'єднувача відбувається внаслідок утворення точкових контактів, тому що навіть ретельно оброблені поверхні обох провідників мають нерівності: виступи та западини (рис. 1) [1, 13].

Крім того, на поверхні металів адсорбуються молекули газів навколишнього середовища, і утворюються найтонші непровідні плівки оксидів, сульфідів і різних органічних забруднень. У результаті спільної дії точкових контактів і непровідних плівок виникає контактний опір, який залежить від багатьох чинників: питомого електричного опору, твердості, пластичності та корозійної стійкості покриття, площі та шорсткості поверхні контакту, умов нанесення покриття тощо [1, 2, 13]. У технічних умовах на з'єднувачі різних типів наводять такі норми величини опору: 1...3 мОм — для зовнішніх і 3...5 мОм — для внутрішніх провідників [2].

Низький контактний опір забезпечують покриття з низьким питомим елек-

Таблиця 1. Покриття радіочастотних з'єднувачів провідних виробників	
Покриття	Позначення (виробник), склад, товщина
Стандартне золоте покриття (для корпусів із латуні)	Gold plated (Harting, Telegärtner та ін.): золото — 0,8 мкм, прошарки міді — 1 мкм і нікелю — 2 мкм
Тонке покриття «тверде» золото по прошарку хімічного нікелю	Hard gold (сплав золота з 0,1–0,3% кобальту або нікелю): AuroDur (Rosenberger): хімічний нікель — 2–3 мкм, «тверде» золото — 0,15 мкм; NiP-Au (Telegärtner, Harting): хімічний нікель — 4 мкм, «тверде» золото — 0,1 мкм; Sucoplo (Hubert+Suhner): «тверде» золото 99,7% — 0,1–0,2 мкм, хімічний нікель (фосфор 10,5%) — 2 мкм
Гальванічний нікель	Nickel plated (Harting, Telegärtner): нікель — 5 мкм, мідь — 2 мкм.
Хімічний нікель	Нікель з 8–13% фосфору. NPGR (Radiall): понад 10% фосфору; Sucodur (Hubert+Suhner): нікель з 10,5–13% фосфору
«Біла бронза»	Сплав олово-мідь-цинк: 50–55% міді, 30–35% олова, 15–17% цинку, 0,5–4 мкм. BBR (Radiall); Miralloy 2844 (Umicore Electroplating): 55% міді, 30% олова, 15% цинку; Sucoplate (Hubert+Suhner); Secoplate (SEC Plating); Tri-M3™ (Electro-Spec, Inc.); Optalloy (Rosenberger); Telealloy (Harting): 3 мкм; Albaloy (Delta Electronics)
«Біла бронза», покрита золотом	GBR (Radiall): «тверде» золото — 0,2 мкм поверх BBR — 1,8 мкм.
Срібло, покрите «білою бронзою»	Sucoplate 30 (Hubert+Suhner): срібло — 2 мкм, Sucoplate — 0,5 мкм; Optargen (Rosenberger, Telegärtner): срібло — 2 мкм, «біла бронза» — 0,5 мкм
Срібло, сплав срібло-сурма	Silver plated (Harting, Telegärtner): срібло — 5 мкм, підшар міді — 2 мкм
Паладій-нікель, покритий тонким шаром золота	Твердий розчин паладію (70–80%) і нікелю (20–30%), «тверде» золото — менше ніж 0,25 мкм (FCL, Molex, TE Electronics та ін.)



а)



б)

Рис. 1. Область контактування (а) і залежність контактної опору від кількості контактних точок (б)

тричним опором, який необхідний також для зменшення прямих НВЧ-втрат у з'єднувачі. Найменшу величину питомого опору мають срібне та золоте покриття, найбільшу — хімічно осаджений нікель, що містить до 13% фосфору. Для забезпечення низького і стабільного в часі контактної опору найбільш придатні золоті покриття, оскільки золото в більшості середовищ не вступає в реакцію з хімічними речовинами й за достатньої товщини зберігає свою провідність протягом тривалого часу. При цьому гальванічне покриття з чистого «м'якого» золота має в 3 рази нижчий контактний опір, ніж «тверде» золото з добавками кобальту або нікелю [12].

Корозійна стійкість

Вимоги до корозійної стійкості радіочастотних з'єднувачів постійно підвищуються. Для захисту від корозії використовують покриття з благородних металів: золота, срібла і паладію, а також зі стійких до корозії «пасивних» металів: нікелю, хрому. Корозійна стійкість «пасивних» металів зумовлена присутністю на їхній поверхні тонкої (завтовшки кілька нанометрів) плівки оксиду або нітриду, що діє як захисний бар'єр між металом і навколишнім середовищем і перешкоджає глибокій корозії [23]. Найбільшу корозійну стійкість мають покриття із золота та хімічного нікелю [1, 4, 9–16].

Корозійна стійкість будь-яких покриттів залежить від їхньої пористості. Пори відкривають шлях до основного матеріалу, створюючи можливість його окислення і корозії. Пористість є функцією великої кількості змінних і багато в чому залежить від товщини й структури покриттів, а також від складів електролітів і режимів осадження. У роботі [5] показано, що в золотому покритті товщиною менше ніж 0.25 мкм присутні тисячі мікроскопічних пор, хоча зовні воно має вигляд безперервного. У покриттях золотом із добавкою 0.1% кобальту за пористості 2–100 пор/см²

та діаметрі пори 7.5 нм їхній обсяг становить 0.5% [11].

Корозійна стійкість покриттів зростає при збільшенні їхньої товщини. У міру збільшення товщини покриття в ньому зменшуються кількість і розміри пор (рис. 2, табл. 2) [22, 24]. Золоте покриття великої товщини (понад 1.25 мкм) без пор забезпечує винятково високий захист від корозії [24]. Найефективнішими є золоті покриття для з'єднувачів, що працюють за високих температур (понад +125 °С). У цьому випадку товщини покриттів золота і нікелю повинні бути збільшені [10].

Зносостійкість

Найважливішими параметрами радіочастотних з'єднувачів є зусилля з'єднання і роз'єднання вилки і розетки та гарантована кількість таких з'єднань. Під час зчленування (з'єднання) внутрішніх і зовнішніх контактів вилки та розетки відбувається зношення покриття їхніх поверхонь. Ступінь зношення значною мірою залежить від твердості покриття. Значення твердості за Віккерсом (HV, кг/мм²) деяких покриттів і металів наведено на рисунку 3 [8].

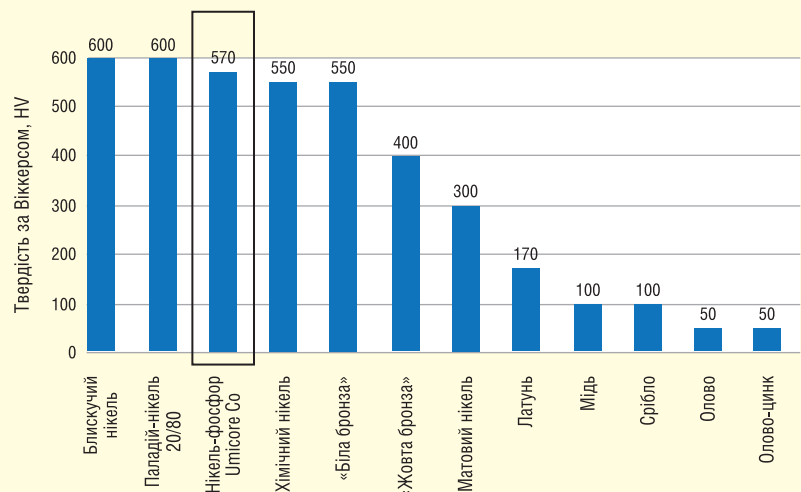


Рис. 3. Твердість за Віккерсом різних покриттів і металів (виділена твердість хімічного нікелю компанії Umicore Co)

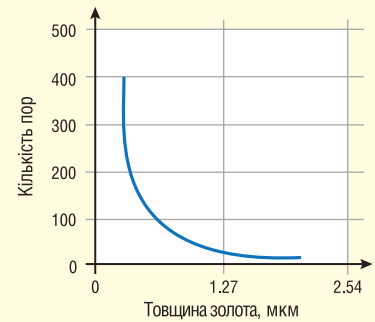


Рис. 2. Кількість пор у золотому покритті різної товщини

Таблиця 2. Пористість золотих покриттів різної товщини

Товщина золотого покриття, мкм	Кількість пор на 1 см ²
0.10...0.25	600–1000
0.38...0.50	15–100
0.75...1.0	1–5

Твердість покриттів залежить від їхнього складу, технології отримання та методики вимірювання. Тому для одного і того ж виду покриття величини твердості, наведені різними компаніями, значно відрізняються. Перш за все, це стосується хімічного нікелю, в якому вміст фосфору може становити від 3–4 до 12–13%. Твердість хімічного нікелю зменшується при зниженні в ньому вмісту фосфору. У результаті термічної обробки його твердість різко зростає до 1 000 HV, безвідносно до процентного вмісту фосфору [15].

Поверхня покриття з чистого «м'якого» золота через знижену твердість більш схильна до подряпин і різних дефектів. Максимальна твердість цього покриття така ж, як у нігтя людини. Твердість золота вдалося підвищити в

кілька разів завдяки введенню до його складу невеликої кількості кобальту або нікелю, які створюють тоншу кристалічну структуру покриття. Розмір зерна «твердого» золота приблизно в 60 разів менший за розмір зерна покриття з «м'якого» золота. У результаті цього у «твердого» золота знизився коефіцієнт тертя, і воно стало менш сприйнятливим до зношення при зчленуванні контактів [12].

Коефіцієнт тертя також є важливим параметром покриття. Що він менший, то менші зусилля і більша допустима кількість циклів з'єднання і роз'єднання вилок та розетки, а також менший момент обертання гайки різьбових кабельних з'єднувачів. Допустима кількість циклів з'єднання і роз'єднання пропорційна товщині покриття: чим товще покриття, тим більша кількість циклів. Найпоширеніші товщини «твердих» золотих покриттів для з'єднувачів із підвищеною зносостійкістю — 1..2 мкм [12].

Підвищенню зносостійкості золотих покриттів значно сприяє підшар нікелю, який виконує низку функцій [4, 5, 8, 12, 15]:

1. Нікель є бар'єром для твердотільної дифузії в золоте покриття атомів міді та її легувальних металів, таких як цинк і латунь. Нікель має найменший атомний радіус — 0.128 нм, тому більші атоми інших металів не можуть проникати навіть крізь тонке (товщиною 0.8...1.5 мкм) нікелеве покриття. Завдяки цьому відбувається захист цілісності золотого покриття, що особливо важливо для тривалих застосунків за підвищених температур.
2. Нікель сприяє підвищенню корозійної стійкості, особливо золотих покриттів малої товщини. Будь-які пори в золотому покритті призведуть до нікелевого прошарку, а не до основного металу. Підшар нікелю запобігає зростанню плівок оксиду міді на поверхні золота.
3. Підшар нікелю вирівнює і зменшує шорсткість контактної поверхні, знижуючи коефіцієнт тертя і, отже, зменшуючи зношення золотого покриття.
4. Нікелевий підшар знижує ймовірність утворення тріщин у контактах, покритих «твердим» золотом.
5. Підшар нікелю з високим вмістом фосфору забезпечує високу корозійну стійкість, а підшар гальванічного нікелю високої чистоти є найкращою основою для якісного паяння. Компанія Advanced Plating Technologies рекомендує мінімальну товщину нікелевого підшару 1.25 мкм [5].

6. Гальванічний нікель — магнітний матеріал, що має досить високу хімічну стійкість, пластичність і адгезію до матеріалу, що покривається.

Властивості хімічного нікелю

Хімічний нікель являє собою твердий розчин фосфору, вміст якого може бути в межах 1–14% за масою, і нікелю [15]. Основні властивості хімічного нікелю наведені в таблиці 3 (у таблиці наведено твердість за Кноппом — НК₁₀₀, яка незначно відрізняється від твердості за Віккерсом — HV) [14].

Покриття хімічним нікелем має рівномірну товщину, високу корозійну та хімічну стійкість і стабільні електричні, теплові та фізичні властивості. Густина хімічного нікелю обернено пропорційна вмісту в ньому фосфору. Вона варіюється від 8.6...8.8 г/см³ (для нікелю з дуже низьким вмістом фосфору) до 7.6...7.9 г/см³ (для нікелю, що містить понад 10% фосфору) [14–16]. Коефіцієнт термічного розширення хімічного нікелю значно менший, ніж у чистого нікелю: чим більший вміст фосфору, тим менший коефіцієнт термічного розширення хімічного нікелю.

Температура плавлення чистого нікелю дорівнює +1455 °С, але зі збільшенням вмісту фосфору температура плавлення знижується майже лінійно до +880 °С для сплаву, що містить 11% фосфору. Це найнижча температура плавлення (евтектика) для системи нікель/фосфор (фосфат нікелю — Ni₃P) [14, 15].

Питомий електричний опір хімічного нікелю зі зростанням вмісту фосфору зростає більш ніж на порядок, і покриття нікель-фосфор стають дедалі менш провідними [14, 15]. Це відбувається через порушення кристалічної решітки нікелю при проникненні в неї атомів фосфору.

Термічна обробка знижує міцність і пластичність покриття. Вплив температури вище +220 °С на покриття з низьким вмістом фосфору може призвести до зниження їхньої міцності та пластичності. Пластичність покриттів з високим вмістом фосфору практично не

знижується при нагріванні до температури не вище +260 °С.

Магнітні властивості нікелю високої чистоти різко знижуються зі збільшенням у ньому вмісту фосфору. Нікель, що містить понад 10–11% фосфору, стає немагнітним [14, 15]. Чим менший вміст фосфору в нікелі, тим більша коерцитивна сила — значення напруженості магнітного поля, необхідне для повного розмагнічування нікелю. Хімічний нікель залишається немагнітним навіть після термічної обробки протягом короткого часу за температури +260 °С. Магнітні властивості нікелю з 3% вмістом фосфору наближаються до магнітних властивостей чистого гальванічного нікелю, а за 11% вмісту фосфору нікель стає немагнітним. Покриття після термообробки більш магнітні, ніж без неї [16].

Паяність

Покриття радіочастотних з'єднувачів повинно поєднувати високу корозійну стійкість з хорошою пайкою. Паяння з'єднувачів із золотим покриттям здебільшого здійснюють із використанням припоїв складу олово-свинець. Відмінною особливістю олов'яно-свинцевих припоїв є висока швидкість, з якою вони розчиняють золоті покриття [17–23]. За температури +200 °С швидкість розчинення золота в евтектичному припої олово-свинець (температура евтектики +183 °С) перевищує 1 мкм/с. Розчинення триває доти, доки золото повністю не розчиниться, або не сформується рівноважний склад [17]. По золотому покриттю добре розтікаються всі припої. Тому під час паяння з'єднувачів необхідно ретельно підбирати й суворо дотримуватися температурно-часового режиму паяння, а також застосовувати заходи захисту від зайвого розтікання припою.

На початку 1960-х років було опубліковано роботи, які констатували зниження пластичності та перехід від в'язкого до крихкого руйнування паяних з'єднань, якщо вміст золота в припої олово-свинець становив 5–10%. Тоді ж було рекомендовано обмежити товщину золотого покриття величиною

Таблиця 3. Основні властивості хімічного нікелю

Вміст фосфору, %	10–13	7–9	4–6	1–3
Температура плавлення, °С	880...900	880...980	1100...1300	1250...1360
Густина, г/см ³	7.6...7.9	8.0...8.2	8.3...8.5	8.6...8.8
Твердість, НК ₁₀₀	400–525	500–600	625–750	725–800
Твердість, НК ₁₀₀ після термообробки	850–950	850–1000	850–1100	900–1100
Питомий опір, мкОм·см	75...110	40...70	15...45	10...30
Магнітні властивості	Немагнітний	Слабomagнітний		Магнітний

1.25 мкм, щоб уникнути небажаного окрихчування паяного з'єднання [20]. Це пояснюється тим, що розчинність золота у твердому припої дуже мала — 0.3–0.5%. Якщо вміст золота в олов'яно-свинцевих припоях перевищує межу розчинності, утворюються тверді та крихкі інтерметалеві сполуки $AuSn_4$, $AuSn_2$ і $AuSn$, а також бінарний сплав зі свинцем $AuPb_2$.

Зниження міцності відбувається поступово та обернено пропорційно до вмісту золота. Для паяного з'єднання шириною 50 мкм товщина золотого покриття повинна бути менше ніж 0.5 мкм [19]. У цій же роботі рекомендовано обмежити товщину золотого покриття величиною 0.75 мкм, щоб вміст золота в припої не перевищив 3%, і не утворилися інтерметалічні сполуки золота з оловом.

За вмісту золота в припої понад 3–5% відбувається окрихчування паяного з'єднання [17, 19]. На рисунку 4 показано зовнішній вигляд паяного з'єднання центрального провідника з'єднувача, вкритого золотом по прошарку хімічного нікелю, зі смужкою друкованої плати, також вкритою золотом. Паяння здійснювали евтектичним припоєм

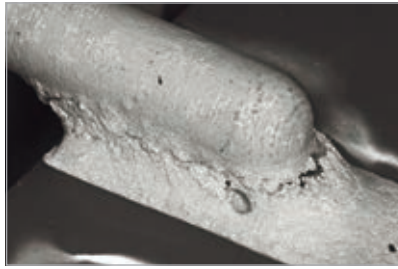


Рис. 4. Зовнішній вигляд паяного з'єднання центрального провідника з'єднувача зі смужкою друкованої плати

$Sn63Pb37$ (олово 63%, свинець 37%) за температури +210 °С. Після паяння в з'єднанні видно тріщину [22].

Золото легко розчиняється також і в припоях на основі індію. За температури +200 °С швидкість розчинення золота становить 2 мкм/с, а за температури +250 °С — 4 мкм/с. Індієві припої можна використовувати для паяння з компонентами, покритими золотом завтовшки понад 0.5 мкм. Однак з'єднання, виконані індієвими припоями, менш міцні, ніж з'єднання олов'яно-свинцевими припоями.

Після розчинення золота в припої відбувається взаємодія збагаченого золотом припою з прошарком нікелю.

Якщо нікель не окислений, то він добре змочується припоєм і дає міцне паяне з'єднання. Щоб захистити нікель від окислення, товщина золотого покриття має становити щонайменше 0.25 мкм, оскільки за меншої товщини покриття пористе. Для забезпечення найбільш міцного паяного з'єднання рекомендується використовувати гальванічний нікель високої чистоти. Для якісного паяння з прошарком хімічного нікелю необхідно, щоб вміст фосфору в ньому становив менше ніж 8% [19].

Присутність «неблагородних» елементів, таких як кобальт і нікель, у золотих покриттях може погіршити якість паяння через можливість окислення цих елементів за температур паяння. Крім того, високий ступінь чистоти золота необхідний у тих випадках, коли відбувається термодифузія золота. Тому з'єднання термокомпресійним, термозвуковим або ультразвуковим зварюванням бажано виконувати за покриттями з чистого золота [12].

Нині у відповідності до директиви RoHS про заборону застосування свинцю використовують припої SAC (мідь-олово-срібло). У цьому разі збільшення товщини золотого покриття також

SMA

N-type

SMB

7/16, BNC, F, FME, MCX, MMCX, N, QMA, SMA, SMB, SMC, SMK, SMP, SSMA, SSMB, SSMC, TNC, UHF

ТОВ «ЄВРОКОНТАКТ ЛТД.»
+380 44 500 7991
info@eurocontact.kiev.ua

шкідливо впливає на міцність паяних з'єднань під час циклічного впливу температури [20].

Далі буде

Література:

1. Heile I., Huske R. Contact plating material options for electronic connectors. A comparison of hard gold and hard gold flashed palladiumnickel (80/20). www.harting.com/sites/default/files/2019-03/Contact-plating-material-options-for-electronic-connectors_0.pdf
2. Джуринский К. Б. Современные радиочастотные соединители и помехоподавляющие фильтры. Под редакцией д.т.н. Борисова А. А. Изд-во ЗАО «Медиа Групп Файнстрит». Санкт-Петербург. 2014. 426 с.
3. Surface coating for coaxial connectors. Professional Articles, 03/2013. www.telegartner.com
4. Kurtz O., Ларорс-Брок Ф., Данкер М. и др. Покрытие «никель-золото» исключительно высокой коррозионной стойкости. Технологии в электронной промышленности. 2011. № 4. С. 28–32.
5. Bondhus B. Advanced Plating Technologies. Gold Plating Thickness of Connectors and Contacts, 2018/04. advancedplatingtech.com
6. SEC Plating Pty. High quality surface plating for rf-connectors, electrical and microwave components. www.secp.net
7. Лобанов М. Л., Кардонина Н. И., Россина Н. Г., Юровских А. С. Защитные покрытия: учебное пособие. Екатеринбург: изд-во Урал. ун-та. 2014. 200 с.
8. De Poto R., Weber J., Leydecker K. Electrolytic Nickel-Phosphorus Plating — Uyemura. www.uyemura.com
9. Hard Gold plating — Alternate Finishing. www.alternatefinishing.com
10. Electro-Spec Blog. J. Smith. Use of Gold Plating in Electronics. <https://plating.electro-spec.com/blog/use-of-gold-plating-in-electronics>
11. Ланин В., Емельянов В. Снижение толщины золотых покрытий при изготовлении интегральных схем. Технологии в электронной промышленности. 2008. № 7. С. 62–65.
12. Lindstedt M. Hard Gold Plating vs. Soft Gold Plating. Products Finishing. www.pfonline.com
13. Бондаренко И. Б., Гатчин Ю. А., Иванова Н. Ю., Шилкин Д. А. Соединители и коммутационные устройства. СПб: СПб ГУИТМО. 2007.
14. Electroless Nickel. Properties of Electroless Nickel. MacDermid Enthone. <https://macdermidenthone.com/solutions/electroless-nickel/reduced-ion-electroless-nickel>
15. Parkinson R. Properties and applications of electroless nickel. www.nickelinstitute.org
16. Вансовская К. М. Металлические покрытия, нанесенные химическим способом. Л. Изд-во «Машиностроение». 1985. 103 с.
17. Soft soldering gold coated surfaces — Core. <https://core.ac.uk>
18. What is the Gold Plating Thickness Standard for Connectors? www.sharrettsplating.com
19. Soldering to Gold Over Nickel Surfaces — Kester. www.kester.com
20. Hillman C., Blattau N., Arnold J. и др. Gold embrittlement in lead free solder. <https://smtnet.com/library/files/upload/Gold-Embrittlement-in-Leadfree-Solder.pdf>
21. Brewer D. H. Solders for Thick Gold Plating Consideration of solder characteristics, joint shear strength, and soldering conditions determines the choice of a solder-flux system. American Welding Society. WJ. 1970. 10. P. 465.
22. Wolverton M. Solder Joint Embrittlement Mechanisms, Solutions and Standards. www.circuitsinsight.com
23. Song J. Corrosion Protection of Electrically Conductive Surfaces — MDPI. www.mdpi.com
24. Schueller R., Hillman C. Understanding the Risk of Gold Flash. White papers. https://cdn2.hubspot.net/hubfs/1871852/Content_for_Degreed.com/Previous_Content/Understanding-the-Risk-of-Gold-Flash.pdf
25. AuroDur Plating for RF Coaxial Connectors. 99. www.rosenberger.de
26. Plating — HUBER+SUHNER. www.hubersuhner.com
27. Plating properties — Radiall. www.radiall.com
28. What is Passive Intermodulation PIM. Primer Electronics Notes. www.electronicnotes.com
29. Guide GBR D1031DE. www.radiall.com
30. Matthey. Palladium-Nickel as a Gold Substitute. <https://technology.matthey.com/content/journals/10.1595/003214084X2825455>
31. Romm D., Lange B. and D Abbott. Evaluation of Nickel/Palladium/Gold-Finished Surface — Mount Integrated Circuits. Application Report SZZA026. July 2001. www.ti.com
32. Brearley D. Gold alternatives in connector designs. Connector Tips. December, 2013.
33. Low cost PVD contact coating replacing plated gold. Impact Coatings AB. <https://impactcoatings.com>

ОСОБЛИВОСТІ ТА МІРКУВАННЯ ПРО ІНДИВІДУАЛЬНЕ ВИРОБНИЦТВО

Радіочастотні (РЧ) з'єднувачі є одними із декількох компонентів, які можна виготовляти на замовлення. Це відбувається тоді, коли стандартний виріб замовника влаштовує не повністю та вимагає додаткового опрацювання, адаптації, а інколи, навіть, створення повністю нового підходу для певної сфери застосування. Необхідність використовувати кастомізовані рішення диктується або специфічними умовами застосування, або необхідністю отримати прогнозований результат у вигляді готового продукту із потрібними характеристиками. РЧ-з'єднувачі або кабельні збірки на їх основі в подібних випадках розглядаються відповідно до конкретних умов застосування та очікуваної на виході продуктивності проекту з розрахунком на покращення якості сигналу, збільшення ефективності та зростання надійності системи загалом. Це особливо важливо для критичних сфер застосування, де немає місця технічним збоєм.

На замовлення для індивідуального проекту можна виготовити майже будь-який радіочастотний прилад з потрібними електричними специфікаціями, які необхідні саме для такого проекту. З погляду виробництва індивідуальні рішення також додають певного сенсу. Наприклад, це стосується питань оптимізації витрат всіх виробничих ресурсів, як матеріальних, так і нематеріальних, шляхом використання їх необхідної кількості. Таким чином, загальний вплив кастомізації відбивається всюди: на технічних особливостях виробу, покращенні його функціоналу, фінансових складових виробництва, заощадженні будь-яких ресурсів, швидкості виходу продукту на ринок.

Індивідуальні конструктивні рішення потребують «індивідуальних» рішень при виробництві. Не всі виробники якісно справляються з такими задачами. Багато залежить від досвіду розробників, технічних потужностей та рівня якості культури виробництва, й, звичайно ж, вартості виконання самої роботи. Американська компанія **Konnect RF** є одним із таких, надійних та перевірених часом виробників РЧ-з'єднувачів.

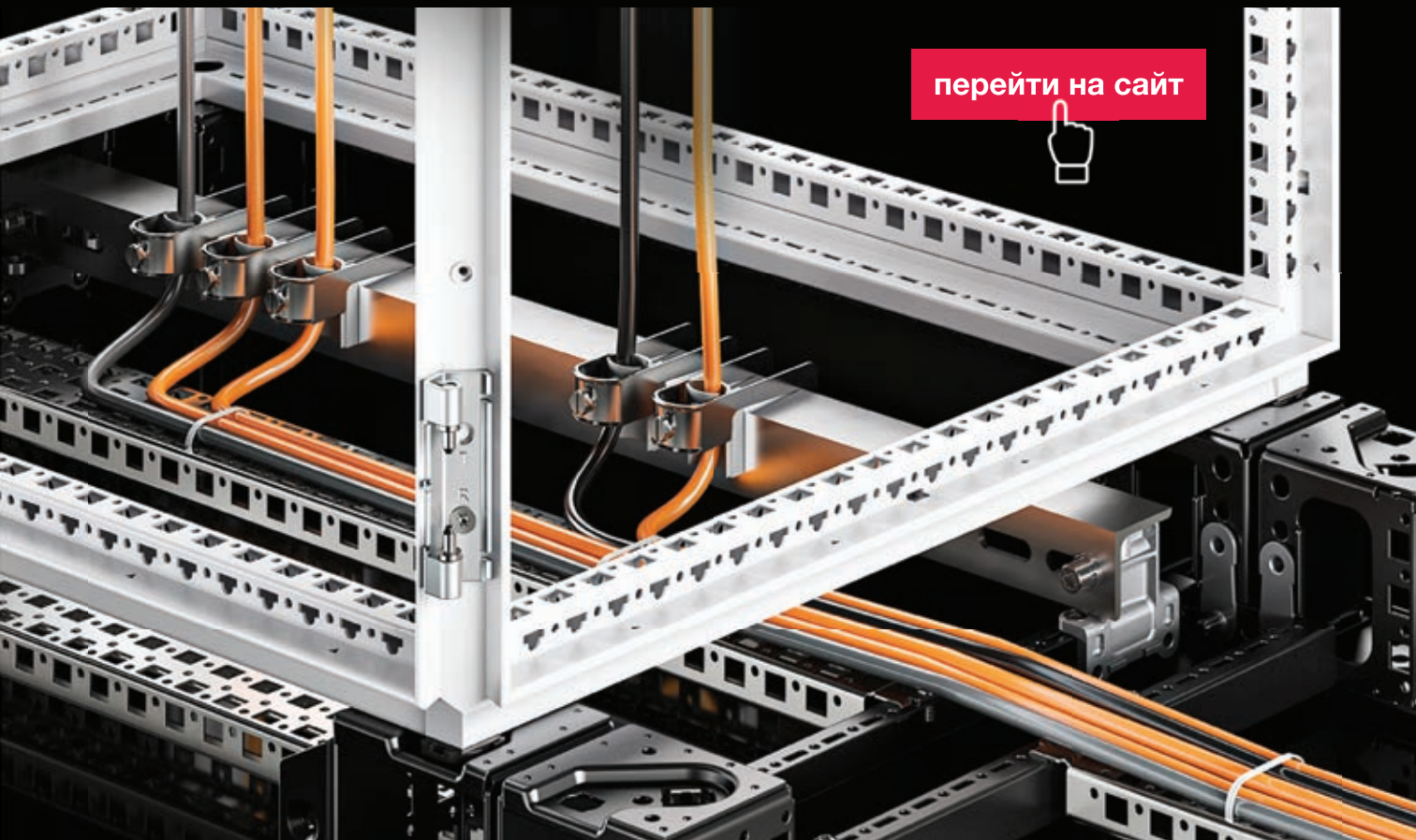
<https://konnectrf.com/>

Нова система цоколів VX Rittal



РЕВОЛЮЦІЙНЕ СПРОЩЕННЯ ЦОКОЛЯ

- Виняткова стабільність і міцність цоколя.
- Суцільні поверхні, без проміжків, в точках з'єднання цоколів шаф.
- Монтаж та фіксація кабелю в цоколі за допомогою аксесуарів VX, значно економить час та простір.
- Повна сумісність: цоколь ідеально підходить до інших корпусних рішень Rittal, таких як VX25, VX IT, VX SE, TS, TS IT, TP, PC, IW та TX.



[перейти на сайт](#)



Аналіз цілісності живлення за допомогою програмного забезпечення для проєктування друкованих плат

Закарайа Петерсон (Zachariah Peterson)

Переклад та технічне редагування: Олександр Соколовський, ДП «Гальванотехніка»

Деякі проєктувальники можуть поставити запитання, що таке аналіз цілісності живлення. Аналіз цілісності живлення — це набір методів для розуміння того, як ваші компоненти споживають енергію і як структура плати впливає на стабільну подачу живлення. Altium Designer пропонує кілька важливих інструментів для аналізу цілісності живлення, у тому числі нове розширення Power Analyzer від Keysight. У цій статті ми розповімо про те, як виконати аналіз цілісності живлення на друкованій платі, а також де отримати доступ до цих функцій в Altium Designer.

Проблеми цілісності живлення можуть виникати в сучасних друкованих платах, особливо в високошвидкісних, які працюють з високими швидкостями зміни фронту сигналу. Ці системи вимагають точного розрахунку імпедансу PDN (Power Delivery Network), щоб забезпечити постійну подачу стабілізованого живлення по всій системі. Без належного розрахунку імпедансу PDN ви ризикуєте створити пульсації та шум у системі розподілу електроенергії під час перемикання стану сигналу. Оскільки у великих мікросхемах перемикається велика кількість сигналів, це призводить до зростання нестабільності живлення та збоїв у роботі системи.

ПРОБЛЕМИ ЦІЛІСНОСТІ ЖИВЛЕННЯ ЗА ПОСТІЙНОГО ТА ЗМІННОГО СТРУМІВ

Деякі виробники працюють за високої напруги, високої швидкості, сильного струму, високої частоти або всіх перерахованих вище параметрів, і під час роботи вони можуть зіткнутися з цілим рядом проблем з цілісністю сигналу та цілісністю живлення. Аналіз ці-

лісності живлення спрямований на виявлення проблем в подальшій роботі з двох точок зору: постійного та змінного струмів. Крім того, аналіз цілісності живлення може виконуватися у два етапи: на схемі та на макеті друкованої плати. Іноді для оцінки проєкту перед створенням прототипу або виробництвом залучають експертів з моделювання, щоб виявити потенційні проблеми цілісності живлення як для постійного, так і для змінного струмів.

Аналіз цілісності живлення передбачає аналіз структури та електричних параметрів PDN в друкованій платі. Якщо бути більш конкретним, він передбачає обчислення певних електричних величин, які можуть вказувати на проблеми цілісності живлення. Зокрема, є кілька величин, які можна обчислити в PDN за допомогою інструментів моделювання, які потім можна пов'язати з певними проблемами цілісності живлення, що спостерігаються в друкованій платі під час роботи. Величини для обчислення включають (але не обмежуються ними):

- Z-параметри PDN (власний опір і перехідний опір) при змінному і постійному струмах, або S-параметри;

- опір постійному струму і густина струму в шинах і площинах живлення;
- розподіл напруги і струму по всій схемі друкованої плати;
- перехідний процес на силових шинах, що спостерігається протягом певного проміжку часу.

Ці важливі математичні величини при аналізі цілісності живлення можуть бути обчислені на схемах за допомогою моделей SPICE або IBIS, або ж вони можуть бути обчислені на друкованій платі за допомогою програми для розрахунку електромагнітного поля. Після обчислення величин, що нас цікавлять, їх слід порівняти з заданими значеннями, щоб переконатися, що вони відповідають технічним характеристикам вашого продукту.

ЯКІ ПРОБЛЕМИ ЦІЛІСНОСТІ ЖИВЛЕННЯ МОЖУТЬ ВИНИКнути В ДРУКОВАНІЙ ПЛАТІ?

Існує кілька проблем цілісності живлення, які можуть виникнути в друкованій платі, і всі вони пов'язані з наведеним вище переліком величин. Деякі з найпоширеніших проблем цілісності живлення, які можуть виникнути в друкованій платі, містять в собі наступні:

- великий колапс шини живлення (пульсація, що розглядається як перехідний процес) і брязкіт «землі»;
 - випромінювання через слабку гальванічну розв'язку та пульсації;
 - шумовий зв'язок між різними областями друкованої плати;
 - надмірне розсіювання потужності, що призводить до нагрівання.
- Метою побудови PDN є забезпечення живлення компонентів на друкова-

ній платі з мінімальною нестабільністю. Деякі з перерахованих вище проблем цілісності живлення спостерігаються як проблеми цілісності сигналу (зокрема, електромагнітні завади) і проблеми ЕМЗ/ЕМС (електромагнітні завади і сумісність). У таблиці 1 показано які проблеми цілісності живлення пов'язані з перерахованими вище математичними величинами.

Щоб дізнатися більше про ці фактори в PDN і про те, як вони впливають на стабільність постачання живлення, прочитайте наступні матеріали для повного розуміння аналізу цілісності енергосистеми [1].

МОДЕЛЮВАННЯ ЦІЛІСНОСТІ ЖИВЛЕННЯ В СХЕМАХ ЗІ ЗМІННИМ СТРУМОМ

Схеми — це гарне місце для початку моделювання цілісності живлення змінного струму перед переходом до трасування друкованої плати. У цій області можна використовувати SPICE-симуляції або симуляції на основі IBIS для моделювання стратегії розв'язки і визначення того, чи зможе ваша ідеалізована схема друкованої плати підтримувати стабільну подачу живлення, особливо для швидких цифрових інтегральних схем.

Цілісність живлення на рівні схеми не враховує важливі фізичні фактори в трасуванні друкованої плати, які впливають на цілісність живлення. Натомість дослідження цілісності живлення в схемах допомагає проектувальнику розробити цілі проектування для PDN, щоб забезпечити максимально стабільну подачу живлення. Це вимагає моделювання реакції PDN з використанням загальних компонентів для представлення фізичних аспектів трасування друкованої плати. Деякі з цих фізичних аспектів містять:

- моделі розв'язувальних/обхідних конденсаторів, які містять значення ESR та ESL;
- площинна ємність, яка зазвичай має значення порядку пФ [2];
- індуктивність розповсюдження, або індуктивність області, де існує струм в шарах живлення/землі [3];
- через індуктивність, хоча вона зазвичай включається в моделі розв'язувальних/обхідних конденсаторів;
- топологія з декількома шинами в PDN;
- комутаційний елемент, який імітує бітовий потік, щоб можна було спостерігати періодичних перехідний процес.

Таблиця 1. Зв'язок проблем цілісності живлення з перерахованими вище математичними величинами

Проблеми цілісності живлення	Власний опір PDN	Перехідний опір PDN	Опір постійному струму
Пульсація шини живлення	Високий опір PDN	В/Д	В/Д
Надмірне тепловиділення або втрати потужності	В/Д	В/Д	Високий опір постійному струму
Брязкіт «землі»	Відсутність малих шунтувальних конденсаторів або надмірна індуктивність	В/Д	В/Д
Випромінювання	Надмірні пульсації на шинах живлення (див. вище)	В/Д	В/Д
Спостерігається пульсація між портами	В/Д	Низький опір передачі PDN	В/Д

Примітка. В/Д — відсутні дані.

Відносно проста модель, яка включає лише RLC-елементи, показана на рисунку 1. Цей приклад можна використовувати для обчислення імпедансу PDN та індуктивного зміщення спектру імпедансу PDN на частотах до декількох сотень МГц. Модель також може бути використана для безпосередньої візуалізації пульсації на PDN шляхом запуску симуляції аналізу перехідних процесів.

Наведені на рисунку 1 блоки RLC-схем використовуються для моделювання розділового конденсаторного контуру, який може бути розміщений на платі. У нижній частині схеми показано з'єднання між плоскими шарами та компонентами. Нарешті, транзистор використовується з імпульсним джерелом для моделювання струму, що протікає в мережі. Вимірювання струму й напруги на вихідних точках можна використовувати для визначення імпедансу PDN за допомогою закону Ома.

На основі цих результатів можна визначити цільові значення для елементів RLC у вашій SPICE-моделі. Основним фізичним аспектом, який при цьому визначається, є ємність площини, а також кількість розв'язувальних конденсаторів. Ці значення потім стають проектними цілями в трасуванні друкованої плати, і вони впливатимуть на такі речі, як вибір конденсаторів і тип стека.

Існує два способи оцінити цілісність живлення за допомогою наведеної вище імітаційної моделі:

- у часовій області, спостерігаючи за перехідним процесом на PDN;
- у частотній області, спостерігаючи за спектром імпедансу.

Найпоширенішим методом моніторингу проблем з цілісністю живлення змінного струму при моделюванні та вимірюванні є моніторинг у часовій області. Це пов'язано з тим, що проблеми PDN змінного струму в друкова-

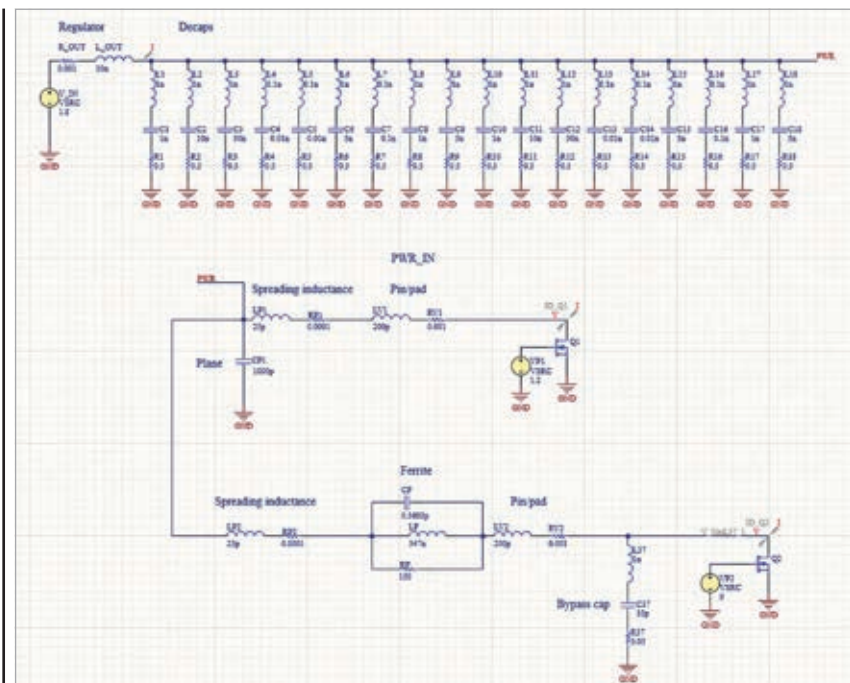


Рис. 1. Імітаційна модель живлення схеми, яка включає лише RLC-елементи



Рис. 2. Приклад результатів моделювання, що ілюструє тип коливань напруги на шинах, які можна спостерігати в часовій області

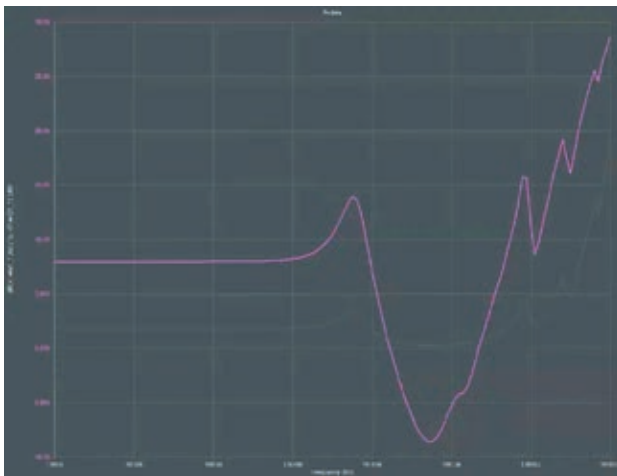


Рис. 3. Відповідний спектр імпедансу з наведеної на рисунку 2 симуляції

ній платі спостерігаються в межах діапазону вимірювання помірно дорогих осцилографів, які доступні в більшості лабораторій або в Інтернеті. Можна провести прямі вимірювання пульсацій на шинах живлення за допомогою датчика з високим вхідним опором або визначити випромінювання від надмірних пульсацій PDN у часовій області. В обох випадках результати можна дослідити на графіку залежності напруги на шині від часу або, еквівалентно, струму на шині від часу для шин, що керуються струмом.

На графіку на рисунку 2 показано приклад результатів моделювання, що ілюструє тип коливань напруги на шинах, які можна спостерігати в часовій області. Широка смуга пропускання цифрового сигналу здатна збуджувати кілька полюсів у спектрі імпедансу PDN, що потім створює складні багаточастотні коливання в часовій області.

Коли такий результат спостерігається в часовій області, для визначення потенційної головної причини можна використати відповідні вимірювання або моделювання в частотній області. У частотній області ці вимірювання важкодоступні, оскільки необхідне обладнання (векторний мережевий аналізатор) є дуже дорогим. Однак ці інструменти можна отримати в сторонніх лабораторіях, або ж імпеданс PDN можна змоделювати в SPICE чи 3D-field, щоб визначити потенційне джерело проблеми.

У прикладі на рисунку 3 показано відповідний спектр імпедансу з наведеної на рисунку 2 симуляції. Піки в спектрі імпедансу ілюструють частоти, на які можна налаштувати розв'язувальний конденсатор, а зсув спектра імпедансу до дуже високих частот показує межу смуги пропускання, яку може підтримувати поточна конструкція PDN. Вища смуга пропускання зазвичай підтримується на корпусі пристрою, який може містити дискретні конденсатори в малому корпусі або внутрішні ECM (*Electronic Control Module*), що зменшують імпеданс PDN в діапазоні частот ГГц.

Моделювання PDN також повинно відбуватися за постійного струму, як для високошвидкісних цифрових проєктів, так і для проєктів енергосистем. В обох випадках PDN повинен мати достатню товщину міді, щоб забезпечити струм до компонентів без надмірного нагрівання через резистивні втрати. Ці симуляції значною мірою залежать від форми міді в силових шинах на макеті друкованої плати, тому вони зазвичай виконуються за допомогою 3D-симулятора.

ЦІЛІСНІСТЬ ЖИВЛЕННЯ ПОСТІЙНОГО СТРУМУ В ТОПОЛОГІЇ ДРУКОВАНОЇ ПЛАТИ

Опір постійному струму на друкованій платі залежить від розмірів площини живлення і з'єднань, і є відправною точкою для розуміння цілісності живлення. Після того, як цей аспект друкованої плати буде вирішено, розробник може вжити заходів, щоб забезпечити відповідність цільовому імпедансу, та запобігти проблемам цілісності сигналу, які виникають через нестабільну подачу живлення.

Найновішим розширенням для аналізу цілісності живлення в Altium Designer є *Power Analyzer* від Keysight. Ця утиліта може створити дерево живлення на основі вашого списку мереж та інформації про проєкт. Приклад дерева живлення показано на рисунку 4.

Утиліта Power Analyzer отримує дані безпосередньо з Layer Stack Manager і редактора друкованих плат для побудови потужних симуляцій і швидко надає конструкторам інформацію, необхідну для забезпечення цілісності живлення [4].

Аналіз живлення постійного струму починається з топології друкованої плати і вимагає налаштування симуляції, яка відображає розподіл живлення між різними мережами живлення в топології друкованої плати. Візуально це представлено у вигляді дерева з різними рівнями потужності, яке відображає потік живлення від входу верхнього рівня і вниз до рівня пристрою.

Після того, як дерево живлення налаштоване, його можна використовувати для визначення опору постійному струму в PDN. На рисунку 5 показано приклад результату, отриманого за допомогою Power Analyzer в Altium Designer. Це розширення забезпечує обчислення цілісності живлення в редакторі друкованих плат в Altium Designer, а результати автоматично перевіряються на відповідність поставленим цілям або обмеженням при проєктуванні. Для виконання цього обчислення не потрібні додаткові інструменти аналізу, а результати не потрібно перевіряти вручну на відповідність правилам проєктування.

Наведені нижче результати показують постійний струм, відображений у вигляді теплової карти у вигляді великої доріжки, що проходить між двома отворами (рис. 6). Зокрема, інструмент показує, що розрахований струм у приєднаних отворах становить 1.785 А. Виходячи з експлуатаційних цілей проєктування та граничних значень робочого струму, визначених стандартами IPC, можна визначити, чи потрібно вносити будь-які зміни в конструкцію. Після внесення змін моделювання

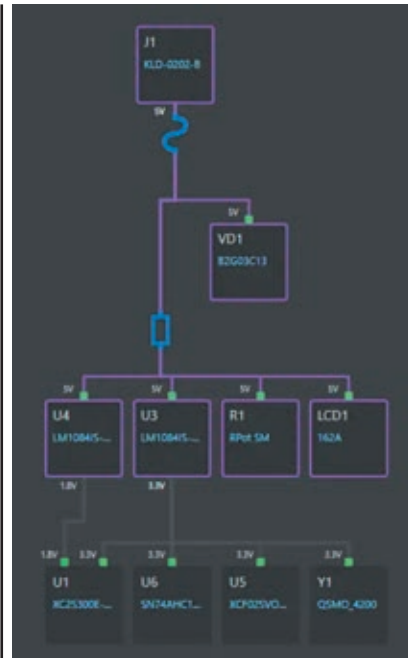


Рис. 4. Приклад дерева живлення

можна негайно перезапустити та проаналізувати результати, щоб визначити, чи були вирішені виявлені проблеми.

Якщо ми зменшимо масштаб окремих трас або шин, можна побачити розподіл струму по всьому шару площини або вздовж великих з'єднань. Можна вибрати кілька точок на шині живлення і дослідити падіння напруги або густину струму, і все це візуалізується у вигляді теплової карти. Цей вид надає простий спосіб визначити, коли опір мережі постійному струму стає занадто великим або коли є вузьке місце, яке призводить до виникнення гарячої точки.

СПІЛЬНЕ ПРОЄКТУВАННЯ ТА АНАЛІЗ ЦІЛІСНОСТІ ЖИВЛЕННЯ

Підтримка низького імпедансу PDN важлива для забезпечення того, щоб високошвидкісні компоненти не створювали пульсацій на шинах живлення і брязкоту землі при перемиканні. Якщо імпеданс PDN досить низький, то ці ефекти не будуть помітні в системі. Після того, як імпеданс площини в PDN розраховано, тепер можна визначити, чи призведуть пульсації та шуми на шині живлення до виходу вихідної напруги за межі допустимих значень.

Power Analyzer від Keysight та наявні інструменти моделювання в *Altium Designer*[®] допоможуть вам досягти успіху в аналізі цілісності живлення, щоб почати оцінювати функціональність ва-

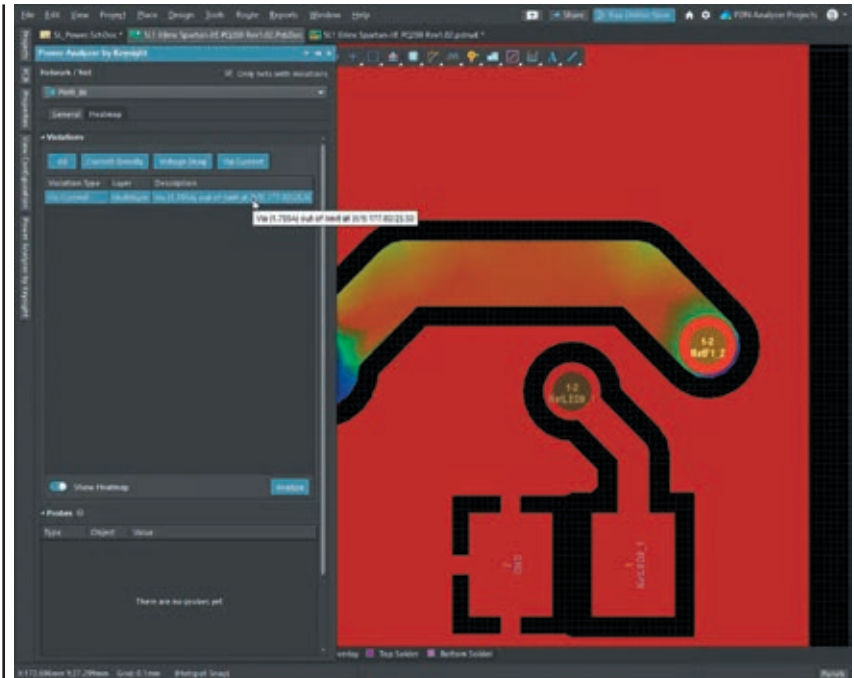


Рис. 5. Приклад результату, отриманого за допомогою Power Analyzer в Altium Designer

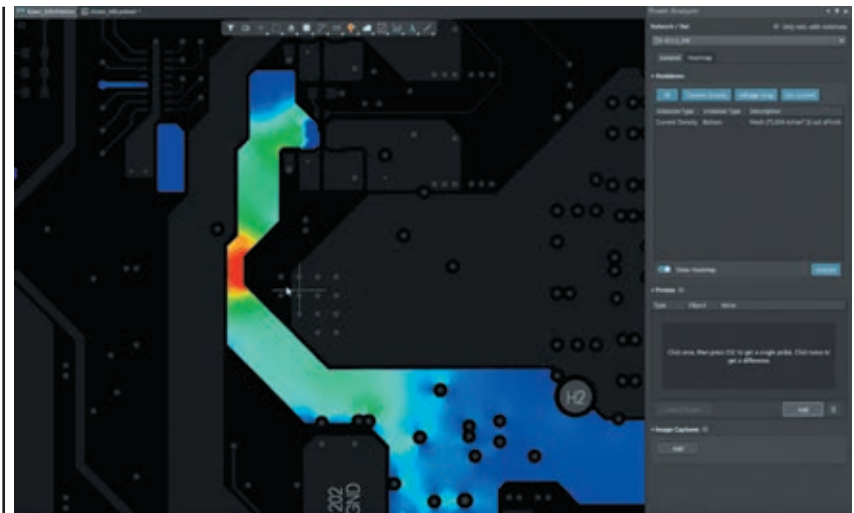


Рис. 6. Фрагмент протікання постійного струму між двома перехідними отворами

шої плати. З появою нових можливостей очікуйте оновлення розширення Power Analyzer, включаючи аналіз цілісності живлення змінного струму безпосередньо в редакторі друкованих плат.

Altium прагне постійно надавати вам найкращі інструменти для аналізу цілісності живлення, які працюють на схемі та макеті друкованої плати. У міру того, як ці можливості будуть вбудовані в програму, більш просунуте моделювання цілісності живлення стане доступним в редакторі друкованих плат. На додаток до покращень в редакторі PCB Editor, додаткові можливості будуть доступні для спільної роботи через платформу Altium 365™.

ТОВ «Софтпром Солюшнз» — дистриб'ютор компанії Altium в Україні:

**e-mail: altium@softprom.com,
https://softprom.com/ua/vendor/altium**

Література:

- <https://resources.altium.com/p/pdn-simulation-and-analysis-guide>
- <https://resources.altium.com/p/interplane-capacitance-and-pcb-stackups>
- <https://resources.altium.com/p/what-spreading-inductance>
- <https://www.altium.com/products/extensions/power-analyzer>

CN

Інтерпретація та застосування поняття ймовірності перехоплення при спектральному аналізі в реальному часі

Переклад та редагування: Віктор Бутирін, директор, Юнітест
E-mail: Victor_Butyurin@unitest.com

ОБРОБКА КОРОТКИХ СИГНАЛІВ

Усереднення та обробка з перекриттям разом дають змогу обробляти складні сигнали, тривалість яких перевищує або тривалість часового запису, або ширину вікна. Обробка з перекриттям має ще одну корисну властивість: вона забезпечує кращу амплітудну точність для перехідних сигналів, які коротші за тривалість запису або вужчі за ширину вікна.

Якщо імпульс сигналу має меншу тривалість, ніж часовий запис, і потрапляє в часовий запис або вікно, на його амплітуду впливатиме форма віконної функції в часовій області. Амплітуда в частотній області буде відображатися з меншою точністю ніж це було б з постійним синусоїдальним сигналом (*Continuous Waveform, CW*). Точність відображення пропорційна сумі коефіцієнтів вікна, зайнятого сигналом, порівняно з сумою всіх коефіцієнтів вікна.

Щоб спростити розгляд, розглянемо сигнал на часовому записі, на який не впливає «гребінчастий» розкид частот,

спричинений усіма вікнами, окрім вікна з плоским верхом. В аналізаторі ми візьмемо частоту дискретизації в комплексному значенні 200 Мегасемплів/с (яку можна досягти на аналізаторах N9032B PXA і N9042B UXA, використовуючи смугу аналізу 160 МГц), 1024-точковий часовий запис і 1024-точкову віконну функцію Блекмана-Гарріса (Blackman-Harris). Щоб отримати такі ж амплітудні показники, як і для CW-сигналу, сигнал короткої тривалості повинен був би охопити всі 1024 вибірки, що потрапляють у вікно. Це дорівнює тривалості 5.12 мкс, що дорівнює просто кількості вибірок, поділена на частоту дискретизації ($1024 / (200 \cdot 10^6)$).

Тепер припустимо, що сигнал триває четверту частину цього часу, і розглянемо два випадки. В одному випадку сигнал випадково збігається з центром вікна; в іншому — сигнал з'являється на крайньому лівому краю вікна (рис. 7). Зверніть увагу, що амплітуда прикладу сигналу була постійною протягом імпульсу; варіація, яку ми бачимо на рисунку 7, викликана застосуванням форми вікна.

Сума коефіцієнтів 256 точок в середині вікна дорівнює 228 256, сума 256 точок на лівому краю — лише 12 829, а сума всіх коефіцієнтів — 367 000. В результаті перший сигнал матиме амплітуду в частотній області на -4.125 дБ нижчу, ніж очікуваний CW-сигнал (від $20 \cdot \log(228\,256/367)$), а другий виявиться на -29.129 дБ нижчим за CW-сигнал (від $20 \cdot \log(12\,829/367)$).

Обробка перекриття компенсує цей ефект, обчислюючи, використовуючи частину відліків з попереднього часового запису, а частину — з поточного. Це можливо, якщо процесор ШПФ може видавати результати швидше, ніж надходять нові відліки. Чим більша різниця між цими двома швидкостями, тим більша можлива кількість перекриттів. Ви можете уявити обробку ШПФ як прокручування часових відліків, з кроком прокручування (γ часі), пропорційним оберненому до відсотка перекриття.

В N9032B PXA процесор ШПФ може генерувати до 4 800 000 000 ШПФ за секунду (f_p), а частота дискретизації в комплексному значенні становить f_s . Формула для максимальної кількості точок, що перекриваються (P), наступна⁵:

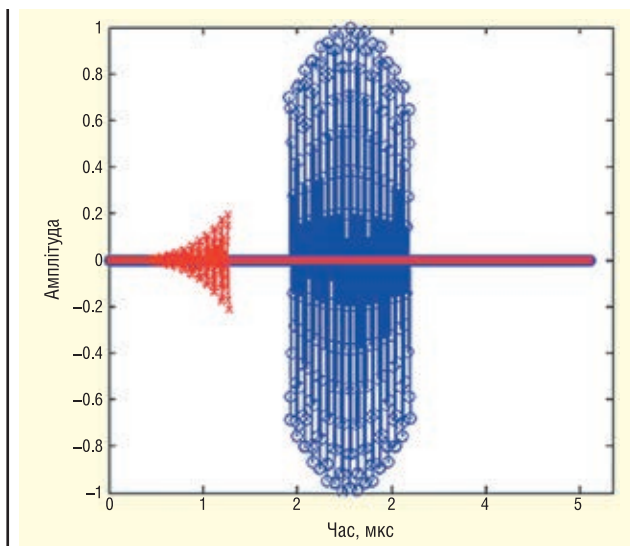


Рис. 7. Обидва сигнали становлять четверту частину тривалості часового запису, а на амплітуду впливає місце, де вони виникають відносно форми вікна

⁵ Для PXA це означає, що індикатор залежності потужності від часу (power-versus-time, PVT) вимкнено. Коли PVT увімкнено, перекриття можна зменшити, щоб забезпечити узгодженість даних між часовою та частотною областями

Таблиця 2. При меншій частоті дискретизації максимальна кількість перекриттів зростає

Швидкість ШПФ, МГц	Смуга, МГц	Перекриття (точки)
4.678	2000	512
4.677	1500	624
4.586	1000	752
4.684	255	960
3.313	170	960

$$P = \min \left(960.8 \cdot \left[\frac{L_F \cdot \frac{f_F - f_s}{f_F}}{8} \right] \right),$$

де 960 — максимальне перекриття, а будь-яке перекриття між 512 і цим максимумом може бути зроблено з кроком 8.

Таким чином, коли N9032B/N9042B працює з максимальною частотою дискретизації, максимальна кількість точок, що перекриваються, становить 512. У таблиці 2 наведено значення перекриття для різних частот дискретизації.

ВИЗНАЧЕННЯ ЗНАЧЕНЬ POI

Маючи в основі попередні результати, ми можемо визначити мінімально досяжне значення POI при певних діапазонах вимірювань і розмірах вікон. У цьому випадку робота у зворотному напрямку від діапазону відповідей може полегшити подальше обговорення.

У таблиці 3 показано значення POI для N9032B PXA при різних діапазонах і частотах дискретизації з відповідними значеннями перекриття. Зверніть увагу, що вузькі вікна і вища частота дискретизації призводять до меншої тривалості, але при-

зводять до появи вікон, що не перекриваються (значення без зірочок). Як зазначалося раніше, PXA завжди використовує 1024-точкове ШПФ. Незважаючи на те, що ці ШПФ перекриваються, деякі вибірки множаться на нуль у віконній функції менших вікон. Це призводить до появи ділянок, які не мають ненульових значень у часі (тобто «проміжків між вікнами»).

Крім того, «тривалість» у таблиці 3 означає мінімальну тривалість сигналу, що становить інтерес, якщо його можна виявити зі 100-відсотковою ймовірністю і виміряти з такою самою точністю амплітуди, як і для сигналу CW. Тут найкоротша можлива тривалість сигналу — 0.48 мкс — спостерігається при діапазоні 160 МГц (або смузі аналізу) і функції 32-точкового вікна.

Для обчислення значення тривалості ми використовуємо наступне рівняння:

$$T_{min} = [(розмір\ вікна + (довжина\ часового\ запису - 1)) - P] / f_s,$$

Оскільки N9032B PXA має фіксовану довжину часового запису 1024 відліки, рівняння набуває наступного вигляду:

$$T_{min} = [розмір\ вікна + 1023 - P] / f_s.$$

Для N9032B PXA мінімальне значення 227 нс є результатом наступного:

$$T_{min} = (32 + 1023 - 512) / (2.395 \cdot 10^9) = 227 \text{ нс}.$$

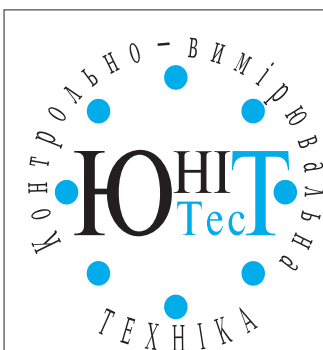
Ключове питання: як ми прийшли до формули для чисельника? Визначальним фактором є мінімальна кількість точок, яка необхідна для досягнення повної амплітудної точності. Цей мінімум є функцією розміру вікна, довжини часового запису, максимального значення перекриттів та, в результаті, взаємного розташування вікон у будь-яких двох сусідніх часових записках.

Для ілюстрації розглянемо два контрастні випадки для сусідніх часових записів в N9032B PXA:

Таблиця 3. В аналізаторі комбінація факторів визначає мінімально досяжне значення POI

Смуга, МГц	Швидкість дискретизації, МГц	Перекриття (точки)	Тривалість для вікна розміром 1024 пікселів (RBW1)	Тривалість для вікна розміром 512 пікселів (RBW2)	Тривалість для вікна розміром 256 пікселів (RBW3)	Тривалість для вікна розміром 128 пікселів (RBW4)	Тривалість для вікна розміром 64 пікселів (RBW5)	Тривалість для вікна розміром 32 пікселів (RBW6)
2000	2395	512	641 нс*	427 нс	320 нс	267 нс	240 нс	227 нс
1500	1871	624	761 нс*	487 нс*	350 нс	282 нс	247 нс	230 нс
1000	1247	752	1.04 мкс*	628 нс*	423 нс	320 нс	269 нс	243 нс
255	299.8	960	3.63 мкс*	1.92 мкс*	1.06 мкс*	637 нс*	424 нс	317 нс
160	199.6	960	5.45 мкс*	2.88 мкс*	1.60 мкс*	0.96 мкс*	0.64 мкс	0.48 мкс
80	99.8	960	10.89 мкс*	5.76 мкс*	3.20 мкс*	1.91 мкс*	1.27 мкс	0.95 мкс
20	24.9	960	43.58 мкс*	23.05 мкс*	12.79 мкс*	7.66 мкс*	5.09 мкс	3.81 мкс

* Вікна перекриваються



КОНТРОЛЬНО-ВИМІРЮВАЛЬНІ ПРИБАДИ

АВТОРИЗОВАНИЙ ДИСТРИБ'ЮТОР В УКРАЇНІ
продаж • навчання • сервіс

ТОВ «ЮНІТЕСТ»
вул. Олеся 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



Авторизований дистриб'ютор

- випадок 1: 1024-точковий часовий запис, 1024-точкове вікно і нульове перекриття (рис. 8);
- випадок 2: 1024-точковий запис часу, 1024-точкове вікно і максимальне перекриття (рис. 9).

Хоча перекриття не вибирається користувачем, воно є корисним для цієї задачі при обчисленні POI.

У 1024-точковому часовому записі без перекриття центри сусідніх часових записів знаходяться на відстані 1024 точки один від одного⁶. Найгірше співвідношення між сигналом і двома сусідніми вікнами відбувається тоді, коли сигнал потрапляє на середину між центрами вікон.

Як зазначалося раніше, короточасний сигнал зареєструє точність амплітуди, подібну до CW-сигналу, лише якщо його тривалість охоплює весь час запису. Для послідовних часових записів, що не перекриваються, сигнал повинен тривати майже два повних записи. У цьому випадку мінімальна тривалість, необхідна для того, щоб одне з двох вікон отримало 1024 відліки, становить (1024 + 1023) або 2047 відліків.

Далі розглянемо другий випадок з 1024-точковим часовим записом, 1024-точковим вікном і максимальним перекриттям. Оскільки центри вікон тепер знаходяться на відстані 512 відліків один від одного (1024-512), сигнал може тривати 1535 відліків (2047-512) і все ще забезпечувати точне вимірювання амплітуди.

Необхідну тривалість сигналу у відліках можна обчислити за такою формулою:

$$N = (\text{розмір вікна} + \text{тривалість часового запису} - 1) - P.$$

Це, звичайно, чисельник з розрахунку POI. P — це максимальна кількість точок перекриття:

$$P = \min \left(960.8 \cdot \left[\frac{L_f \cdot \frac{f_f - f_s}{f_f}}{8} \right] \right).$$

Підставивши значення з нашого другого прикладу, ми отримуємо наступний результат:

$$N = (1024 + 1024 - 1) - 512 = (2047) - (512) = 1535.$$

Пройшовши повне коло, ділення N на частоту дискретизації (f_s) дає мі-

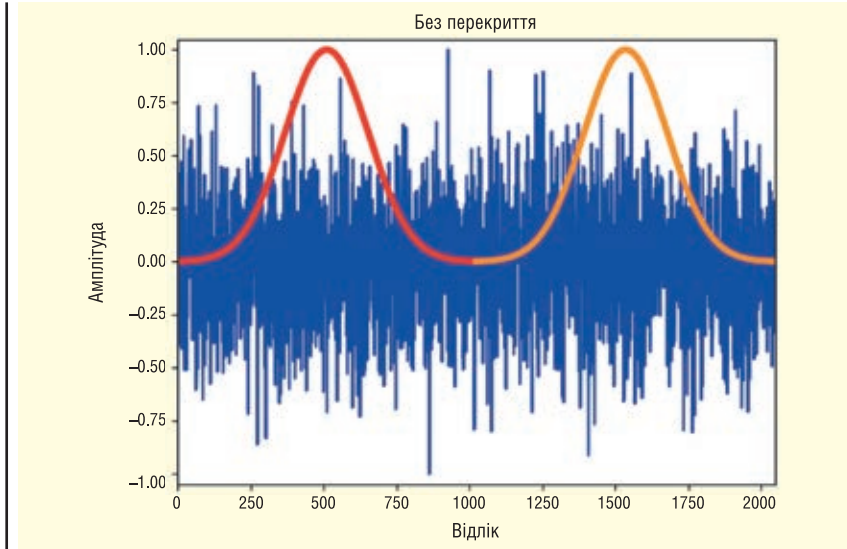


Рис. 8. У цьому випадку дискретизований сигнал охоплює два 1024-точкові часові записи і заповнює принаймні одне з вікон

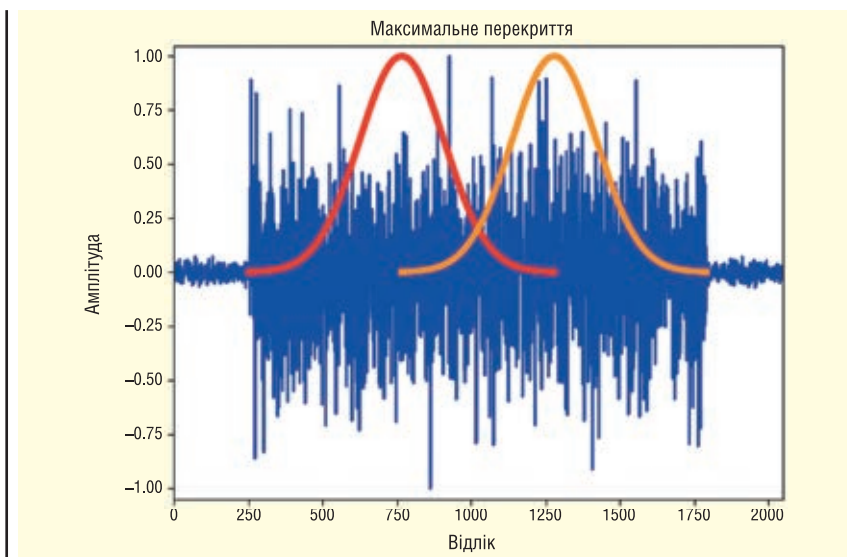


Рис. 9. При максимальному перекритті для того, щоб хоча б одне з вікон містило 1024 відліки, потрібно лише 1535 відліків сигналу, що дискретизується

німальну тривалість сигналу, яку можна виміряти з точністю амплітуди, як у CW-сигналу:

$$T_{min} = 1535 / 2395 \cdot 109 = 641 \text{ нс.}$$

Це значення відповідає першому значенню в стовпчику «Тривалість» таблиці 3. Таким чином, при частоті дискретизації 2.4 ГГц, смузі аналізу 2 ГГц, 1024-точковому часовому записі, 1024-точковому вікні і максимальному перекритті (341 точка) сигнал тривалістю 641 нс завжди буде вимірний з повною амплітудною точністю. Сигнал тривалістю 428 нс може бути вимірний точно, якщо він знаходиться в центрі віконної функції; однак, точність може бути гарантована тільки якщо він триває 641 нс.

У деяких випадках точність амплітуди може бути менш важливою, ніж просто виявлення сигналу. На щастя, можна виявляти події значно меншої тривалості зі 100-відсотковою ймовірністю, працюючи з RTSA в режимі, який вже не забезпечує задану амплітудну точність.

Для PXA N9032B з частотою дискретизації 2.4 ГГц теоретичний мінімум становить 5 нс:

$$T_{min} = 1 / (2.4 \cdot 10^9) = 417 \text{ пс} \\ (1024 - \text{ часовий запис та прямокутне вікно}).$$

Реально досягне мінімальне значення залежить від таких факторів, як швидкість дискретизації, функція вікна, рівень тригера, рівень шуму і максимальна амплітуда сигналу, що цікавить. Зсув між

⁶ У PXA це відбувається для будь-якого вибраного розміру вікна, оскільки воно буде відцентроване в середині 1024-точкового часового запису.

Таблиця 4. Розраховані значення мінімальної довжини сигналу для 100-відсоткової ймовірності виявлення показані як функція зсуву між амплітудою вхідного сигналу та рівнем шуму аналізатора (аналізатор сигналів N9032B PXA)

Смуга, МГц	Швидкість дискретизації, МГц	Перекриття (точки)	Тривалість, зсув 0 дБ	Тривалість, зсув 6 дБ	Тривалість, зсув 12 дБ	Тривалість, зсув 20 дБ	Тривалість, зсув 40 дБ	Тривалість, зміщення 60 дБ
2000	2395	512	0.64 мкс	0.22 мкс	0.13 мкс	0.07 мкс	0.01 мкс	0.001 мкс
1500	1871	624	0.76 мкс	0.22 мкс	0.12 мкс	0.05 мкс	0.01 мкс	0.001 мкс
1000	1247	752	1.04 мкс	0.23 мкс	0.11 мкс	0.05 мкс	0.01 мкс	0.002 мкс
255	299.8	960	3.63 мкс	0.68 мкс	0.32 мкс	0.13 мкс	0.02 мкс	0.007 мкс
160	199.6	960	5.45 мкс	1.02 мкс	0.49 мкс	0.20 мкс	0.03 мкс	0.01 мкс
80	99.8	960	10.90 мкс	2.03 мкс	0.97 мкс	0.39 мкс	0.05 мкс	0.02 мкс
20	24.9	960	43.62 мкс	8.14 мкс	3.89 мкс	1.56 мкс	0.20 мкс	0.08 мкс

Таблиця 5. Рішення для вимірювання RTSA від Keysight

Номер моделі	Мак. частота	Макс. смуга пропускання	Фазовий шум на 1 ГГц, зміщення 10 кГц	DANL на 1 ГГц (з NFE)	Максимальна смуга аналізу RTSA
N9042B	110 ГГц	4 ГГц	-135 дБн/Гц	-174 дБм	2 ГГц
N9041B	110 ГГц	1 ГГц	-135 дБн/Гц	-174 дБм	255 МГц
N9040B	50 ГГц	1 ГГц	-135 дБн/Гц	-174 дБм	510 МГц
N9032B	50 ГГц	2 ГГц	-136 дБн/Гц	-174 дБм	2 ГГц
N9030B	50 ГГц	510 МГц	-136 дБн/Гц	-174 дБм	510 МГц
N9021B	50 ГГц	510 МГц	-130 дБн/Гц	-172 дБм	509 МГц
N9020B	50 ГГц	160 МГц	-114 дБн/Гц	-172 дБм	160 МГц
N9038B	44 ГГц	160 МГц	-113 дБн/Гц	-174 дБм	160 МГц
N99xx Fieldfox	54 ГГц	120 МГц	-111 дБн/Гц	-144 дБм	120 МГц

сигналом — і цього може бути достатньо в багатьох ситуаціях. В інших випадках спостереження за сигналом є першим кроком до більш детального аналізу. Після того, як поведінка сигналу зрозуміла, ці характеристики можуть бути використані для визначення тригера частотної маски, який ініціює або конкретне вимірювання, або захоплення часового проміжку.

Якщо використовується режим захоплення часового проміжку, захоплений блок відліків можна багаторазово аналізувати неруйнівним методом, використовуючи різні налаштування: діапазон, центральна частота, віконна функція, перекриття тощо. У режимі захоплення/відтворення можна виявити і точно проаналізувати сплески тривалістю до декількох відліків, оскільки перекриття можна встановити на рівні 99.99% (фактично один відлік), а також можна використовувати спектр з часовою дискретизацією. При максимальній смузі пропускання 2 ГГц це відповідає тривалості сплеску в кілька десятків наносекунд. Крім того, амплітудні дані можуть бути відновлені для сигналів дуже короткої тривалості шляхом використання менших розмірів вікон з максимальним перекриттям. Нарешті, з додаванням програмного забезпечення 89600 VSA, захоплений сигнал може бути демодульований і надалі детально проаналізований з різних аспектів з широким спектром корисних перспектив.

Більш детально інформацію щодо продукції компанії Keysight Technologies можна отримати, звернувшись до офіційного дистрибутора в Україні — компанії Юнітест:

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

CN

* Закінчення. Початок див. CHIP NEWS, № 2, 2024 р.

рівнем шуму аналізатора і амплітудою вхідного сигналу є ключовим визначальним фактором: чим більший цей зсув, тим менша мінімальна тривалість, яку можна виявити; чим менший зсув (особливо менше ніж 20 дБ), тим більша ймовірність того, що шум заважає вимірюванню.

У таблиці 4 наведено діапазон значень мінімальної тривалості для 100-відсоткової ймовірності його виявлення в N9032B PXA з використанням вікна Блекман-Харріса. Щоб підкреслити відмінності, в таблиці наведено п'ять прикладів швидкості дискретизації та шість різних рівнів зсуву, які є відношенням сигнал/шум або, точніше, відношенням сигнал/маска (через можливий вплив налаштувань тригера та обраної функції вікна).

Для подальшого покращення цих вимірювань, N9032B PXA може представляти дані в часовій області і повний 2-ГГц спектр на дисплеї з декількома областями. Це ідеально підходить для виявлення дуже коротких перехідних процесів.

Інтеграція тригера RTSA в VSA 89601C

Тригери частотної маски RTSA і тригери з часовою затримкою також доступні в програмі VSA 89601C, якщо на аналізаторі X-Series встановлено програмне забезпечення VSA. Потрібен додатковий тригер частотної маски FT1/FT2 або N90EMFT1B/N90EMFT2B.

Запуск програмного забезпечення VSA за допомогою тригера RTSA спрощує аналіз непостійних сигналів за допомогою додаткових інструментів векторного аналізу сигналів.

ПІДБИВАЄМО ПІДСУМКИ ТА ПОВЕРТАЄМОСЯ ДО ГОЛОВНОЇ МЕТИ

Під час відстеження неявного сигналу важливими є кілька характеристик: коли він виникає, як довго триває, де він знаходиться в спектрі, і наскільки він великий чи малий. Для визначення цих характеристик потрібен аналізатор сигналів, здатний виконувати аналіз спектра в реальному часі, збирати дані в реальному часі або робити і те, і інше.

Компанія Keysight пропонує такі рішення для вимірювання RTSA (табл. 5) У середині аналізатора значення ROI залежить від взаємодії шести основних факторів: частоти дискретизації, тривалості запису (або розміру ШПФ), функції вікон, розміру вікна, обробки перекриття та рівня шуму. Як показано тут, правильний вибір цих значень може дозволити спостерігати сигнали, які тривають лише кілька мікросекунд. На практиці часто можна надійно виявити сигнали, які тривають лише кілька наносекунд.

Описані тут типи вимірювань спектрального аналізу в реальному часі дозволяють просто спостерігати за неявним

Огляд характеристик ПЛІС Xilinx Versal

Ілля Тарасов

Перехід до технологічного процесу з нормами 7 нм становить істотний інтерес як для виробників електронних компонентів, які розраховують почати виготовляти нове покоління продукції, так і для розробників, які очікують від цієї елементної бази передових характеристик, що дозволять реалізувати конкурентоспроможні вироби. У статті розглядаються технічні характеристики сімейства ПЛІС Xilinx Versal.

ВСТУП

Наразі склад платформи Versal має такий вигляд (рис. 1):

- Versal AI — сімейство з матрицею процесорних ядер AI core;
- Versal Prime — сімейство зі збалансованими характеристиками;
- Versal Premium — високопродуктивні ПЛІС із піковими для серії характеристиками.

Існують такі різновиди Versal: Versal RFSOC, Versal HBM і Versal Edge. Наразі доволі важко вказати на прямі відповідності сімейств Versal попереднім поколінням ПЛІС Xilinx, проте можна умовно порівняти призначення Versal Prime з мікросхемами Kintex, що являють собою високопродуктивні платформи з відносно невисокою ціною (через відсутність великої кількості високошвидкісних приймачів-передачів). Флагманське рішення в попередніх поколіннях було представлено серією Virtex, якій відповідає цілий спектр рішень — Versal AI (з додаванням матриці процесорних ядер з архітектурою RISC), Versal Premium (великий логічний об'єм і безліч приймачів-передачів). Платформа Versal RFSOC має високу продуктивність і реалізацію в корпусі височастотних АЦП і ЦАП. Нарешті, аббревіатура HBM означає High Bandwidth Memory, що, звісно ж, стосується реалізації в корпусі ПЛІС компонента динамічної пам'яті об'ємом у кілька гігабайт. Аналогічне рішення вже було у складі продукції Xilinx, що дає змогу розширення функціональності та поліпшення характеристик у варіанті Versal HBM.

Певний інтерес становить платформа Versal Edge. Нагадаємо, що термін edge

computing перекладається як «граничні обчислення» і відповідає архітектурі системи, в якій основний масив обчислень проводиться в місці отримання даних — «на границі». Такий архітектурний підхід, який сам по собі потребує глибокого методологічного опрацювання, є серйозною альтернативою підходу, за якого ПЛІС використовують переважно як інтерфейс до зовнішніх пристроїв, виконуючи тільки введення і попереднє опрацювання даних, надсилаючи їх на ПК, який інтуїтивно уявляють розробники як потужнішу обчислювальну платформу. Однак сучасні ПЛІС мають істотно вищу продуктивність порівняно з ПК, а наявність на кристалі процесорної підсистеми ARM дає змогу додати в ПЛІС функціональність звичних процесорних систем, утворюючи гетерогенну систему на кристалі. Оскільки останнім часом платформа ARM прони-

кає у світ програмування, а інструменти розробки набувають значного поширення (та уніфікуються з інструментами для x86), розробники отримують можливість реалізувати в рамках ПЛІС увесь комплекс збирання даних, їх обробки та візуалізації для користувача, не залучаючи ПК із процесором x86 як обов'язковий елемент системи.

У попередніх поколіннях ПЛІС в ролі подібної платформи могли виступати мікросхеми — low-cost portfolio — Spartan6/7, Artix-7, і особливо Zynq-7000, що мають на кристалі процесорну систему ARM. Відносно невисока ціна давала змогу розширити спектр застосування ПЛІС без спеціального техніко-економічного обґрунтування їхнього застосування, оскільки сумарні ціни на комплектуючі для ПЛІС початкового рівня й альтернативи у вигляді системи на базі CPU перебувають у порівнянній категорії, однак ПЛІС дає змогу гнучкіше будувати системну архітектуру, залучаючи в разі потреби апаратні прискорювачі на базі логічних елементів і особливо блоків цифрового опрацювання сигналів XtremeDSP.

Порівняльні характеристики трьох сімейств ПЛІС Versal наведено в таблиці 1. У таблиці видно, що для Versal



Рис. 1. Сімейства платформи Xilinx Versal

Таблиця 1. Порівняльні характеристики сімейств ПЛІС Versal			
	Versal AI	Versal Prime	Versal Premium
Процесорна підсистема	2-ядерний Arm Cortex-A72; 48 кбайт/32 кбайт L1-кеш; 1 Мбайт L2-кеш; 2-ядерний Arm Cortex-R5F; 32 кбайт/32 кбайт L1-кеш		
Процесорних ядер AI	128–400	–	–
Логічних елементів, тис.	540–1968	329–2233	1575–7352
Блоків DSP	928–1968	464–3984	1904–14352
Пам'ять, Мбіт	90–191	54–282	198–994
Приймачі-передаччі	8–44	8–48	72–168

Таблиця 2. Характеристики ПЛІС сімейства Versal Premium							
ПЛІС	VP1102	VP1202	VP1402	VP1502	VP1552	VP1702	VP1802
Блоків DSP	1904	3984	2672	7440	7392	10896	14352
Логічних елементів, тис.	1575	1969	2233	3763	3837	5558	7352
Логічних генераторів (LUT)	719872	900224	1020928	1720448	1753448	2540672	3360896
Приймачі-передавачі GTYP 32G	8	28	8	28	68	28	28
Приймачі-передавачі GTM 58G (112G)	64 (32)	20 (10)	96 (48)	60 (30)	20 (10)	100 (50)	140 (70)
CCIX & PCIe w/DMA (CPM)	–	2x Gen5x8, CCIX	–	2x Gen5x8, CCIX			
Контролери PCI Express з CXL	2x Gen5x4			8x Gen5x4	2x Gen5x4		
100G Multirate Ethernet MAC	6	2	6	4	4	6	8
600G Ethernet MAC	4	1	8	3	1	5	7
600G Interlaken	2	0	2	1	0	2	3
400G високошвидкісний криптомодуль	3	1	5	2	2	3	4

Premium досягнуто значних абсолютних показників — наприклад, для сімейства Virtex UltraScale+ максимальна ємність у логічних елементах дорівнює 8938). За показниками інших логічних ресурсів — блокової пам’яті та кількості блоків цифрової обробки сигналів — Versal Premium також демонструє рекордні параметри. Характеристики сімейства Versal Premium наведено в таблиці 2.

Крім переходу на технологічні норми 7 нм, сімейство Xilinx Versal відкриває і новий підклас ПЛІС — ACAP (*Adaptive Compute Acceleration Platform*). Раніше сімейства Zynq7000 і Zynq MPSoC були заявлені як такі, що належать до окремого різновиду ПЛІС — APSOC (*All-Programmable System On Chip*, тобто системи, які повністю програмуються на кристалі). Дане позиювання не скасовує той факт, що в основі платформи лежить матриця конфігурованих логічних елементів з архітектурою FPGA, однак виробнику важливо звернути увагу розробників на необхідність використання інших методологій проектування, які могли б ефективно поєднувати переваги різних підсистем на кристалі — реконфігурованої і реалізованої апаратно.

Сімейство Versal має схожі з попередніми поколіннями блоки статичної пам’яті, а підсистема процесорів ARM і приймачі-передавачі вимагають окремих публікацій для висвітлення. Тому в цій статті буде описано найцікавіші компоненти, які помітно відрізняються від реалізованих у попередніх поколіннях ПЛІС. До таких належать логічні елементи, блоки цифрової обробки сигналів і, природно, матриця RISC-ядер.

АРХИТЕКТУРА КОНФІГУРОВАНОГО ЛОГІЧНОГО БЛОКУ СІМЕЙСТВА ПЛІС XILINX VERSAL

Конфігурований логічний блок (КЛБ, CLB — *Configurable Logic Block*) —

основний будівельний елемент матриці прогамованих ресурсів FPGA. Він об’єднує деяку кількість логічних елементів (*logic cell*), які традиційно склалися з 4-вхідної таблиці істинності (LUT4) і тригера. Сучасні FPGA Xilinx мають у складі логічного елемента 6-вхідну LUT і два тригери, що зумовлює різницю між показниками «кількість логічних елементів» і «кількість LUT» у таблицях характеристик. На практиці Xilinx вказує як логічну ємність ПЛІС ту кількість стандартних (LUT4 + тригер) елементів, які знадобилися б для реалізації проекту, що заповнює всю ПЛІС цього обсягу. Ця величина, очевидно, більша, ніж кількість LUT6.

Протягом тривалого часу, починаючи з 65-нм сімейства Virtex-5, архітектура логічного елемента змінювалася незначно. Введена у Virtex-5 6-входова LUT збереглася аж до сімейства Versal. Проте низка змін щодо сімейства Virtex відбулася як на рівні логічного осередку, так і більш суттєві зміни є на рівні КЛБ. На рисунку 2 показано склад КЛБ Versal.

Відмінності КЛБ Versal від КЛБ попередніх поколінь ПЛІС Xilinx:

- КЛБ збільшено в 4 рази порівняно з попередніми поколіннями ПЛІС і

містить 32 LUT і 64 тригери (порівняно з 8 LUT і 16 тригерами);

- додано каскадні з’єднання між LUT для зменшення затримок трасування для багаторівневої логіки;
- наддовгі трасувальні лінії (SLI) тепер частина КЛБ, а не окрема колонка трасувальних ресурсів;
- у КЛБ більше немає мультиплексорів F7MUX, F8MUX, F9MUX, натомість складні логічні функції реалізуються за допомогою додаткових LUT;
- у парі LUT + тригер тепер тільки три виходи, а не чотири;
- у LUT можна реалізувати дві незалежні логічні функції з шістьма входами;
- каскадувальні мультиплексори ланцюгів перенесення можуть вибирати розряди, починаючи з 0 і 4;
- усі КЛБ тепер мають один і той самий тип, відмінність між «тільки логіка» і «логіка, пам’ять або зсувний регістр» є у LUT всередині КЛБ;
- режим розподіленої пам’яті в LUT спрощено, реалізовано підтримку для 32 і 64 елементів пам’яті, великі розміри пам’яті вимагають додаткової логіки;
- вихідні мультиплексори КЛБ введено в сімействі Versal;

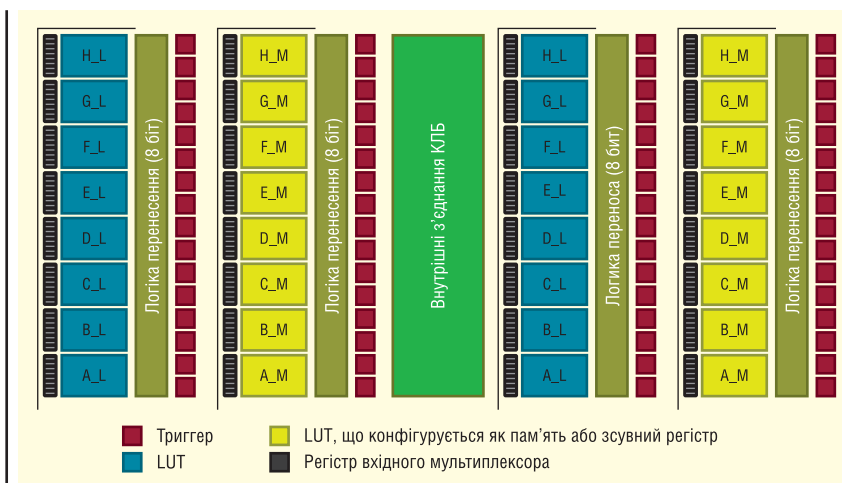


Рис. 2. Склад КЛБ ПЛІС серії Versal

- додано додаткові регістри вхідних мультиплексорів (регістри *Itux*).

Можна бачити, що в КЛБ Versal спостерігається тенденція до збільшення логічних ресурсів і зменшення їхньої різноманітності. Для попередніх поколінь FPGA окремо зазначалося, що введення додаткових апаратних ресурсів, таких як F7MUX, полегшує побудову деяких вузлів. У сімействі Versal спостерігається рух у бік простішої та уніфікованішої архітектури з додатковими зв'язками. Крім усунення апаратних мультиплексорів, що розширюють логічні функції, ту саму тенденцію видно в обмеженні режимів роботи розподіленої пам'яті.

Цікавим є пояснення до регістрів *Itux*. Крім очевидного застосування у вигляді додаткової конвеєризації критичних ланцюгів, ці компоненти можуть бути також використані для усунення порушень часу утримання сигналу (*hold violations*). Можна коротко нагадати, чому ця проблема є суттєвою. Зменшення технологічних норм під час виробництва цифрових мікросхем супроводжується зменшенням часу поширення сигналу та збільшенням технологічного розкиду параметрів реалізованих компонентів. Тому міркування, справедливі для старіших технологічних процесів, частково втрачають своє підґрунтя. Наприклад, під час передавання даних між двома тригерами можна було покладатися на те, що затримка передавання даних від виходу одного регістра до входу іншого буде свідомо більшою, ніж розсинхронізація між їхніми тактовими входами. Тому про виконання вимоги на час утримання сигналу (*hold time*) можна було говорити практично з повною упевненістю, розраховуючи на те, що спеціально прокладені тактові мережі ПЛІС забезпечують мінімальну неузгодженість затримок для тактових сигналів.

Якщо ж говорити про технологічні норми 28 нм і менше, то два тригери за їхнього невдалого розташування можуть мати надто коротку лінію даних, що їх пов'язує, але при цьому отримувати тактові сигнали з різних гілок тактового дерева. Може виникнути ситуація, коли сигнал на вході другого тригера вже почне змінюватися, але фронт тактового сигналу, за яким мало записується попереднє значення, ще тільки-но досяг тактового входу цього тригера. У такому випадку і спостерігається «порушення часу утримання сигналу» (*hold violation*), яке призводить до невизначеної роботи другого тригера.

У лінійці продуктів Xilinx боротьба з цим явищем спостерігалася поетапно.

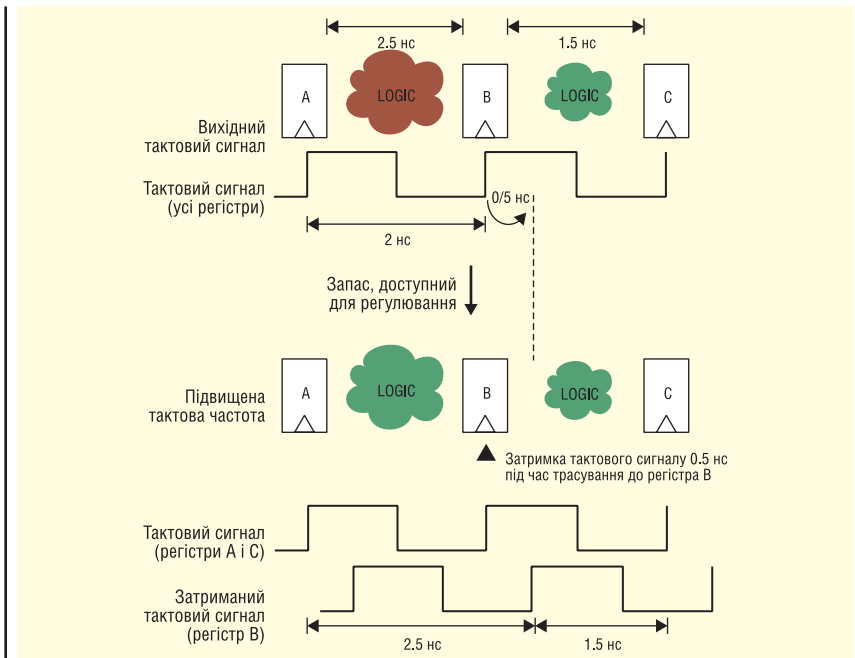


Рис. 3. Механізм *time borrowing* у сімействах UltraScale+

Перш за все, з виходом ПЛІС серії 7, що випускаються за технологічним процесом з нормами 28 нм, в САПР Vivado було додано відповідні перевірки на час утримання сигналу. Для середніх і великих ПЛІС серії 7 на практиці спостерігалися ефекти поліпшення стабільності роботи проекту під час його трасування в САПР Vivado замість попереднього покоління САПР ISE, яка також підтримувала серію 7.

Для ПЛІС серії 7 зберігалася можливість трасування глобальної тактової мережі по всьому кристалу, включно з найбільшими Virtex-7 з еквівалентною логічною ємністю 2 млн елементів. Однак уже в 20-нм ПЛІС UltraScale від цієї можливості довелося відмовитися, обмеживши трасування окремими тактовими регіонами, які зобов'язані мати незалежні тактові мережі, керовані локальними блоками синхронізації.

У 16-нм сімействі UltraScale+ з'явилася ще одна можливість — наприклад, *time borrowing* (дослівно: «запозичення часу»). Її суть проілюстровано на рисунку 3. Видно, що у вихідній немодифікованій схемі затримка поширення сигналів різняться, у результаті один із ланцюгів є критичним. Однак регулювання затримок у тактовій мережі, яке стало можливим в UltraScale+, дає змогу трохи затримати фронт тактового сигналу для регістра B. Це погіршить ситуацію для ланцюга B-C, однак цей ланцюг від самого початку перебував у кращих умовах. Тому, як показано на рисунку 3, після індивідуального підстроювання за-

тримки тактового сигналу час між фронтами на регістрах A і B становитиме 2.5 нс, а між B і C — 1.5 нс. Таким чином, період тактового сигналу в цьому прикладі вдалося зберегти рівним 2 нс.

Подібна можливість, вочевидь, корисна і для усунення проблем із часом утримання сигналу. Дійсно, підстроювання фронту тактового сигналу в невеликих межах дає змогу вивести його з часового інтервалу, у якому дані на вході мають залишатися незмінними.

Можливість захоплення сигналу в додаткових регістрах *Itux* додатково розширює можливості САПР із трасування критичних до часу поширення сигналу ланцюгів. Можна зазначити, що перераховані підходи застосовуються в САПР автоматично, без необхідності їх явної вказівки розробником.

ХАРАКТЕРИСТИКИ БЛОКІВ ЦИФРОВОЇ ОБРОБКИ СИГНАЛІВ

Блок цифрової обробки сигналів, який раніше позначали DSP48, у сімействі Versal змінив своє позначення на DSP58. Це сталося через зміну розрядності акумулятора.

Можна коротко нагадати архітектуру і порядок застосування блоків цифрової обробки сигналів у ПЛІС. Безсумнівно, ці блоки є одним із ключових компонентів ПЛІС, що зумовлюють їхнє широке застосування в задачах цифрової обробки сигналів. Центральним елементом такого блоку стає апарат-

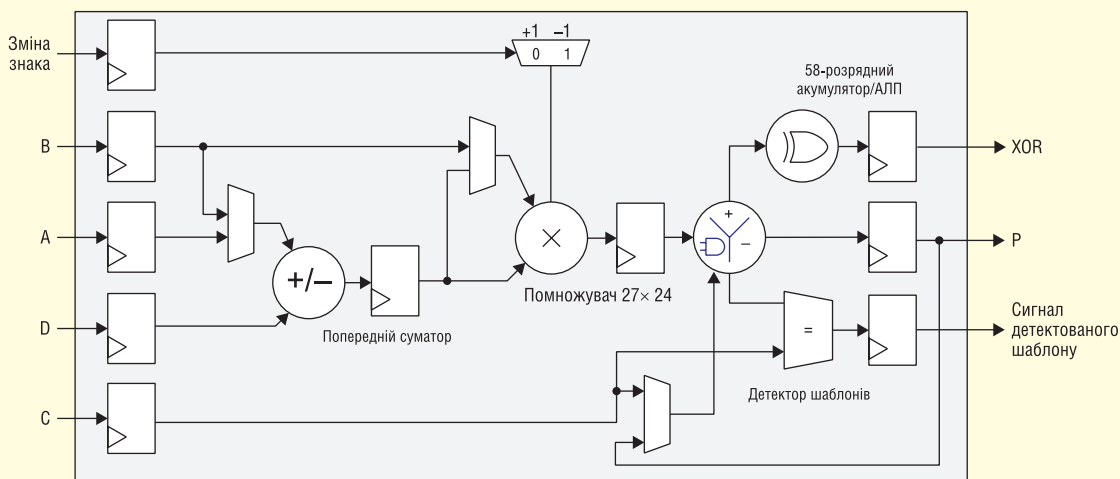


Рис. 4. Спрощена схема блока цифрової обробки сигналів у ПЛІС Versal

ний помножувач незалежних операндів. З одного боку, операція множення істотно складніша, ніж операції додавання або віднімання (а тим паче ніж побітові логічні операції), тому реалізація такої операції на базі програмованих логічних елементів призведе до появи «пухкої» логічної структури з неефективним використанням ресурсів елементів ПЛІС та невисокими показниками частоти. Тому ще в сімействі Virtex-II було додано апаратні блоки, що виконують множення 18-розрядних незалежних операндів. Це істотно покращило показники продуктивності ПЛІС під час реалізації таких поширених вузлів, як цифрові фільтри з постійними коефіцієнтами.

Архітектура блоку цифрової обробки сигналів постійно еволюціонувала, отримуючи нові функціональні можливості. Зокрема, було виявлено, що критичним компонентом для цифрових фільтрів став акумулятор, оскільки фільтрація передбачає не просто множення, а множення та підсумовування (накопичення, акумулювання) результатів. Тому в сімействі Virtex-4 було реалізовано структуру, що містила помножувач 18-розрядних операндів і 48-розрядний апаратний акумулятор. Весь блок був здатний працювати на високій тактовій частоті, реалізуючи цифрові фільтри без залучення додаткових програмованих елементів ПЛІС. Можливості блоку позначалися формулою $18 * 18 = 48$, що означало можливість перемноження 18-розрядних операндів і 48-розрядний акумулятор.

Розрядність операндів для цифрової обробки сигналів, безсумнівно, диктується практичними потребами. Однією з них є необхідність збільшення розряд-

ності, причому самі дані, одержувані з АЦП, цілком можуть бути представлені 18 розрядами (високошвидкісні АЦП часто мають 12–14 розрядів). Однак подання коефіцієнтів цифрових фільтрів цілком може вимагати більшої розрядності. Наприклад, під час моделювання фільтрів у програмному пакеті Matlab можна використовувати формат подання коефіцієнтів із плаваючою комою, але мантиса такого числа (у форматі *fp32*) потребує 25 розрядів. Перетворення такого коефіцієнта у 18-розрядний цілочисельний формат призводить до погіршення характеристик фільтра. Тому вже наступне покоління блоку DSP48 давало змогу перемножувати 18- і 25-розрядні операнди за збереження розрядності акумулятора.

Спрощену схему блока цифрової обробки сигналів сімейства Versal показано на рисунку 4.

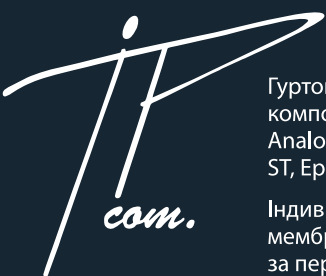
Блок отримав такі основні покращення порівняно з попередніми поколіннями ПЛІС:

- точкою *fp32* у блоці реалізовано підтримку операцій множення і додаван-

ня над числами з плаваючою комою, помножувач працює з операндами розрядністю 27 і 24 біт;

- акумулятор і пов'язаний з ним арифметико-логічний пристрій мають розрядність 58 біт;
- акумулятори каскадуються для утворення 116-розрядного пристрою;
- вхід A блоку має розрядність 34 біти, з яких 27 є операндом для помножувача, а всі 34 розряди можуть бути використані для формування вихідного 58-розрядного результату;
- завдяки тому, що розрядність обох операндів стала не меншою за розрядність мантиси числа з плаваючою комою одинарної точності.

Блок цифрової обробки сигналів у сімействі Versal має зворотну сумісність із подібними блоками попередніх сімейств ПЛІС Xilinx. Використання операцій множення в HDL-описі призводить до автоматичного синтезу таких блоків у проєкті. Також зберігається можливість генерації IP-ядер цифрової обробки сигналів за допомогою вбудованих засобів САПР.






ТОВ «АЙПІ-КОМ»

Гуртове постачання широкого спектра електронних компонентів відомих брендів: Xilinx, Intel (Altera), Analog Devices, Texas Instruments, NXP, Microchip, ST, Epcos, Vishay, Sharp, KLS тощо

Індивідуальна розробка та виготовлення мембранних плівкових клавіатур різної складності за персональними вимогами замовника

☎ моб.: 098-980-48-38

 ill1982
 ill82@ukr.net
 ip-com.net.ua

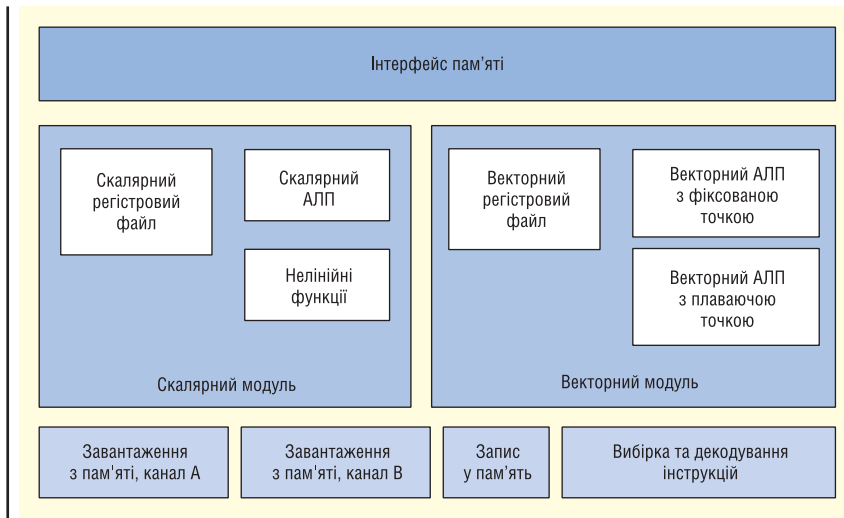


Рис. 5. Спрощена схема ядра AI Core

ХАРАКТЕРИСТИКИ ПРОЦЕСОРНИХ ЯДЕР AI CORE

Найбільш вагомим компонентом сімейства Versal є матриця процесорних ядер, реалізована в платформі Versal AI (рис. 5). З додаванням такої важливої складової стало можливим говорити про об'єднання в складі однієї мікросхеми трьох основних підходів до організації обчислень. У складі платформи Zynq можна було бачити комбінацію універсальних процесорних ядер і матриці програмованих логічних елементів, що давало крайній підходи.

Кожне ядро являє собою 32-розрядний RISC-процесор із векторним розширенням. Його функції можна перерахувати таким чином:

- регістри загального призначення, організовані у вигляді реєстрового файлу;
- нелінійні функції (квадратний корінь, \sin/\cos);
- помножувач 32-розрядних скалярних операндів;
- перетворення даних між цілочисельним форматом і поданням із плаваючою комою;
- три пристрої генерації адреси (AGU, Address Generation Unit): два для завантаження даних і один для запису в пам'ять, підтримується кілька режимів адресації, зокрема режим генерації адрес для підтримки швидкого перетворення Фур'є;
- векторне розширення операцій з фіксованою точкою.

Векторне розширення підтримує безліч форматів представлення операндів, з докладним списком яких можна ознайомитися в описі процесорів AI

Core. При використанні 8-бітних операндів векторне розширення виконує 128 операцій «множення з накопиченням» (MAC) за такт — можна окремо звернути увагу, що йдеться про одне ядро AI core, а не про всю матрицю з 128–400 процесорів. Зрозуміло, при збільшенні розрядності операндів кількість операцій зменшується, і для двох операндів у форматі fp16 кількість MAC дорівнює 32, а для fp32 — 8.

Якщо зіставити цю продуктивність із показниками блоків цифрової обробки сигналів, можна помітити, що кількість MAC, що виконуються за один такт, становить 4 096–12 800 для діапазону ПЛІС, наведених у таблиці 1. Таким чином, матриця RISC-процесорів завдяки векторному розширенню може виконати більше операцій MAC, ніж усі блоки цифрової обробки сигналів у тих самих ПЛІС (928–1 968 у сімействі Versal AI). У цьому разі проявляється ефект гетерогенної архітектури, оскільки для блоків цифрової обробки сигналів, розподілених по площі ПЛІС і оточених додатковими конфігурованими ресурсами, можуть знайтися й такі завдання, які менш ефективно виконуватимуться в матриці RISC-процесорів, що мають цілком певне матричне розміщення та задані з'єднання з оточуючими компонентами. Розробник при цьому вільний у виборі найбільш придатної підсистеми ПЛІС — елементів з блоками DSP, RISC-процесорів або підсистеми ARM.

Скалярні регістри RISC-ядра AI представлені регістрами загального призначення r0...r15, 64-розрядними конфігураційними регістрами s0–s7, і двома наборами 20-розрядних регістрів — модифікатори та покажчики.

128 біт	256 біт	512 біт	1024 біт	
VrI0	Wr0	xa	ya	–
Vrh0				
VrI1	Wr1	xb	ya	Yd (старші розряди)
Vrh1				
VrI2	Wr2	xc	–	–
Vrh2				
VrI3	Wr3	xd	–	Yd (молодші розряди)
Vrh3				
VcI0	Wc0	xe	–	–
Vch0				
VcI1	Wc1	xf	–	–
Vch1				
VdI0	Wd0	yg	–	–
Vdh0				
VdI1	Wd1	zh	–	–
Vdh1				

Векторні регістри RISC-ядра AI для зручності представлення показано в таблиці 3.

У форматі цієї статті немає практичного сенсу копіювати інформацію про всі регістри AI core, оскільки вона наведена в технічній документації. Наведені вище відомості дають змогу скласти загальне враження про клас цього процесора і його можливості. Можна додати, що процесор використовує 128-розрядну команду і належить до архітектури VLIW, оскільки в одній команді може бути задано до 6 операцій. Таким чином, сумарна продуктивність всієї підсистеми AI виявляється досить високою, і її слід зіставляти не з процесорною підсистемою ARM (яка в ПЛІС відіграє в основному допоміжну роль організації інтерфейсів і взаємодії з користувачем і зовнішнім оточенням під керуванням однієї з операційних систем), а з матрицею конфігурованих логічних ресурсів FPGA.

ВИСНОВОК

Наведені на сайті компанії-виробника відомості дають змогу оцінити можливості та загальну продуктивність ПЛІС сімейства Versal. Можна зазначити, що розробка проектів для пристроїв великого логічного об'єму на рівні RTL-відображення вже досить складна, а індивідуальне програмування кожного з декількох сотень ядер AI є не виправдано трудомістким завданням. У цьому разі є сенс розраховувати на подальший випуск САПР, що підтримують наскрізний маршрут проектування із застосуванням високорівневих описів проекту та спеціалізованих фреймворків для розв'язання завдань, які найбільше підходять для AI core. **СН**

НВП «ТЕХНОСЕРВІСПРИВІД»

Авторизований сервіс-партнер Danfoss Drives в Україні

www.semismart.com.ua, semikron@ukr.net, service_danfoss@ukr.net
(044) 458 47 66, (067) 463 46 62, (095) 284 96 62



Офіційний представник в Україні

7-е покоління IGBT

Новий еталон
для електроприводів

www.semikron-danfoss.com

GENERATION
IGBT
7

Компанія Semikron Danfoss пропонує вам IGBT-транзистори 7-го покоління, розроблені спеціально для потреб електроприводів.

Вища питома потужність, нижча загальна вартість системи та більша ефективність – переваги говорять самі за себе.

Особливості

Нижча напруга насичення $V_{ce,sat}$

Підвищена здатність витримувати перевантаження до 175 °C

Втрати на комутацію і dv/dt оптимізовані для електроприводів

На 35% менший розмір корпусу, вища густина потужності в існуючих корпусах

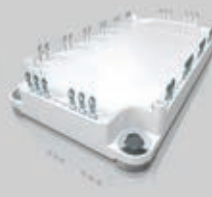
До 20% більша вихідна потужність або на 20% менші втрати потужності



Приводи з низьким енергоспоживанням
SEMITOR E1/E2: 0.37–30 кВт



Приводи малої та середньої потужності
MiniSKiIP: 0.37–110 кВт, SEMIX 6 Press-Fit: 15–75 кВт



Приводи середньої та великої потужності
SEMIX 3 Press-Fit: 55–250 кВт

Ви за SiC чи кремній?

Частина 6. Використання польових SiC-транзисторів у блоках живлення центрів обробки даних і телекомунікаційного обладнання

Ануп Бхалла (Anup Bhalla)

Переклад та доповнення: Володимир Рентюк

Це шоста, остання стаття, що завершує цикл статей [1], в яких розглядалися поточні тенденції та особливості застосування напівпровідникових приладів на основі карбіду кремнію (SiC). У попередніх частинах циклу йшлося про особливості цих напівпровідникових приладів, їхні перспективи та ті переваги, що дає їхнє використання, зокрема, у вузлах сучасного електричного транспортного засобу, а також про суперкаскодні SiC-транзистори, розраховані на високу та надвисоку робочу напругу. Остання стаття циклу надає інформацію про переваги застосування польових SiC-транзисторів у блоках живлення середньої потужності центрів обробки даних і телекомунікаційного обладнання. Попередні частини циклу в авторському перекладі з низкою пояснювальних доповнень були опубліковані в [2–6]¹.

З розгортанням мереж п'ятого покоління (5G), у зв'язку з їхньою специфікою, а особливо з переходом у мікрохвильову область частотного спектра [7], ми можемо очікувати масового будівництва нових базових станцій, що пов'язано з нюансами застосування цієї стільникової технології. Зі свого боку зростання кількості базових станцій, призначених для забезпечення необхідного живлення, потребуватиме безлічі високоефективних телекомунікаційних блоків живлення. Щоб задовольнити потребу в підвищенні ефективності, зниженні експлуатаційних витрат і скороченні витрат на специфікації (кількість компонентів, що використовуються), у цій сфері відновився інтерес до рішень

на напівпровідниках із широкою забороненою зоною. Те ж саме можна сказати і про зусилля з просування серверних блоків живлення до постійно зростаючого рівня їхньої ефективності та з мінімальними втратами тепла. Гіпермасштабовані центри обробки даних, що забезпечують розвиток цифрової економіки — цифровізації, аналітики на основі великих даних, «Інтернету речей» і штучного інтелекту, тепер працюють із серверними стійками потужністю 30 кВт і більше з вельми складними системами управління охолодженням [8].

Мережі 5G забезпечують у 100–1 000 разів вищі швидкості передавання даних і обслуговують трильйони пристроїв, що утворюють «Інтернет речей». Однак нічого не дається даром. Для реалізації цих можливостей знадобляться базові станції з багатоелементними керованими антенними решітками — до 64 елементів передавання/

приймання. Відповідно, потрібно 64 передавача й приймача плюс допоміжне обладнання, що сумарно потребуватиме набагато більшої потужності, ніж обладнання попередніх поколінь. Для того, щоб скоротити споживання потужності, необхідної для кожної базової станції, було зроблено багато технологічних удосконалень щодо підсилювачів та антен, але цілком ймовірно, що доведеться побудувати набагато більшу кількість базових станцій, і тут не те щоб кожен ват, а кожен міліват потужності, що підводиться, має бути підраховано. Як то кажуть, курочка по зернятку клює та сита буває.

Усе сказане справедливо і для сучасних центрів оброблення даних (ЦОД), тобто, щоб використовувати складні методи керування живленням, джерела живлення для цих застосувань мають відповідати дедалі суворішим вимогам до ефективності: починаючи з режиму сну, чергового режиму і закінчуючи станом повного навантаження. Досягти недоступних раніше показників ефективності дають змогу нові пропозиції у вигляді топологій на польових транзисторах, виконаних на основі такого широкозонного напівпровідника, як карбід кремнію (SiC). У цій статті ми розглянемо основні топології та можливості подібних пристроїв для цього напрямку техніки. Завдання — зрозуміти, де і як польові SiC-транзистори можуть стати конкурентами кремнієвих транзисторів із суперпереходом (*Si Super Junction*) і польових транзисторів на основі нітриду галію (GaN), зокрема і в режимі збагачення — *enhancement mode* (eGaN).

¹ Уперше цикл опубліковано в Power Systems Design і він доступний за посиланням: <https://www.powersystemsdesign.com/articles/are-you-sic-of-silicon-part-1/22/14274>.

Таблиця 1. Класифікація рівнів ефективності за 80 PLUS

Напруга в електромережі	115 В внутрішній БЖ без резервування				230 В внутрішній БЖ із резервуванням				230 В внутрішній БЖ без резервуванням			
	10	20	50	100	10	20	50	100	10	20	50	100
80 Plus		80%	80%	80%						82%	85%	82%
80 Plus Bronze		82%	85%	82%		81%	85%	81%		85%	88%	85%
80 Plus Silver		85%	88%	85%		85%	89%	85%		87%	90%	87%
80 Plus Gold		87%	90%	87%		88%	92%	88%		90%	92%	89%
80 Plus Platinum		90%	92%	89%		90%	94%	91%		92%	94%	90%
80 Plus Titanium	90%	92%	94%	90%	90%	94%	96%	91%	90%	94%	96%	94%

КОРОТКО ПРО СУТЬ ПРОБЛЕМИ

Загальною проблемою для всіх джерел живлення, як центрів обробки даних, так і базових станцій стільникового зв'язку, є введення в схему спеціального пристрою — коректора коефіцієнта потужності (ККП). Це пов'язано з тим, що випрямлення напруги змінного струму в напругу постійного струму необхідно виконувати з коефіцієнтом потужності, близьким до одиниці, а блоки живлення, що використовуються, є нелінійним навантаженням з тією чи іншою реактивною складовою. Після випрямлення напруга з рівнем приблизно 400 В надходить на перетворювач постійного струму в постійний, що перетворює ці 400 В на напругу проміжної шини 48, 24 або 12 В, яка використовується вже безпосередньо в системі. Цю напругу застосовують в архітектурі розподіленого живлення і далі для технології живлення в навантаження (Power of Load, PoL), що використовує окремі DC/DC-перетворювачі, часто з дуже великими робочими струмами, для живлення центрального процесора або процесорів і блоків пам'яті.

Коли навантаження блоків живлення базових станцій більш-менш рівномірне, то якщо проаналізувати профіль використання блоків живлення серверів ЦОДів, стає зрозуміло, що більша частина їхнього терміну служби припадає на періоди легкого і середнього навантаження. Отже, схеми корекції коефіцієнта потужності і DC/DC-перетворення повинні діяти з високим ККД у дуже широкому діапазоні навантаження, але при дотриманні теплових обмежень під час роботи з піковим навантаженням, а значить, передбачати резерв за потужністю.

Ці вимоги відображені в добре відомому стандарті 80 PLUS, призначеному для сертифікації комп'ютерних джерел живлення. Якщо говорити загалом, то 80 PLUS — це частина ухваленого стандарту енергозбереження, що передбачає сертифікацію комп'ютер-

Таблиця 2. Типова специфікація блоку живлення, взята з проєкту Open Compute Project

Параметри	Значення
Габаритні розміри блока живлення (В×Ш×Г), мм	65×165×529.5
Вхідна напруга змінного струму, В	200–277
Вихідні напруги постійного струму	12.6 В/265 А не стабілізована 52.5 В/5 А стабілізована
Ефективність	ККД за вимогами Titanium+ (за вхідної напруги 230 В, включно з вентилятором охолодження з внутрішнім живленням і втратами на контактах) 90% за 10%-го навантаження 94% за 20%-го навантаження 96% за 50%-го навантаження 91% за 100%-го навантаження
Час утримання вихідної напруги	20 мс за 100%-го зовантаження (найгірший сценарій)
Розподіл	±5% за навантаження >20% ±1% за навантаження 100%
Резервування	Вихідне АБО (ORing) за виходом 12.6 В З можливістю гарячої заміни
Зв'язок	RS-485 — Modbus-вихід блока живлення SMBus між блоком живлення та блоком аварійного живлення CANbus між блоками живлення
Захист	Від перевантаження за струмом, перевищення температури, підвищеної напруги, зниженої напруги та блоку аварійного живлення
Індикація (світлодіодна)	Зелений/жовтий двоколірний світлодіод для прапора PWR OK/BKP Червоний світлодіод для індикації аварії

них блоків живлення на відповідність певним нормам за ефективністю енергоспоживання — ККД, тобто відношенням корисної роботи до витраченої енергії у відсотках. Градації стандарту (рівні сертифікації) та їхні визначення показано в таблиці 1. Що стосується серверів, вони мають відповідати стандарту Titanium, який передбачає високу ефективність (ККД) навіть за 10%-го навантаження.

У таблиці 2 наведено типову специфікацію, узятую з проєкту Open Compute Project, у якій міститься вимога на рівні Titanium+ для блока живлення потужністю 3.3 кВт.

На рисунку 1 показано типову архітектуру джерела живлення на основі резонансного LLC-перетворювача (LLC — читається як «індуктивності-індуктивність-ємність») із вхідним мостовим випрямлячем (вхідний фільтр електромагнітних завад тут не показано), простим підвищувальним перетворювачем для схеми корекції коефіцієнта потужності, виконаним на польових транзисторах, розрахованих на робочу напругу (під цим терміном ми тут розуміємо блокувальну напругу стік-витік — *Drain-source breakdown voltage*) 650 В і карбід-кремнієвими діодами Шотткі. Далі як DC/DC-перетворювач ми,

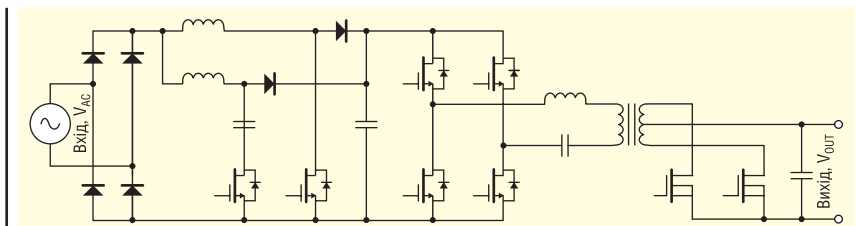


Рис. 1. Типова конфігурація блока живлення. Після вхідного мостового випрямляча використовується схема корекції коефіцієнта потужності і далі LLC DC/DC-перетворювач із комутатором мостового типу

власне, бачимо мостовий LLC-каскад. Топологія LLC забезпечує високу ефективність, а також дає перевагу завдяки широкому діапазону вхідної напруги, саме тому вона знайшла застосування, наприклад, у блоках живлення космічних апаратів [9].

Для каскаду корекції коефіцієнта потужності, який нас особливо цікавить, типові частоти перемикання знаходяться в межах 65–150 кГц. Тут висока ефективність на нижчих частотах приносить в жертву потреби у вищій питомій густині потужності, оскільки коштує індуктивності, зокрема і вхідного фільтра, на частотах перемикання в 150 кГц матимуть набагато менші розміри, ніж на частотах 30 кГц. Це призводить до використання кремнієвих польових МОН-транзисторів із SiC-діодами Шоттки для підтримання високої ефективності під час жорсткого перемикання на частотах 65–150 кГц. Вдосконалені польові МОН-транзистори з суперпереходом можуть швидко перемикатися, а SiC-діод Шоттки допомагає мінімізувати втрати під час увімкнення в польових МОН-транзисторах. Щоб бути до кінця чесними в цьому питанні, більш ефективними порівняно з кремнієвими тут бу-

дуть нітрид-галієві транзистори [9], але класикою поки що залишається кремній.

У LLC-частині схеми звичай використовуються польові МОН-транзистори, розраховані на робочу напругу 650 В. Схема підтримує роботу ZVS (Zero Voltage Switched — перемикання за нульової напруги) і має зніжені струми вимкнення, тому комутаційні втрати тут набагато нижчі, що, власне, і дає змогу працювати на вищих частотах за 100–500 кГц, що зі свого боку дає змогу зменшити розмір трансформатора. На вторинній стороні використовуються кремнієві МОН-транзистори з робочою напругою 80–150 В, але з дуже низьким опором у відкритому стані. Вони призначені для випрямлення високочастотної вторинної змінної напруги та забезпечення регульованої (читаємо: стабілізованої) вихідної постійної напруги. Польові транзистори на 650 В, що застосовуються, обрано таким чином, щоб у разі виходу з тих чи інших причин за межі режиму ZVS за певних несприятливих робочих умов відновлення вбудованого антипаралельного діода не було руйнівним і, відповідно, катастрофічним для блока живлення загалом.

НАПІВПРОВІДНИКОВІ ПРИЛАДИ: ПОРІВНЯННЯ ТА ОЦІНКА СИЛЬНИХ І СЛАБКИХ СТОРІН

Розглянемо детальніше транзистори, які використовуються на стороні високої напруги, а саме в каскадах корекції коефіцієнта потужності та DC/DC-перетворення. Як уже було сказано, тут, як правило, за умови живлення від стандартної електромережі використовуються пристрої класу 650 В. У таблиці 3 подано огляд сучасного стану пристроїв на основі кремнію, GaN і SiC та їхні відповідні характеристики.

Як можна бачити з таблиці 3, з погляду опору каналу на одиницю площі кристала R_{dsA} транзистори технології SiC FET (SiC JFET), безумовно, є тут найкращим варіантом. Усі пристрої з широкою забороненою зоною, порівняно з кремнієвою альтернативою на основі технології суперпереходу, мають покращення в частині заряду зворотного відновлення антипаралельного діода. Однак тільки пристрої, виконані на основі карбіду кремнію і кремнію, здатні ефективно справлятися з максимальною енергією. Що стосується керування, пристрої на основі нітриду галію в режимі збага-

Таблиця 3. Порівняння варіантів транзисторів на робочу напругу 650 В різних базових технологій

Параметр	SiC каскадний JC0606K	SiC МОН-транзистор	eGaN польовий транзистор	Si Super Junction МОН-транзистор
R_{dsA} , мОм·см ²	0.75	3.5	6.6	10
$R_{DS(on)} \cdot E_{oss}$, мОм·Дж	255	600	350	462
Порогова напруга увімкнення $V_{G(th)}$, В	5	4.5	1.3	3.5
Стійкість до перевантаження	Є	Є	Немає	Є
Напруга затвора V_{GS} , В	±25	+22/-4	±10	±20
Поведінка діода	Відмінна	Відмінна	Відмінна	Погана

Таблиця 4. Порівняння параметрів альтернативних транзисторів з робочою напругою 650 В, виконаних у корпусах типу TO-247

Параметр/технологія	UF3C065030K4S		UF3C065040K4S		Si Super Junction
	SiC МОН Trench	SiC FET	SiC МОН планарний	SiC FET	
Напруга стік-вітік V_{DS} , макс., В	650				
Максимальна напруга затвор-вітік V_{GS} , макс., В	+22/-4	±25	+22/-10	±25	±20
Номінальний робочий струм стоку I_D , 100С за $T_C = 100^\circ\text{C}$, А	49	62	35	40	43.3
Тепловий опір перехід/корпус $R_{th(jc)}$, макс., °C/Вт	0.57	0.34	0.72	0.46	0.25
Опір відкритого $R_{DS(on)}$ каналу за $T_J = +25^\circ\text{C}$, мОм	30	27	55	42	37
Опір відкритого каналу $R_{DS(on)}$ 125С за $T_J = +125^\circ\text{C}$, мОм	40	35	66	58	80
Опір відкритого каналу $R_{DS(on)}$ 175С за $T_J = +175^\circ\text{C}$, мОм	46	43	72	78	110
Опір затвора R_{GS} , Ом	7	4.5	2	4.5	0.85
Вхідна ємність C_{iss} 400V ($V_{DS} = 400$ В), пФ	1526	1500	1370	1500	8400
Вихідна ємність C_{oss} 400V ($V_{DS} = 400$ В), пФ	150	200	125	110	180
Ємність затвор-стік (ємність Міллера) C_{rss} 400V, пФ	60	2	30	2	40
Ефективна вихідна ємність, пов'язана з енергією ($V_{DS} = 400$ В) $C_{oss(ener)}$, пФ	230		-	146	288
Ефективна вихідна ємність, пов'язана з часом ($V_{DS} = 400$ В) $C_{oss(tbr)}$, пФ	-	520	-	325	1485
Енергія накопичена в C_{oss} ($V_{DS} = 400$ В) E_{oss} (400V), мкДж	17	18	-	11.7	22.5
Загальний заряд затвора Q_{GS} , нКл	104 (18 В)	43 (12 В)	73 (20 В)	43 (12 В)	300 (10 В)
Пряме падіння напруги діода V_{FSD} , В	3.2	1.3	4.5	1.5	1.0
Заряд зворотного відновлення Q_{rr} , нКл	208	-	85	137	> 1900

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), високовольтих 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, пров. Ю. Матушак, 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
www.mastek.com.ua

Таблиця 5. Порівняння параметрів транзисторів різних технологій, виконаних у корпусах типу DFN 8x8

Параметр/технологія	Si Super Junction	Si Super Junction	GaN каскодний	UF3C065030D8S	UF3C065040D8S
				SiC FET	SiC FET
Номинальний робочий струм стоку ¹ $I_{D,A}$	20	22	16	20	20
Напруга стік-витік, макс. V_{DSV} , В	650	650	650	650	650
Тепловий опір перехід/корпус, макс. $R_{\theta,JC}$, °C/В	0.74	0.66	1.3	0.47	0.64
Максимальна енергія одиночного імпульсу на стоці ² E_{AS} , мДж	171	960	–	120	76
Опір відкритого каналу за $T_J = +25$ °C $R_{DS(on)}$, мОм	62	61	72	27	42
Опір відкритого каналу при $T_J = +150$ °C $R_{DS(on)}$, 150C, мОм	149	134	150	43	78
Опір затвора R_{GS} , Ом	0.85	1.4	–	4.5	4.5
Вхідна ємність C_{iss} , 400V, пФ	3020	4200	600	1500	1500
Ефективна вихідна ємність, пов'язана з енергією $C_{oss(er)}$, пФ	100	97	131	230	146
Ефективна вихідна ємність, пов'язана з часом $C_{oss(tr)}$, пФ	1110	344	217	520	325
Заряд зворотного відновлення Q_{rr} , нКл	10000	9500	89	280	137
$R_{DS(on)} \cdot C_{oss(er)}$, мОм · пФ	14900	12998	19650	9890	11388
$R_{DS(on)} \cdot C_{oss(tr)}$, мОм · пФ	165390	46096	32550	22360	25350
$R_{DS(on)} \cdot Q_{rr}$, мОм · нКл	1490000	1273000	13350	12040	10386

Примітки. ¹ Обмежена значенням $T_{J,max}$
² Ширина імпульсу t_p обмежена значенням $T_{J,max}$

чення (eGaN) мають найнижчі значення порогової напруги ввімкнення $V_{G(th)}$, що в поєднанні з їхньою високою швидкістю ввімкнення/вимкнення і малим діапазоном напруги затвора дещо ускладнює їхнє керування.

У таблиці 4 дано порівняння деяких еквівалентних продуктів індустріального класу, виконаних у поширеному корпусі TO-247. Ми можемо бачити, що кремнієвий транзистор із суперпереходом і польові транзистори UnitedSiC [10] можуть бути керовані напругою 0–10 В. Варіанти SiC МОН-транзисторів вимагають різних напруг, наприклад, від –4 до +18 В. Крім того, всі пристрої на основі карбіду кремнію мають нижчу вхідну ємність (відповідно, і менший заряд затвора) і значно менший заряд зворотного відновлення діода Q_{rr} . Що стосується втрати провідності вбудованого діода, у кремнієвого транзистора з суперпереходом і SiC польового транзистора води нижчі, ніж у SiC МОН-транзистора.

Транзистори серії UF3C є прикладом каскодного (з каскадним кодуванням) польового транзистора компанії UnitedSiC, який було детально описано в [3]. Особливістю цих транзисторів є те, що в одному загальному корпусі разом із нормально відкритим високопродуктивним і швидкодієвим SiC польовим транзистором з керованим p - n -переходом (JFET), виготовлено недорогий кремнієвий (Si) МОН-транзистор із робочою напругою 25 В. Цей додатковий транзистор призначений для забезпечення функціонування SiC-пристрою як нормально вимкненого транзистора, спрощеного керування затвором і виключення захисного діода. Такий пристрій може бути легко використа-

ний для заміни вже наявних кремнієвих МОН-транзисторів і IGBT, а також взаємозамінний із SiC-транзисторами всіх типів. Транзистори серії UF3C від компанії UnitedSiC демонструють дуже швидке перемикання, вони виконані в трьохвидних корпусах TO-247 і корпусах TO-247-4L з четвертим додатковим виводом від витоку для схеми Кельвіна, що значною мірою нівелює паразитну індуктивність у ланцюзі керування затвором. Транзистори серії UF3C мають у своїй структурі діод із найкращими на цей час характеристиками зворотного відновлення порівняно з транзисторами такої самої робочої напруги та струму інших технологій. Пристрої серії UF3C оптимальні для перемикання індуктивних навантажень і для будь-якого іншого застосування, що вимагає наявності стандартного драйвера затвора.

У таблиці 5 порівнюються аналогічні пристрої в корпусах DFN8x8: тут

представлено кремнієві транзистори з суперпереходом і SiC FET- і GaN-пристрої, якими можна керувати за допомогою стандартних драйверів, що використовуються для їхніх кремнієвих побратимів. Польові SiC-транзистори компанії UnitedSiC мають дуже низький опір каналу у відкритому стані. Однак порівняння пристроїв із різними $R_{DS(on)}$ при температурі +150 °C найкраще проводити не за значенням опору, а за показниками якості (*Figure of merit* — величина, яку використовують для оцінювання характеристики продуктивності пристрою відносно його альтернатив), що наведені в трьох нижніх рядках таблиці. Як можна бачити, рішення на напівпровідниках із широкою забороненою зоною пропонують кращі показники якості, особливо для показників $R_{ds(on)} \times C_{oss(tr)}$ і $R_{ds(on)} \times Q_{rr}$.

На рисунку 2 у поперечному перерізі показано архітектуру зазвичай ви-

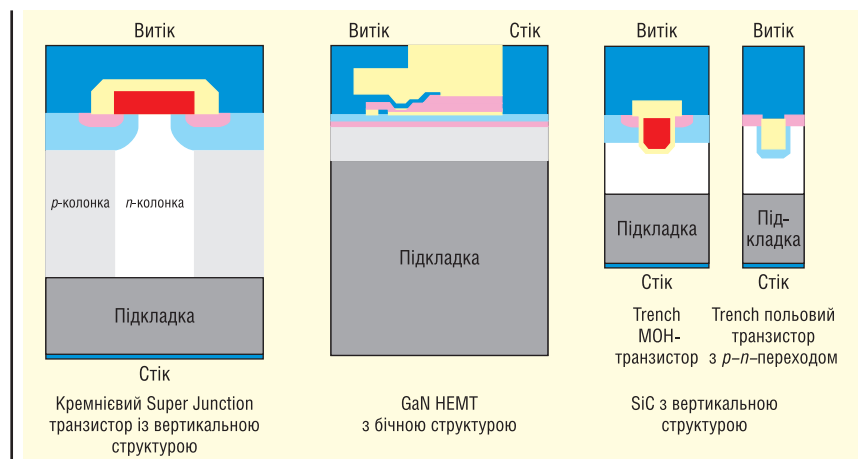


Рис. 2. Архітектури напівпровідникових пристроїв, які конкурують у сфері 650 В, що використовуються для центрів обробки даних і джерел живлення телекомунікаційного обладнання

користовуваних конфігурацій польових транзисторів на основі SiC, GaN і кремнію з суперпереходом. GaN HEMT — це бічні пристрої, тоді як інші типи транзисторів являють собою пристрої з вертикальним каналом. Вертикальний канал дає змогу компактніше реалізувати пристрої з вищою напругою, оскільки виводи витоку і стоку знаходяться на протилежних сторонах пластини, а не на її верхній поверхні. У GaN HEMT провідність обмежена двовимірним електронним газом (two-dimensional electron gas, 2DEG) у каналі, тоді як пристрої на основі SiC використовують короткий поверхневий канал і в основному об'ємний для перенесення струму. SiC JFET має об'ємний канал, який поряд з його вертикальною природою дає найнижчий опір на одиницю площі R_{dsAr} що дозволяє використовувати мінімальний розмір кристала. Потім, щоб сформулювати SiC FET, як уже було показано раніше в [3], його каскадують за допомогою низьковольтного Si MOH-транзистора, який, щоправда, додає свої 10% до опору відкритого каналу.

З удосконаленням пристроїв кінцева межа швидкості перемикання встановлюється струмом навантаження, що заряджає вихідну ємність пристрою C_{oss} . Низьке значення $C_{oss(tr)}$ для даного опору каналу транзистора у відкритому стані дає найвищу швидкість наростання напруги, а також найкоротший час затримки для досягнення рівня напруги 400 В. З таблиць 4 і 5 видно, що саме SiC FET у цьому відношенні вирізняється найвищими показниками продуктивності і є вартим уваги вибором для височастотного перетворення енергії.

Що стосується заряду зворотного відновлення Q_{rr} , усі варіанти широкозонних напівпровідників пропонують значно покращену продуктивність порівняно з їхніми кремнієвими побратимами, зокрема і з суперпереходом. Отже, ці пристрої вибирають щоразу, коли в схемі використовується ввімкнення, що жорстко перемикається, як у каскадах корекції коефіцієнта потужності, що працюють у режимі безперервних струмів (*continuous current mode*, CCM). Якщо в цих схемах використовується провідність вбудованого діода, як діода зворотного ходу, то падіння на ньому напруги (у відкритому стані) призводить до втрат провідності. Тому тут, як правило, застосовується синхронна провідність, що відкриває для зменшення цих втрат канал відповідного польового транзистора, переводячи його в режим провідності.

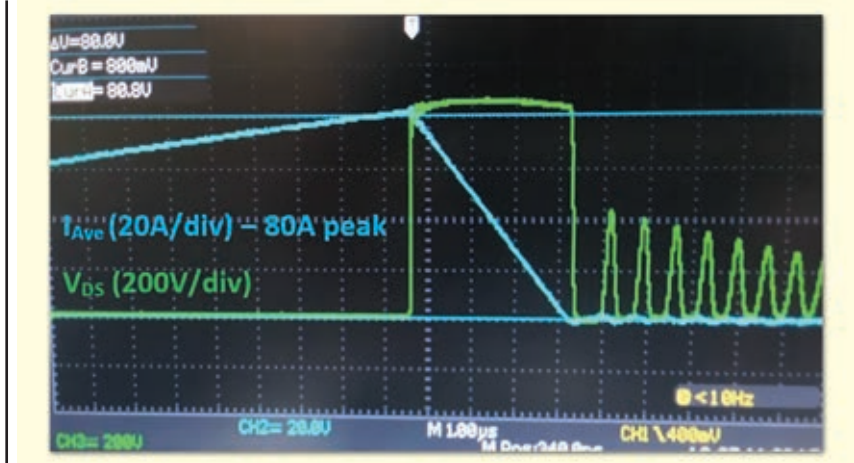


Рис. 3. Форма сигналу, отримана під час випробування на індуктивне навантаження без клампера транзистора UF3C065040K4S (SiC FET, 40 мОм, 650 В). Незважаючи на невеликий розмір кристала SiC JFET транзистор без збоїв витримує лавинний струм понад 80 А

Однак зазвичай між виявленням зворотного струму та увімкненням каналу польового транзистора існує затримка, на низьких частотах на неї рідко звертають увагу, але на високих частотах цей час становить уже значну частину періоду перемикання. Наприклад, «мертвий» час 100 нс, коли проводить тільки діод, не має великого значення, якщо частота перемикання становить 100 кГц (тобто за періоду, що дорівнює 10 мкс). Але він досягає вже 10% протягом циклу перемикання на частоті 1 МГц, оскільки тут період становить усього 1000 нс. Таким чином, низьке падіння напруги на діоді в режимі провідності VFSD разом із низьким значенням заряду зворотного відновлення Q_{rr} є корисним фактором для досягнення високої продуктивності, а польові транзистори на основі карбіду кремнію забезпечують і те, і інше.

Щобільше, у найефективніших варіантах схем відсутнє апаратне вмикання, оскільки, хоча втрати під час використання напівпровідникових пристроїв із широкою забороненою зоною можуть бути незначними під час вимкнення, це не стосується втрат під час увімкнення. За низького заряду затвора доступних польових транзисторів і низького опору під час увімкнення та вимкнення частоти перетворення в схемах із м'якою комутацією можуть бути збільшені в 5–10 разів.

Що стосується надійності пристрою, всі варіанти SiC-транзисторів мають чудову стійкість до перевантаження, що підвищує надійність системи блока живлення загалом. Незважаючи на менші розміри чипів, вони часто можуть перевершувати можливості по-

льових транзисторів із суперпереходом, особливо за високих рівнів струму. Пристрої на основі нітриду галію не можуть впоратися з перевантаженням і тому розраховані на високу напругу пробою, щоб уникнути цієї робочої зони. На рисунку 3 показано знімок з екрана осцилографа для SiC FET від компанії UnitedSiC з опором відкритого каналу 40 мОм і робочою (блокувальною) напругою 650 В, на який впливає піковий лавинний струм IAVE (розгортка за вертикаллю 20 А/поділку), що дорівнює 80 А (показано синім), що набагато перевищує будь-які практичні потреби. Видно, що напруга пробою VDS (розгортка по вертикалі 200 В/поділку) тут перевищує 800 В (показано зеленим).

РЕКОМЕНДАЦІЇ ЩОДО ВИБОРУ ДРАЙВЕРА ЗАТВОРА

Ключовим спрощенням використання SiC FET є те, що його низьковольтний MOH-транзистор має порогове значення увімкнення $V_{G(th)}$ що дорівнює 5 В, а максимально допустиме значення напруги затвор-витік становить не багато не мало, а цілих ± 25 В. Відповідно, він може працювати як кремнієвий низьковольтний MOH-транзистор із суперпереходом напруги 0–10 В (або 12 В). На рисунку 4 наведено порівняння рекомендованої для транзисторів різних технологій напруги керування по затвору та відповідних абсолютних максимальних значень напруги на затворі.

Тут для керування SiC MOH-транзисторами зазвичай використовують напругу негативної та позитивної по-

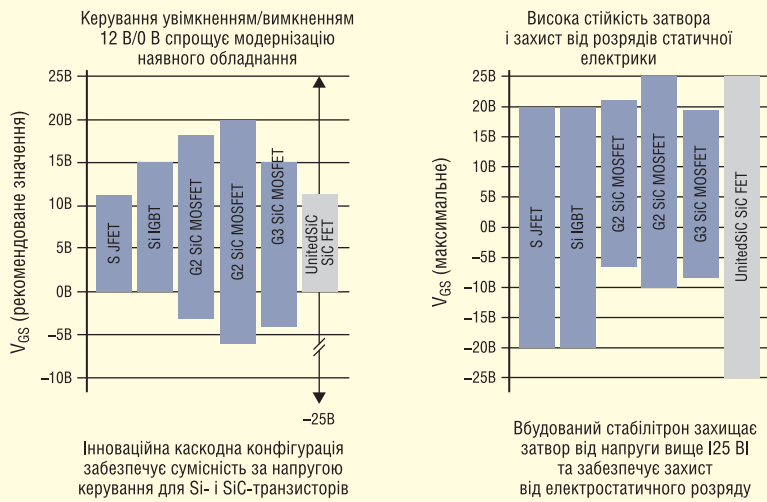


Рис. 4. Діаграма, що порівнює рекомендовані максимальні значення напруги затвора і напруги затвора для різних типів кремнієвих і SiC-пристроїв

лярності і повний діапазон напруги $\pm 20 \dots \pm 25$ В. Необхідно брати до уваги, що часто напруги керування по затвору досить близькі до абсолютних максимальних значень. Це вимагає особливої уваги до стрибків напруги, які можуть бути наслідком того чи іншого перехідного процесу. Крім того, великий зсув затвора, через наявність паразитної індуктивності в колі керування, може призвести до проблем керування транзисторним ключем на високих частотах. Крім сказаного, для того, щоб влоратися з проблемами гістерезису $V_{G(th)}$ потрібно ретельно дотримуватися рекомендацій виробників щодо рівнів напруги керування. Польові SiC-транзистори гнучкі в цьому відношенні і не потребують такого ретельного контролю рівнів напруги на затворі, крім того, вони можуть працювати та бути керованими за напруг затвора, сумісних із SiC МОП-транзисторами. Як можна бачити на рисунку 4 — SiC FET унікально універсальний.

Транзистори eGaN зазвичай мають низьке значення $V_{G(th)}$ і працюють у вузькому діапазоні напруги затвора, який часто доволі близький до абсолютних максимальних меж напруги стік-витік V_{GS} . Для цього, щоб не пошкодити ключі, тут знадобляться спеціальні драйвери й ретельне розведення друкованої плати, особливо в частині мінімізації паразитної індуктивності в контурі керування затвором. Опція каскоду може обійти деякі з цих труднощів. За всього сказаного, нижчий розмах напруги затвора eGaN-транзисторів може виявитися корисним для зменшення втрат затвора під час комутації на вищих частотах.

У всіх випадках, коли використовується комутація на дуже високих

швидкостях, утримувати транзистори у вимкненому стані за високих значень dV/dt стає дедалі складніше. Те ж саме стосується й керування напругою

затвора через наявність паразитної індуктивності в контурі витoku та керування затвором. Тут допомагає введення в схему транзисторів у корпусах із додатковим відведенням від витoku, що дає змогу використовувати схему Кельвіна, але, оскільки цю схему добре опрацьовано, то в наступних розділах статті ми розглянемо інші альтернативні варіанти.

ТОПОЛОГІЯ КІЛ: КОРЕКТОР КОЕФІЦІЄНТА ПОТУЖНОСТІ

На рисунку 5 показано схему тотемно-полісного коректора коефіцієнта потужності (*Totem-Pole PFC, TPPFC*), що не використовує діодного випрямного моста. На рисунку також наведено графік реально вимірюваної ефективності за частоти комутації 100 кГц. Вимірювання зроблено на демонстраційній платі з використанням SiC FET UJC06505K компанії UnitedSiC [10] при зміні потуж-

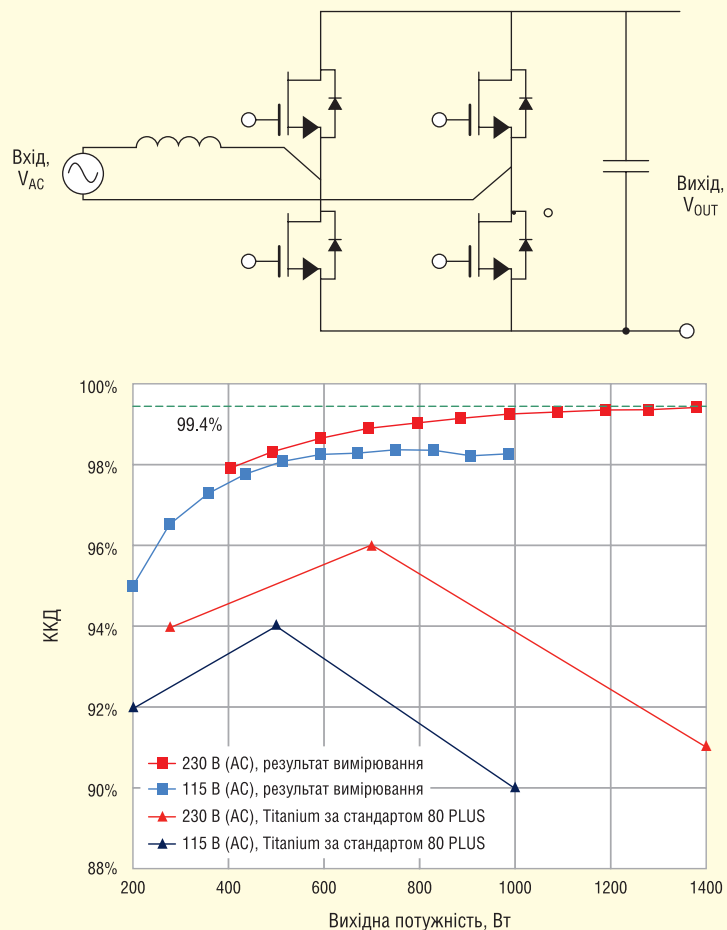


Рис. 5. Базова схема тотемно-полісного коректора коефіцієнта потужності і графік ККД порівняно зі стандартом Titanium, виміряні на демонстраційній платі UnitedSiC з використанням SiC FET UJC06505K компанії UnitedSiC

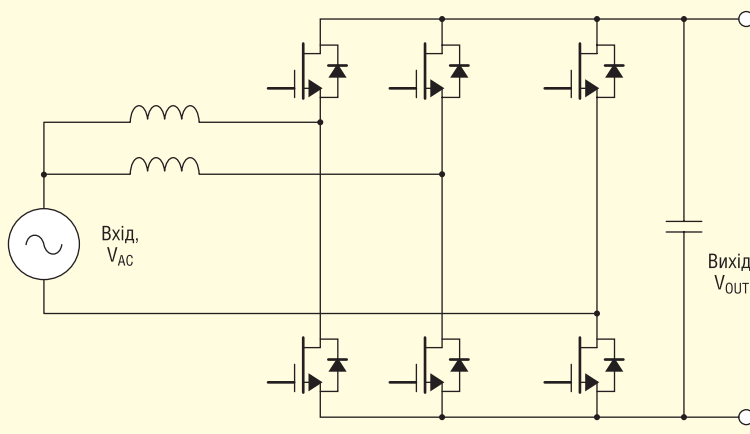


Рис. 6. Топологія «коректор коефіцієнта потужності з підтримкою технології чергування фаз», за якої використовуються два напівмосту зі швидким перемиканням і один напівміст із перемиканням із частотою мережі. Підхід зі зв'язаними котушками передбачає роботу в режимі критичної провідності, що дає змогу значно збільшити частоту комутації

ності в межах 200 Вт — 1.5 кВт. Ця схема усуває всі втрати провідності діодів як вхідного діодного випрямного моста, так і на SiC-діоді в ККП. Однак у цьому рішенні перетворювач ККП працює в режимі безперервних струмів (*Continuous Conduction Mode, CCM*) із жорстким перемиканням, про що йшлося на початку цієї частини статті.

На рисунку 6 показано коректор коефіцієнта потужності з підтримкою технології чергування фаз (*interleaved TPDFC*), який можна сконструювати зі зв'язаною котушкою індуктивності. Ця схема використовується в режимі постійного струму або працює на багатотій частоті в режимі критичної провідності, оскільки вона виключає втрати під час увімкнення. Дуже висока

густина потужності може бути досягнута за допомогою SiC польових транзисторів без шкоди для ефективності, однак потрібні зв'язані котушки індуктивності. Крім того, складність в організації керування тут вища, особливо коли струми пульсації великі та необхідно виявляти переходи через нуль.

У таблиці 6 порівнюється розподіл втрат із використанням топології тотемно-поліусного ККП, показаного на рисунку 5, і ККП із чергуванням фаз, яку ми бачимо на рисунку 6. В обох випадках використано перетворювач потужності на 3 кВт, що працює на частоті 100 кГц. Чергування означає, що котушки індуктивності бачать пульсації з частотою 200 кГц. Тотемно-поліусний ККП має значно менші втрати, лише

25.7 Вт порівняно з 51.4 Вт ККП із чергуванням фаз (зверніть увагу, що тут в оригіналі статті [1] допущено неточності). Таке зменшення втрат дає змогу досягти цільових показників ефективності (ККД) на рівні вимог Titanium за стандартом 80 PLUS (табл. 1). Це досягається завдяки усуненню втрат 24.3 Вт на діодному мостовому випрямлячі. Однак нічого не дається задарма — тотемно-поліусний ККП, який використовується в цьому прикладі, потребуватиме ще чотирьох додаткових польових транзисторів і відповідних драйверів затворів. Порівняння за витратами на специфікацію для обох варіантів ККП наведено в таблиці 7.

В альтернативному методі, що не вимагає виявлення точок переходів струму, використовуються додаткові допоміжні ключі для досягнення переходів для увімкнення за нульової напруги. Аналогічні або навіть кращі результати можуть бути отримані за допомогою резонансних методів, таких як допоміжний резонансний комутований полюс (*Auxiliary-Resonant Commutated Pole, ARCP*), які усувають втрати як під час увімкнення, так і під час вимкнення. Однак переваги більш досконалих методів з погляду витрат і продуктивності, як показує практика, стають ефективними тільки за рівнів потужності, що значно перевищують 5 кВт.

ТОПОЛОГІЯ КІЛ: ДС/ДС-ПЕРЕТВОРЮВАЧ

Оскільки вихідна напруга фіксована, мостовий LLC-перетворювач, показаний на рисунку 1, забезпечує чудову питому потужність і високу ефективність (ККД) і наразі є такою собі робочою конячкою на високих рівнях потужності. Зі зниженням рівнів потужності може використовуватися реалізація LLC-перетворювача з напівмостом. Зазвичай в обох варіантах застосовують частоти в діапазоні 100–500 кГц, і основні зусилля зі зниження втрат переходять на вторинні МОН-транзистори, трансформатор і низьковольтні вторинні МОН-транзистори, з огляду на високі рівні струму на виході при напрузі проміжної шини в 12 В.

Крім того, не все тут просто і з боку вибору силових напівпровідникових транзисторів. Для високовольтних польових транзисторів перехід із вимкненого стану в діодну провідність вимагає заряджання вихідної ємності, а щоб зробити це швидко, необхідне низьке

Таблиця 6. Розподіл втрат для двох досліджуваних варіантів реалізації ККП		
Джерело втрат	ККП із чергуванням фаз	Тотемно-поліусний ККП
Втрати на перемикання	8.44	7.42
Втрати провідності	0.86	10.48
Втрати на підвищувальному діоді	10.04	–
Втрати на випрямному мосту	24.31	–
Втрати в осерді дроселя		0.476
Втрати в обмотці дроселя		1.74
Втрати в конденсаторі (на ESR)		3.89
Втрати у фільтрі ЕМЗ		1.68
Сумарні втрати на потужності 3 кВт	51.436	25.686
ККД на потужності 3 кВт	98.31	99.15

Примітка. Системні умови: напруга 240 В/60 Гц, 400 В (DC); вихідна потужність 3 кВт; частота комутації 100 кГц; режим CCM.

Таблиця 7. Витрати на специфікацію для двох досліджуваних варіантів реалізації ККП		
Основні елементи	ККП із чергуванням фаз	Тотемно-поліусний ККП
Транзистори	2	6
Діоди	6	–
Драйвери затвора	2	6
Дроселі	1	2
Конденсатор шини (BC-link)	1	1

значення $C_{OSS(TR)}$. А щоб зменшити втрати через провідність основного діода, для організації синхронної провідності розробники мають мінімізувати і «мертвий» час перед увімкненням польового транзистора. Низький опір у увімкненому стані зменшує втрати провідності, а низьке значення енергії вимкнення E_{OFF} більшості транзисторів із суперпереходом і широкозонних ключів допомагає звести до мінімуму комутаційні втрати.

Необхідно також враховувати, що якщо в умовах невеликого навантаження режим комутації за нульовою напругою буде порушено, то може статися жорстке відновлення провідності діода та його перевантаження. Під час використання таких широкозонних транзисторів, як SiC FET, це не становить небезпеки, але може пошкодити кремнієві польові МОН-транзистори з суперпереходом. Для того, щоб звести до мінімуму подібну можливість, часто використовують версії польових транзисторів із суперпереходом зі швидким відновленням, але у випадку польових транзисторів, виготовлених на основі SiC, такий запобіжний захід не потрібен, що загалом спрощує завдання керування блоком живлення.

ПЕРСПЕКТИВИ НА НАЙБЛИЖЧЕ МАЙБУТНЄ

Хоча вдосконалення кремнієвих польових транзисторів із суперпереходом тривають, у найближчі кілька років рівень прогресу для пристроїв SiC і GaN набагато перевершить той, який потенційно може бути досягнутий у кремнієвій технології. Крім покращень у частині R_{dSA} (як правило, кожні 2–3 роки ми бачимо покращення на 30–50%), слід очікувати багатьох удосконалень у технології корпусування. Основні проблеми, які потребують розв'язання, — зниження паразитної індуктивності та ефективніше відведення тепла за великих площ установлення кристала на тепловідвідну поверхню.

Один із можливих шляхів — перехід до елементів типу напівмоста, призначених або для прямого монтажу на поверхню, або як вбудований елемент у друковану плату. Це спрощує компонування друкованої плати й дає змогу реалізувати нижчу індуктивність і петлі керування затвора.

Ще один новий шлях — інтеграція драйвера з пристроєм живлення або у вигляді одного драйвера спільного з ключем, або у вигляді напівмостового

елемента. Оскільки більшості пристроїв на основі SiC і GaN потрібні унікальні рівні напруги, що керує, та схеми, що складність можна відносно просто реалізувати в спільно корпусованому або інтегрованому продукті, що спростить завдання для розробників кінцевих продуктів у вигляді тих чи інших перетворювачів потужності або напруги. До того ж кожен пристрій може бути краще використаний і повною мірою, що, безсумнівно, призведе до більшої економії на вартості системи і втратах потужності, а також до прийняття широкозонних напівпровідникових пристроїв більшостю розробників.

Аналогічний підхід у вигляді системи в корпусі (SIP) із вбудованим драйвером затвора для напівмоста на основі SiC польових транзисторів (у каскодному виконанні) з опором каналу 35 мОм і робочою напругою 1 200 В було описано в попередніх статтях цієї серії [3, 4]. Варіанти таких пристроїв для поверхневого монтажу вже стають доступними від низки постачальників, і можна сказати, що ця тенденція, ймовірно, набере сили.

Вартість транзисторів на напівпровідниках із широкою забороненою зоною та блокувальною напругою 650 В зараз швидко падає. Очікується, що 650-В польові транзистори компанії UnitedSiC наблизяться до паритету цін із кремнієвими аналогами. Очікується, що поряд із простотою використання це прискорить поширення транзисторів із широкою забороненою зоною в блоках живлення для серверних і телекомунікаційних застосувань.

ВИСНОВОК

Пристрої SiC є досить перспективними кандидатами для покращення ефективності блоків живлення та застосувань, які працюють у сфері середньої та високої напруги — від напівпровідникових трансформаторів до електроприводів класу мегават, допоміжних систем живлення та твердотільних автоматичних вимикачів, від вузлів електромобілів та блоків живлення серверного та телекомунікаційного обладнання. Цією серією статей ми показали, як SiC МОН-транзистори загалом та Supercascode на основі SiC JFET зокрема пропонують досить переконливі переваги у високій продуктивності та спрощенні системи.

На цій, шостій статті, ми закінчуємо цей цикл, але не прощаємося з темою

використання карбід-кремнієвих транзисторів. Додаткову інформацію щодо SiC JFET у контексті, що розглядається, подано в презентації [11] та публікації [12].

Література:

1. Bhalla A. Are you SiC of Silicon? Part 6. www.powersystemsdesign.com/articles/are-you-sic-of-silicon-part-6/22/15156
2. Бхалла А., перевод: Рентюк В. Вы за SiC или кремний? Часть 1. Тенденции развития и проблемы применения SiC в приложениях // CHIP NEWS Украина. 2020. № 5.
3. Бхалла А., перевод и дополнения: Рентюк В. Вы за SiC или кремний? Часть 2. Современные тенденции применения SiC-устройств и технологии корпусирования // CHIP NEWS Украина. 2020. № 6.
4. Бхалла А., перевод и дополнения: Рентюк В. Вы за SiC или кремний? Часть 3: Тенденции в применении в SiC в электромобилях // CHIP NEWS Украина. 2020. № 7.
5. Бхалла А., перевод и дополнения: Рентюк В. Вы за SiC или кремний? Часть 4. Как создать лучшие тяговые инверторы для электромобиля? Ответ: использовать SiC! // CHIP NEWS Украина. 2021. № 2.
6. Бхалла А., перевод и дополнения: Рентюк В. Вы за SiC или кремний? Часть 5. SiC-транзисторы сверхвысокого рабочего напряжения и суперкасоды. // CHIP NEWS Украина. 2021. № 10.
7. Рентюк В. 5G и миллиметровые волны // СВЧ-электроника. 2019. № 4.
8. Йеман П. Компактные источники питания Power-on-Package от Vicor для процессорных микросхем // CHIP NEWS Украина. 2021. № 5.
9. Рентюк В. Системы питания и перспективы использования GaN в космических аппаратах. Часть 2: питание КА практические решения // Силовая электроника. 2020. № 1.
10. High-Performance SiC FETs. <https://www.qorvo.com/products/power-solutions/sic-fets>
11. Rocneanu C. SiC Cascodes and its advantages in power electronic applications. WBG Power Conference. Munich, 5th December 2017. <https://eepower.com/technical-articles/sic-cascodes-and-their-advantages-in-power-electronic-applications/#>
12. Losee P., Bhalla A. Versatile SiC JFETs Benefit Power Switching And Circuit Protection Applications. HOW2POWER TODAY. August 2019. www.how2power.com/newsletters/1908/index.html

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
sales@eic.com.ua
+38 044 33 44 575

Карбід-кремнієві компоненти компанії Microchip для промисловості, авіації та оборонної сфери

Джордж Уорд (George Ward), Microchip Technology Inc.

Переклад та редагування: Євген Тетерев, Віталій Шевченко, Rainbow Technologies,
E-mail: svl@rainbow.com.ua

Тенденції на світовому ринку електроніки показують, що компоненти на основі карбіду кремнію є найбільш актуальним напрямом розвитку сучасних силових напівпровідників. І в цьому випадку компанія Microchip Technology не тільки не поступається провідним світовим виробникам, але й демонструє свої суттєві переваги. Фірмовими рисами її продуктів є їхні відмінні масогабаритні показники, висока навантажувальна здатність, надійність роботи та стійкість до впливів навколишнього середовища. Ці якості дозволяють застосовувати компоненти виробництва компанії Microchip у всіх сегментах сучасного ринку: промисловості, транспорті, енергетиці, а також у таких специфічних галузях, як аерокосмічна та оборонна сфери.

Компанія Microchip Technology є найбільшим постачальником силових напівпровідників для аерокосмічної та оборонної промисловості США. В авіації силові компоненти Microchip використовуються з 1995 року. На цей час налічується близько 60 тис. виробів, що експлуатуються на борту військових та цивільних літаків. Це, в основному, напівпровідникові модулі

та збірки, сертифіковані на відповідність вимогам системи керування якістю AS9100. Вони працюють у складі блоків та систем керування, систем кондиціонування повітря, генерації та розподілу електроенергії, в трансформаторно-випрямних блоках.

У військовій та оборонній сферах Microchip також має значну кількість різноманітних доробок. Силові дис-

кретні елементи та модулі Microchip знайшли своє місце у складі військових кораблів, радіолокаційних установок, броньованих бойових машин і ракетних систем. Робота в цьому напрямі триває. Зокрема, нещодавно кілька карбід-кремнієвих модулів Microchip успішно пройшли тестові випробування для використання у складі великої системи протиракетної оборони.

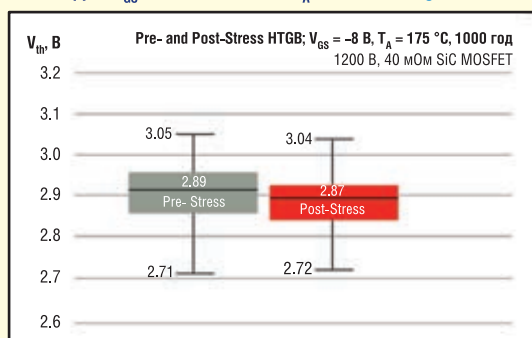
ВІДМІННІ РИСИ КАРБІД-КРЕМНІЄВИХ КОМПОНЕНТІВ MICROCHIP

Розглянемо детальніше основні конструктивні особливості карбід-кремнієвих виробів Microchip, які забезпечують їм високу якість і надійність.

Цілісність оксидної плівки затвора

За результатами прискорених випробувань на знос, оксидна плівка MOSFET-транзисторів Microchip може

Напруга: $V_{GS} = -8$ В, 1000 год за $T_A = 175$ °C | Change: -0.02 В



Напруга: $V_{GS} = 20$ В, 1000 год за $T_A = 175$ °C | Change: +0.06 В

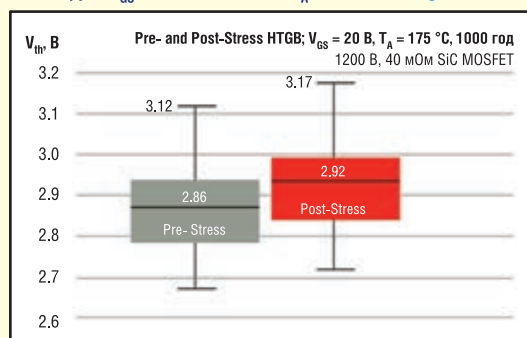


Рис. 1. Результати випробувань транзистора з номінальною напругою 1200 В та внутрішнім опором 40 мОм методом високотемпературного зміщення затвора HTGB (HighTemperature Gate Bias)

працювати більше 100 років, забезпечуючи протягом цього терміну стабільну порогову напругу.

На рисунку 1 представлені результати випробувань транзистора з номінальною напругою 1200 В та внутрішнім опором 40 методом високотемпературного зміщення затвора HTGB (*High Temperature Gate Bias*). З графіків видно, що протягом випробувань порогова напруга транзистора показала високу стабільність і змінилася не більше, ніж на 2% від початкового значення.

На рисунку 2 представлені результати випробувань того ж транзистора, при яких оксидна плівка затвора прискорено виводилася з ладу підвищеною температурою і напруженістю електричного поля. Ці дані дозволили розрахувати граничний термін служби оксидної плівки, який при рекомендованій напрузі затвора (20 В) становить більше 100 років.

Надійність внутрішнього зворотного діода у складі MOSFET-транзисторів

На відміну від деяких конкурентних аналогів, цей діод не схильний до деградації. Тому його можна використовувати в силовій схемі замість зовнішніх зворотних діодів, що дає велику економію коштів.

На рисунку 3 показані результати випробувань зворотних діодів у складі карбід-кремнієвого транзистора Microchip (1200 В, 80 мОм) і ще двох аналогічних транзисторів від основних конкурентних виробників.

Випробування проводились Університетом штату Огайо. Зворотні діоди піддавалися прямому зміщенню протягом тривалого періоду часу: 10, 20 і 100 годин. Після проведення випробувань зворотний діод компанії Microchip практично не мав деградації. Його вольтамперні характеристики показані на рисунку 3в і з них видно, що крива, знята до випробувань, практично збігається з кривою після випробувань. Випробування зворотного діода від першого конкурента показали 20-відсоткову деградацію, відповідні характеристики представлені на рисунку 3а. Зворотний діод від другого конкурента став цілком непридатний до використання (рис. 3б).

Стійкість до лавинного пробою

Карбід-кремнієві MOSFET-транзистори Microchip зберігають працездатність після 100 000 імпульсів перенапруги, що виникають під час проведення тестів на відключення нефіксованого індуктивного навантаження UIS (*Unclamped Inductive Switching Test*).

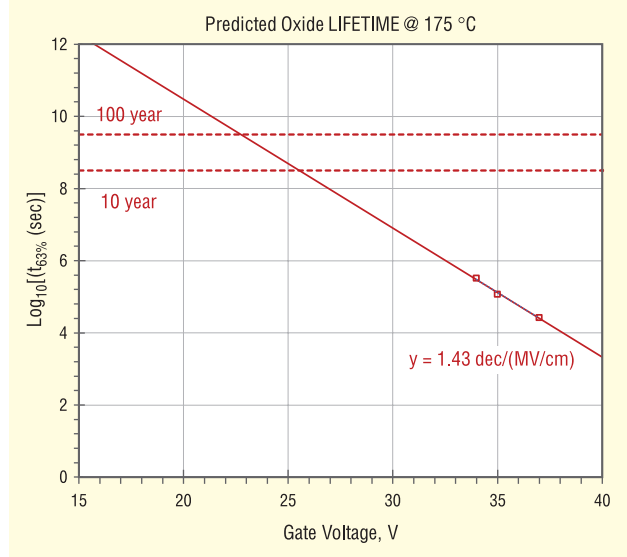


Рис. 2. Результати випробувань того ж транзистора (транзистора з номінальною напругою 1200 В та внутрішнім опором 40 мОм), при яких оксидна плівка затвора прискорено виводилася з ладу підвищеною температурою і напруженістю електричного поля

На рисунку 4 показані результати порівняльних випробувань карбід-кремнієвих транзисторів Microchip та ще трьох конкурентних компаній. Всі транзистори випробовувалися за методом TDDB (*Time Dependent Dielectric Breakdown*), після цього піддавалися численним тестам UIS (100 000 циклів) і знову проходили тест TDDB. Як видно з графіків, після UIS-тестів транзистори Microchip не тільки зберегли працездатність, але й витримали вдвічі більший час до пробою оксидної плівки, ніж конкурентні зразки (70 с проти 30 с у конкурентів).

Стабільність внутрішнього опору транзистора в умовах підвищення температури

За високої температури (близько 175 °C) транзистори компанії Microchip мають найбільш низький внутрішній опір у порівнянні з конкурентними аналогами (рис. 5).

Це пояснюється тим, що вони менше піддаються впливу температури і збільшується лише у 1.45 раз порівняно з «холодним» значенням. У той же час, у конкурентних транзисторів коефіцієнт зростання становить від 1.7 до 1.85.

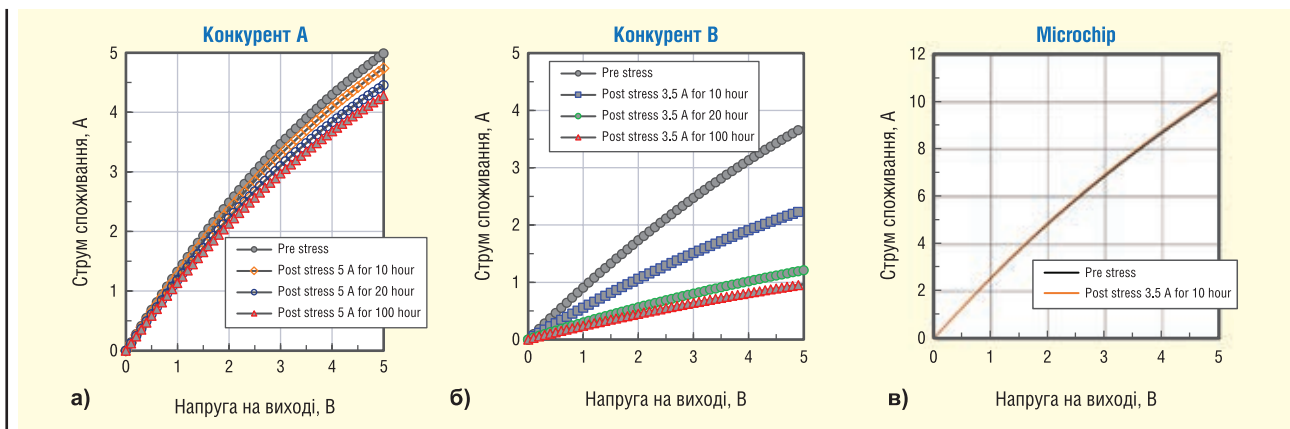


Рис. 3. Результати випробувань зворотних діодів у складі карбід-кремнієвого транзистора Microchip (1200 В, 80 мОм) і ще двох аналогічних транзисторів від основних конкурентних виробників

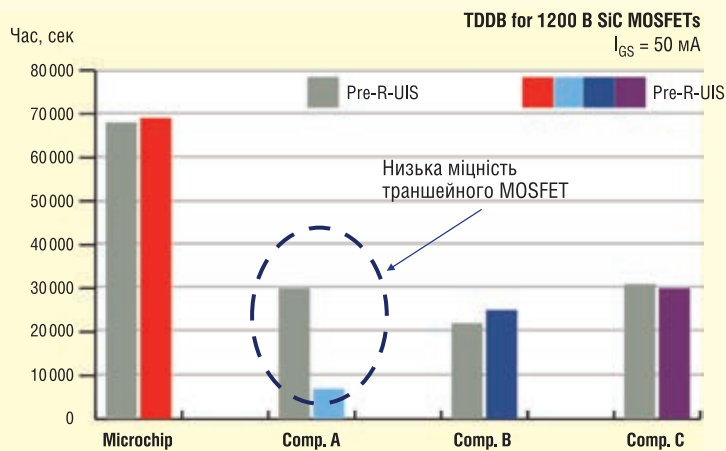


Рис. 4. Результати порівняльних випробувань карбід-кремнієвих транзисторів Microchip та ще трьох конкурентних компаній

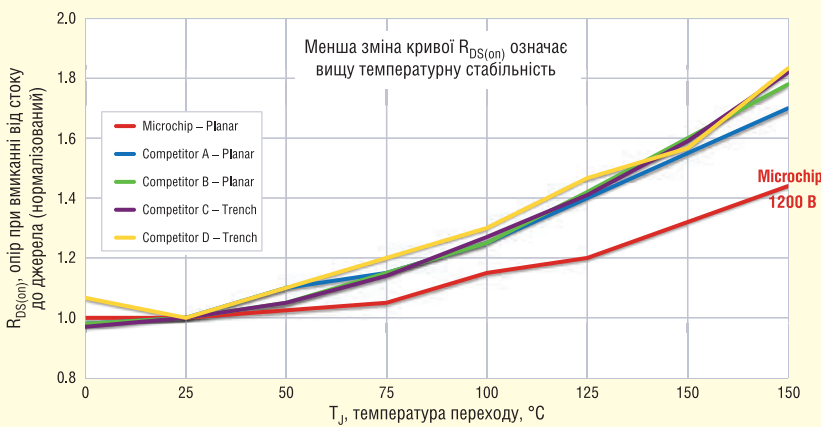


Рис. 5. Порівняння транзисторів Microchip з конкурентними аналогами а високої температури (близько 175 °C)

Стабільність та передбачуваність характеристик короткого замикання

Характеристики КЗ у карбід-кремнієвих польових транзисторів Microchip подібні до характеристик IGBT-транзис-

торів, що значно полегшує проектування схеми і при правильному налаштуванні захисту підвищує надійність кінцевого виробу.

На рисунку 6 показані результати випробувань одного з транзисторів

Microchip (700 В, 35 мОм) в режимі короткого замикання. Ці графіки показують допустимий час роботи транзистора в режимі КЗ в залежності від напруги затвора. Графік на рисунку 6а знятий за напруги «стік-витік», що дорівнює 350 В — це становить половину від номінального значення (700 В). З нього видно, що за номінальної напруги затвора (20 В) транзистор витримує в режимі КЗ 10 мікросекунд, що є подібним до характеристик IGBT-аналогів. На графіку на рисунку 6б показано найгірший випадок. Тут за напруги 560 В (80% від номінальної) час витримки становить 3 мікросекунди, що також є достатнім для спрацьовування захистів.

ДИСКРЕТНІ СИЛОВІ КЛЮЧІ

Портфоліо дискретних карбід-кремнієвих елементів Microchip включає MOSFET-транзистори та діоди Шотткі (див. табл. 1, 2).

MOSFET-транзистори випускаються в корпусах TO-247 для монтажу в отвори, D3PAK для поверхневого монтажу, модульних корпусах SOT-227, а також у вигляді «голих» кристалів. Корпуси TO-247 пропонуються в 3- та 4-вивідному виконанні. Останнє має додатковий вивід, який називається відводом Кельвіна. Він дозволяє більш точно керувати транзистором, що в результаті знижує втрати на перемикання та підвищує ККД перетворювача.

У класі напруги 700 В випускаються транзистори з внутрішнім опором від 90 до 15 мОм, що відповідає номінальному постійному струму 28–140 А за температури 25 °C. Для класу 1200 В діапазон $R_{DS(on)}$ становить 360...17 мОм

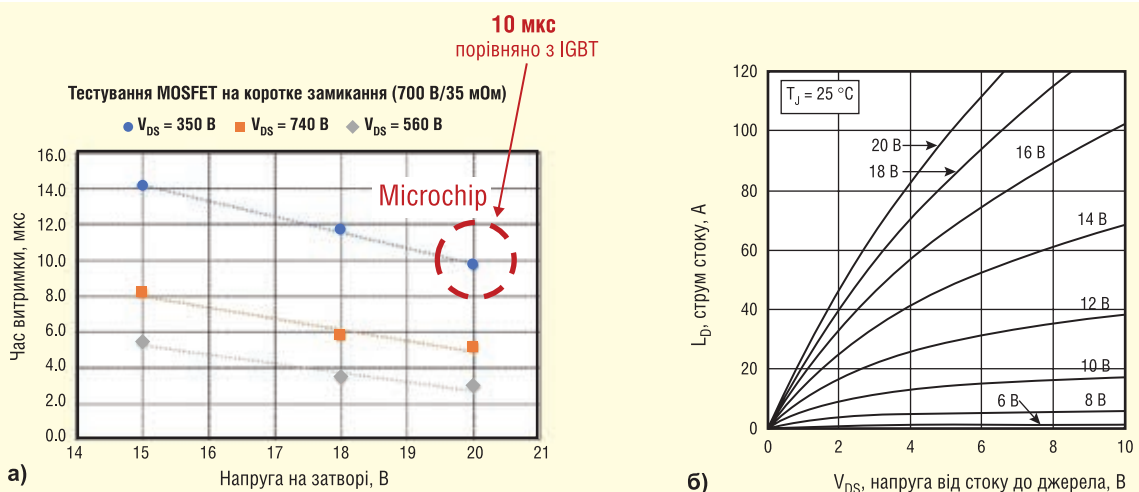


Рис. 6. Результати випробувань одного з транзисторів Microchip (700 В, 35 мОм) в режимі короткого замикання

	0	20	40	60	80	100	120	140	160
600 В	Field Stop		Power MOS 8™ PT						
	Power MOS 8 NPT								
650 В	Power MOS 8 NPT								
900 В	Power MOS 8 PT								
1 200 В	Field Stop		Power MOS 7™ PT						
	Power MOS 8 NPT								
	Power MOS 8 NPT								

Примітка. Наведені діапазони частот є типовими для IGBT на 50 А. Для отримання додаткової інформації дивіться графік залежності максимальної частоти від струму в технічному паспорті виробу.

Серія	Номинальна напруга	Особливості	Застосування	Коментар
D	200, 300, 400, 600, 1000, 1200	Середній Vf Середня швидкість	Діод вільного ходу Вихідний випрямляч DC-DC перетворювач	Власний платиновий процес
DQ	600, 1000, 1200	Висока швидкість Лавиностійкий	PFC Діод з вільним ходом DC-DC перетворювач	Ступінчастий EPI покращує плавність ходу Власний платиновий процес
Шотткі	200	Низький Vf Лавиностійкий	Вихідний випрямляч Вільнокерований діод DC-DC перетворювач	
SiC Шотткі	700, 1200, 1700, 3300	Нульове зворотне відновлення	PFC Вільнокерований діод DC-DC перетворювач	Низькі втрати на перемикання, висока густина потужності та високотемпературна робота

№	Найменування	Тип	V _{DS} (VR), В	R _{DS(on)} , мОм	IF, А	Корпус
1	MSC400SMA330	MOSFET	3300	400	–	TO-247-4L, кристал
2	MSC080SMA330	MOSFET	3300	80	–	TO-247-4L, кристал
3	MSC025SMA330	MOSFET	3300	25	–	TO-247-4L, кристал
4	MSC030SDA330	Діод Шотткі	3300	–	30	TO-247-2L, кристал
5	MSC090SDA330	Діод Шотткі	3300	–	90	T-MAX, кристал

(11–113 А), а для 1700 В — 750...35 мОм (7–68 А). SiC MOSFET транзистори компанії Microchip можна знайти на сайті [за цим посиланням](#).

Діоди Шотткі пропонуються в корпусах TO-247, TO-220, T-MAX (монтаж в отвори), D3PAK (поверхневий монтаж), SOT-227 (модульне виконання) та у вигляді «голих» кристалів. Для класів напруги 700, 1200 і 1700 В випускаються одиночні діоди з номінальним постійним струмом від 10 до 50 А за температури 135 °С. Крім цього для класів напруги 700–1200 В та струмів 30–100 А виробляються 2-діодні збірки: із загальним катодом (корпус TO-247) або «паралель/анти-паралель» (корпус SOT-227). Карбід-кремнієві діоди Microchip можна знайти на сайті Microchip [за цим посиланням](#).

Карбід-кремнієві MOSFET-транзистори та діоди Шотткі на 3300 В слід виділити окремо, оскільки вони відносяться до останніх розробок Microchip. Лінійка транзисторів включає пристрої з внутрішнім опором до 25 мОм, що є найнижчим показником серед кон-

курентних аналогів і відповідає номінальному постійному струму 104 А за температури 25 °С. У лінійці діодів пропонуються пристрої на струм до 90 А, що також є найвищим показником серед конкурентів. Карбід-кремнієві транзистори та діоди на 3300 В наведено в таблиці 3. Натиснувши на найменування відповідного компонента можна перейти до його опису на сайті компанії Microchip.

Далі буде

Більш детальну інформацію можна отримати, звернувшись до офіційного дистриб'ютора Microchip Technology на території України — компанії Rainbow Technologies:

**04112, Україна,
м. Київ, вул. Дегтярівська, 62,
оф. 46,
тел./факс: (044) 290-41-69,
(044) 290-41-82,
e-mail: svl@rainbow.com.ua,
www.rainbow.com.ua**

РОЗШИРЕННЯ АСОРТИМЕНТУ ПОСЛІДОВНОЇ SRAM-ПАМ'ЯТІ

Щоб задовольнити загальну потребу клієнтів у більшій та швидшій пам'яті SRAM, компанія Microchip Technology розширила лінійку продуктів Serial SRAM, включивши в неї більшу ємність до 4 Мб та збільшивши швидкість послідовного периферійного інтерфейсу/послідовного інтерфейсу вводу/виводу SPI/SQI™ (Serial Peripheral Interface/Serial Quad I/O™) до 143 МГц. Пристрої ємністю у 2 та 4 Мб розроблені як дешевша альтернатива традиційній паралельній SRAM-пам'яті та мають додаткову схему перемикання на резервне живлення від батареї для збереження даних у разі зникнення живлення.

На відміну від паралельної оперативної пам'яті, яка вимагає великих корпусів і щонайменше 26–35 входів/виходів мікроконтролера (MCU) для інтерфейсу, пристрої послідовної пам'яті Microchip випускаються в дешевших 8-контактних корпусах і використовують високошвидкісну шину зв'язку SPI/SQI, яка вимагає лише 4–6 виводів вводу/виводу мікроконтролера для легкої інтеграції. Це зменшує потребу в дорожчому мікроконтролері з великою кількістю виводів і допомагає мінімізувати загальну площу плати.

Усуваючи найпоширеніший недолік послідовної SRAM — паралельна пам'ять швидша за послідовну — пристрої послідовної SRAM на 2 і 4 Мб збільшили швидкість шини до 143 МГц за допомогою опціонального чотирибітного інтерфейсу SPI (4 біти за такт), що значно мінімізує розрив у швидкості між рішеннями.

«Послідовна SRAM є популярним рішенням для інженерів, яким потрібно більше оперативної пам'яті, ніж доступно на борту мікроконтролера, але які прагнуть зменшити вартість і загальний розмір плати», — говорить Джефф Лізер (Jeff Leasure), директор підрозділу продуктів пам'яті компанії Microchip.

Малогабаритні, малопотужні, високопродуктивні пристрої SRAM мають необмежену витривалість і нульовий час запису, що робить їх чудовим вибором для застосувань, пов'язаних з безперервною передачею даних, буферизацією, реєстрацією даних, вимірюванням та іншими функціями, що вимагають великих обчислень і великих обсягів даних.

www.microchip.com

Нові рішення для безпеки, живлення та АЦП від Analog Devices

У статті йде мова про нові рішення для широкого кола застосувань от компанії Analog Devices, американського виробника та розробника інтегральних мікросхем для обробки аналогових, цифрових та змішаних сигналів.

Компанія CEA пропонує своїм клієнтам широку номенклатуру товарів виробництва Analog Devices зі складу в Києві, які застосовуються на різних кінцевих ринках промислової, автомобільної, побутової та комунікаційної сфери. Ознайомитись з каталогом товарів можна на сайті Компанії CEA.

AD-SYNCHRONA14-EBZ

AD-SYNCHRONA14-EBZ (рис. 1) є ідеальним автономним пристроєм для оцінки і створення прототипів додатків, які потребують високоточного джерела тактового сигналу з регулюванням частоти і фази. Він розроблений на базі Analog Devices AD9545 і HMC7044 і значно спрощує розподіл тактової частоти і багатоканальну синхронізацію в складних системах. Пристрій призначений для використання кваліфікованими фахівцями в лабораторних умовах і не є кінцевим продуктом для комерційного використання. Він може бути використаний як повноцінний еталонний проект і адаптований відповідно до потреб кінцевого споживача. AD-SYNCHRONA14-EBZ поставляється в механічному форм-факторі 1U. Він використовує популярні промислові роз'єми SMA і TwinAX, до яких більшість лабораторій вже мають необхідні кабелі.

Завдяки внутрішньому ОСХО пристрій може працювати в автономному режимі або живитися від зовнішніх джерел, таких як три окремих високошвидкісних диференціальних тактових входи, опорна частота 10 МГц і 1PPS. Ця гнучкість в поєднанні з можливістю вибору будь-якого з внутрішніх варіантів VCXO на 100 або 122.88 МГц дає практично необмежений вибір потрібної частоти тої точності, необхідної для широкого спектра областей застосування.

Застосування:

- високоточний розподіл опорного сигналу;
- системи з тактовою частотою від одного джерела;
- тактова частота, отримана від 100 або 122.88 МГц;
- системи фазованих антенних решіток, радары, радіолокатори, супутникові системи, SDR;
- стендове обладнання та дистанційне керування.

MAX31331

Годинник реального часу (RTC) MAX31331 (рис. 2) з наднизьким енергоспоживанням — це годинник, який споживає номінальний струм 65 нА, що подовжує термін служби батареї. MAX31331 підтримує широкий спектр кристалів на 32.768 кГц. Можна використовувати кристали з будь-якими характеристиками ємнісного навантаження (CL), що розширює набір кристалів, придатних для цього пристрою. Доступ до пристрою здійснюється через послідовний інтерфейс I²C. Пристрій також має вивід резервного живлення (VBAT) і автоматично перемикається на резервне живлення (VBAT), коли напруга основного живлення (VCC) падає нижче запрограмованої порогової напруги і напруги резервного живлення (VBAT).

Інші функції включають два будильники за часом доби, виходи переривань, програмований прямокутний вихід, вхід виявлення подій з міткою часу і механізм тайм-ауту послідовної шини. 32-байтовий регістр мітки часу виконує подвійну функцію оперативної пам'яті. Пристрій має цифровий вхід триггера Шмітта (DIN), який можна використовувати для запису міток часу та/або генерування переривання на передньому/задньому фронті сигналу DIN. Годинник/календар надає інформацію про секунди, хвилини, години, день, місяць, рік і дату. Для субсекундної роздільної здатності мітки часу доступний регістр 1/128 секунди. Дата в кінці місяця автоматично коригується для місяців, що мають менше 31 дня, включаючи поправку на високосний рік. Годинник працює в форматі 24/24/12 годин.

MAX31331 доступний у 12-контактному корпусі WLP розміром 1.66 мм × 1.26 мм з кроком 0.4 мм, що не містить



Рис. 1. AD-SYNCHRONA14-EBZ



Рис. 2. MAX31331

свинцю (Pb) і відповідає вимогам директиви RoHS, а також у 10-контактному корпусі TDFN розміром 3 мм x 3 мм.

Пристрій підтримує розширений температурний діапазон від -40 до +85 °C.

MAX31331 знаходить застосування в медицині, портативних приладах, телематиці, промисловості та IoT.

LT8355-1

LT8355-1 (рис. 3) — це двоканальний DC/DC-контролер, призначений для керування двома ланцюжками сильно-струмових світлодіодів. Архітектура з фіксованою частотою та струмовим режимом забезпечує стабільну роботу в широкому діапазоні напруг живлення та вихідних напруг. Виводи зворотного зв'язку за напругою слугують входами для декількох функцій захисту світлодіодів і дозволяють перетворювачам працювати як джерела постійної напруги.

LT8355-1 вимірює вихідний струм на високій або низькій стороні навантаження. Сукупність входів CTRL2 і IADJ2 забезпечує аналогове програмування вихідного струму для каналу 2. Вихідний струм каналу 1 програмується через вхід CTRL1. ШІМ-вхід і драйвер PWMТG з високим рівнем PMOS забезпечують можливість точного регулювання яскравості світлодіодів в залежності від часу. При керуванні зовнішнім цифровим сигналом ШІМ-вхід забезпечує коефіцієнт дімування світлодіодів до 20 000:1 при частоті 100 Гц. При керуванні постійною напругою ШІМ-вхід вибирає один з 128 внутрішньо згенерованих точних, експоненціально розподілених коефіцієнтів дімування в діапазоні від 0.78 до 100%.



Рис. 3. LT8355-1

Застосування:

- високовольтні світлодіоди;
- автомобільні фари/ходові вогні;
- точні стабілізатори напруги з обмеженням струму.

LTM4652

LTM4652 (рис. 4) — це джерело/приймач з подвійним ± 25 А або одинарним ± 50 А вихідним режимом перемикання, понижуючий DC/DC μ Module® (мікромодульний) регулятор з сумарною похибкою $\pm 1.5\%$ по виходу постійного струму. У комплект поставки входять контролери перемикання, силові MOSFET, котушки індуктивності та всі допоміжні компоненти. Працюючи в діапазоні вхідної напруги від 4.5 до 18 В, LTM4652 підтримує два виходи з діапазоном вихідної напруги від 0.6 до 7.5 В, кожен з яких задається одним зовнішнім

MW MEAN WELL

650Вт / 1200Вт
Надійний, Модульний
і Конфігуруємий Індустріальний
Блок Живлення

Серії NMP

- Кілька виходів DC для живлення окремих пристроїв в обладнанні
 - модуль з одним виходом: 5В / 12В / 24В / 48В
 - модуль з двома виходами: 5-30В / 5-30В
- Можливість паралельного включення модулів для навантажень із високим енергоспоживанням
- Тонкий розмір 1U для розміщення в обмеженому за висотою просторі всередині обладнання

Компанія SEA — авторизований дистриб'ютор MEAN WELL на території України

Україна, 02094, м. Київ, вул. Краківська, 13-Б
 тел./факс: +38 044 330-00-88
 info@sea.com.ua, www.sea.com.ua



Рис. 4. LTM4652

резистором. Його високоефективна конструкція забезпечує безперервний струм до ± 25 А на кожному виході. Потрібно лише кілька вхідних і вихідних конденсаторів. Регульована компенсація контуру керування забезпечує швидку перехідну характеристику для мінімізації вихідної ємності при живленні FPGA, ASIC і процесорів.

Функції захисту від несправностей включають захист від перенапруги на вході і виході та двонаправлений захист від перевантаження по струму. LTM4652 пропонується в корпусі BGA розміром 16 мм × 16 мм × 4.92 мм.

Застосування:

- випробувальні та вимірювальні прилади;
- телекомунікаційне та мережеве обладнання;
- промислове обладнання.

ADG1412L

ADG1412L (рис. 5) — це монолітний комплементарний металоксидний напівпровідниковий пристрій, що містить чотири перемикачі, які можна вибирати незалежно один від одного, виготовлений за технологією iCMOS®. Промисловий CMOS (iCMOS) — це модульний виробничий процес, що поєднує високовольтні CMOS та біполярні технології. Профіль опору увімкнення є плоским у всьому діапазоні аналогових вхідних сигналів, що забезпечує чудову лінійність і низький рівень спотворень (типовий 1.5 Ом) при комутації сигналів.

ADG1412L містить чотири незалежні SPST-перемикачі, які вмикаються за допомогою Logic 1. Кожен перемикач однаково добре проводить в обох напрямках, коли він увімкнений, і має діапазон вхідного сигналу, який поширюється на джерела живлення. У вимкненому стані рівень сигналу до джерел живлення блокується. Зовнішнє джерело живлення V_L забезпечує гнучкість для управління нижчими рівнями логіки. ADG1412L сумісний зі стандартом JEDEC на 1.2 і 1.8 В.

Основні характеристики:

- 2.6 Ω максимальний опір при перегріванні;
- мінімальні спотворення;
- V_L живлення для сумісності з низьким логічним рівнем;
- сумісність зі стандартом JEDEC для логічних рівнів 1.2 і 1.8 В;
- гарантоване вимкнення, коли цифрові входи «плавають»;
- 24-вивідні, 4 мм × 4 мм LFCSP.

Застосування:

- автоматизоване випробувальне обладнання;
- системи збору даних, системи зв'язку;
- системи з живленням від батарейок;
- системи відбору і утримання зразків;
- системи FPGA і мікроконтролерів;
- маршрутизація аудіосигналів та відеосигналів;
- заміна реле.



Рис. 5. ADG1412L

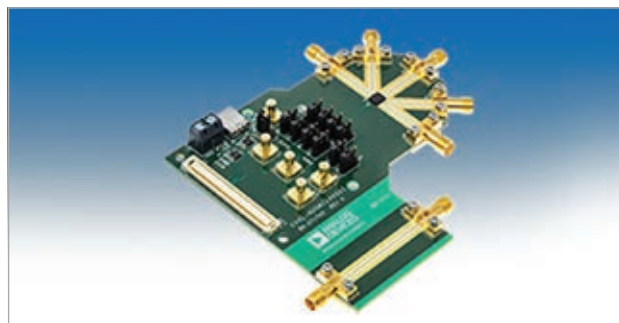


Рис. 6. ADGM1144

ADGM1144

ADGM1144 (рис. 6) — це ширококутовий однополюсний перемикач з чотирма перемиканнями (SP4T), виготовлений з використанням технології перемикання на основі мікроелектромеханічної системи (MEMS) компанії Analog Devices, Inc. Ця технологія забезпечує малий форм-фактор, широку радіочастотну смугу пропускання, високолінійний перемикач з низькими втратами, який працює до 0 Гц/DC, що робить його ідеальним рішенням для широкого спектру радіочастотного та прецизійного обладнання, яке потребує комутації.

Інтегрована мікросхема драйвера генерує високу напругу для електростатичного перемикача, яким можна керувати за допомогою паралельного інтерфейсу і послідовного периферійного інтерфейсу (SPI). Всі чотири перемикачі можна контролювати незалежно. Пристрій упаковано в 24-вивідний корпус розміром 5 мм × 4 мм × 1.0 мм (LGA).

ADGM1144 має вбудовані резистори 10 МОм, необхідні для уникнення «плаваючих» вузлів. Наявність цих вбудованих резисторів 10 МОм економить місце на платі та усуває плаваючі вузли на комутаторі.

Застосування:

- навантажувальні та вимірювальні плати автоматичного випробувального обладнання;
- постійний струм з високошвидкісним цифровим тестуванням;
- заміна реле;
- радіочастотні випробувальні прилади;
- АТЕ: радіочастотні, цифрові та змішані сигнали;
- радіочастотний бездротовий зв'язок
- високопродуктивна радіочастотна комутація.

Для того щоб придбати електронні компоненти або отримати кваліфіковану консультацію, зверніться в офіс Компанії SEA:
тел.: +38 (044) 330-00-88,
e-mail: info@sea.com.ua

Удосконалені акселерометри зі штучним інтелектом підвищують продуктивність та ефективність додатків

Два нових акселерометри від STMicroelectronics оснащені вдосконаленими процесорами, які збільшують автономію датчика, що дозволяє хост-системі швидше реагувати на зовнішні події, знижуючи енергоспоживання.

Акселерометри LIS2DUX12 та LIS2DUXS12 (рис. 1) пропонують нові програмовані можливості, включаючи ядро машинного навчання (MLC), вдосконалений кінцевий автомат (FSM) та вдосконалений крокомір. Фільтр згладжування для високої точності за низьких частот дискретизації покращує продуктивність таких додатків, як виявлення жестів, при незначному впливі на енергоспоживання.

Інтегрований MLC у LIS2DUX12 та LIS2DUXS12 дозволяє алгоритмам штучного інтелекту (ШІ) виконувати надійне виявлення активності, у той час як FSM покращує розпізнавання руху. Разом вони забезпечують автономну обробку в датчику, знімаючи навантаження обробки даних з хоста. Це призводить до зниження енергоспоживання та швидшого відгуку системи.

Крім того, за рахунок можливості адаптивного самоналаштування для підвищення продуктивності акселерометри самостійно налаштовують свої параметри, такі як діапазон вимірювання та частота.

LIS2DUXS12 оснащений каналом ST Qvar®, який дозволяє датчику відстежувати зміни у навколишньому електро-

статичному середовищі. Ця можливість дозволяє розробникам підвищити цінність таких додатків, як керування інтерфейсом користувача і виявлення рідини. У додатках з інтерфейсом користувача Qvar у поєднанні з сигналом прискорення усуває можливість помилкового спрацювання в подіях з двома і кількома дотиками.

Нові акселерометри підтримують ST MEMS GitHub, що полегшує розгортання коду для розпізнавання складних жестів, відстеження активів та багатьох інших варіантів використання.

Третій новий акселерометр початкового рівня LIS2DU12 також доступний для менш вимогливих додатків. Він має напругу живлення від 1.62 до 3.6 В із наднизьким енергоспоживанням. Програмований діапазон повної шкали становить ± 2 г/ ± 4 г/ ± 8 г/ ± 16 г з шумом

В портфелі Компанії CEA представлена широка номенклатура товарів виробництва STMicroelectronics. Ознайомитись із повним переліком товарів можна на сайті CEA.

220 мкг/ $\sqrt{\text{Гц}}$. Частота вихідних даних — до 800 Гц. У LIS2DU12 є високошвидкісний інтерфейс цифрового виводу I²C/SPI/MIPI I³C. Він має також удосконалений крокомір, детектор кроків та лічильник кроків.

Застосовується LIS2DU12 в портативних пристроях, бездротових стереодинаміках та навушниках, смартфонах, слухових апаратах, ігрових контролерах, розумних годинниках, трекарах активів, роботизованій техніці та IoT-пристроях.

Для того щоб придбати електронні компоненти або отримати кваліфіковану консультацію, зверніться в офіс Компанії CEA: тел.: +38 (044) 330-00-88, e-mail: info@sea.com.ua CN

КОМПЛЕКСНЕ РІШЕННЯ ДЛЯ МОНІТОРИНГУ ЯКОСТІ ПОВІТРЯ В ПРИМІЩЕННІ

SEN55 від Sensirion — універсальне сенсорне рішення для вимірювання параметрів навколишнього середовища, що впливають на якість повітря, таких як тверді частинки, леткі органічні сполуки, окислювальні гази (включаючи оксиди азоту), відносна вологість і температура. SEN55 має вбудовані алгоритми для перетворення сигналів вимірювання параметрів газу в корисну інформацію. Виходи через інтерфейс I²C SEN55 включають індекс VOC та NO_x (від 0 до 500), а також вимірюються частинки PM1.0, PM2.5, PM4 і PM10 з точністю $\pm 10\%$. Датчик також вимірює відносну вологість з точністю до $\pm 4.5\%$ і температуру в діапазоні від -10 до $+50$ °C. Розміри SEN55 складають 52.8 мм x 43.6 мм x 22.3 мм. Ці характеристики датчика дозволяють легко інтегрувати його в різні програми для вимірювання якості повітря. Дослідження показують, що вимірювання якості повітря в приміщеннях та впровадження таких заходів, як інтелектуальна вентиляція для очищення забрудненого повітря, може призвести до покращення когнітивних здібностей, зниження передачі хвороб повітряно-крапельним шляхом і зниження рівня передчасної смерті.

Для того щоб придбати електронні компоненти або отримати кваліфіковану консультацію, зверніться в офіс Компанії CEA за телефоном +38 (044) 330-00-88 або по e-mail: info@sea.com.ua.



Рис. 1. Зовнішній вигляд LIS2DUX12 та LIS2DUXS12

4G LTE vs 5G: боротьба із занепадом мереж 2G і 3G

Крейг Міллер (Craig Miller), Дразен Дрініч (Drazen Drinic), u-blox

У цій статті ми пропонуємо рекомендації щодо того, як найкраще впоратися з неминучим занепадом мереж 2G і 3G на світанку ери 5G. Розвіявши поширені помилкові уявлення про технології 4G LTE і 5G, ми окреслили шляхи міграції для типових прикладних застосувань.

Після кількох десятиліть роботи 2G, запущений у 1991 році, та 3G, запущений у 2001 році, відходять у минуле. Їх поступове відключення змушує компанії, чий пристрій покладається на ці застарілі технології, переходити на нові, кращі рішення.

В умовах, коли 4G LTE наближається до свого піку, а 5G набирає обертів, боротьба із занепадом 2G і 3G представляє дилему не тільки для компанії, чий наявні продукти зазнають впливу, але й для тих, хто розробляє нові продукти для Інтернету речей: Чи повинні вони розробляти свої рішення на основі технології 4G LTE, чи їм слід відмовитися від 4G LTE і замість цього зосередити свої зусилля на впровадженні 5G?

«СОНЦЕ СІДАЄ»

Після кількох десятиліть роботи 2G, і 3G, відходять у минуле. Друге та третє покоління стандартів стільникового зв'язку, визначених 3GPP (*3rd Generation Partnership Project*), які ще продовжують забезпечувати основу бездротового зв'язку для величезної кількості застосувань Інтернету речей, фактично поступово перестають функціонувати на деяких великих ринках. Поступове припинення їх використання знаменує собою серйозний технологічний переворот, який вже впливає на компанії та споживачів по всьому світу.

Поступове відключення є побічним продуктом технологічного прогресу. На зміну 2G і 3G приходять набагато потужніші технології з погляду смуги пропускання, пропускної здатності, ме-

режевих затримок, надійності та енергоспоживання. Наприклад, 4G LTE, на яку сьогодні припадає більшість підключень до глобальних мереж стільникового зв'язку, представлена в різних варіантах зі специфікаціями, пристосованими до більшості випадків використання. Тим часом 5G, останнє покоління технології стільникового зв'язку, розширює свій вплив, поширюючись з міських центрів у менш густонаселені райони.

Ця технологічна «зміна караулу» ставить перед компаніями низку дилем:

- Компанії, які залежать від мереж 2G і 3G для бездротової передачі даних у хмару, стоять перед вибором: чи варто їм модернізувати своє обладнання, щоб використовувати зв'язок 4G LTE, чи краще відмовитися від 4G LTE і зосередити свої зусилля на інтеграції технології 5G?
- Аналогічно, ті, хто має намір скористатися потенціалом Інтернету речей, повинні зважити всі «за» і «проти» інтеграції зрілої технології, яка, як вони побоюються, наближається до свого піку (4G LTE), а не чекати на новітню і найкращу технологію, яку вони бачили в заголовках газет протягом останніх років (5G).

У цій статті ми запропонуємо рекомендації щодо того, як найкраще впоратися з неминучим занепадом мереж 2G і 3G в контексті розвитку мереж 5G. Спочатку ми розглянемо широке застосування технологій стільникового зв'язку в сфері Інтернету речей (IoT) — від 2G до 5G. Далі ми розглянемо, які регіони будуть зачеплені «заходом сонця» 2G і 3G і коли. Нарешті, ми запропонуємо наші рекомендації щодо того,

як створювати перспективні рішення, пристосовані до потреб — і вимог до довговічності — Інтернету речей.

4G LTE VS 5G: ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ЛАНДШАФТ РУХАЄТЬСЯ ВПЕРЕД

Ключовим моментом у планах операторів мобільного зв'язку (ОМС) щодо закриття мереж 2G і 3G є наявність більш досконалих альтернатив. Іншими словами, якщо мережі 4G LTE будуть недоступні, а оператори, ймовірно, втраять бізнес через передчасне закриття застарілих мереж, вони будуть обережними в цьому питанні. Як наслідок, всюди, де 2G і 3G будуть поступово виведені з експлуатації, їх замінять набагато ефективніші технології з урахуванням смуги пропускання, пропускної здатності, мережевих затримок, надійності та енергоспоживання.

4G LTE, на який сьогодні припадає більшість підключень до глобальних мереж стільникового зв'язку, доступний у кількох варіантах, що пропонують специфікації, пристосовані до різних сценаріїв використання: LTE Cat 1 і вище (LTE Cat 4, LTE Cat 6...) забезпечують більшу пропуску здатність при більшому енергоспоживанні. На іншому кінці спектра — широкосмугові мережі з низьким енергоспоживанням (LPWA), зокрема LTE-M і NB-IoT, що забезпечують зв'язок з низькою пропуску здатністю і низьким енергоспоживанням з широким покриттям.

Водночас 5G збільшує свій вплив, поступово поширюючись від центрів міст до менш густонаселених районів. Поточні специфікації були визначені в 3GPP Rel 15 і 16, щоб забезпечити широкий спектр застосувань, що характеризуються поєднанням розширеного мобільного широкосмугового зв'язку (eMBB з надвисокою пропуску здатністю), наднадійного зв'язку з низькою затримкою (URLLC) і масового зв'язку

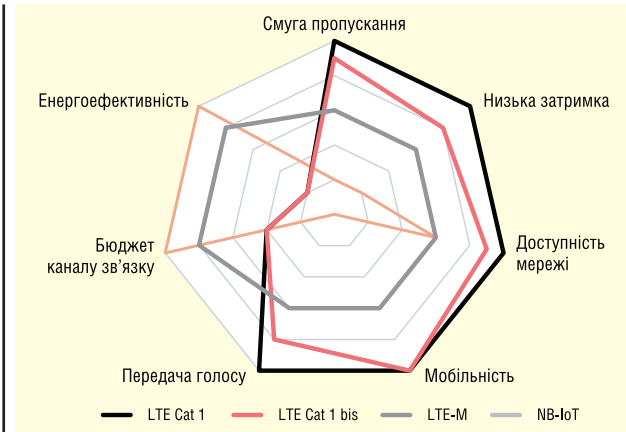


Рис. 1. Порівняння варіантів технологій стільникового зв'язку

машинного типу (mMTC з низьким енергоспоживанням і пропускнуою здатністю, а також високою щільністю пристроїв).

Основне функціональне перекриття між 4G LTE і 5G для типових застосувань Інтернету речей відбувається між технологіями LPWA 4G LTE і масовим зв'язком машинного типу 5G. Тому вибір між цими варіантами буде головним завданням для технічних директорів підприємств, що впроваджують IoT. Це рішення, яке на перший погляд здається складним, але при найближчому розгляді має чітку раціональну відповідь: з огляду на те, що LTE-M і NB-IoT включені в специфікацію 5G, вони, по суті, вже є технологіями 5G.

Для застосувань із середньою швидкістю передачі даних, що використовують LTE Cat 1 або Cat 4, перехід до 5G ще попереду. Оптимальна специфікація 5G, NR RedCap, яка забезпечує золоту середину (середня швидкість, мобільність, передача голосу, функціональність), ще не завершена. Відповідно до типових термінів розробки та впровадження, це означає, що пристрої з'являться приблизно з 2025 року, а обсяги масового ринку можуть бути досягнуті не раніше 2030 року. LTE Cat 1 підтримується його двоюрідним братом, LTE Cat 1bis, більш доступною, але обмеженою за продуктивністю версією LTE Cat 1, що використовує одну приймальну антену. Для належного впровадження LTE Cat 1bis також потрібна мережева підтримка, наприклад, більш потужна низхідна лінія зв'язку, але мало хто з операторів впровадив такі функції.

Порівняння варіантів технологій стільникового зв'язку наведено на рисунку 1.

КОЛИ Й ДЕ ВІДБУДЕТЬСЯ «ЗАХІД СОНЦЯ» 2G I 3G

На картах, наведених на рисунках 2 і 3, позначені країни, в яких принаймні один оператор вже припинив або оприлюднив плани щодо відходу технологій 2G або 3G до 2025 року.

В Америці «захід сонця» 2G/3G сильно розділився по півкулях. У Північній Америці, де мережі 4G LTE поширені повсюди, а 5G швидко розширює свій вплив на мобільний і фіксований широкосмуговий доступ, мережі 2G і 3G практично вже майже не функціонують. Тим часом у Південній Америці, де 4G LTE все ще має менше покриття, ніж 2G, і де широкосмугові мережі з низьким енергоспоживанням доступні лише в ізольованих регіонах, технології 2G і, меншою мірою, 3G залишатимуться широкодоступними в найближчому майбутньому, принаймні в деяких мережах.

У регіоні EMEA, де існує значний застарілий ринок 2G IoT, мережі 3G виводять або майже вивели з експлуатації, тоді як «захід сонця» 2G буде відсунутий на 2025–2030 роки або пізніше на багатьох ринках. Оскільки покриття LPWA не настільки поширене, як у США, оператори не в змозі забезпечити своїм клієнтам безперешкодний перехід на LTE-M або NB-IoT. Як наслідок, 2G залишиться необхідним резервним варіантом для IoT, а LTE Cat 1 і LTE Cat 1b — основною перехідною технологією для застарілих пристроїв 2G і 3G. Тим часом передача голосу через LTE (VoLTE) замінить послуги, що надаються за допомогою голосу 3G, зменшуючи потребу в підтримці послуг 3G.

В Азійсько-Тихоокеанському регіоні оператори мобільного зв'язку значною мірою прискорюють відхід від технології 2G. При цьому величезна база застарілих систем 2G IoT сповільнить перехід на таких ринках, як Індія. Оскільки деякі оператори все ще значною мірою покладаються на 3G для надання послуг щодо передачі голосу, підтримка 4G VoLTE відіграватиме вирішальну роль у визначенні термінів припинення використання 3G. Відхід від 2G і 3G буде виглядати по-різному в різних країнах, залежно від вибору оператора. У Китаї, наприклад, основна увага буде зосереджена на NB-IoT і LTE Cat 1bis, тоді як Японія підтримуватиме LTE-M і LTE Cat 1.

ПЕРЕКОНЛИВІ АРГУМЕНТИ НА КОРИСТЬ 4G LTE

При прийнятті рішення про міграцію програмного забезпечення Інтернету речей із застарілих мереж 2G/3G на

Сантиметрова точність GNSS

тепер доступна для бюджетних програм, проста і швидка реалізація

Перевірена ринком високоточна GNSS система:

- 1) NEO-F9P і ZED-F9P – новітні приймачі GNSS HPG
 - ⊗ провідна технологія u-blox: запатентовані алгоритми та чипсети
 - ⊗ вбудована підтримка виправлень PointPerfect
 - ⊗ рівень захисту: 95% впевненості в позиціонуванні
 - ⊗ ZED-F9P: версія з IMU (гіроскоп, акселерометр)
- 2) PointPerfect – система корекції
 - ⊗ надійна, економічна та зручна у використанні
 - ⊗ завантаження через Інтернет або супутник

Сфери застосування:

БПЛА

Тягарілля

Автомобільна промисловість

Важкі машини-будівництво

Складські роботи

Спеціальні призначення

COMPETENCE & RELIABILITY

WWW.MICRODIS.NET
Роман Прокопеч – менеджер з продажу (067) 475-81-86 Roman.Prokopets@microdis.net



Рис. 2. Країни, де принаймні один оператор оголосив про відмову від 2G до 2025 року



Рис. 3. Країни, де принаймні один оператор оголосив про відмову від 3G до 2025 року

технології 4G LTE або 5G необхідно враховувати багато факторів. Ключові серед них: продуктивність, доступність, покриття та довговічність.

З причин, викладених вище, рішення, що вимагають підключення LPWA, будуть чудово обслуговуватися готівими до 5G мережами LTE-M і NB-IoT (залежно від наявності цих мереж на цільових ринках). І як ми бачимо, для рішень з вищими вимогами до пропускну здатності 4G LTE (LTE Cat 1, LTE

Cat 4) є настільки ж сильним аргументом, як і 4G LTE.

Що стосується продуктивності, то рішення 4G LTE і 5G являють собою значне покращення порівняно з технологіями стільникового зв'язку 2G і 3G. Це справедливо за всіма параметрами: досяжним покриттям, автономністю живлення, пропускну здатністю, затримкою, надійністю тощо.

У той час як мережева інфраструктура 4G є розвинутою і широко роз-

горнута в Північній Америці, Європі, Близькому Сході та частині Азіатсько-Тихоокеанського регіону, а 5G mMTC у вигляді LTE-M і NB-IoT є достатньо розвинутою в деяких регіонах, таких як Північна Америка і частини Європи, Близького Сходу і Азії, до широкого впровадження 5G NR RedCap ще багато років.

Прогнози компанії Ericsson вказують на те, що до 2026 року впровадження 5G все ще відставатиме від 4G LTE. Очевидно, що настане день, коли 5G випередить 4G LTE за кількістю абонентів у світі. Навіть коли це станеться, протягом наступного десятиліття на землі, ймовірно, не залишиться жодного місця, де пристрої зможуть спілкуватися за допомогою 5G без можливості підключення до мережі 4G LTE.

Що підводить нас до довговічності. Якщо минуле — це пролог, то технології стільникового зв'язку існують набагато довше, ніж пристрої, які вони з'єднують. Технологія 2G, запущена в 1991 році, зазнала перших відключень через 25 років після першого запуску, і сьогодні на неї припадає близько 15% світового зв'язку. 3G, який був запущений на заміну 2G, проіснував 21 рік до перших відключень і сьогодні забезпечує 28% глобального зв'язку.

На 4G LTE, запущений у 2010 році на заміну 3G, припадає близько 59% сьогоdnішніх глобальних підключень, і очікується, що цей показник продовжуватиме поки що зростати. Кількість відключень 4G LTE, оголошених на сьогодні: нуль. Технології також не загрожує її наступник: 5G був запущений у 2019 році з чіткою метою доповнити, а не замінити 4G LTE.

Отже, ми вважаємо, що можна з упевненістю сказати, що 4G LTE готовий до розгортання вже сьогодні, і що він буде впроваджуватися в найближчому майбутньому.

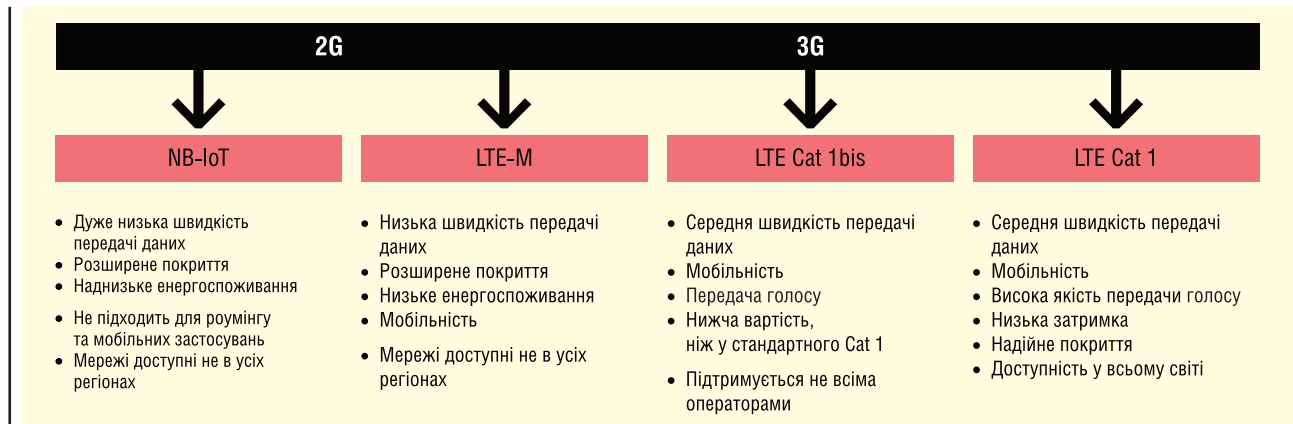


Рис. 4. Порівняння різних варіантів технологій для заміни 2G або 3G

ПРАВИЛЬНИЙ ВИБІР

Тепер, коли ми з'ясували, що LTE Cat 1 (в тому числі Cat 1bis), LTE-M і NB-IoT є раціональними технологічними альтернативами для пристроїв на тлі «заходу сонця» 2G/3G, який тип технології підійде для вашого конкретного застосування?

Оптимальний вибір технології завжди буде залежати від обмежень конкретного випадку використання. Щоб з'ясувати їх, потрібно поставити правильні запитання: Які вимоги до пропускної здатності, енергоспоживання, покриття (наприклад, у складних умовах) і затримок висуває застосування? Застосування є мобільним чи стаціонарним? Які вимоги щодо роумінгу між мережами або кордонами? Де він буде розгорнутий, які технології надають місцеві оператори мобільного зв'язку?

Визначаючи складність завдання, інформація, що наведена на рисунку 4 допоможе обрати відповідну точку для вивчення можливих шляхів міграції та їхніх переваг.

ПРИКЛАД З ТЕЛЕМАТИКИ

Телематична компанія виробляє бездротові пристрої для відстеження поведінки водіїв та керування автопарком. Компанія продає свою продукцію по всьому світу і має велику базу вбудованих 3G-модулів на ринках по всьому світу. У зв'язку з анонсованим відключенням 3G операторами в декількох країнах, вони мігрують на LTE Cat 1. Вони обрали LTE Cat 1 (з модулем u-blox LARA-R6) через його глобальну доступність і безперебійний роумінг між різними мережами. Це дозволило їм мінімізувати кількість SKU (Stock Keeping Unit), які потрібно розгорнути, спростивши логістику та забезпечивши достатній запас для всіх своїх ринків. Оскільки до цього часу у світі не оголошено про відмову від LTE, вони впевнені, що їхні телематичні модулі з легкістю відпрацюють запланований термін служби 10–15 років.

ПРИКЛАД ОБЛІКУ

У зв'язку з поетапною відмовою від 2G всіма американськими операторами, компанія, що займається вимірюваннями в США, повинна знайти рішення для заміни встановленого обладнання, що підключається до мереж 2G. Компанія обрала LTE-M (з модулем u-blox

Таблиця 1. Рішення компанії u-blox, що забезпечують надійну міграцію з технологій 2G і 3G на 4G LTE

	LTE Cat 1		LTE-M		NB-IoT
	LARA-R6	LENA-R8	SARA-R5	SARA-R4	SARA-N3
Розмір, мм	25 × 26	27 × 30	16 × 26	16 × 26	16 × 26
Категорія LTE	Cat 1	Cat 1	M1/NB2	M1/NB2	NB1
3G	•	–	–	–	–
2G	•	•	–	•	–
Рознесене приймання	•	–	Н/В	Н/В	Н/В
Інтегрована GNSS	–	•	•	•	–
VoLTE/CSFB (2G)	•	–	–	–	–
Сертифікація	Відповідність стандартам, нормативна, оператори мобільного зв'язку	Відповідність стандартам, нормативна	Відповідність стандартам, нормативна, оператори мобільного зв'язку	Відповідність стандартам, нормативна, оператори мобільного зв'язку	Відповідність стандартам, нормативна
Клас	Професійний	Стандартний	Професійний	Професійний	Професійний

Примітка. Н/В — не визначено.

SARA-R5), оскільки він легко доступний в США і відповідає їхнім технічним вимогам. Глибоке проникнення LTE-M в будівлі дозволяє їм розгорнути свої розумні лічильники в місцях, до яких раніше було б важко дістатися стільниковим сигналом. Низьке енергоспоживання LTE-M знижує вимоги до обслуговування, дозволяючи технічним фахівцям компанії зосередитися на інших завданнях. Тим часом, відносно низької швидкості передачі даних LTE-M більш ніж достатньо для передачі даних, які періодично знімаються. А оскільки LTE-M сумісний з 5G, тобто є частиною специфікації 5G, і сумісність буде збережена в міру розгортання мереж 5G, компанія може бути впевнена, що встановлене обладнання зможе належним чином підключатися до них.

ПІДСУМОК

Після кількох десятиліть роботи 2G, запущений у 1991 році, і 3G, запущений у 2001 році, відходять у минуле. Їх поступове вимкнення змушує компанію, чий пристрій покладаються на ці застарілі технології, мігрувати до нових, більш досконалих рішень.

В умовах, коли 4G LTE наближається до свого піку, а 5G набирає обертів, вирішення проблеми відмови від 2G і 3G є дилемою не лише для компаній, чий наявні продукти постраждають від цього, але й для тих, хто розробляє нові продукти Інтернету речей. Чи повинні вони розробляти свої рішення на основі технологій 4G LTE, чи їм слід відмовитися від 4G LTE і замість цього зосередити свої зусилля на інтеграції технологій 5G?

У цій статті ми показали, що, попри те, що ця дилема здається страшною,

на перший погляд, вона має чітку раціональну відповідь. По-перше, коли йдеться про сценарій використання, для яких найкраще підходять технології LPWA, компаніям не потрібно обирати: LTE-M і NB-IoT, які були випущені як технології 4G LTE, включені в специфікацію 5G, що робить їх сумісними з мережами 4G і 5G.

Ми також вважаємо, що для рішень, які потребують вищої пропускної здатності, можна розробити перспективні моделі, використовуючи LTE Cat 1, Cat 1bis і вище, враховуючи, що 4G LTE, швидше за все, залишиться ще принаймні на десятиліття. Крім того, оскільки 5G був запущений у 2019 році з чіткою метою доповнити, а не замінити 4G LTE, розумно припустити, що будь-яке місце, де є доступ до мережі 5G, в осяжному майбутньому буде також покрите мережею 4G.

Нарешті, ми пропонуємо рекомендації щодо вибору правильної технології для модернізації наявних або створення нових продуктів.

РІШЕННЯ ВІД U-BLOX

Компанія u-blox пропонує широкий спектр рішень, що забезпечують надійну міграцію з технологій 2G і 3G на 4G LTE для всіх світових ринків і типів застосувань (табл 1).

Додаткову інформацію щодо продукції компанії u-blox, можна отримати у її офіційного дистриб'ютора в Україні — компанії Мікродіс Електронікс ГмбХ:

тел.: (067) 475-81-86,
Roman.Prokopets@microdis.net,
www.microdis.net

CN

Використання наявної інфраструктури для однопарного Ethernet (SPE)

Збереження енергії, ресурсів та матеріалів

Міхаель Радау (Michael Radau), Phoenix Contact GmbH & Co. KG
E-mail: ua-office@phoenixcontact.com

Щоб зберегти низький екологічний слід будівлі протягом усього її життєвого циклу (особливо це стосується готових будівель), варто уважно вивчати наявні кабелі (рис. 1). Але в якій мірі наявна інфраструктура автоматизації будівлі може бути повторно використана для однопарного Ethernet (SPE)?

Компанія Phoenix Contact вивчила це питання і провела тестування різних типів кабелів, які використовуються в автоматизації будівель. В ході дослідження було проведено порівняння технічно значущих розмірів кабелів з граничними значеннями згідно зі стандартами ISO/IEC 11801-3, IEEE 802.3cg та IEEE 802.3da. Крім того, було досліджено якість передачі сигналу по кабелях різної довжини з використанням параметрів оцінки цілісності сигналу.

ВИЗНАЧЕННЯ ТИПІВ КАБЕЛІВ

В автоматизації будівель в Європі, особливо в Німеччині, широко використовується протокол KNX. Кабелі типу J-Y(ST) Y 2x2x0,8 застосовуються для передачі сигналів шини в системах будівлі. Оскільки ці кабелі також підходять для передачі вимірних значень як кабелі контрольно-вимірювальної технології MCR в енергетичних установках або при обробці технологічних даних, вони використовую-

ються в технологіях підтримки комфортних параметрів приміщення (HVAC) для передачі даних протоколів Modbus або BACnet через інтерфейс RS-485.

Іншим типом кабелю, що часто використовується, є перемичка типу YV 2x0.8/1.4, також відома як провід для продзвонювання. Це витий подвійний провід, який застосовується для з'єднань «точка-точка» і не потребує передачі великої потужності або обсягу даних.

Ми дослідили ці два типи кабелів різної довжини та у різних схемах з'єднання, щоб дійти висновку щодо їх повторного використання для з'єднань SPE, зважаючи на їх широке застосування.

ВИБІР ВИМІРЮВАНИХ ЗМІННИХ І МЕТОДІВ ВИМІРЮВАННЯ

Для проведення практичних вимірювань кабелів використовувався польовий тестер Fluke DSX 8000 з адаптером для однопарного Ethernet (SPE). Такі польові вимірювальні пристрої застосовуються для перевірки кабелів Ethernet і тестування патч-кабелів. На відміну від цього, порівняльні вимірювання проводилися за допомогою векторного мережевого аналізатора (VNA) ZNBT від RONDE & SCHWARZ.

Кабелі з хорошими властивостями передачі відповідають необхідним граничним значенням для зворотних втрат (RL), внесених втрат (IL) і втрат поперечного перетворення (TCL). Крім того, важливим значенням є постійний імпеданс кабелю. Його можна визначити за допомогою рефлектометрії в часовій області (TDR).

Кабелі для проведення вимірювань були підготовлені за допомогою роз'є-



Рис. 1. Передаточна функція



Рис. 2. Роз'єм SPE-T1-CIM-SF зі швидким з'єднанням IDC придатний для перетинів кабелю від 0.14 до 0.5 мм

му Phoenix Contact SPE-T1-CIM-SF, який забезпечує швидке і просте підключення до адаптерів SPE у вимірювальних пристроях (рис. 2).

ДОСЛІДЖЕННЯ РЕАЛІСТИЧНИХ КАБЕЛЬНИХ СТРУКТУР

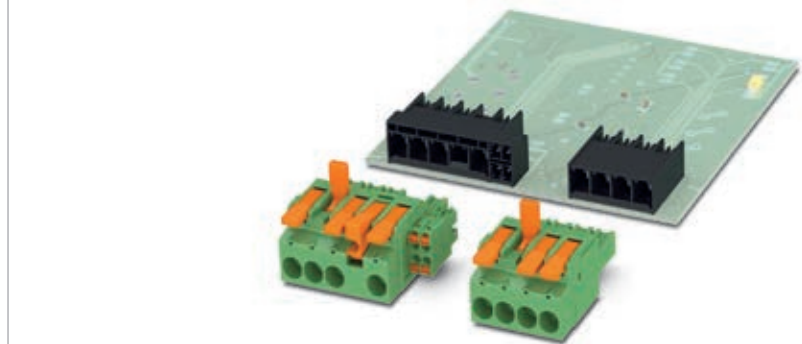
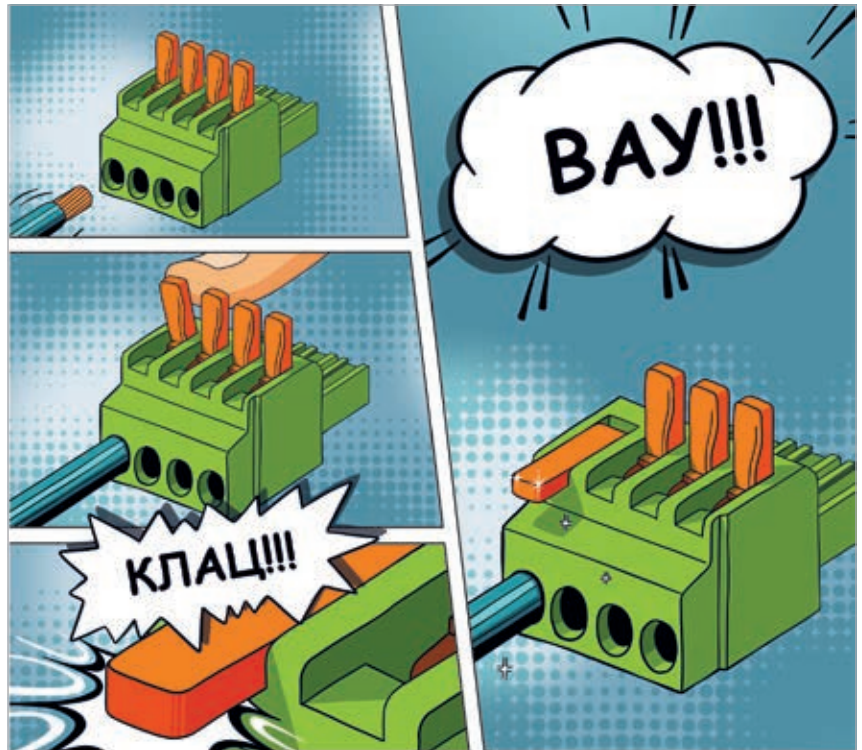
При повторному використанні наявної інфраструктури магістралі шини можуть бути присутні невідомі топології. Демонтаж прокладених кабелів може бути неможливим або надто дорогим. У таких випадках наявні прокладки кабелів часто залишаються недоторканими. Шлях передачі має відгалуження, які можуть мати різну довжину.

Як приклад було розглянуто T-подібну схему прокладки магістралі, яка складається з головного кабелю та відгалужень різної довжини (рис. 3).

Оцінка результатів вимірювань показала, що короткі сегменти кабелю і, зокрема, нетерміновані кінці кабелю виявилися проблематичними. Довгі кабелі та кабелі, терміновані з кабельним імпедансом, показали значення зворотних втрат (RL), які вказують на те, що вони можуть бути використані для передачі однопарного Ethernet (SPE).

ДОСЛІДЖЕННЯ НА ОСНОВІ СИГНАЛІВ

Для визначення максимальних протяжностей однопарного Ethernet (SPE) в магістралі шини KNX та перемичці використовувалися дві оціночні плати для вимірювання співвідношення сигнал/шум (SNR) та максимальної абсолютної похибки слайсера.



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 мм² без використання інструменту.

За додатковою інформацією, звертайтеся:

ТОВ "Фенікс Контакт"

(044) 594 55 22

www.phoenixcontact.com/uk-ua/

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



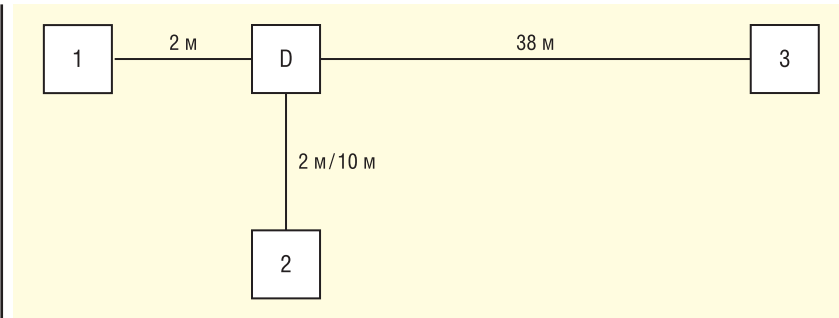


Рис. 3. Т-подібне кабельне розведення, що складається з магістральної лінії та відгалужень різної довжини

Для магістралі шини KNX була досягнута максимальна дальність передачі 420 м з мінімальним співвідношенням сигнал/шум (SNR) 30.1 дБ і максимальною абсолютною похибкою слайсера 0.15. Для перемички зі значенням співвідношення сигнал/шум (SNR) трохи менше ніж 27.6 дБ і максимальною

абсолютною похибкою слайсера 0.19 була досягнута максимальна дальність передачі 910 м (рис. 4, 5).

Граничне значення співвідношення сигнал/шум (SNR) для двох плат становить 20.5 дБ. Вище цієї межі цілісність сигналу стає настільки низькою, що зв'язок є неможливим. Оскільки обидві плати були

налаштовані на автоматичне узгодження, цілком логічно, що це налаштування також впливає на дальність зв'язку.

ПІДСУМОК

Ступінь, до якого наявна інфраструктура магістралі шини може бути повторно використана для передачі однопарного Ethernet (SPE), залежить від різних факторів. З одного боку, для зручності використання наявна топологія має вирішальне значення. Якщо шляхи передачі мають відгалуження, якщо це можливо, їх слід видалити. Якщо це неможливо або занадто складно, необхідно, щоб вільний кінець кабелю був термінований. Імпеданс кабелю має значний вплив на дальність дії та на відбиття сигналів, що передаються. Що ближче імпеданс кабелю до 100 Ом, необхідних для SPE, то менше потужності втрачається на відбиття. Хоча імпеданс магістралі шини KNX становить 75 Ом, що значно нижче цільового значення, все одне було досягнуто дальності передачі понад 400 м.

Перед повторним використанням наявної інфраструктури для SPE, як правило, рекомендується перевірити кабелі за допомогою відповідного польового вимірювального пристрою. Це єдиний спосіб забезпечити можливість передачі SPE. Для коротких відстаней між двома пристроями основна увага повинна бути зосереджена на вимірюванні відбиття. Це полегшує оцінку впливу будь-якої відмінної топології або інших точок втручання. На великих відстанях обмежувальним фактором, як правило, є загасання сигналу. Канал можна використовувати, якщо граничні значення дотримуються.

Дослідження також показали, що використання можливе, навіть якщо нормативні граничні значення перевищені. Дуже ймовірно, що на практиці такі випадки трапляються частіше. Тому має сенс використовувати пристрої, сумісні з SPE, для перевірки якості сигналу за допомогою співвідношення сигнал/шум (SNR) і максимальної абсолютної похибки слайсера, за умови, що доступні пристрої, сумісні з SPE, це підтримують. Це дозволяє перевірити повторно використовувані канали на якість передачі та цілісність сигналу.

Більш детальна інформація за посиланням:
<https://www.phoenixcontact.com/uk-ua/teknolohiyi/single-pair-ethernet>

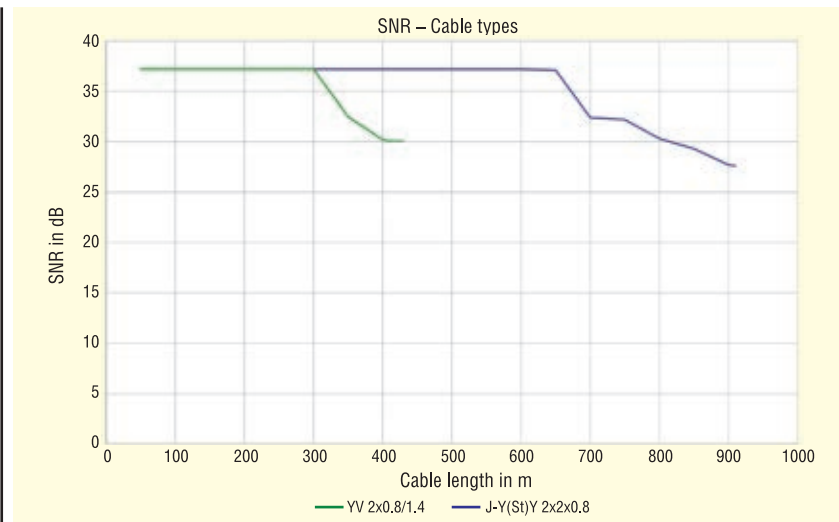


Рис. 4. Максимальна довжина магістралі шини KNX для перемички становить 420 м і 910 м

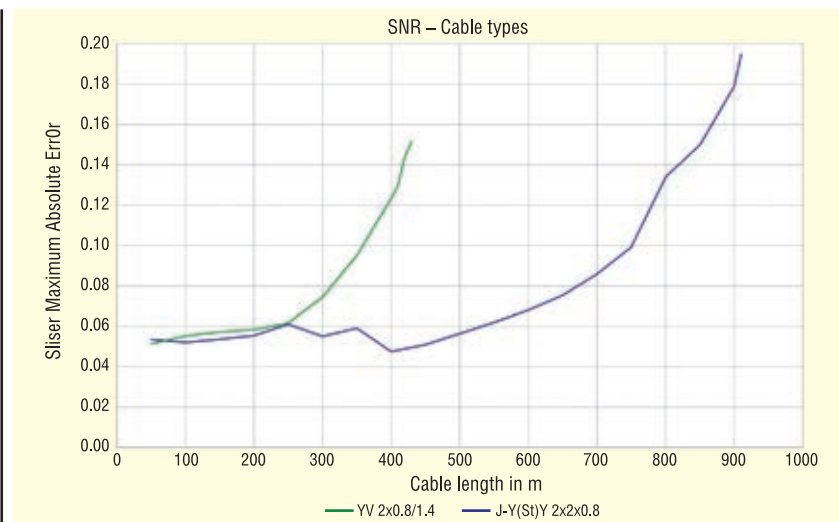


Рис. 5. Максимальна абсолютна похибка слайсера — це показник якості сигналу



Новий стандарт промислового зв'язку

Компанія Phoenix Contact представляє компактні приладові та кабельні з'єднувачі для SPE

Технологія SPE (Single Pair Ethernet або Однопарний Ethernet) призначена для паралельної високоефективної передачі даних і живлення Ethernet за допомогою лише одного двожильного провідника через Power over Data Line (PoDL).

Детальніше:
ТОВ "Фенікс Контакт"

<https://www.phoenixcontact.com/uk-ua/teknolohiyi/single-pair-ethernet>

Створені за технологією SOTB мікроконтролери Renesas працюють на енергії, яку отримують із навколишнього середовища

У статті описано переваги та особливості SOTB-технології та представлено мікроконтролер з її застосуванням — RE017 від компанії Renesas.

Після аварії на атомній станції Фукусіма за ініціативою японського уряду було засновано асоціацію LEAP (*Lowpower Electronics Association and Project*) для розроблення технології, що передбачає зниження споживання енергії в цілому ряді сфер застосування як на споживчому, так і на промисловому ринку Японії.

Однією з перших розробок у рамках цієї програми стала технологія, відома як SOTB (*Silicon On Thin Buried Oxide* — кремній на поглибленому оксидному шарі). Її було створено на основі технологічного процесу FD-SOI (*Fully Depleted Silicon on Isolator* — повністю збіднений кремній на ізоляторі), який наразі повсюдно використовують для випуску високопродуктивних систем на кристалі (*SoC, System on Chip*) і спеціалізованих мікросхем масового

призначення (*ASSP, Application Specific Standard Products*). Вироби, виконані за технологічним процесом FD-SOI, характеризуються високим рівнем інтеграції та високими тактовими частотами, у зв'язку з чим мають високий струм споживання ($I_{\text{потр}}$, МГц), і, як правило, у них відсутня вбудована пам'ять.

Технологію SOTB спеціально розробляли для створення мікроконтролерів із наднизьким енергоспоживанням, призначених для проектування високоєфективних рішень, що використовують енергію навколишнього середовища — наприклад, сонячну енергію, вібрацію, різницю тиску й температури. Такі МК можуть запропонувати, з одного боку, високу продуктивність і великий обсяг пам'яті, а з іншого — надзвичайно низькі рівні струму як в активному режимі, так і в режимі очікування, що є оптимальним для

застосування в пристроях, які отримують енергію з навколишнього середовища.

Більшість сучасних мікроконтролерів розробляють за допомогою КМОН-технології з роздільною здатністю менше ніж 40 нм (рис. 1). У цьому разі перевагою є можливість отримати МК з вищим рівнем інтеграції периферії, з великими обсягами флеш-пам'яті ємністю понад 2 Мбайт, що працюють з тактовою частотою понад 200 МГц. Оскільки активний струм перемикачів для таких технологій зазвичай дуже низький, приблизно 50–100 мкА/МГц, а струм витікання кожного затвора за таких малих розмірів дуже високий, це призводить до високих струмів у режимі очікування, що становлять 10–100 мкА. Для сфер застосування, де передбачені акумулятори або процес збору енергії з навколишнього середовища, мінімальні струми витікання, як і низькі струми в режимі очікування, стають найбільш важливими параметрами.

Технологія SOTB дає змогу розробляти мікроконтролери зі струмами в активному режимі менше ніж 20 мкА/МГц

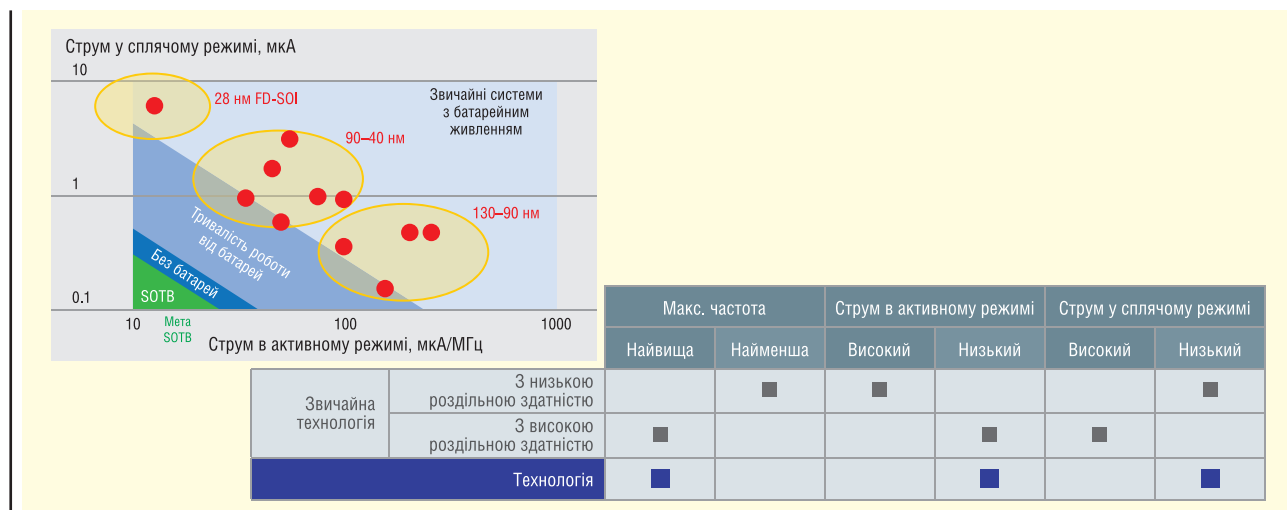


Рис. 1. Види технологій виробництва мікросхем із зазначенням струмів в активному режимі та струмів витікання

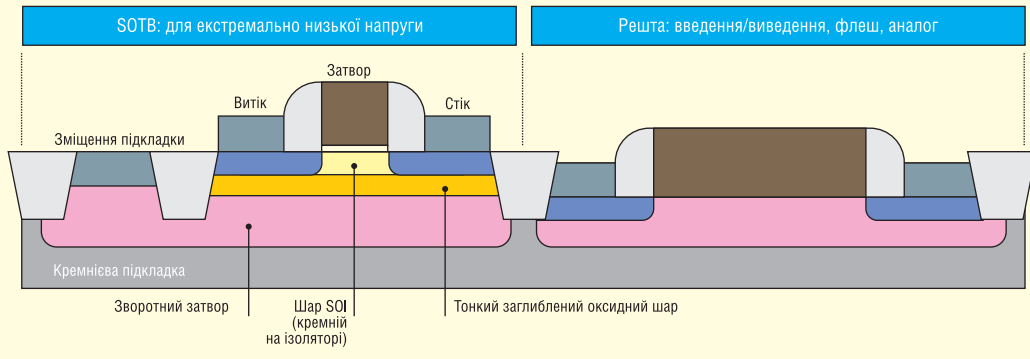


Рис. 2. Гібридна структура SOTB

і струмами витікання менше ніж 150 нА, а також із високою тактовою частотою та великим об'ємом вбудованої флеш-пам'яті та SRAM.

Одним із найважливіших досягнень є отримання гібридної кремнієвої структури, на якій можна поєднати переваги технології SOTB і стандартної технології на основі кремнію. Поява гібридної структури означає, що можна використовувати технологію SOTB для затворів CPU і периферійних пристроїв, і застосувати стандартні затвори на монокристалі кремнію для функцій введення/виведення і аналогових компонентів, де потрібна вища напруга. Тому розробники можуть без проблем працювати з цими мікроконтролерами, оскільки їхні електричні характеристики відповідають параметрам стандартних сучасних МК.

На рисунку 2 показано гібридну структуру SOTB і переваги конструкції затвора SOTB. У конструкції затворів традиційної КМОН-технології доводиться проводити легування каналу або вводити атоми домішок у кремній під час виробничого процесу. Дуже важко точно відстежити кількість атомів, вве-

дених у кожен затвор, це призводить до того, що порогові характеристики затворів можуть сильно відрізнятися по всьому МК. Особливо суттєві проблеми з'являються в тих процесах, де кількість атомів, що вводяться, надзвичайно мала (не більше сотні штук).

Вирішити цю проблему вдалося за допомогою бездомішкової конструкції каналу: характеристиками затвора можна керувати через надтонкий оксидний шар у затворі, який дуже добре контролюється і дуже точно відтворюється по всьому МК. Це означає, що відхилення між каналами значно менше, ніж у традиційній монокристалічній конструкції. Як буде показано, зниження варіативності між затворами з використанням SOTB дає змогу значно знизити робочу напругу, а отже, і енергію, необхідну для перемикання затворів, а також скоротити рівень шумів і, відповідно, збільшити продуктивність.

Тонкий шар SOI забезпечує додатковий захист від збоїв, викликаних високоенергетичними частинками (космічними променями), а тому частота збоїв програмного забезпечення на цих пристроях значно нижча.

На рисунку 3 показано ще одну перевагу технології SOTB, яка дає змогу подавати напругу з від'ємним зсувом до кожного затвора, що дає можливість керувати порогоми перемикання кожного затвора індивідуально або всіх затворів одночасно.

На рисунку 3 наведено порівняння SOTB і стандартної технології на монокристалі кремнію. Тут можна побачити конструкцію затвора SOTB з нижнім затвором, який використовується для керування витіканнями, шар SOI і бездомішковий канал, що дає змогу знизити варіативність і, отже, домогтися наднизьких струмів в активному режимі.

На графіку на рисунку 3 показано порогові значення напруг для затвора стандартної КМОН-технології та SOTB. Червона лінія відображає низку характеристик перемикання для технології на монокристалі кремнію. Тут можна побачити варіативність у порозі перемикання: затвори з найкращим легуванням перемикатимуться при значенні 0.3 В, у той час як затвори з найгіршим легуванням, у зв'язку з притаманною цій технології варіативністю, перемикатимуться десь у районі 0.7 В.

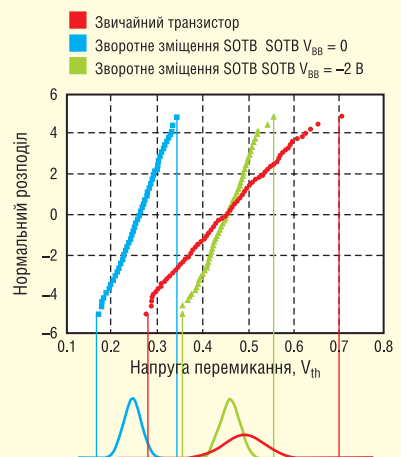
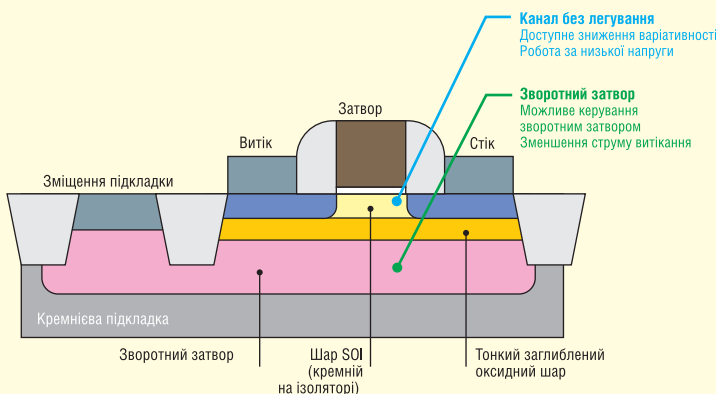


Рис. 3. Порівняння SOTB і стандартної КМОН-технології

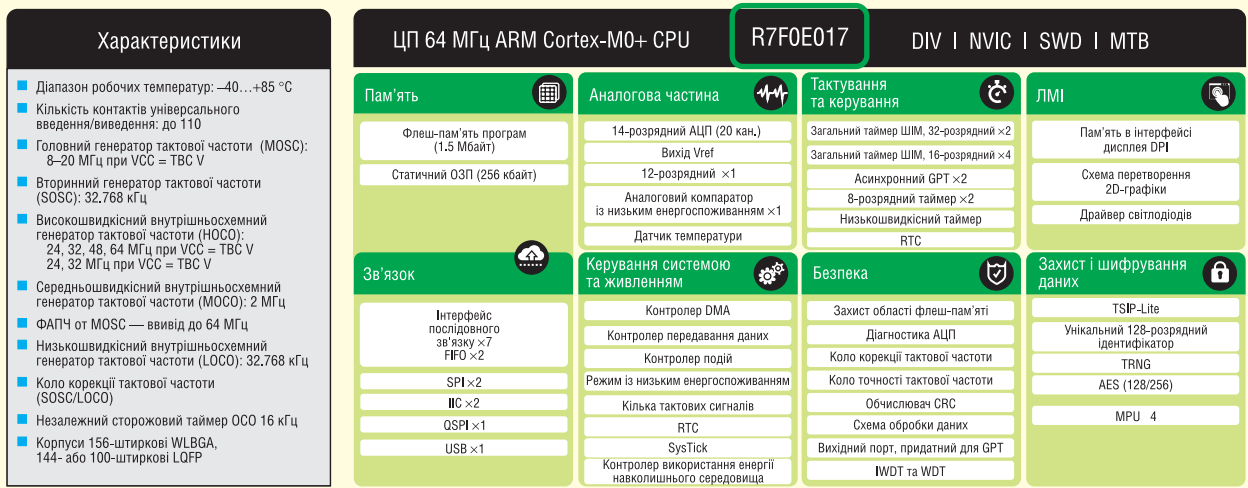


Рис. 4. Блок-схема RE017

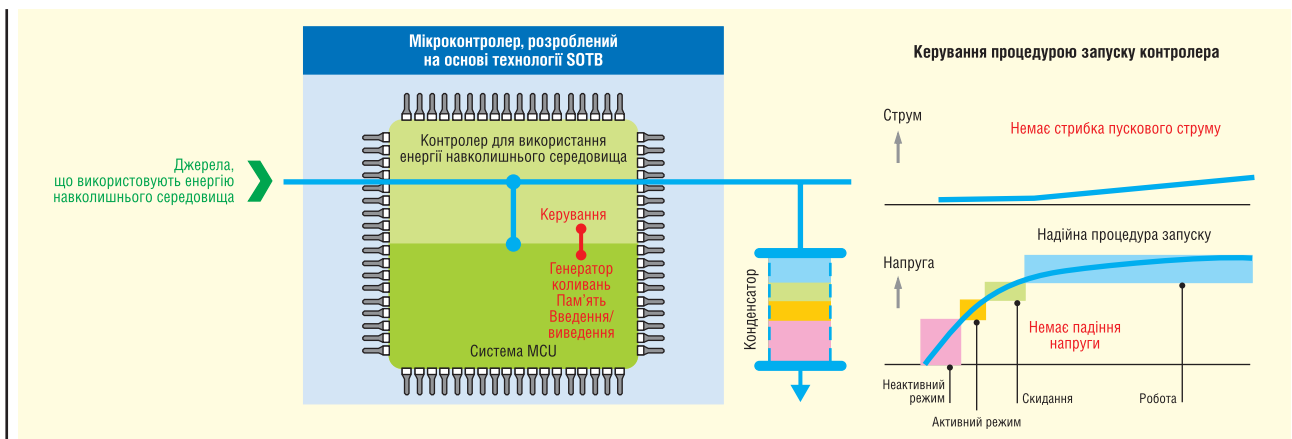


Рис. 5. Схема роботи RE017

Для точного реагування кожного затвора необхідно працювати на рівні напруги, що значно перевищує 1 В, що безпосередньо впливає на енергоспоживання пристрою. Синя лінія на рисунку 3 показує помітне зниження варіативності та вузький діапазон характеристик перемикачів. З пристроями на базі технології SOTB з'явилася можливість безпечно працювати з нижчими напругами, а кожен затвор функціонує правильно, забезпечуючи істотне зниження величини енергії, що споживається в активному режимі. Зелена лінія на рисунку 3 демонструє результат подачі напруги негативного зміщення. Тут можна ввести затвори в стан наднизького витоку струму, таким чином значно зменшуючи струм у режимі очікування.

Першим мікроконтролером корпорації Renesas, що виконаний із застосуванням технології SOTB, став RE017. Ним було започатковано лінійку мікроконтролерів RE сімейства Zero Energy. RE017 містить ядро Cortex M0+, що працює на тактовій частоті до 64 МГц, периферію з високим ступенем інтеграції, а також до 1.5 Мбайт флеш-пам'яті та 256 кбайт SRAM. Блок-схему мікроконтролера RE017 наведено на рисунку 4.

Мікроконтролери на базі технології SOTB мають відмінні характеристики низького енергоспоживання:

- струм в активному режимі: 20–35 мкА/МГц;
- струм у режимі очікування: 140 нА;
- АЦП у роботі: 4 мкА при 32 кГц;

- 256 кбайт SRAM зі струмом споживання 1 нА/кбайт у режимі очікування.

Мікроконтролер RE017 із флеш-пам'яттю великого об'єму та SRAM і наднизьким рівнем енергоспоживання є оптимальним для широкої низки застосувань, де акумулятор або інше джерело живлення не можна використовувати й енергія надходить від навколишнього середовища. Також існує можливість керувати зовнішніми акумуляторами або конденсаторами великої ємності для забезпечення резервованого електроживлення.

Під час розроблення пристроїв, що використовують енергію довкілля, одним із головних завдань є подання необхідного рівня струму в момент пуску (рис. 5). Найчастіше джерело живлення видає дуже малі струми, до того ж звичайний мікроконтролер під час пуску споживає значно вищий струм, тому для розв'язання цієї проблеми RE017 здатний керувати пусковим струмом, а також процесом запуску загалом.

RE017 від Renesas може працювати на цілій низці альтернативних джерел енергії, включно з сонячною енергією, вібрацією, різницею тисків і температури. Він здатний повністю керувати циклічною процедурою виходу з режиму очікування, використовуючи тільки наднизький струм від джерела, забезпечує внутрішній захист від стрибків пускового струму і може діяти на дуже низьких значеннях напруги, щоб уникнути збою під час запуску. Поєднання низького енергоспоживання, великого обсягу пам'яті, а також високої продуктивності дає змогу розробляти унікальні електронні пристрої.

- Провідний світовий виробник мікроконтролерів
- Щорічно поставляється 450 мільйонів мікросхем
- 20 років досвіду в розробці мікросхем

APM32 MCU  ARM Cortex  BLE SoC

GEEHY SEMICONDUCTOR є дочірньою компанією Apex Microelectronics з 20-річним досвідом розробки мікросхем. Компанія Geehy прагне надавати високоякісні продукти та рішення для створення інтелектуальної та безпечної нової екосистеми для розвитку IoT.

ПОБУТОВА
ЕЛЕКТРОНІКА



ПРОМИСЛОВІ
ЗАСТОСУВАННЯ



МЕДИЧНЕ
ОБЛАДНАННЯ



АВТОМОБІЛЬНА
ЕЛЕКТРОНІКА



РОЗУМНИЙ
ТРАНСПОРТ



РОЗУМНА
ЕНЕРГІЯ



Geehy за роки існування

20 років досвіду в розробці мікросхем

450 мільйонів мікросхем щорічно поставляється

4 офіси (1 північноамериканський, 3 офшорні)

5 науково-дослідних об'єктів (R&D лабораторії, центри)

APM32 Загальний MCU промислового класу

- На основі ядер ARM Cortex-M0+/M3/M4/M7
- Висока продуктивність, низьке енергоспоживання
- Скоротить час і вартість розробки, оптимізує продуктивність
- Послідовність, надійність і стабільність; IEC61508, USB-IF-сертифікація
- -40...+105°C, ESD>8Kv

Bluetooth Low-Energy SoC

- На основі ARM Cortex-M4F і двоядерної архітектури
- Створить функцію бездротового зв'язку з найнижчою вартістю BOM
- Висока чутливість, високий рівень безпеки, низьке енергоспоживання
- Високі радіочастотні характеристики, ефективність захисту від завад
- Кращий досвід роботи з користувачем завдяки інтелектуальній взаємодії з пристроєм

AP/G	M/W	32/88	F/11	103	T	4	T	G	S
Brand Geehy	M:MCU W:Wireless	Family 32:32-bit MCU 88:BLE SoC 33:32-bit MCU+BT	F Product type A Auto grade E Enhanced F Foundation L Ultra-low-power S Standard T Touch sensing W Wireless	Specific features (3 digits) 0xx Entry-level Ultra-low-power 10x Mainstream 4xx High-performance	Pin count (pins) D 14 F 20 E 24 G 28 K 32 T 36 H 40 S 44 C 48 U 63 R 64 J 72 M 80 O 90 V 100 Q 132 Z 144 A 169 I 176	Code size (Kbytes) 4 16 6 32 7 48 8 64 9 72 A 96 B 128 Z 192 C 256 D 384 E 512 F 768 G 1024	Packaging H LFBGA/TFBGA I UFBGA Pitch 0.5 J UFBGA Pitch 0.8 k UFBGA Pitch 0.65 M SOP P TSSOP T QFP U QFN Y WL CSP	Temperature range 6 and A: -40°C-85°C 7 and B: -40°C-105°C 3 and C: -40°C-125°C D: -40°C-150°C	SiP type S: SiP 2MB SDRAM Blank=Non-SiP
			11 Specific features 11 BLE4.2 23 BLE5.2						

Офіційні поставки
в Україні від компанії
«НВП ЄВРОКОМ КОМПОНЕНТС»

 **EUROCOM
COMPONENTS**

www.eurocom-c.com
sales@eic.com.ua
+38 044 33 44 575

У чому різниця між шинами I²C та I³C?

Лі Голдберг (Lee Goldberg), Electronic Design
Переклад та редагування: Роман Горелков

З цієї статті ви дізнаєтесь про основи інтерфейсу I²C (Inter-Integrated Circuit) та відповідного протоколу. Що зробило цей простий, надійний інтерфейс між мікросхемами таким корисним для застосування у вбудованих системах. Як еволюція вбудованих систем призвела до розробки вдосконаленого інтерфейсу I³C (Improved Inter-Integrated Circuit) з покращеними продуктивністю та можливостями. Як стандарт I³C забезпечує функціональну й зворотну сумісність з пристроями, що використовують I²C інтерфейс.

Комунікаційні технології I²C та I³C є близькими родичами, обидві були задумані як інтерфейси для зв'язку між інтегральними схемами та іншими цифровими пристроями на короткі відстані («всередині плати»). Як ми побачимо, I³C є «покращеною» версією I²C, та має з нею чимало спільних технологій і характеристик, які стали результатом досить бурхливої історії розвитку I²C (рис. 1).

НЕЗАБОРОМ ПІСЛЯ ТОГО, ЯК КАМІННЯ ОХОЛОЛО...

Шина Inter-Integrated Circuit (частото згадувана як I²C, I²C або IIC) з'явилася наприкінці 1970-х — на початку 1980-х років під час стрімкого розвитку того, що згодом отримало назву «вбудовані системи» [1]. Завдяки зростанню складності та швидкості

мікроконтролерів (MCU) та пов'язаних з ними периферійних пристроїв, ці недорогі одноплатні обчислювальні елементи інтегрували в себе функції обробки даних, вимірювання та керування, які стали основними будівельними блоками для всього — від автомобільного та медичного обладнання до побутової електроніки.

Однією з проблем, з якою зіткнулися перші розробники, був пошук ефективного способу, який дозволив би центральному процесору плати конфігурувати, контролювати й взаємодіяти з аналоговими та цифровими периферійними пристроями плати. Швидко стало очевидним, що підключення цих периферійних пристроїв за допомогою паралельних шин, які зазвичай використовуються в традиційних обчислювальних системах, було занадто громіздким, дорогим і енергоємним для багатьох з цих застосувань. Інших варіантів, окрім по-

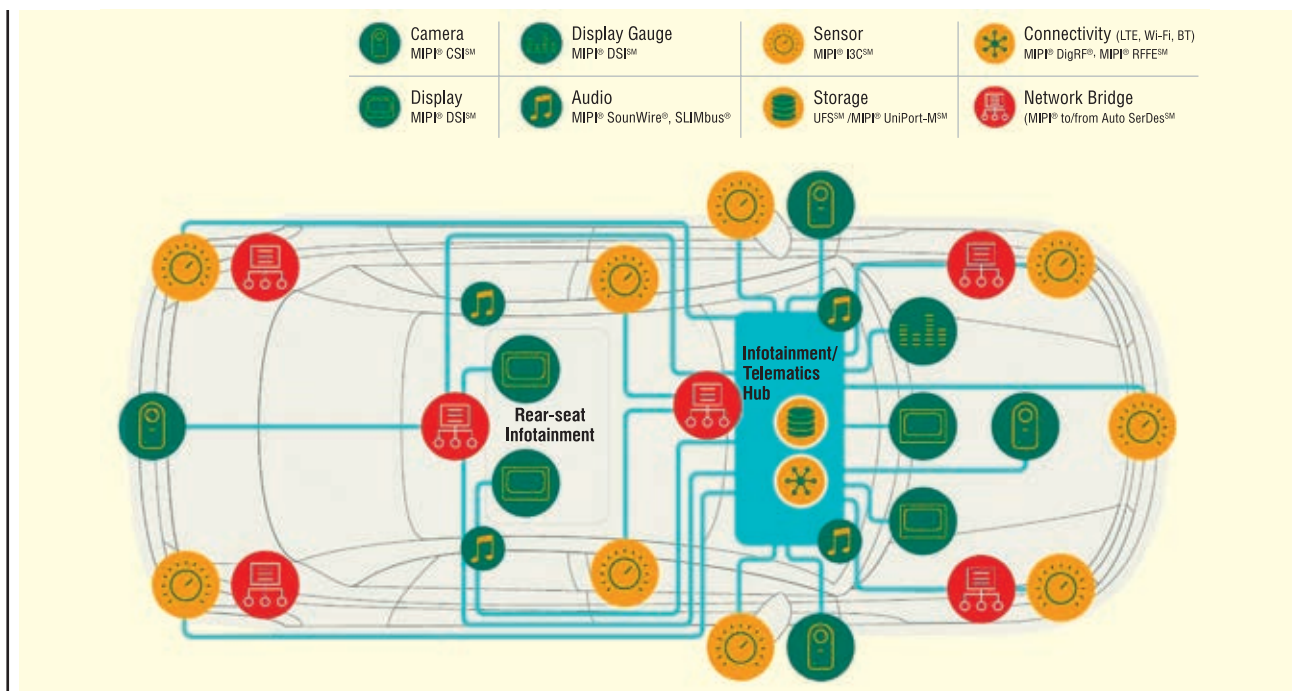


Рис. 1. Підвищена пропускна здатність і функціональність інтерфейсів MIPI I³C та MIPI I³C Basic здатні задовольнити високим вимогам зв'язку сучасних транспортних засобів, що підключені до мережі, а також автономних/напіваавтономних транспортних засобів майбутнього

вільних і незграбних інтерфейсів UART/USART (універсальний асинхронний приймач-передавач/універсальний синхронний та асинхронний приймач-передавач), було небагато.

Для вирішення цієї проблеми компанія Philips Semiconductors у 1982 році представила інтерфейс I²C — синхронну, багатоконтролерну/багатоцільову, односторонню, послідовну (двоконтактну) шину зв'язку. За цей час з'явилися інші шинні технології, такі як, наприклад, послідовний периферійний інтерфейс SPI (*Serial Peripheral Interface*), але вони вимагали більшої кількості контактів і сигналів для підключення декількох пристроїв. Завдяки своїм надійним характеристикам, низькому енергоспоживанню та мінімальним вимогам до апаратного забезпечення (кремній та друкована плата), шина I²C стала надзвичайно популярною у світі вбудовуваних систем.

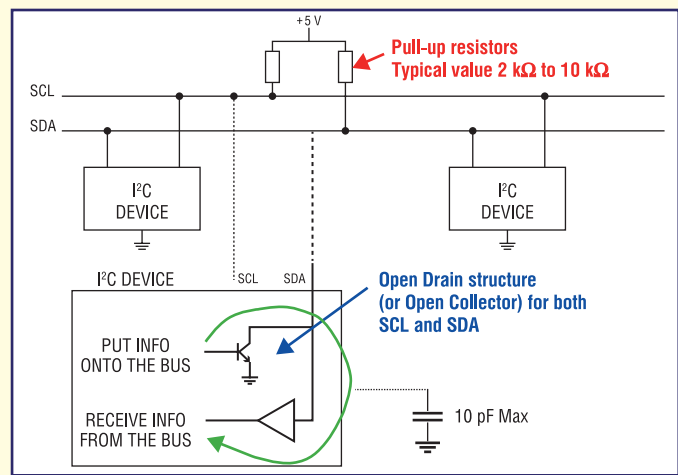
Стандарт I²C міг би мати ще більший початковий успіх, якби компанія Philips не вдалася до своєї надто часті практики перешкоджати будь-кому іншому впроваджувати свої технології. Це протистояння закінчилося в середині 1990-х років, коли кілька конкуруючих виробників мікросхем, таких як Intersil, Motorola, NEC, Nordic Semiconductor, Siemens, STMicroelectronics і Texas Instruments, знайшли технічні/юридичні обхідні шляхи, які дозволили їм пропонувати продукти з I²C-сумісними інтерфейсами [1].

Але наразі я забігаю наперед. Давайте подивимось на те, що змушує I²C працювати.

Огляд I²C

На фізичному рівні I²C базується на одному транзисторі з відкритим витоком/відкритим колектором, який може або опускати шину до напруги («землі», у більшості випадків), або «відпустити» шину і дозволити їй підтягуватися вгору за допомогою резистора «підтяжки» (pull-up resistor) (рис. 2). Підключення до цієї ж шини вхідного буферу дозволяє отримати двонаправлену передачу даних [2].

Оскільки жоден пристрій не може примусово встановлювати високий рівень на лінії, шина ніколи не зазнає короткого замикання (шина живлення на «землю»), якщо один пристрій намагається передати високий рівень, в той час як інший передає низький. Ця здатність толерантно сприймати конфлікти шини дозволяє I²C підтримувати декілька пристроїв-контролерів на одній шині.



DesignCon 2003 TecForum I²C Bus Overview

Рис. 2. Деталі апаратної архітектури I²C

Інтерфейс I²C складається з двох сигналів, один з яких працює як послідовний тактовий сигнал (*serial clock* або SCL), а інший — сигнал послідовних даних (*serial data* або SDA). Як зазначалося раніше, обидві лінії SDA і SCL повинні бути підключені до VCC через резистор підтяжки. Шина вважається неактивною, якщо на обох лініях SDA і SCL високий рівень після умови STOP (рис. 3).

Базовий дизайн I²C має адресацію у 7 біт, яка може бути розширена до 10 біт, що інколи використовується. Найпоширенішими режимами швидкості шини I²C є стандартний режим (100 кбіт/с) та швидкий режим (400 кбіт/с).

Пізніші версії I²C можуть підтримувати більшу кількість вузлів та вищу швидкість роботи, включаючи 400 кбіт/с (швидкий режим), 1 Мбіт/с (швидкий режим плюс), 3.4 Мбіт/с (високошвидкісний режим) і 5 Мбіт/с (ультрашвидкісний режим). Для застосувань, які вимагають ще більшої стійкості до завад і пошкоджень лінії, є також режим 10 кбіт/с (низькошвидкісний). Крім того, I²C може

підтримувати довільні тактові частоти у режимах низької швидкості [3].

Кожна система з використанням шини I²C містить (головний) контролер (раніше його називали «master») і один або декілька цільових пристроїв (раніше їх називали «slaves»). Цільові пристрої не можуть передавати дані, поки до них не звернувся контролер. Кожен пристрій на шині I²C має певну адресу. Це дозволяє індивідуально конфігурувати кожен пристрій і керувати ним за допомогою контролера, який може читати або записувати у будь-який внутрішній регістр пристрою.

Зв'язок між контролером і цільовими пристроями здійснюється за допомогою наступних кроків:

- *передавання (Controller-to-Target):*
 - контролер-передавач надсилає умову запуску (START) і звертається до пристрою-приймача;
 - контролер-передавач надсилає дані на пристрій-приймач;
 - контролер-передавач завершує передачу за допомогою умови STOP;

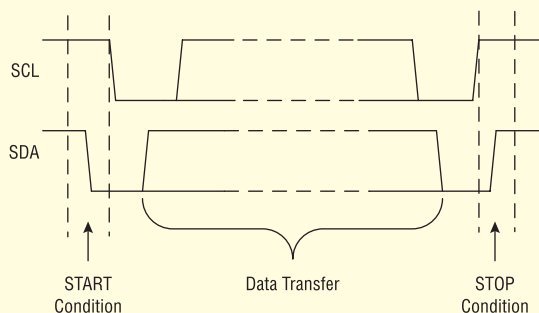
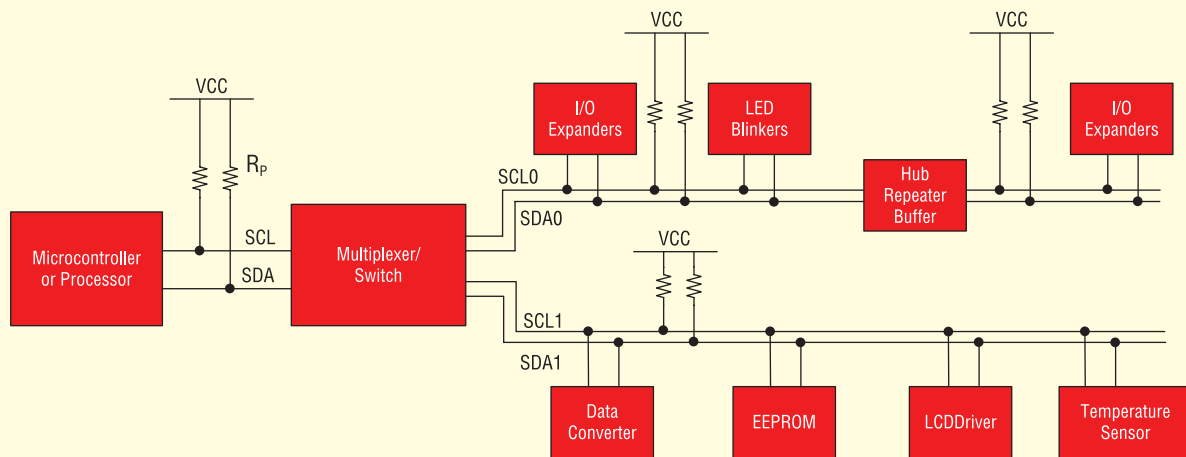


Рис. 3. Ця часова діаграма циклу передачі даних через I²C включає події START і STOP

Рис. 4. Приклад шини I²C

- *приймання (Target-to-Controller):*

- контролер-приймач видає умову START і звертається до пристрою-передавача;
- контролер-приймач надсилає запит до пристрою-передавача на зчитування регістру;
- контролер-приймач отримує дані від пристрою-передавача;
- контролер-приймач завершує передачу за допомогою умови STOP.

Пристрої I²C передають дані у 8-бітних пакетах (по одному біту на імпульс SCL), кожен з яких супроводжується бітом підтвердження (ACK)/непідтвердження (NACK) встановлення зв'язку, що надсилається пристроєм-приймачем для сигналізації про те, що обмін успішно завершено (чи ні).

Якщо два I²C-контролери намагаються використовувати шину одночасно, механізм виявлення колізій фіксує конфлікт і викликає арбітражну послідовність, яка визначає, який пристрій отримає право «говорити» першим¹.

Ця проста архітектура шини дозволяє мікроконтролеру або більш потужному мікропроцесору отримати доступ до великої кількості периферійних пристроїв, використовуючи дуже мало енергії та місця на платі (рис. 4) — фактори, які зробили її провідною технологією з'єднання для вбудованих систем.

ОБМЕЖЕННЯ I²C

Попри свої численні переваги, I²C почав застарівати, і йому все важче

задовольняти вимоги сучасних просунутих вбудованих застосувань. Наприклад, обмеження швидкості передачі даних I²C, спричинені відносно повільним часом наростання виходу з відкритим колектором, стають вузьким місцем для автомобільних застосувань наступного покоління, оскільки дані, що генеруються камерами, LiDAR'ами та іншими критично важливими для безпеки датчиками, перевищують навіть максимальні швидкості передачі даних I²C.

Крім того, він мав дуже мало розширених функцій, таких як внутрішні переривання, стандартизований набір загальних командних кодів, відновлення та динамічне призначення адрес, які можуть бути дуже корисними для керування інтелектуальними периферійними пристроями.

ЗНАЙОМСТВО З I³C

Для вирішення цих та інших проблем був розроблений стандарт

Improved Inter-Integrated Circuit (зазвичай згадуваний як I³C або I3C) як результат спільних зусиль компаній, пов'язаних з електронікою та комп'ютерами, під егідою Mobile Industry Processor Interface Alliance (MIPI Alliance), і випущений для широкого загалу наприкінці 2017 року.

На рівні PHY I³C використовує дво-режимний інтерфейс, що базується на високошвидкісних push-pull виходах, які забезпечують набагато вищу швидкість передачі даних, але для сумісності з I²C пристроями можуть бути налаштовані як більш повільні виходи з відкритим стоком.

У транзакціях з цільовими I²C-пристроями тактовий сигнал SCL зазвичай має коефіцієнт заповнення близький до 50%, але при спілкуванні з відомими цільовими I³C-пристроями контролер шини може переходити на вищу частоту та/або змінювати коефіцієнт заповнення (рис. 5). Для спрощення реалізації стандарт включає розширення прото-

Parameter	MIPI I ³ C (Improved Inter Integrated Circuits)	I ² C (Inter Integrated Circuits)
Overview		
Number of Lines	2-wire	2-wire (plus separate wires for each required interrupt signal)
Effective Data Bitrate	33.3 Mbps max at 12.5 MHz (Typically: 10.6 Mbps at 12 MHz SDR)	3 Mbps max at 3.4 MHz (Hs) 0.8 Mbps max at 1 MHz (Fm+) 0.35 Mbps max at 400 KHz (Fm)

Рис. 5. Ця часова діаграма циклу передачі даних через I²C включає події START і STOP

¹ Додаткову інформацію про ці та інші аспекти електричних і логічних характеристик шини I²C можна знайти у двох чудових посібниках від Texas Instruments [2] та NXP Semiconductor [3].

колу зв'язку, які дозволяють легко визначити, який режим використовувати.

Push-pull інтерфейс I³C підтримує режим стандартної швидкості передачі даних (*standard-data-rate, SDR*) з пропускною здатністю від 10 до 12.5 Мбіт/с, а також режим високої швидкості передачі даних (*high-data-rate, HDR*), який використовує сигнал подвійної передачі (*double-data-rate, DDR*), досягаючи миттєвої швидкості на рівні 25 Мбіт/с (ефективна швидкість 20 Мбіт/с). Стандарт I³C також включає можливість багатосмугової роботи, що дозволяє збільшити пропускну здатність каналу у 4 рази.

Не менш важливо, що I³C містить багато функцій і можливостей, необхідних для підтримки передових вбудованих систем. До них відносяться:

- підтримка внутрішньосмугових переривань (через послідовну шину), що усуває необхідність в окремих выводах;
- стандартизований набір загальних кодів команд для спеціальних операцій (які можна викликати, записавши їх за зарезервованою адресою 0x7E) і підтримка черги команд;
- динамічне призначення адрес (DAA) для I³C-об'єктів з підтримкою статичних адрес для традиційних I²C-пристроїв;
- виявлення та відновлення помилок (перевірка парності в режимі SDR і 5-бітний CRC для режимів HDR).

Оновлена версія стандарту, випущена у грудні 2019 року, додала кілька додаткових функцій, включаючи підтримку роботи з декількома контролерами та чітко визначений протокол для передачі даних між контролерами.

Чудовий огляд інтерфейсу I³C та його повного набору функцій можна знайти в «I³C Application Note: General Topics», опублікованому Альянсом MIPI [4].

«ЗДЕБЛЬШОГО ВІДКРИТИЙ» СТАНДАРТ

Стандарт I³C є відкритим стандартом, оскільки ним може користуватися будь-хто. Однак доступ до повної специфікації та права на його комерційне використання вимагає платного членства в Альянсі MIPI.

Хороша новина полягає в тому, що існує безоплатна версія стандарту, відома як MIPI I³C Basic, яка доступна для організацій, що не є членами альянсу, за ліцензією RAND-Z. Базова версія включає багато розширених

Feature	I ³ C v1.0	I ³ C Basic v1.0	I ³ C v1.1.1	I ³ C Basic v1.0
12.5 MHz SDR (Controller, Target and Legacy I ² C Target Compatibility)	✓	✓	✓	✓
Target can operate on I ² C device on I ² C bus and on I ³ C bus using HDR modes	✓	✓	✓	✓
Target Reset	✓	✓	✓	✓
Specified 1.2V-3.3V Operation for 50pf C load	✓	✓	✓	✓
In-Band Interrupt (w/MDb)	✓	✓	✓	✓
Dynamic Address Assignment	✓	✓	✓	✓
Error Detection and Recovery	✓	✓	✓	✓
Secondary Controller	✓	✓	✓	✓
Hot-Join Mechanism	✓	✓	✓	✓
Common Command Codes (Required/Optional)	✓	✓ ✓	✓	✓ ✓
Specified 1.0V Operation for 100pf C load	✓	✓	✓	✓
Set Static Address as Dynamic Address CCC (SETAASA)	✓	✓	✓	✓
Synchronous Timing Control	✓	✓	✓	✓
Asynchronous Timing Control (Mode 0)	✓	✓	✓	✓
Asynchronous Timing Control (Mode 1-3)	✓	✓	✓	✓
HDR-DDR	✓	✓	✓	✓
HDR-TSL/TSP	✓	✓	✓	✓
HDR-BT (Multi-Lane Bulk Transport)	✓	✓	✓	✓
Grouped Addressing	✓	✓	✓	✓
Device-to-Device(s) Tunneling	✓	✓	✓	✓
Multi-Lane for Speed (Dual/Quad for SDR and HDR-DDR)	✓	✓	✓	✓
Monitoring Device Early Termination	✓	✓	✓	✓

Рис. 6. Порівняння можливостей стандартів I³C та I³C Basic

функцій, доступних в I³C 1.0 (рис. 6), але в ній відсутні деякі з потенційно складніших для реалізації функцій, такі як додаткові режими HDR, наприклад DDR [5].

Література:

1. «I²C», Wikipedia». <https://en.wikipedia.org/wiki/I%C2%B2C>
2. «Understanding the I²C bus», Jonathan Valdez, Jared Becker, Texas Instruments,

June 2015. <https://www.ti.com/lit/an/slva704/slva704.pdf>

3. «I²C-bus Specification and User Manual», NXP, October 2021. <https://www.nxp.com/docs/en/user-guide/UM10204.pdf>

4. «I³C Application Note: General Topics», MIPI Alliance Inc., 2022. <https://www.mipi.org/download-mipi-i3c-application-note-general-topics>

5. «I³C (Bus)», Wikipedia. [https://en.wikipedia.org/wiki/I3C_\(bus\)](https://en.wikipedia.org/wiki/I3C_(bus))

ЕЛЕКТРОННІ КОМПОНЕНТИ

від провідних виробників світу,
зі складу та під замовлення

Гнучкі ціни



ТОВ "АДС ТІМ"

Україна, 03680, м. Київ
пров. Ю. Матушняка, 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.ua

ТОВ «АЙПІ-КОМ»

Гуртове постачання електронних компонентів, плівкових клавіатур, світлодіодної комунікаційної продукції, роз'ємів тощо

моб.: 098-980-48-38

ill1982
ill82@ukr.net
ip-com.net.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

ТОВ «НВП АСТЕРА»
директор **ТЕРЕЙКОВСЬКИЙ Артем Семенович**
Феритові осердя, аксесуари, індуктивні елементи

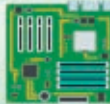
61072, Україна, Харків, вул. Тобольська 42 оф. 222
тел.: 057-757-2859, факс: 057-728-1808
050-323-3763, 067-575-4440, 068-616-7777
http://www.ferrite.com.ua E-mail: ferrite@ukr.net

- Електронні компоненти
- Світлодіодне освітлення
- Друковані плати
- Контрактне виробництво

bis_electronics @BISelectronic bis@bis-el.kiev.ua | bis-el.com
+38 (044) 490-35-99

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 Калніст, 2а, оф. 114
URL: www.verikom.kiev.uaтел./факс: (+380) 44-501-9335
(+380) 67-508-0229
E-mail: sales@temys.kiev.ua

ДП «Гальванотехніка» ПАТ «Київський завод "Радар"»

ТОВ «НВЦ друкованих плат»

Виготовлення друкованих плат:

- одно-, дво- та багатопарових 3^{го}- 5^{го} класів складності;
- жорсткогнучких 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, 528-3656http://plata.com.ua
order@plata.com.ua**WINTEX** (044) 5036112
Професійний ремонт (067) 2983455
(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



Прямі поставки від виробника

FLUKE

AEDgroup

ALTIMETRIC

JET

Комплексні поставки
електронних комплектуючих38 (044) 239-96-06
38 (044) 498-01-68www.grandelectronic.com
office@grandelectronic.comБульвар Вацлава Гавела, 8
м. Київ, 03124

- Автоматика
- Датчики
- Джерела живлення
- Компоненти і модулі СВЧ
- Мікросхеми
- Рознімачі
- Реле
- Системи бездротового зв'язку
- Системи відображення інформації
- Хімічні джерела струму



ТОВ «ДЕЛЛІ»
МОНТАЖ SMT ТА SHT
ЕЛЕКТРОННИХ
КОМПОНЕНТІВ

79060, м. Львів,
вул. Наукова, 5-А, корп. Е
Тел.: +38 (032) 245-75-72
+38 (067) 672-27-40
E-mail: basarab@delly.info

Незалежний постачальник
електронних компонентів

EVOCOM
www.evocom.ua

- Швидкі терміни поставок (до 7 днів)
- Безкоштовна доставка по Україні
- Більше ніж 6 млн. товарів в каталозі

www.evocom.ua

email: info@evocom.ua
Тел. (044) 520 19 13

Де
Ка



ДРУКОВАНІ ПЛАТИ
ТЕРМІНОВЕ ВИРОБНИЦТВО ВІД 1-ГО ДНЯ!
Одно-, дво-, багатшарові друквані плати,
плати на алюмінієвій основі з технологічними
показниками відповідно до вимог
міжнародного стандарту IPC-A-600

Мембранні клавіатури
– мембранні клавіатурні панелі
– лицеві і накладні панелі

www.pcbetal.com

ТОВ «PCB-ЕТАЛ»
28000, Кіровоградська обл.,
м. Олександрія, вул. Заводська, 1

Для замовлення:
Тел.: +38 (050)288-95-73
e-mail: pcb@etal.ua

З питань ціноутворення:
Тел.: +38 (066)872-60-65
e-mail: sb10@etal.ua

EUROCOM
COMPONENTS

дистрибуція електронних компонентів
контрактне виробництво

08298, смт. Коцюбинське
вул. Пономарьова, 7

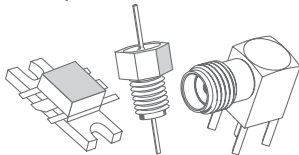
Тел. +38 044 33 44 575

www.eurocom-c.com

E-mail: info@eurocom-c.com

ВЧ- та НВЧ-КОМПЛЕКТУЮЧІ І КОМПОНЕНТИ

мікросхеми • транзистори • коаксиальні фільтри
коаксиальні з'єднувачі • коаксиальні кабелі
матеріал для ВЧ-плат • теплорозподільчі матеріали




ЄВРОКОНТАКТ
www.eurocontact.kiev.ua
т/ф +380 44 500 7991
info@eurocontact.kiev.ua



ТОВ «НВП АСТЕРА»
директор **ТЕРЕЙКОВСЬКИЙ**
Артем Семенович
Феритові 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



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



Електронні компоненти
провідних світових 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

Радіодеталі зі складу – 35 000 найменувань!



Усе для розробки,
ремонту та виробництва
електроніки!

Від резистора до мікропроцесора, радіомонтажний
інструмент та вимірювальні прилади, підбір аналогів
та консультації.

www.ims.kh.ua тел.: (073) 757 25 22 (23), (098) 028 89 17
e-mail: imskharkov@gmail.com (057) 732 04 50, 732 01 76



K206
Електронні компоненти

Все для виробництва
та ремонту зі складу
та на замовлення

www.k206.net
+38 096 77-99-665



ТОВ "КОМПАНІЯ ОЛЬВІЯ"
Корпуса пластикові. Клавіатура плівкова.
Кабельно-провідникова продукція.

[044].599.7550 [044].503.3323 KORPUS.KIEV@GMAIL.COM
ICOF: 268-782-777
03113, м. Київ, вул. Дружківська, 12 А korpus.kiev.ua



м. Київ, пров. Ю. Матушак, 3, оф. 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, AMPLEON, WeEn в Україні

Microdis Electronics GmbH
Rheinauer Straße 1
68766 Hockenheim
Germany

MICRODIS

Дистриб'ютор
електронних
компонентів

Роман Прокопець
Менеджер з продажу

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

www.microdis.net

www.otladka.com.ua

Автоматизований SMD монтаж
друкованих плат

Фрезерування панелей,
корпусів та пластику


3D-друк

+38 050 447-12-58 +38 098 661-97-97



КОНТРАКТНИЙ
ВИРОБНИК ЕЛЕКТРОНІКИ
ПІД ЗАМОВЛЕННЯ

+38 044 338 97 73
info@pcba.com.ua
pcba.com.ua



**КОМПАНІЯ
СК-ТЕХНО**

- контрактне виробництво
- друковані плати
- монтаж
- комплектація

<http://spcb.com.ua>
e-mail: info@spcb.com.ua
тел./факс: (044) 369-53-67

<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

Партнерство
в електроніці

МІКРО
ПРИЛАД

avalue Touch XCK PARTEX MEDIAN WAGO LT LINEAR TEXAS INSTRUMENTS DZ NAGANO


03142, м. Київ, вул. Омеляна Прицака, 4, офіс 101
Тел.: 044 392-93-86, Факс: 044 392-93-87
www.micropribor.com.ua sales@micropribor.com.ua

Pcb24 — сервіс з експрес
виробництва прототипів
і невеликих партій одно-
та двошарових друкованих
плат

**За 24 години виготовимо
Ваше замовлення**

Власне виробництво у м. Львів

ТОВ «Крейтив Лоджікс»
www.pcb24.com.ua
pcbprint24@gmail.com
068 614 38 28




Зручний онлайн РСВ-калькулятор
мінімальне замовлення - 5 шт.

Постачання:
- друковані плати FR-4;
- алюмінієві друковані плати;
- трафарети для паяльної пасты;
- паяльна паста;
- припій.

Сайт: pcbтut.com
e-mail: pcbтut@pcbтut.com
+38 (067) 674 99 14

вбудовані процесорні плати

COMexpress
Qseven
PC-104
ETX



ПРОКСИС

промислові комп'ютери та системи


www.proxis.ua
+380(44)4675977
+380(44)5995977

RADIODETAILI

- Паяльне обладнання
- Вентилятори
- Трансформатори
- Реле
- Конденсатори
- Резистори
- Світлодіодне обладнання
- Акумулятори
- Блоки живлення
- Мобільні аксесуари

КУПУЙ ВИГІДНО

radiodetaili.com.ua



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
- вимірвальне обладнання
- блоки живлення
- роз'єми
- інструмент
- пасивні компоненти
- батарейки та акумулятори
- та багато іншого

RAINBOW TECHNOLOGIES

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

www.rainbow.com.ua

Rich El
electronic components

ТОВ «РИЧЕЛ»

Поставки 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

ТОВ «НВП АСТЕРА»


директор **ТЕРЕЙКОВСЬКИЙ Артем Семенович**

Феритові 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

Промислові та IT-шафи, щити, електронні системи, системи контролю мікроклімату, струморозподільче обладнання, всепогодні шафи та комплексні рішення для ЦОД, ПЗ EPLAN

Ріттал ТОВ - вул. Київська, 6В, 08132, Вишневе, Київська обл.
Тел.: +380 (44) 536 99 44 E-mail: office@rittal.com.ua
www.rittal.com.ua



SEA ІННОВАЦІЯ 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 автоелектроніка
Індикатори, дисплеї • Обладнання для енергетики • Електротехнічна продукція • Кабельно-проводникова продукція • Обладнання для промислової автоматизації • Бездротові компоненти Вимірвальні прилади
Паяльне обладнання і матеріали для пайки • Санітарна енергетика

Виробництво: Світлофори та технічні засоби управління дорожнім рухом • Автоматизована система обліку та контролю енергоспоживання • Паркувальне обладнання і системи • WIM - системи динамічного заважування транспорту • Світлодіодні екрани та медіафасди SEA • Система керування міським освітленням
Комплексна система диспетчеризації ліфтів • Джерело безперебійного живлення

Послуги: Великоузлове складання обладнання • Просування друкованих плат
Виробництво друкованих плат • Контрактне виробництво електроніки • SMD і DIP монтаж компонентів • Комерційні розробки • Проектування, монтаж, модернізація, технічне обслуговування паркувальних комплексів, світлофорних та WIM об'єктів

Харків: khar@sea.com.ua Дніпро: dnipro@sea.com.ua Львів: lviv@sea.com.ua



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.
Створюйте з нами!

ЕЛЕКТРОННІ КОМПОНЕНТИ ТА КОНТРАКТНЕ ВИРОБНИЦТВО

SMD UKRAINE

03057, м. Київ, вул. Желязова, 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

SOFTPROM
VALUE ADDED IT DISTRIBUTOR

Дистриб'ютор Altium в Україні
www.softprom.com.ua/vendor/altium
altium@softprom.com


TOB "Софтпром Солюшнз"



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



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



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



ELFA DISTRELEC
ПОСТАВКИ ЕЛЕКТРОННИХ КОМПОНЕНТІВ ЗІ СКЛАДУ У ЄВРОПІ.

ТОК ЕЛЕКТРОНІКС
ОСІДНЬОЇ ДИСТРИБ'ЮТОР В УКРАЇНІ

04080, м. Київ
вул. Вікентія Хвойки, 18/14
склад: 10/8

www.distrelec.biz
e-mail: ulai@tok-el.com
oksanaj@tok-el.com

Tel. +38 066 781 56 11
+38 093 896 40 88



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



PHOENIX CONTACT

phoenixcontact.com



ФІЛУР ЕЛЕКТРИК

Електронні компоненти
Технологічне обладнання, інструменти, матеріали
Комплектуючі для HI-FI та HI-End

вул. Гетьмана Павла Полуботка, 22/14
м. Київ, Україна, 02100
www.flur.net

+38 (068) 496 75 75
+38 (044) 495 75 75
office@flur.net



КОНТРОЛЬНО-ВИМІРОВАЛЬНІ ПРИЛАДИ
АВТОРИЗОВАНИЙ ДИСТРИБ'ЮТОР В УКРАЇНІ
продаж • навчання • сервіс

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

KEYSIGHT TECHNOLOGIES
Авторизований дистриб'ютор



ЮСТАС

Електронні компоненти провідних світових виробників:
конденсатори всіх типів, транзистори, тиристорні, мікросхеми, діоди, діодні мости, кварци, індикаторна продукція всіх типів, вентилятори, механічні елементи, кабельна продукція

Магазин "Електронних компонентів"
79018, м. Львів, вул. Героїв УПА, 40,
т/ф (032) 237-31-82, (032) 238-94-41
поведілок - субота з 10.00 до 18.00

http://justas-electronics.com.ua
+38 (093) 020-40-51



МАСШТАБНА
ПОДІЯ

У СФЕРІ
АЛЬТЕРНАТИВНОЇ
ЕНЕРГЕТИКИ

ВИСТАВКА

РОЗПОДІЛЕНА ГЕНЕРАЦІЯ
GREEN:EXPO
альтернативна енергетика | **2024**

БІЗНЕС - ФОРУМИ



GreenEnergy



energyGRID



ACCQ
international
since 1992



23-24.05.24



10⁰⁰ - 17⁰⁰

XXII МІЖНАРОДНИЙ ПРОМИСЛОВИЙ ФОРУМ-2024

МІЖНАРОДНІ СПЕЦІАЛІЗОВАНІ ВИСТАВКИ



Генеральний
інформаційний партнер:



28-30 травня

IEC МІЖНАРОДНИЙ
ВИСТАВКОВИЙ ЦЕНТР
м. Київ, Броварський пр-т, 15
станція метро «Лівобережна»

☎ +38 (095) 268-05-85, (096) 505-52-66
✉ lilia@iec-expo.com.ua,
plast@iec-expo.com.ua
🌐 www.iec-expo.com.ua



Київ Травень 28-30
Україна 2024



Виставка систем охорони та безпеки

Expert Security

БЕЗПЕКА ЗОВСІМ ПОРЯД



МІЖНАРОДНИЙ
ВИСТАВКОВИЙ ЦЕНТР

м. Київ, Броварський пр-т, 15
станція метро «Лівобережна»



+38 (050) 403-66-91

+38 (050) 770-36-75



expert@iec-expo.com.ua



www.expert-security.com.ua



ВИСТАВКИ 2024

Назва	Сайт	Організатор	Місто	Дата проведення*
Kyiv Maker Faire	https://kyiv.makerfaire.com/	ГО «Мейкер Хаб»	Київ	02.03.2024
GreenExpo	www.greenexpo.com.ua	Євроіндекс	Київ	23.05–24.05.2024
Міжнародний промисловий форум	www.iec-expo.com.ua/pf-2024.html	МВЦ	Київ	28.05–30.05.2024
Addit EXPO 3D	www.iec-expo.com.ua/addit-2024.html	МВЦ	Київ	28.05–30.05.2024
Expert Security	https://expert-security.com.ua/	МВЦ	Київ	28.05–30.05.2024
ELECTRO INSTALL	www.iec-expo.com.ua/ei-2024.html	МВЦ	Київ	15.10–17.10.2024
E-Comps+DigiTec	www.iec-expo.com.ua/ecom-2024.html	МВЦ	Київ	15.10–17.10.2024
EcoEnergy Expo	www.iec-expo.com.ua/ee-2024.html	МВЦ	Київ	15.10–17.10.2024
Енергетика в промисловості	www.iec-expo.com.ua/ep-2024.html	МВЦ	Київ	15.10–17.10.2024

* Інформація отримана від організаторів виставок. Можливі зміни в залежності від ситуації.

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.

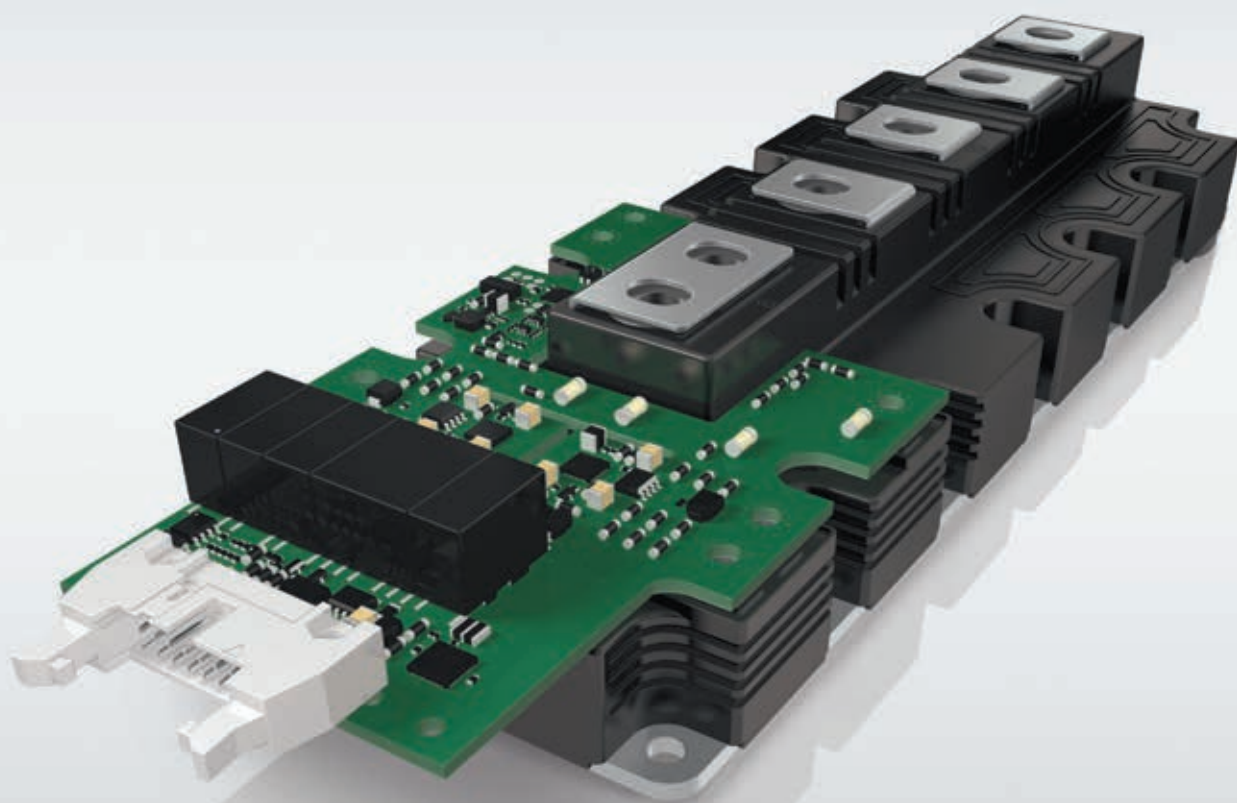
ВИМОГИ ДО РЕКЛАМНИХ І АВТОРСЬКИХ МАТЕРІАЛІВ

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 підписування 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 ШІМ-модуляцією

Волоконно-оптичний інтерфейс (опціонально)



Моторні
приводи



Альтернативні
джерела енергії



Перетворювачі
потужності

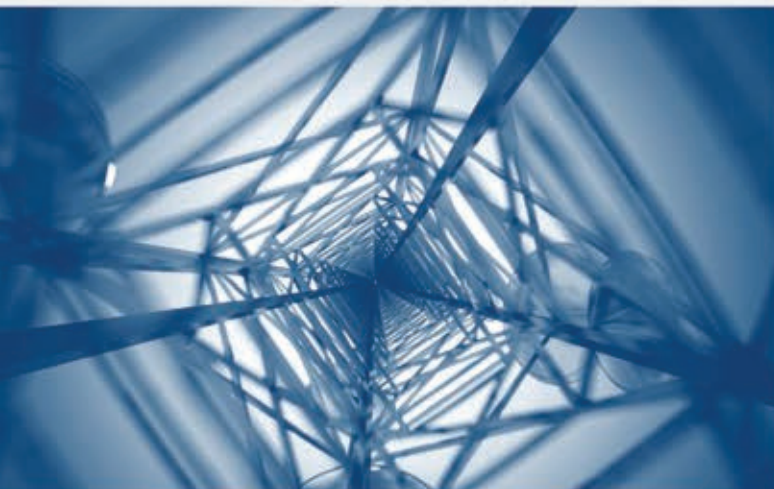


Електротранспорт

www.semikron-danfoss.com



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 широкосмугового доступу, тощо



MASTEK

Авторизований дистриб'ютор
Ampleon в Україні

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

info@mastek.com.ua
www.mastek.com.ua