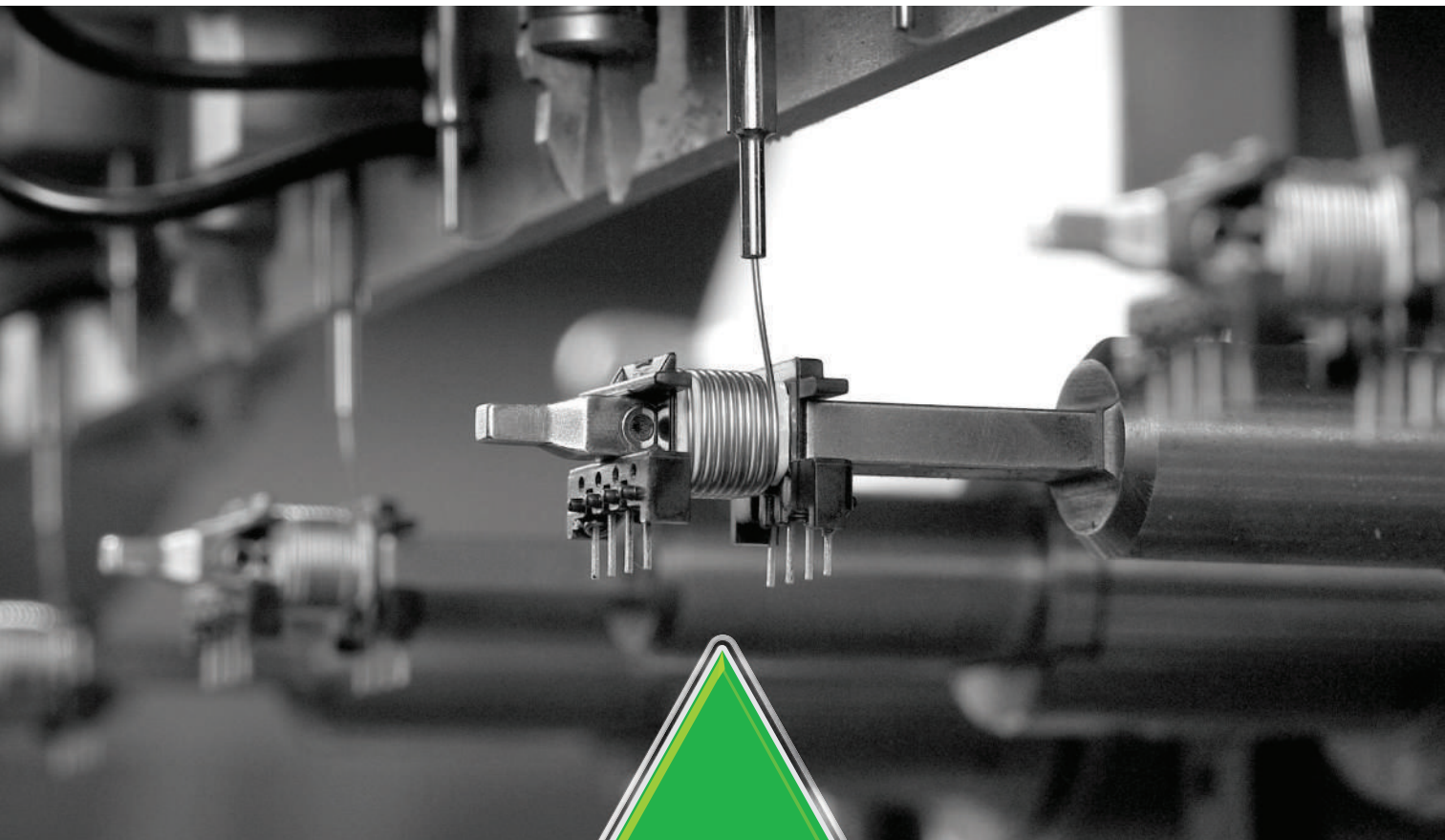


CHIP NEWS



www.adc-team.com



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

ТОВ «АДС ТІМ» — ВЛАСНЕ ВИРОБНИЦТВО
В УКРАЇНІ МОТОЧНИХ ВИРОБІВ
ЗГІДНО ДОКУМЕНТАЦІЇ АБО ЗА ТЕХНІЧНИМ ЗАВДАННЯМ

- Нові МК PIC32CM Lx ... стор. 10
- МК сімейства RZ/G2 ... стор. 16
- Advantech MIC-730AI ... стор. 22

- Нові горизонти мікролокації ... стор. 26
- Електромобілі: інфраструктура ... стор. 45
- Керування карбідом кремнію ... стор. 56



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



**ПОЄДНУЄМО ВАШІ ІДЕЇ
З НОВІТНІМИ ТЕХНОЛОГІЯМИ**

№ 03 (213), 2022 р.

Науково-технічний журнал
Видається з 2001 р.
ТОВ «Булавіа-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.ua**Редакційна колегія:**Войналович М. Ю., Крючатов С. Д.,
Макаренко В. В., Мисак Т. В.,
Олещенко Н. І., Рентюк В. К.,
Стецюк Л. В., Чорний В. М.,
Шаріпова Т. В., Шевченко В. Л.**Розповсюдження, передплата**Руднева О. Ю.
E-mail: peredplata@chipnews.com.ua**Адреса редакції:**03061, Київ,
просп. Відрадиний, 10
тел./факс: (044) 490-74-99,
(044) 490-74-30
E-mail: info@chipnews.com.ua
http://www.chipnews.com.uaПередплатний індекс за каталогом
ДП «Преса» (Укрпошта) — 21934Передплата і доставка по Україні
за каталогами провідних
передплатних агентів

© «CHIP NEWS».

Передрук матеріалів, опублікованих
в журналі «CHIP NEWS», може бути
здійснений тільки з письмового дозволу
редакції. За рекламну інформацію
редакція відповідальності не несе.

ЗМІСТ

НОВИНИ

Новини світу електронних компонентів.....4

МІКРОКОНТРОЛЕРИ

Євген Тетерев

Нові мікроконтролери PIC32CM Lx від Microchip Technology.....10

Сергій Волков

Мікроконтролери сімейства RZ/G2

від компанії Renesas Electronics.....16

МАШИННИЙ ЗІР

Огляд пристрою MIC-730AI NVIDIA

Jetson AGX Xavier AI Edge.....22

ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЇ

Єва Данель (Eve Danel)

Переклад та доповнення: Володимир Рентюк

Нові горизонти мікролокації:

Bluetooth 5.1, UWB та Wi-Fi 802.11az.....26

ПЛІС

Скотт Каспер (Scott Casper)

ПЛІС — логічне вирішення проблеми

нестачі мікроконтролерів.....30

ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНІ КОМПОНЕНТИ

З'єднувачі компанії Fischer Connectors для захищених

виробів та кабельні збірки на їх основі.....31

Міхаель Хан (Michael Hahn)

Посміхніться, вас фотографують.....34

Переклад: Володимир Рентюк

Оптичні роз'єми об'єднувальної плати:

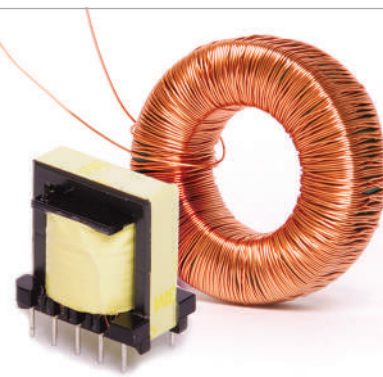
інтерфейсна технологія від компанії Molex.....36

Олександр Самарін, Віктор Єгоров

MDR-з'єднувачі компанії ЗМ: надійне рішення

для сучасних систем передачі даних.....40

www.adc-team.com

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

ЕЛЕКТРОТРАНСПОРТ

Андрій Тимофеев, Микита Балашенко

**Інфраструктура для електромобілів:
електричні зарядні станції** 45

ДРУКОВАНІ ПЛАТИ

Джон Прідей (John Priday), Джон Ліаф (John Leafe)

Переклад: Святослав Зубарев

**Проектування друкованих плат для пристроїв НВЧ-діапазону.
Робимо все правильно з першого разу** 48

СИЛОВА ЕЛЕКТРОНІКА

Андрій Колпаков

Технічний консультант: Тарас Мисак

**Керування карбідом кремнію:
драйвер для модуля SiC MOSFET 62 мм** 56

Владан Мітов (Vladan Mitov),

Чун Кеонг Ті (Chun Keong Tee)

**Електробезпека оптичних ізоляторів в умовах
можливих відмов у силових перетворювачах** 62

Рене Спенке (Rene Spenke), Нілс Солтау (Nils Soltau),

Тору Матсуока (Toru Matsuoka), Віктор Толстоп'ятов

Адаптований переклад українською та технічне редагування:

Андрій Мовчанюк

**Високоєфективні силові модулі на основі SiC
для широкого спектру застосувань** 66

Вольфганг Франк (Wolfgang Frank)

Адаптований переклад українською та технічне редагування:

Андрій Мовчанюк

**Простий метод керування швидкістю наростання напруги
для підвищення енергоефективності** 73

ДЖЕРЕЛА ЖИВЛЕННЯ

Том Куратоло (Tom Curatolo)

**Підвищення ефективності систем із батарейним
живленням за допомогою перетворювачів
з постійним коефіцієнтом перетворення** 76

Стів Робертс (Steve Roberts)

**Живлення датчиків для систем технічного
обслуговування за станом** 79

ЕЛЕКТРОМАГНІТНА СУМІСНІСТЬ

Шейн О'Коннор (Shane O'Connor)

**Випробування імпульсних джерел живлення
на кондуктивні випромінювання** 82

ДАТЧИКИ

Олександр Самарін, Віктор Єгоров

**Плоскопанельні детектори рентгенівського випромінювання
компанії BOE: технологія та застосування** 86

ІННОВАЦІЇ

Раш ЛаСель (Rush LaSelle)

Переклад: Сергій Шихов

Майбутнє 3D-друку: п'ять прогнозів від компанії Jabil 94

ВІЗИТКИ 98

ІНФОРМАЦІЙНА СТОРІНКА 104



ВИСОКОТЕХНОЛОГІЧНІ КОМПОНЕНТИ ДЛЯ ВАШИХ ІННОВАЦІЙ

Rutronik — один із провідних дистриб'юторів електронних компонентів. Ми пропонуємо широкий асортимент продукції зі складу, технічну підтримку в нових розробках, індивідуальні логістичні рішення та комплексні послуги.

- Напівпровідники
- Пасивні компоненти
- Електромеханіка та кабельні рішення
- Дисплеї та монітори
- Промислові комп'ютери
- Рішення по DDR і SSD
- Бездротові технології

Wilhelm Fleischhauer
Country Manager

Михайло Єлізаров
представник в Україні

Phone: +49 7231 801 1403
Mail: Wilhelm.Fleischhauer@rutronik.com

Тел. +038 (050) 312 01 07
Mail: Mykhaylo.Yelizarov@rutronik.com

Новини світу електронних компонентів

ДВОДІАПАЗОННИЙ, ВИСОКОТОЧНИЙ GNSS МОДУЛЬ З ПІДТРИМКОЮ ТЕХНОЛОГІЙ RTK ТА DR

Компанія **Quectel Wireless Solutions** оголосила про свій новий, дводіапазонний, високоточний модуль GNSS — LC29H. Він побудований на платформі чипсета AG3335, виробництва Airgha. Модуль здатний працювати з системами глобального позиціонування GPS, GLONASS, Galileo, QZSS та BDS. Модуль LC29H доступний у декількох варіантах, деякі з яких (наприклад LC29H-BA) підтримують функції Real Time Kinematic (RTK) та Dead Record (DR). Серія модулів LC29H пропонує високопродуктивні та енергоефективні рішення для задоволення ринкових потреб високоточного позиціонування на сантиметровому та дециметровому рівнях. Ці модулі ідеально підходять для вирішення завдань високоточного позиціонування у таких сферах як безпілотні літальні апарати, точне землеробство, керування роботами та транспортом у сфері доставки, а також у багатьох інших промислових та автономних галузях.

«Високоточне позиціонування з точністю до сантиметрового рівня стає все більш життєво важливим для багатьох нових додатків IoT. Робототехніка, БПЛА та промислові програми, які потребують точної навігації, диктують нові вимоги ринку, і ми дуже раді запустити наше новітнє покоління високоточних модулів позиціонування GNSS, — сказав Патрік Цянь (Patrick Qian), генеральний директор Quectel. — Нашою метою є надання найкращих у своєму класі рішень, простих у використанні та доступних для кожного нашого клієнта, ми вважаємо, що ринок IoT готовий до масового впровадження модулів позиціонування на сантиметровому рівні».

Модуль LC29H одночасно має змогу приймати і обробляти сигнали від усіх сузір'їв (GPS, Glonass, Beidou, Galileo та QZSS), що в поєднанні з підтримкою Satellite Based Augmentation System (SBAS) максимізує доступність супутникового сигналу. Модуль підтримує

дводіапазонний прийом сигналу L1 і L5, тим самим гарантуючи підвищення швидкості та точності позиціонування. Дводіапазонний прийом сигналу забезпечує надійні показники позиціонування та значно пом'якшує негативний ефект роботи від паразитних накладених та відбитих хвиль супутникового сигналу, що актуально у важких умовах роботи, наприклад, у великих містах з багатоповерховими забудовами.

У версії модуля LC29H, що містить 6-осьові інерційні датчики IMU (3-осьовий акселерометр та 3-осьовий гіроскоп), поєднується позиціонування RTK та технологія DR, що дозволяє забезпечити безперервне точне позиціонування та відображення траєкторії руху, коли супутниковий сигнал частково або повністю перекритий, наприклад, підземні паркінги, тунелі, міські забудови або ліси. При повторному прийомі супутникового сигналу модуль LC29H об'єднує дані інерційних датчиків з сигналами GNSS, а інтегрована навігація може забезпечити точність розташування дециметрового рівня. Для того щоб поліпшити продуктивність при використанні модуля з пасивною антеною, LC29H має вбудований підсилювач (LNA) і внутрішній SAW фільтр, що забезпечує високу чутливість приймача.

У модулях LC29H використовується 12-нм процес виробництва, що забезпечує дводіапазонному чипу приймача високу енергоефективність, тим самим дозволяючи забезпечити наднизьке споживання енергії в режимах спокою та фіксації положення GNSS. Це робить модуль ідеальним рішенням для енергонезалежних пристроїв та пристроїв з використанням акумуляторів, включаючи портативні пристрої, трекери для транспортних засобів та інше. Модуль має стандартний форм-фактор LCC з розмірами 12.2 × 16 × 2.5 мм, що дозволяє легку інтеграцію у нові розробки та полегшує міграцію застарілих пристроїв до новітніх високоточних технологій GNSS.

Модулі серії LC29H чудово підходять для широкого спектру застосувань GNSS, у тому числі, де кінцево необхідна підтримка технологій RTK чи DR. Модулі до-

ступні у чотирьох варіантах виконання, кожен з яких спрямований на різні сценарії застосування. Якщо у вас є проекти, що пов'язані з навігацією, то рекомендуємо взяти на замітку, можливо, саме модуль LC29H стане ідеальним рішенням для реалізації ваших технічних задач.

www.quectel.com

НОВИЙ LTE CAT 1 МОДУЛЬ

EG915U — це серія нових модулів LTE Cat 1, оптимізованих спеціально для додатків M2M та IoT від всесвітньо відомого виробника **Quectel Wireless Solutions Co. Ltd.** Всього серія складається з трьох різновидів модулів EG915U-EU, EG915U-LA, EG915U-CN, які відповідають діапазону частот різних країн і регіонів та дає можливість використовувати модуль в багатьох країнах світу. Модуль EG915U забезпечує максимальну швидкість 10 Мбіт/с для прийому та 5 Мбіт/с для передачі даних. Зібраний на базі чипсета Unisoc 8910DM. Модуль виконаний в компактному та уніфікованому форм-факторі LGA та має розміри 23.6 × 19.9 × 2.4 мм. EG915U сумісний з такими поширеними серіями модулів як EG91/EG95/BG95/BG96, та забезпечує можливість роботи в мережах 2G та 4G для задоволення потреб різних галузевих напрямків.

Quectel EG915U має багатий набір Інтернет-протоколів, стандартних інтерфейсів та велику кількість функціональних можливостей (драйвери USB для Windows 7/8/8.1/10, Linux, Android), які розширюють зручність використання модуля для широкого кола додатків M2M та IoT, таких як POS/ПоС/ETC, телеметрія та збір даних, безпека та захист, контроль та моніторинг енергії, промислові КПК та інше.

Модуль EG915U має достатній набір основних функцій та характеристик, та надає можливість вже сьогодні побудувати пристрої, котрі зможуть працювати як в 2G, так і в 4G мережах. Враховуючи невисоку вартість модуля EG915U, у нього є всі

шанси стати хітом, як, наприклад, свого часу став GSM модуль M66.

www.quectel.com

НОВІ З'ЄДНУВАЧІ ДЛЯ SINGLE PAIR ETHERNET

Компанія **Phoenix Contact** розширює асортимент з'єднувачів для передачі даних серії ONEPAIR для Single Pair Ethernet.

З'єднувачі для друкованих плат IP20 і патч-кабелі, що відповідають стандарту IEC 63171-2, — ідеальне рішення для ефективної передачі даних у системах автоматизації підприємств і будівель. Асортимент включає як попередньо зібрані патч-кабелі різної довжини, так і компактні роз'єми для підключення пристроїв, призначені для полегшення оплавлення, у різних виконаннях. Тепер додався з'єднувач із ножицею технологією з'єднання IDC. Міцні корпуси, що складаються з двох частин, можна дуже просто комплектувати без використання інструментів.

До асортименту виробів із захистом оболонки у виконанні M8 відповідно до стандарту IEC 63171-5 також належать попередньо зібрані патч-кабелі з різними типами кабелів і різною довжиною для різних систем і роз'єми для підключення пристроїв у стандартному виконанні M8. Щойно доданий з'єднувач панельного адаптера SPE-M8 забезпечує перехід від польової кабельної розводки із захистом оболонки до захищеної розводки в шафі керування. Доповнення асортименту варіантом M12 очікується цього року.

www.phoenixcontact.com

З'ЄДНУВАЧІ ДЛЯ ДРУКОВАНИХ ПЛАТ І ПАТЧ-КАБЕЛІ ДЛЯ USB І HDMI

Щоб задовольнити дедалі більший попит на більшу кількість інтерфейсів, компанія **Phoenix Contact** розширює асортимент з'єднувачів для передачі даних, що забезпечують

надійний зв'язок. Серед новинок асортименту, зокрема, з'єднувачі для друкованих плат і патч-кабелі у форматі USB типу А і типу С, а також у форматі HDMI типу А.

Варіанти у форматі USB типу А і типу С доступні у виконаннях USB 2.0, а також USB 3.2 пок. 1/USB 3.0 і USB 3.2 пок. 2/USB 3.1. З'єднувачі для передачі даних на швидкості до 10 Гбіт/с придатні до використання із сервісними інтерфейсами або для постійної передачі даних у захищених системах. Завдяки трьом напрямкам відводу з'єднувачів для друкованих плат, придатних для паяння оплавленням, вони мають широкі можливості застосування.

З'єднувачі для друкованих плат HDMI 2.0 і високошвидкісні патч-кабелі забезпечують надійну передачу аудіо- й відеоданих, а також Ethernet (HEC) у захищених системах. З'єднувачі для друкованих плат доступні з двома різними напрямками відводу і призначені для обробки в автоматизованих процесах оплавлення з технологією монтажу на поверхні.

На додачу до виробів для USB і HDMI асортимент продукції містить як традиційні з'єднувачі для

передачі даних, як-от D-SUB, так і нові з'єднувачі для передачі даних для RJ45, USB, HDMI, коаксіального і оптоволоконного з'єднання, а також для Single Pair Ethernet. Усі артикули вирізняються високою якістю і наявністю додаткових послуг із проектування.

www.phoenixcontact.com

З'ЄДНУВАЧІ ДЛЯ ПЕРЕДАЧІ ДАНИХ ДЛЯ ВСІХ ПРИЛАДОВИХ ІНТЕРФЕЙСІВ

Компанія **Phoenix Contact** постійно розширює асортимент з'єднувачів для передачі даних, що забезпечують надійний зв'язок. Завдяки розширенню виробничої програми традиційні з'єднувачі для передачі даних, як-от D-SUB, стали такою ж частиною асортименту продукції, як і нові з'єднувачі для передачі даних для RJ45, USB, HDMI, коаксіального і оптоволоконного з'єднання, а також Single Pair Ethernet.

Завдяки розмаїттю конструкцій, кодування та призначення контактів Phoenix Contact пропонує універсальне рішення для мідних і оптоволоконних кабелів.

Асортимент продукції для RJ45 включає як варіанти для використання в офісах і будинках, так і виробі, призначені для безпечної передачі даних у промислових зонах.

Особлива увага приділяється розробці нових рішень для Single Pair Ethernet. Асортимент IP20 для SPE включає попередньо зібрані патч-кабелі різної довжини, а також компактні роз'єми для підключення пристроїв, призначені для паяння оплавленням в різних виконаннях. З'явився також новий представник лінійки — з'єднувач із ножовим з'єднанням IDC для монтажу у полі. До асортименту виробів із захистом оболонки у виконанні M8 також входять попередньо зібрані патч-кабелі з різними типами кабелів для різних систем і роз'єми для підключення пристроїв у стандартному виконанні M8.

Усі з'єднувачі Phoenix Contact годяться для надійного й довговічного зв'язку з пристроєм. Якість виробів підтверджена лабораторними випробуваннями, що виходять за межі стандартів, а також міжнародними сертифікатами.

www.phoenixcontact.com

РАДІАТОРИ ОХОЛОДЖЕННЯ Й ЗАГЛУШКИ РАДІАТОРА ДЛЯ КОРПУСІВ ЕЛЕКТРОННОГО ОБЛАДНАННЯ

Компанія **Phoenix Contact** пропонує різні рішення радіаторів охолодження для корпусів електронного обладнання ICS.

Компактні заглушки радіатора забезпечують селективне охолодження пристрою. Крім того, доступний великий асортимент пасивних радіаторів охолодження для застосування у складних теплових умовах.

Положення бази радіатора охолодження можна змінювати для підключення електронних компонентів з конструкційною висотою до 13 або 15 мм. Залежно від потрібної кількості місця відстань між друкованою платою та радіатором охолодження становить від 0 до 11 мм. Радіатор охолодження проектується і виготовляється індивідуально для відповідного розташування електроніки. Таке проектування згідно з особливостями застосування гарантує оптимальне охолодження пристрою, а отже, подовження строку експлуатації електронних компонентів.



50 років COMBICON

Серія COMBICON від PHOENIX CONTACT, найбільший у світі асортимент клем для друкованих плат і штекерних з'єднувачів, відзначає 50-річний ювілей.

Сьогодні COMBICON – це зелений світовий стандарт роз'ємів для друкованих плат, що застосовується практично у всіх галузях промисловості, будівництва, інфраструктури та енергетики.

Це історія успіху, написана разом із Вами, нашими клієнтами та партнерами. За це ми кажемо вам ДЯКУЄМО!

ТОВ "Фенікс Контакт"
(044) 594 55 22
phoenixcontact.com/uk-ua/



PHOENIX CONTACT
INSPIRING INNOVATIONS

Нові рішення радіаторів охолодження ICS доповнюють наявний асортимент радіаторів охолодження та функцій температурного моделювання. Компанія Phoenix Contact вже на ранньому етапі розробки пропонує веб-платформу з інтуїтивним керуванням для аналізу термічних характеристик електронних пристроїв. За потреби цю цифрову послугу може бути доповнено індивідуальною консультацією. Таким чином, розробники пристроїв можуть скористатися перевагами детального моделювання залежно від умов застосування й отримати рекомендації щодо вибору корпусу, конструкції та розташування радіатора охолодження.

www.phoenixcontact.com

**ФІЛЬТР EMC
ДЛЯ ЗАСТОСУВАННЯ
У ВИМІРЮВАЛЬНОМУ
ОБЛАДНАННІ**

Новий фільтр EMC із вбудованою схемою захисту від перенапруг TTC-6-SFP-24AC-PT доповнює асортимент виробів TERMITRAB complete компанії Phoenix Contact.

Новий фільтр EMC обмежує та відфільтровує високочастотні завади на сигнальних проводах. Вбудована схема захисту від перенапруг забезпечує надійне відведення перехідних імпульсів. Завдяки габаритній ширині лише 6 мм фільтр EMC вирізняється компактністю монтажу. Він забезпечує захист як від високочастотних завод, так і від перехідних перенапруг лише в одному пристрої і придатний до застосування в системах з напругою від 24 В змінного струму або до 38 В постійного струму. Для встановлення фільтр EMC треба просто зафіксувати на DIN-рейці. Швидка технологія з'єднання Push-in спрощує процес електромонтажу.

www.phoenixcontact.com

**DC/DC-КОНВЕРТЕРИ
ДЛЯ ЖИВЛЕННЯ
ДРАЙВЕРІВ КЛЮЧІВ**

Компанія RECOM анонсує нову лінійку DC/DC-конвертерів RA3, розроблену для живлення драйверів ключів IGBT, Si, SiC та GaN. Компанія RECOM розширила асортимент бюджетних нестабілізованих DC/DC-

конвертерів серією RA3 3-ватних модулів SMD для забезпечення оптимальної напруги затвора ключа. Доступні варіанти з однополярним виходом 8 і 9 В або асиметричним +7/-1, +15/-3 та +20/-5 В. Дані напруги закривають вимоги до новітніх IGBT, кремнієвих КМОП транзисторів та елементів GaN HEMT. Модуль забезпечує міцність ізоляції 5.2 кВ/1 хв. і сертифіковані відповідно до UL/IEC/EN 62368-1, CAN/CSA-C22.2 62368-1, а також EN 61204-3. Клас А за EMC відповідно до EN 55032 забезпечується без обв'язки, а клас В з найпростішим фільтром LC. 3 Вт вихідної потужності підходять як для потужних GBT, але й ключів SiC і GaN на високій частоті перемикання. Доступні варіанти з вхідною напругою +5, +12 і +24 В з діапазоном +/-10%, а ККД зазвичай перевищує 80%. Місткість ізоляції становить менше 10 пФ, що забезпечує стійкість до крутих фронтів високої напруги, що спостерігаються у високій стороні драйвера особливо для SiC і GaN пристроїв. Діапазон робочих температур становить -40 °C...+85 °C без деградації (80 °C для версій із виходом 1, 8 та 9 В). Серія RA3 призначена для SMD монтажу, розміри корпусу становлять 23.4 x 15 x 8.5 мм, забезпечуючи 35% економію за місцем на платі та 60% за обсягом, що займає, в порівнянні з конкурентами. SMD корпус з великими відстанями між майданчиками забезпечує необхідний фізичний поділ для підвищеної ізоляції між входом DC/DC та іншими частинами схеми, що підключені до верхнього шару. Широкий діапазон робочих температур серії RA3 підходить для жорстких умов експлуатації, наприклад, джерела відновленої енергії, сонячні інвертори, індукційне нагрівання, телекомунікації, ЗУ для електротранспорту та керування електродвигунами. Коментар Метью Даутерів, менеджера з продукції DC/DC компанії RECOM: «Ми тісно співпрацюємо з провідними виробниками напівпровідникових ключів із широкою забороненою зоною, щоб гарантувати оптимальну продуктивність при застосуванні наших DC/DC для живлення останнього покоління пристроїв. Вони значно менші за розміром та вимагають меншої кількості зовнішніх компонентів, ніж конкурентні рішення на ринку, що спрощує проектування». Зразки

та ціни для замовників доступні від усіх авторизованих дистрибуторів або безпосередньо від RECOM.

www.recom-power.com

**ДЖЕРЕЛА ЖИВЛЕННЯ
НА DIN-РЕЙКУ ДЛЯ СИСТЕМ
БЕЗПЕКИ 180 ВТ**

Джерела живлення MEAN WELL серій DRC-40, DRC-60, DRC-100 добре зарекомендували себе на ринку систем безпеки та мають широке застосування в системах охорони, пожежної безпеки, аварійному освітленні, системах контролю доступу і т.д. Щоб розширити сфери застосування MEAN WELL почав серійне виробництво нової серії потужністю 180 Вт — DRC-180. Вони підходять для встановлення на дін-рейки типу TS-35/7.5 або TS-35/15. Широкий діапазон вхідних напруг 90~264 В змінного струму та дві моделі з виходом 13.8 В DC та 27.6 В DC робить їх підходящими для більшості задач. На виході блок живлення має 2 канали: основний (CH1) для живлення обладнання і додатковий (CH2) який може в той же час заряджати батарею. Крім того, вони мають індикатор AC OK, сигналізацію про низьку напругу акумулятора та разом із зовнішньою батареєю можуть утворювати DC-UPS систему.

www.meanwell.com

**«РОЗУМНІ» БЛОКИ
ЖИВЛЕННЯ НА DIN-РЕЙКУ
240 ТА 480 ВТ**

З 2000 року MEAN WELL постійно випускає нові блоки живлення та аксесуари з крипленням на DIN-рейку. Нині ця лінійка продукції вже досить різноманітна та завоювала значну частку ринку. У відповідь на стрімкий розвиток складної архітектури будівель, уряди Європи, США та Китаю оголосили нові правила для систем безпеки та протипожежного захисту (EN54-4/UL2524/GB17945). Для задоволення потреб величезного ринку, MEAN WELL почав виробництво нових «розумних» джерел живлення серій DRS-240 і DRS-480.

Найбільш привабливою особливістю DRS-240 та DRS-480 є їх багатофункціональність, яка включає AC/DC-перетворювач, зарядку для батарей, DC-UPS і

протоколи зв'язку в одному компактному корпусі. Окрім цього вони мають широкий діапазон вхідних напруг 90~305 В змінного струму, що робить їх придатними до використання у всіх частинах світу. Новинки мають вбудований комунікаційний інтерфейс MODBus, а параметри зарядки можна керувати через SBP-001. 2-/3-ступеневу криву заряджання та рівень струму заряду (20%~100%) також можна налаштувати вручну за допомогою перемикача на передній панелі. DRS-240 та DRS-480 можуть використовуватись зі свинцево-кислотними й літєвими батареями. Новинка відмінно підійде для системи протипожежної безпеки, аварійного освітлення, систем контролю доступу тощо.

www.meanwell.com

**ДЖЕРЕЛО ЖИВЛЕННЯ
2300 ВТ ДЛЯ СУВОРИХ
УМОВ ЕКСПЛУАТАЦІЇ**

Сімейство HEP від MEAN WELL це спеціальні джерела живлення для суворих умов експлуатації з захистом від води та пилу по стандарту IP67, антивібраційною здатністю 10G, безвентиляторним дизайном, що досягається за рахунок алюмінієвого екструдованого корпусу з кондуктивним охолодженням. Вони підходять для використання в промисловому і телекомунікаційному обладнанні, розміщеному зовні приміщень. Крім того, HEP-2300 мають моделі з високочастотним виходом 115 В, 230 В і 380 В, які можна використовувати для нових застосувань, таких як пристрої для зарядки, для лазерного різання чи обладнання для електролізу.

Серія HEP-2300 включає моделі з вихідною напругою 55 В, 115 В, 230 В і 380 В, якою можна керувати за допомогою вбудованого змінного резистора, функцій PV/PC чи за допомогою цифрового зв'язку через протоколи CANBus, PMBus або MODBus.

Окрім різних варіантів по вихідній напрузі, серія HEP-2300 залежно від моделі має три методи підключення, такі як традиційна клемна колодка, водозахищені кабелі та водозахищені роз'єми. Зокрема, водозахищений роз'єм можна використовувати для телекомунікаційного радіообладнання 4G RRU (Remote Radio Unit) та активної антени 5G AAU (Active Antenna Unit), яку можна

використовувати на зовнішніх базових станціях. Вони також мають декілька варіантів монтажу. За потреби MEAN WELL також може надати послуги з модифікації кабелю.

www.meanwell.com

УЛЬТРАТОНКИЙ АС/DC-ПЕРЕТВОРЮВАЧ ПОТУЖНІСТЮ 350 Вт

Компанія **Mornsun** представила ультратонкий АС/DC-перетворювач в корпусі потужністю 350 Вт — серія LMF350-23VxxUH. Дані джерела живлення мають широкий вхідний діапазон 85–305 В змінного струму та активний PFC. Перетворювач Mornsun LMF350-23VxxUH виконаний у компактному корпусі 220 × 62 × 31 мм, має високу потужність 350 Вт і здатний витримати 150% навантаження протягом 1 с. Незважаючи на високу щільність потужності, джерело живлення має ефективність до 94% при максимальному навантаженні. Пасивне охолодження дозволить застосовувати його в місцях, де потрібний низький рівень шуму.

Джерела живлення серії LMF350-23VxxUH випускаються в декількох варіантах вихідної напруги: 5, 12, 24, 36, 48 В постійного напруги. EMS-сумісність EN/UL62368, EN61558, EN60335, GB4943 та широкий вхідний діапазон 85–305 В постійного струму дозволяють його використовувати в промисловості, енергетиці, освітленні, телекомунікаціях та системах безпеки. Діапазон робочої температури –40...+85 °С, пристрій має захист від короткого замикання, високої напруги та від високої температури. Ізоляція між входом і виходом становить 4 000 В змінного струму.

www.mornsun-power.com

УНІВЕРСАЛЬНИ АС/DC-ПЕРЕТВОРЮВАЧІ

Компанія **Mornsun** випустила універсальні АС/DC-джерела живлення серії LM(F) у корпусі, які відрізняються високою гнучкістю застосування, широким вибором вихідної напруги та потужністю 15–1 000 Вт. Перетворювачі сімейства LM(F) придатні для використання у промисловій авто-

матизації, LED-освітленні, робототехніці, у будівлях та спорудах тощо. Дана лінійка має широкий вхідний діапазон 85–305 В змінного струму і 100–400 В постійного струму. Вихідна напруга покриває всі вимоги сучасної промисловості та автоматизації: 3.3; 5; 9; 12; 15; 24; 27; 30; 36; 48 і 54 В постійної напруги та широкий вибір потужності 15–1 000 Вт при постійному 100% навантаженні. Джерела мають компактні розміри корпусу, що монтується на шасі при високій ефективності до 94% та ізоляцію між входом і виходом 3 000 і 4 000 В змінного струму. Моделі потужністю до 200 Вт мають пасивне охолодження, а моделі від 300 Вт можуть оснащуватися активним охолодженням для встановлення в важких температурних умовах до +70 °С. Нижній поріг температурного діапазону становить –30 °С. Перетворювачі серії LM(F) оснащені захистом від перегріву, короткого замикання, високої напруги, а моделі з суфіксом F — LM(F) додатково мають активний коректор потужності PFC для відповідальних застосувань.

www.mornsun-power.com

BLUETOOTH CHK НАСТУПНОГО ПОКОЛІННЯ З ФУНКЦІЄЮ ПОЗИЦІОНУВАННЯ

Компанія **STMicroelectronics** представила Bluetooth CHK (систему на кристалі) третього покоління, доповнену функцією пеленгації за допомогою Bluetooth та призначеною для додатків відстеження розташування та позиціонування в реальному часі. Визначаючи напрямок сигналу Bluetooth Low Energy (BLE), CHK BlueNRG-LPS, сертифікована на відповідність специфікації Bluetooth 5.3, може оцінювати переміщення і місцезнаходження з точністю до сантиметра. У CHK використовується описана стандартом Bluetooth технологія визначення кутів приходу (angle-of-arrival, AoA) і виходу (angle-of-departure, AoD), що обчислюються за сигналами, одержуваними антенною решіткою. Завдяки цій можливості CHK тепер дозволяє створювати широкий спектр додатків, що вимагають навігації всередині приміщень, геозонування та відстеження переміщення об'єктів, а також визначення в режимі реального часу розта-



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

шування інструментів, активів та товарів. Завдяки оптимізації архітектури та периферійних пристроїв вводу-виводу, а також пам'яті програм та даних (192 КБ eFlash та 24 КБ SRAM, відповідно), розрахованої на спрощені кінцеві продукти, BlueNRG-LPS ідеально підходить для недорогих програм з великими обсягами випуску. До них належать бездротові датчики загального призначення, медичні прилади, системи безключового доступу, пульти дистанційного керування та інтелектуальні дистанційні лічильники. Крім того, інтегровані в СНК високоефективний понижувальний перетворювач і схема захисту ще більше спрощують і скорочують перелік необхідних компонентів і дозволяють реалізувати конструкцію на значно дешевшій двосторонній друкованій платі. Архітектура СНК підтримує новітню специфікацію Bluetooth LE Power Control, що дозволяє точно налаштувати вихідну радіочастотну потужність до +8 дБм з кроком 1 дБм, щоб збільшити час автономної роботи. Крім того, функція Bluetooth Path-Loss Monitoring покращує якість радіозв'язку та запобігає виникненню перешкод, забезпечуючи надійне з'єднання для покращення взаємодії між пристроями навіть у місцях скупчення людей, а також менший час відгуку. Підтримка Bluetooth 5.3 далекого радіусу дії, висока швидкість передачі даних 2 Мбіт/с, періодичне оповіщення, одночасне підключення кількох пристроїв та багатфункціональність також забезпечують користувачеві виняткову зручність роботи з обладнанням на основі BlueNRG-LPS. Крім цього, є спеціальні апаратні та програмні функції підтримки підвищеної безпеки. Для спрощення вивчення СНК BlueNRG-LPS та розробки кінцевого продукту пропонується оцінна платформа STEVAL-IDB012V1. СНК BlueNRG-LPS вже запущені в масове виробництво в 32-контактних корпусах QFN розміром 5 × 5 мм.

www.st.com

НАЙМЕНШИЙ У СВІТІ МОДУЛЬ GNSS

Компанія **u-blox** анонсувала свою мініатюрну на сьогоднішній день серію приймальних модулів GNSS (глобальної навігаційної супутникової систе-

ми) — u-blox MIA-M10. Модуль u-blox MIA-M10, побудований на платформі GNSS u-blox M10 із наднизьким енергоспоживанням, забезпечує найбільш енергоефективне рішення для контролю переміщення об'єктів. Модуль орієнтований на ринок пристроїв стеження за людьми, домашніми тваринами і худобою, а також промислових датчиків і споживчих товарів. Мініатюрний корпус MIA-M10 розміром 4,5 × 4,5 мм — приблизно вдвічі менший, ніж у конкуруючих продуктів — дозволяє розробникам створювати більш привабливі та зручні рішення, сприяючи подальшому впровадженню технологій позиціонування у споживчих та промислових рішеннях. Модуль забезпечує наднизьке енергоспоживання без шкоди характеристикам GNSS. Крім того, його режими енергозбереження дозволяють подвоїти час автономної роботи за рахунок оптимального балансу між точністю позиціонування та енергоспоживанням. Як і всі пристрої u-blox сімейства M10, модуль MIA-M10 одночасно приймає інформацію від чотирьох груп GNSS (GPS, Galileo, BeiDou і ГЛОНАСС) для максимальної доступності супутникового сигналу. У поєднанні з чудовою радіочастотною чутливістю модуль забезпечує надійне позиціонування для рішень з невеликими антенами, а також для пристроїв, що працюють в умовах слабого сигналу, наприклад, глибоких міських каньйонах. Підтримка GNSS службою u-blox AssistNow, що доставляє орбітальні дані через Інтернет, скорочує час, необхідний MIA-M10 для визначення свого початкового положення при запуску, дозволяючи модулю негайно починати відстежувати супутники, не чекаючи завершення повільного звантаження супутникових даних. А програми, що вимагають надтривалого автономного живлення, можуть використовувати сервіс CloudLocate компанії u-blox, який продовжує термін служби програм IoT, переносячи енергоємні обчислення розташування в хмару. Готовий до використання модуль GNSS у корпусі з розмірами кристала не потребує зовнішніх компонентів, що скорочує витрати на проектування та тестування, економить кошти та ресурси та прискорює вихід на ринок.

MIA-M10 випускається у двох варіантах виконання. MIA-M10Q орієнтований на ринок пристроїв стеження з батарейним живлен-

ням і дуже обмеженими розмірами. Невеликі розміри, низьке енергоспоживання і відмінні характеристики роблять модуль природним вибором для пристроїв, що використовуються для спостереження за місцезнаходженням і благополуччям дітей, людей похилого віку, домашніх тварин і худоби, а також для високодинамічних додатків, таких як невеликі дрони, камери, велокомп'ютери і датчики з батарейним живленням. Другий варіант продукту — MIA-M10C — призначений для споживачів, яким потрібно більше гнучкості для об'єднання модуля з активною або схемою антени, що настроюється.

www.u-blox.com

НОВИЙ ПОРТФЕЛЬ МІКРОКОНТРОЛЕРІВ MCX ДЛЯ НОВОЇ ЕРИ ПЕРЕДОВИХ ПРОМИСЛОВИХ ТА ПЕРИФЕРІЙНИХ ОБЧИСЛЕНЬ ІОТ

Компанія **NXP Semiconductors** анонсувала новий портфель мікроконтролерів MCX, призначений для просування інновацій у розумних будинках, розумних фабриках, розумних містах та багатьох нових промислових і периферійних додатках IoT. Портфоліо включає чотири серії пристроїв, побудованих на загальній платформі та підтримуваних широко поширеним набором засобів розробки та програмного забезпечення MCUXpresso. Ця комбінація пропозицій дозволяє розробникам максимізувати повторне використання програмного забезпечення портфоліо для прискорення розробки. Портфоліо також включає перший екземпляр нового спеціалізованого нейронного процесора NXP (NPU) для прискорення логічних висновків на периферії, забезпечуючи до 30 разів більш високу пропускну спроможність машинного навчання порівняно з одним лише ядром ЦП.

Завдяки швидкому поширенню периферійних пристроїв, мікроконтролери зазнали значних змін протягом останніх кількох десятиліть. Незважаючи на те, що вони лежать в основі багатьох сучасних периферійних додатків, інтелектуальні додатки наступного покоління вимагатимуть мікроконтролерів нового класу, які дозволять розробникам орієнтуватися у складному

ландшафті вимог до потужності, продуктивності та безпеки, а також можливостях підключення, при цьому балансує між загальною вартістю системи та її енергоефективністю. Портфоліо MCX, побудоване на загальній базі основних технологій та підтримуване уніфікованим програмним пакетом для максимального повторного використання програмного забезпечення, забезпечить гнучкість, необхідну для вирішення цього завдання. Широта портфоліо MCX дозволяє розробникам вибирати пристрої, які найкраще відповідають потребам їх додатків, звільняючи їх для інвестицій у різні аспекти їхнього дизайну.

Чотири серії в портфоліо MCX призначені для простоти використання, спрощення міграції та збільшення або зменшення масштабу при необхідності з максимальним повторним використанням програмного забезпечення для мінімізації витрат на розробку. Портфоліо засноване на високопродуктивних ядрах Arm Cortex-M та включає повний набір периферійних пристроїв для гнучкості конструкції. Пристрої MCX мають до 4 МБ вбудованої флеш-пам'яті, кеш-пам'ять з низьким енергоспоживанням та вдосконалені контролери управління пам'яттю, а також до 1 МБ вбудованої SRAM для подальшого підвищення продуктивності периферійних програм у реальному часі.

Машинне навчання та висновки під час виконання будуть підтримуватись середовищем розробки програмного забезпечення NXP eIQ® ML. Розробники можуть використовувати прості у використанні інструменти, пропонувані eIQ, для навчання моделей машинного навчання, національні або на NPU або на ядро ЦП, і розгорнути їх на MCU. Сімейства MCX, створені відповідно до розробленого NXP підходу до безпеки, пропонуватимуть безпечне звантаження з незмінним коренем довіри, апаратно-прискореною криптографією і, в деяких сімействах, вбудованою безпечною підсистемою EdgeLock®.

www.nxp.com

КОМПАКТНІ З'ЄДНУВАЧІ «КАБЕЛЬ-ПЛАТА»

Компанія **Hirose Electric** розробила компактні, надійні роз'єми із кроком 1 мм серії GT50

www.chipnews.com.ua

для підключення кабелю до плати. Завдяки високій термостійкості до +125 °C та міцній конструкції ці вироби можуть використовуватись в автомобільній електроніці.

Через перехід на електричні транспортні засоби зріс попит на роз'єми для підключення кабелів до плат усередині модулів автомобільної електроніки. Оскільки простір для цих пристроїв обмежений, потрібні більш компактні та легкі з'єднувачі. У той же час важливими вимогами залишаються стійкість до тепла, що виробляється компонентами при високій щільності монтажу, і висока надійність з'єднання при вібраціях, що виникають під час поїздок. Однак є не так багато роз'ємів, що відповідають цим вимогам, і користувачі змушені вибирати або великогабаритні автомобільні, або менші роз'єми для побутової електроніки, не призначені для застосування в автомобілях.

Для вирішення зазначених проблем була розроблена серія GT50. Характерні особливості з'єднувачів цієї серії: малі габарити, крок 1 мм, висота 5.97 мм. Використовується кабель із поперечним перерізом всього 0.08 мм², який приблизно на

75% легше кабелю з перерізом 0.3 мм², що часто застосовується для внутрішніх з'єднань в автомобільних пристроях.

Незважаючи на малі розміри, і контакти, і корпус оснащені фіксаторами для запобігання випаданню контактів, що забезпечує більшу силу їх утримання під час прокладання кабелю. Крім того, роз'єми серії GT50 характеризуються достатньою міцністю фіксації та міцністю на відрив від друкованої плати, що робить їх надійними для внутрішніх з'єднань.

Термостійкий матеріал та конструкція обтискових контактів забезпечують термостійкість до +125 °C. Крім цього, стабілізатор не дозволяє контактам зрушуватися всередині корпусу, що гарантує високу вібростійкість, підтвержену результатами випробувань, під час яких не було зафіксовано змін у опорі контактів. Дані роз'єми можуть експлуатуватися як в умовах високих температур, так і в автомобільних електронних блоках, схильних до сильних вібрацій.

Нещодавно розроблена серія з'єднувачів GT50 може широко використовуватись у автомобільних пристроях. Вже були

випущені моделі з 2 і 16 контактами. В автомобільній електроніці також потрібні роз'єми з іншим числом контактів. Для задоволення цього попиту заплановано роботи зі створення додаткових моделей з'єднувачів, відомості про які наведені нижче.

- Заплановано розробку моделей з такою кількістю контактів: 4, 6, 8, 10 та 12.
- Розглядається також доцільність розробки таких модифікацій: роз'єм вертикального типу.

Надійна конструкція задовольняє вимогам до автомобільних компонентів. Дані роз'єми можуть використовуватися в транспортних засобах з автоматичним керуванням (Automated Guided Vehicles — AGV), в автономних мобільних роботах (Autonomous Mobile Robots — AMR) та в електроінструментах, які експлуатуються в жорстких умовах.

www.hirose.com

ВІДЦЕНТРОВІ ВЕНТИЛЯТОРИ

Компанія **Evercool**, виробник популярних вентиляторів

та кулерів для обладнання та комп'ютерної техніки, оголосила про початок виробництва нової лінійки продукції — відцентрових вентиляторів.

Відцентрові вентилятори широко застосовуються в промисловому устаткуванні в системах вентиляції, сушіння, очищення, нагріву, друкарських машинах, при виробництві пластику, в паквальному обладнанні та ін. Вітряна турбіна вентиляторів Evercool проходить випробування на статичний та динамічний баланс, безперебійність роботи, стабільність повітряного потоку, тиску та стійкість до вібрації. Особлива увага приділяється рівню шуму. Вентилятори працюють на високоефективних приводах, що витримують високі робочі температури, і характеризуються стабільністю роботи та високим ККД. Сопло для подачі повітря має різні форми та орієнтацію, залежно від приводу, що використовується (кругле, під кутом 0, 90 або 180 градусів). Відцентрові вентилятори Evercool мають серію CY/CYZ, після якої йде цифровий код розробки.

www.evercool.com.tw

JANTZEN AUDIO

www.jantzen-audio.com

**ФІЛУР
ЕЛЕКТРИК**

- Конденсатори
- Індуктивності
- Резистори
- Аудіороз'єми та акустичні термінали
- Звукоізоляційні матеріали
- Кабелі

www.filur.net

Компанія Філура Електрик є офіційним дистриб'ютором продукції Jantzen Audio в Україні та здійснює прямі поставки від виробника

Нові мікроконтролери PIC32CM Lx від Microchip Technology

Євген Тетерев, Rainbow Technologies

E-mail: ted@rainbow.com.ua

Нові мікроконтролери Microchip PIC32CM Lx є розвитком сімейства SAM L10/L11, яке декілька років тому набуло широкого поширення у світі Інтернету речей. Таким чином, сімейство PIC32CM Lx, незважаючи на аббревіатуру PIC у своїй назві, має в основі ядро Cortex і може вважатися спадкоємцем 32-бітних мікроконтролерів Atmel.

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА

Необхідність у створенні нового сімейства виникла з наступної причини. З одного боку, мікроконтролери SAM L10/L11 завоювали велику популярність завдяки наднизькому споживанню енергії (до 25 мкА на 1 МГц тактової частоти в активному режимі) і особливим властивостям ядра Cortex-M23, яке можна розглядати як ядро Cortex-M0 з технологією Trust Zone. З іншого боку, серія SAM L10/L11 має обмежені ресурси: кількість виводів корпусу не перевищує 32, програмна пам'ять — не більше 64 кБ і оперативна пам'ять — не більше 16 кБ.

У новому сімействі PIC32CM Lx кількість виводів становить від 48 до 100, програмна пам'ять розширена до 512 кБ, а оперативна — до 64 кБ. Максимальна тактова частота процесора Cortex-M23 збільшена з 32 до 48 МГц. Також розширена периферія: збільшено число сенсорних каналів та інтерфейсних ліній UART/SPI/I²C, додано інтерфейси USB та I²S, з'явився 12-бітний ЦАП. Здійснено перехід на новий рівень безпеки — деякі моделі сімейства PIC32CM Lx виконані у вигляді системи на кристалі, яка має крипто-мікросхему АТЕСС608. Ця мікросхема є апаратним сховищем ключів безпеки з рівнем захисту JIL «High», вона захищає ключі від усіх видів програмних та фізичних атак.

Сімейство PIC32CM Lx має широкий спектр застосування та може бути ви-

користане в Інтернеті речей, промисловості, медичних та побутових пристроях, де пріоритетами є висока безпека, низьке енергоспоживання та наявність сенсорного інтерфейсу. З конкретних характеристик цих мікроконтролерів можна назвати такі [1]:

• *Загальні властивості:*

- ядро Cortex-M23, до 48 МГц, апаратне множення та ділення;
- живлення від 1.62 до 3.63 В;
- корпуси: 48 виводів (TQFP і QFN), 64 виводи (TQFP і QFN) та 100 виводів (TQFP);
- промисловий температурний діапазон (−40...+85 °С).

• *Пам'ять:*

- до 512 кБ програмної пам'яті flash;
- до 64 кБ пам'яті SRAM;
- 512 байт захищеної оперативної пам'яті (Trusted RAM);
- до 16 кБ пам'яті flash для даних;
- 32 кБ завантажувальної пам'яті.

• *Безпека:*

- наявність технології Trust Zone;
- генератор істинно випадкових чисел;
- крипто-прискорювач для алгоритмів AES256, SHA256 та GCM;
- захищений завантажувач ПЗ, розташований у спеціальній області пам'яті та недоступний для стирання або зміни;
- технологія захищеного завантаження на основі SHA та HMAC-алгоритмів;

- підтримка стандарту безпеки Microsoft DICE [2];
- тамперні входи;
- скремблінг захищеної оперативної пам'яті та flash-пам'яті даних з ключем користувача;
- вбудована крипто-мікросхема для зберігання ключів безпеки (деякі моделі);
- унікальний 128-бітний серійний номер.

Вказані заходи безпеки дозволяють користувачеві:

- ефективно запобігати програмним та фізичним атакам на пристрій;
- мати захист від клонування та випуску незаконних копій його виробу;
- здійснювати безпечно завантаження перевірених програмних оновлень;
- захистити свою інтелектуальну власність (програмні алгоритми) від незаконного використання.
- *Енергоспоживання:*
 - до 54 мкА на 1 МГц тактової частоти в активному режимі;
 - до 13 мкА на 1 МГц тактової частоти в режимі очікування;
 - менше 1.4 мкА в режимі сну (зі збереженням вмісту оперативної пам'яті та роботою лічильника реального часу);
 - час виходу з режиму очікування — 1.5 мкс;
 - час виходу з режиму сну — 75 мкс.
- *Периферійний сенсорний контролер:*
 - технологія Driven Shield Plus, що забезпечує високий рівень водостійкості та стійкості до шумів сигналу;
 - режим Parallel Acquisition, який у 4 рази зменшує час відгуку системи на дотики;
 - до 32 каналів із власною ємністю або до 256 каналів із взаємною ємністю.

- **Зовнішні інтерфейси:**
 - USB Full Speed Host and Device;
 - до 6 каналів SERCOM, кожен з яких може працювати в режимі USART, SPI, I²C, LIN, RS-485, ISO7816;
 - I²S для роботи зі звуковими сигналами.
- **Аналогова периферія:**
 - 12-бітний АЦП, 1 MSPS, 24 канали;
 - 12-бітний ЦАП, 1 MSPS, працює як 2 незалежні ЦАП з односторонніми виходами або як один ЦАП з диференційним виходом;
 - 3 операційні підсилювачі;
 - 4 компаратори.
- **Інша периферія:**
 - 7 таймерів;
 - модуль CCL (конфігурована логіка користувача), який має чотири комірки. Кожна комірка включає 3-входову таблицю істинності та дозволяє реалізувати як комбінаторну логіку (AND, NAND, OR, NOR, XOR та ін.), так і послідовну логіку (RS-тригер, D-тригер, JK-тригер та ін.).

СТРУКТУРА СІМЕЙСТВА PIC32CM LX

Сімейство PIC32CM Lx ділиться на три основні серії, які відрізняються між собою набором функцій безпеки. Характеристики конкретних моделей в межах кожної серії наведені в таблиці 1.

- **PIC32CM LE00.** Це мікроконтролери загального призначення. Набір функцій безпеки відносно невеликий і включає в себе:
 - наявність 512 байт захищеної оперативної пам'яті (Trusted RAM);
 - генератор істинно випадкових чисел;
 - скремблінг вмісту захищеної оперативної пам'яті;
 - тамперні входи;
 - унікальний 128-бітний серійний номер.
- **PIC32CM LS00.** Це мікроконтролери з розширеними функціями безпеки. Вони включають все наведене вище для PIC32CM LE00, а також:
 - технологію Trust Zone для процесорного ядра;
 - крипто-прискорювач для алгоритмів AES256, SHA256 та GCM;
 - скремблінг flash-пам'яті даних;
 - захищений завантажувач ПЗ;

Таблиця 1. Характеристики мікроконтролерів сімейства PIC32CM Lx

№ з/п	Найменування	Корпус	Кількість виводів	Число ліній вх./вих.	Пам'ять			Інтерфейс				Аналогові ПП			Сенсорні канали				
					Flash (кБ)	SRAM (кБ)	Data Flash (кБ)	Trusted RAM (байт)	Boot ROM (кБ)	SERCOM	I ² C	USB	I ² S	Канали АЦП	Канали ЦАП	Op Amp	Комп.	Self Cap.	Mut. Cap.
1	PIC32CM2532LE00048	VQFN TQFP	48	34	256	32	8	512	32	6	6	4	1	1	14	2	6	26	169
2	PIC32CM2532LS00048	VQFN	48	34	512	64	16	512	32	6	6	4	1	1	14	2	6	26	169
3	PIC32CM2532LS60048	VQFN	48	34	512	64	16	512	32	6	6	4	1	1	14	2	6	26	169
4	PIC32CM5164LE00048	VQFN TQFP	64	48	512	32	8	512	32	6	6	4	1	1	20	3	8	32	256
5	PIC32CM5164LS00048	VQFN	64	48	512	64	16	512	32	6	6	4	1	1	20	3	8	32	256
6	PIC32CM5164LS60048	VQFN	64	48	512	64	16	512	32	6	6	4	1	1	20	3	8	32	256
7	PIC32CM2532LE00064	VQFN TQFP	100	80	256	32	8	512	32	6	6	4	1	1	24	3	8	32	256
8	PIC32CM2532LS00064	VQFN	100	80	512	64	16	512	32	6	6	4	1	1	24	3	8	32	256
9	PIC32CM2532LS60064	VQFN	100	80	512	64	16	512	32	6	6	4	1	1	24	3	8	32	256
10	PIC32CM5164LE00064	VQFN TQFP	100	80	256	32	8	512	32	6	6	4	1	1	24	3	8	32	256
11	PIC32CM5164LS00064	VQFN	100	80	512	64	16	512	32	6	6	4	1	1	24	3	8	32	256
12	PIC32CM5164LS60064	VQFN	100	80	512	64	16	512	32	6	6	4	1	1	24	3	8	32	256
13	PIC32CM2532LE00100	VQFN TQFP	100	80	256	32	8	512	32	6	6	4	1	1	24	3	8	32	256
14	PIC32CM2532LS00100	VQFN	100	80	512	64	16	512	32	6	6	4	1	1	24	3	8	32	256
15	PIC32CM2532LS60100	VQFN	100	80	512	64	16	512	32	6	6	4	1	1	24	3	8	32	256
16	PIC32CM5164LE00100	VQFN TQFP	100	80	256	32	8	512	32	6	6	4	1	1	24	3	8	32	256
17	PIC32CM5164LS00100	VQFN	100	80	512	64	16	512	32	6	6	4	1	1	24	3	8	32	256
18	PIC32CM5164LS60100	VQFN	100	80	512	64	16	512	32	6	6	4	1	1	24	3	8	32	256

- технологію захищеного завантаження на основі SHA та HMAC-алгоритмів;
 - підтримку стандарту безпеки DICE.
- *PIC32CM LS60.* Це система на кристалі, що складається з мікроконтролера PIC32CM Lx та крипто-мікросхеми АТЕСС608 для зберігання та роботи з ключами безпеки. Функції безпеки включають все наведене вище, а також безпрецедентний рівень захисту ключів, зумовлений наявністю крипто-мікросхеми.

ЕНЕРГОЗБЕРІГАЮЧІ ВЛАСТИВОСТІ

Сімейство PIC32CM Lx має ряд енергозберігаючих функцій, спрямованих на подовження роботи пристрою від батареї:

- *Технологія Sleep Walking.* Вона дозволяє периферійним пристроям виконувати обробку сигналів у той час, як процесорне ядро перебуває в режимі сну.
 - *Два рівні продуктивності.* В активному режимі PIC32CM Lx може мати рівень продуктивності PL0 (тактова частота 12 МГц) або PL2 (тактова частота 48 МГц). Мікроконтролер може перемикатися між цими режимами «на льоту», щоб краще відповісти рівню активності програми користувача та дотримуватися балансу між продуктивністю та споживанням потужності.
3. *Система подій.* Ця функція дозволяє периферійним пристроям взаємо-

діяти між собою безпосередньо, а не через процесорне ядро. Такий підхід знижує навантаження на процесор і зменшує кількість програмних циклів для виконання більшості завдань.

4. *Управління доменами живлення.* Невикористані домени живлення можна відключати, що дозволяє додатково знизити споживання мікроконтролера в режимі сну.
5. *Автономна аналогова периферія.* Наявність вбудованих компараторів та операційних підсилювачів зменшує кількість мікросхем у виробі, а значить і його загальне енергоспоживання. Крім того, вся аналогова периферія, в тому числі АЦП і ЦАП, може автономно обробляти сигнали від підключених датчиків, у той час як процесор перебуває в режимі сну і прокидається тільки при перевищенні вхідними сигналами заданих порогових значень.

ТЕХНОЛОГІЯ TRUST ZONE

Технологія Trust Zone є апаратним розділенням процесорного ядра, пам'яті та периферійних пристроїв на захищену (зону, вмісту якої можна довіряти повністю) і незахищену (зону, вмісту якої можна довіряти з деякими пересторогами) зони. Елементи захищеної зони мають доступ до всіх ресурсів мікроконтролера. Елементи незахищеної зони мають доступ лише до деяких ресурсів, які визначаються користувачем. Цей доступ здійснюється

не безпосередньо, а через спеціальні API-інтерфейси, щоб повністю виключити зміну або пошкодження коду та пам'яті захищеної зони.

Таке розділення дозволяє впроваджувати різні види захистів від програмних атак і втручання сторонніх осіб. Наведемо декілька прикладів.

Захист від програмних атак

На рисунку 1 наведена система дистанційного (бездротового) моніторингу пацієнта лікарні та відстеження його життєво важливих показників:

- Мікроконтролер виконує програмний код, який знаходиться у незахищеній зоні. Ця зона має зв'язок із зовнішнім світом (наприклад, через Інтернет) і потенційно може бути вражена програмними атаками.
- Копія автентичного програмного коду зберігається також у захищеній зоні мікроконтролера. Вона повністю захищена від зовнішніх втручань.
- При виявленні програмної атаки на пристрій, мікроконтролер стирає код, розташований у незахищеній зоні і записує туди автентичний код із захищеної зони. Після цього робота пристрою відновлюється.

Захист інтелектуальної власності

Останнім часом все частіше виникають ситуації, коли загальний програмний код пишеться не однією, а двома і більше компаніями-розробниками. Виникає необхідність в ізоляції фрагментів коду, щоб запобігти крадіжці інтелектуальної власності або випадковому втручання в прошивку сторонньої



Рис. 1. Захист від програмних атак

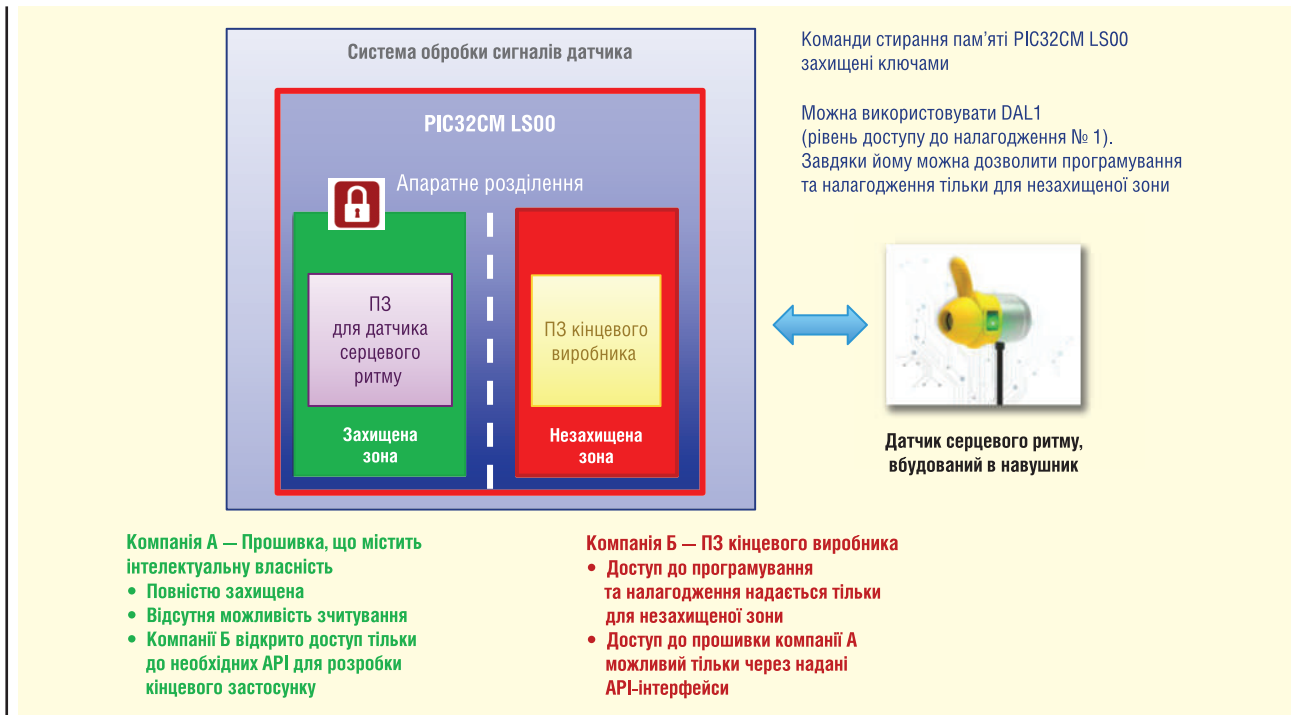


Рис. 2. Захист інтелектуальної власності

компанії. З технологією Trust Zone такий процес можна організувати наступним чином (рис. 2):

- компанія А розробляє свою частину коду та записує його в захищену область пам'яті. Тепер цей код може бути змінений, скопійований або стертий лише співробітниками компанії А;
- мікроконтролери з прошивкою компанії А передаються в компанію Б;
- компанія Б використовує для своєї частини коду незахищену область. В ній є доступ до прошивки компанії А, якщо це необхідно для роботи програми, але цей доступ здійснюється через API-інтерфейси. Здійснювати програмування та налагодження коду з захищеної області компанія Б не може. Вона розробляє свою частину коду, записує його в незахищену область мікроконтролера, проводить тестування та запускає виріб у виробництво.

Безпечне завантаження програмних оновлень

Майже кожен сучасний пристрій потребує періодичного оновлення ПЗ, яке, зазвичай, виконується через Інтернет. Але в цьому випадку кожен нову прошивку треба перевіряти, щоб переконатися, що вона не містить зловмисного ПЗ та є справжньою копією від виробника. В мікроконтролерах PIC32CM Lx алгоритм перевірки працює так:

- кожне програмне оновлення початково записується в незахищену зону пам'яті, звідки воно не може впливати на роботу пристрою;
- програмне оновлення містить, окрім програмного коду, так званий дайджест, який обчислюється за допомогою секретного ключа та хеш-функції SHA 256;
- в захищеній зоні мікроконтролера розташовано спеціальну програму — завантажувач ПЗ, який перевіряє справжність та цілісність програмних оновлень. Цей завантажувач містить алгоритм SHA 256 та свою копію секретного ключа, щоб самостійно обчислити дайджест ПЗ, яке підлягає перевірці;

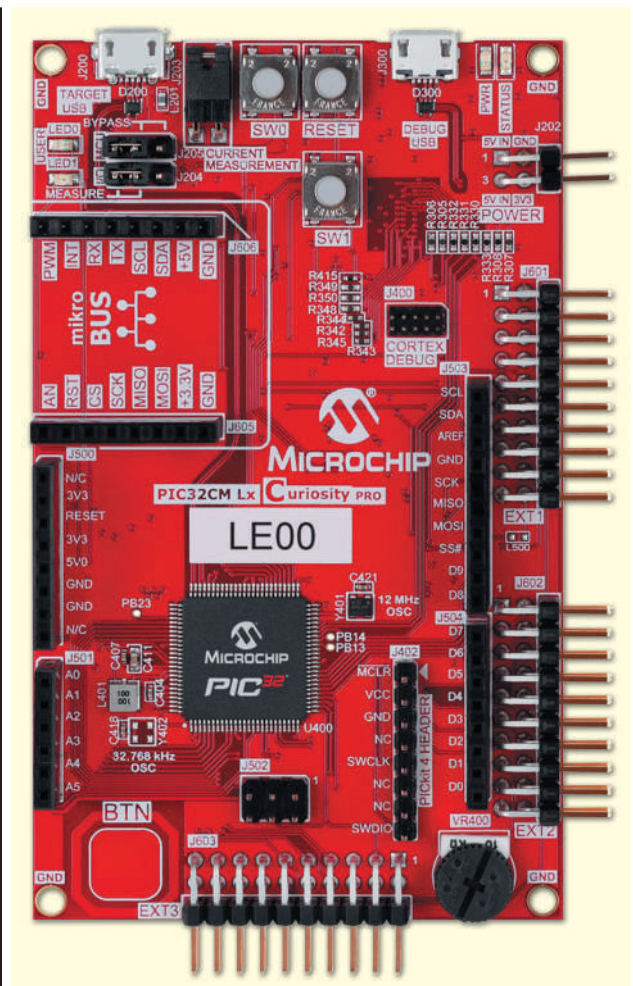


Рис. 3. Оціночна плата PIC32CM LE00 Curiosity Pro Evaluation Kit

- завантажувач власноруч створює дайджест програмного оновлення та порівнює його з дайджестом, що надійшов ззовні. Якщо вони співпадають, ПЗ вважається справжнім та цілісним. Воно записується в програмну пам'ять мікроконтролера та запускається на виконання.

ЗАСОБИ РОЗРОБКИ

Для кожної з трьох серій сімейства PIC32CM Lx випускається своя оціночна плата:

- PIC32CM LE00 Curiosity Pro Evaluation Kit [3];
- PIC32CM LS00 Curiosity Pro Evaluation Kit [4];
- PIC32CM LS60 Curiosity Pro Evaluation Kit [5].

Ці плати відрізняються тільки типом застосованого мікроконтролера. На кожній із плат встановлено найбільш потужний контролер відповідної серії, що має 512 кБ flash-пам'яті, 64 кБ SRAM та 100-вивідний корпус TQFP (рисунок 3).

Додаткові функціональні модулі плат представлені наступним списком:

- вбудований програматор-налагоджувач (EDBG);
- роз'єми USB Host/Device;
- роз'єм Arduino Uno;
- три роз'єми Xplained Pro, які є стандартними для оціночних плат Microchip під 32-бітні мікроконтролери з ядром Cortex (SAM D20/21, SAM L10/11, SAM D5x/E5x та ін.);
- роз'єм mikroBUS;
- схема вимірювання струму що споживається в реальному часі;
- елементи інтерфейсу користувача (сенсорна кнопка, потенціометр та ін.).

Для зовнішніх програматорів-налагоджувачів передбачено 2 порти:

- Cortex Debug — робота з програматорами Atmel (Atmel ICE, Power Debugger);
- ICSP — робота із програматорами Microchip (MPLAB ICD4, PICKit4, Snap).

ПРОГРАМНІ ЗАСОБИ

Основними засобами розробки коду є безкоштовні програмні інструменти Microchip:

- середовище розробки MPLAB X [6],
- компілятор XC32 [7],
- програмна платформа MPLAB Harmony [8], до якої входить конфі-

гуратор коду, багато програмних бібліотек та демонстраційних прикладів;

- програмна платформа Trust Platform Design Suite [9] для роботи з крипто-мікросхемами ATECC608, які входять до складу систем на кристалі PIC32CM LS60.

Додатково є можливість роботи з програмними інструментами сторонніх компаній:

- IAR Embedded Workbench;
- Arm Keil MDK.

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: +38 (044) 520-04-77, 520-04-78, 520-04-79, e-mail: ted@rainbow.com.ua, www.rainbow.com.ua

Література:

1. PIC32CM LE00/LS00/LS60. Ultra-Low Power, Secure and Enhanced Touch MCU. Datasheet DS60001615E. <https://www.microchip.com/downloads/aemDocuments/documents/MCU32/ProductDocuments/DataSheets/60001615E.pdf>
2. DICE: Device Identifier Composition Engine. <https://www.microsoft.com/en-us/research/project/dice-device-identifier-composition-engine>
3. PIC32CM LE00 Curiosity Pro Evaluation Kit. <https://www.microchip.com/en-us/development-tool/EV80P12A>
4. PIC32CM LS00 Curiosity Pro Evaluation Kit. <https://www.microchip.com/en-us/development-tool/EV12U44A>
5. PIC32CM LS60 Curiosity Pro Evaluation Kit. <https://www.microchip.com/en-us/development-tool/EV76R77A>
6. MPLAB X Integrated Development Environment. <https://www.microchip.com/en-us/tools-resources/develop/mplab-x-ide>
7. MPLAB XC Compilers. <https://www.microchip.com/en-us/tools-resources/develop/mplab-xc-compilers>
8. MPLAB Harmony v3 Embedded Software Development Framework for 32-bit Microcontrollers and Microprocessors. <https://www.microchip.com/en-us/tools-resources/configure/mplab-harmony>
9. Trust Platform for the CryptoAuthentication Family of ICs. <https://www.microchip.com/en-us/products/security/trust-platform>

ПЕРШИЙ У СВОЄМУ РОДІ ЧИП, ЩО ВИКОРИСТОВУЄ АКУСТИЧНІ КОЛИВАННЯ ДЛЯ ПЕРЕДАЧІ ТА ОБРОБКИ ДАНИХ

Усі обчислювальні чипи передають та обробляють дані, модулюючи певне середовище. У звичних нам комп'ютерних процесорах цим середовищем є електричний струм, рух електронів, який модулюється транзисторами. Фотонні процесори модулюють потоки фотонів, які циркулюють спеціальними тонкими каналами, званими світловодами. А нещодавно вчені з Гарвардського університету продемонстрували чип нового виду, який дозволяє оперувати даними, які містяться в модуляції акустичних (звукових) коливань.

Акустичний тип функціонує багато в чому подібно до фотонного чипа, тільки використовує акустичні хвилі замість світла. В якості модулятора використано пристрій з ніобату літію, матеріалу, що змінює свою еластичність у відповідь на зміну електричного поля, що прикладається, що дозволяє виробляти акустичні коливання. Регулюючи параметри електричного поля, можна з високою точністю керувати фазою, амплітудою і частотою акустичних хвиль, що генеруються, що дозволяє закодувати в них дані і направити їх в необхідний хвилевід.

Вчені заявляють, що чип, що використовує звукові хвилі, має ряд переваг перед чипами, що використовують електромагнітні хвилі різних типів, включаючи світло. Поширення акустичних хвиль легко обмежується простором хвилеводів, вони мало впливають один на одного, але забезпечують досить сильні взаємодії з іншими частинами системи, що спеціально розраховані для цього.

«Акустичні хвилі здатні на багато в області середовища передачі інформації для класичних і квантових обчислювальних технологій. Однак появі акустичних процесорів довгий час перешкождала відсутність технології високоточного керування звуковими хвилями та їх передачі з низьким рівнем втрат, — розповідає Марко Лонкер (Marko Loncar), провідний дослідник. — У нашій роботі ми продемонстрували, що акустичними хвилями можна керувати за допомогою спеціальних пристроїв з ніобату літію, і це робить крок ближче до створення реальних акустичних процесорів та інших інтегральних схем».

<https://newatlas.com>

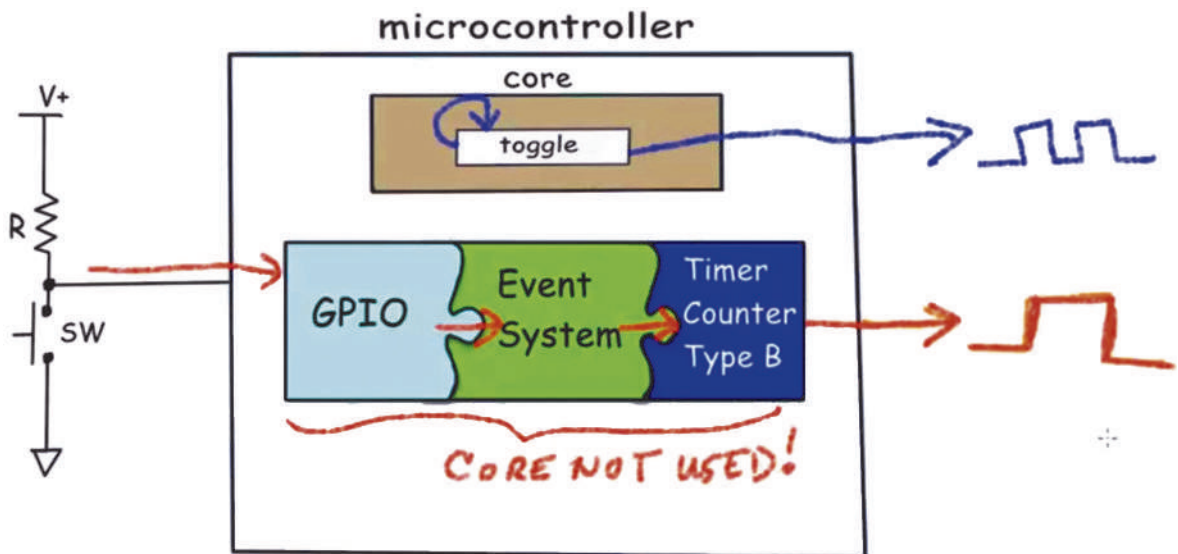
Нова концепція побудови 8-бітних мікроконтролерів від Microchip

Розумні периферійні модулі, що взаємодіють між собою без втручання ядра

- Спрощується та прискорюється розробка нових проектів
- Зменшується розмір програмного коду
- Знижується енергоспоживання завдяки зниженню навантаження на ядро
- Сумісна робота периферії забезпечується навіть під час перебування ядра в режимі сну
- Можливість роботи системи на частоті, що перевищує тактову частоту мікроконтролера в десятки разів
- Просте налаштування за допомогою



Atmel | START



Реалізовано в нових сімействах

- ATTINY202-214 / 402-417 / 804-817 / 1604-1617 / 3216-3217
- ATMEGA808-809 / 1608-1609 / 3208-3209 / 4808-4809
- PIC18FXXQ10 / PIC18(L)FXXK42 / PIC18(L)FXXK83 / PIC16(L)F184XX

Докладніше на microchip.com/cip

Rainbow Technologies

www.rainbow.com.ua

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

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

ted@rainbow.com.ua

Мікроконтролери сімейства RZ/G2 від компанії Renesas Electronics

Сергій Волков, інженер

В статті коротко описані мікроконтролери сімейства RZ/G2 від компанії Renesas Electronics. Основна увага приділена найпродуктивнішій мікросхемі – RZ/G2H. Мікроконтролери мають відмінні мультимедійні можливості та можуть використовуватись для створення розширеного людино-машинного інтерфейсу. Обчислювальні можливості мікроконтролерів дозволяють застосовувати їх у найскладніших вбудовуваних системах управління та на всіх рівнях АСУ.

ВСТУП

Компанія Renesas Electronics вкотре поповнила свою виробничу лінійку мікроконтролерів (МК) сімейством RZ/G2. Головною відмінністю нового багатоядерного сімейства є використання 64-біт архітектури ARMv8-A з процесорними ядрами Cortex-A53 і Cortex-A57. МК нового сімейства можна використовувати у системах, що вбудовуються, для автоматизації будівель, на всіх рівнях АСУ. На їх основі можна створювати людино-машинний інтерфейс нового покоління. До складу сімейства входять чотири групи МК. Їхні основні відмінності та параметри наведені в таблиці 1.

Однією з головних програм МК цього сімейства є людино-машинний інтерфейс із розширеними графічними можливостями. На рисунку 1 ілюструються графічні можливості МК сімейства RZ. Можливість МК сімейства RZ/G2 управляти дисплеями 4K вигідно виділяє їх із низки конкурентів.

Ще однією перевагою МК є довготривала підтримка платформи розробки Civil Infrastructure Platform (CIP) з часом обслуговування більше 10 років. Принагідно зауважимо, що ядро CIP SLTS Linux підтримує безпеку та зменшує вразливість системи.

Структурна схема платформи розробки МК сімейств RZ/G представлена на рисунку 2.

У подальшому викладі ми переважно посилатимемося на МК RZ/G2H з найбільшою продуктивністю. Однак основна відмінність цього МК полягає в обчислювальних можливостях завдяки чотирьом ядрам Cortex-A57 і чотирьом ядрам Cortex-A53. Інші відмінності не суттєві. Ядра Cortex-A57 тактуються частотою 1.5 ГГц, а ядра Cortex-A53 — частотою 1.2 ГГц.

Структурна схема МК RZ/G2H наведена на рисунку 3.

ПРОЦЕСОРНИЙ ВУЗОЛ АР І ПАМ'ЯТЬ

Структурні схеми процесорних ядер та докладний опис їхньої роботи можна знайти на сайті компанії ARM. Ми обмежимося тим, що наведемо деякі їх основні параметри, які, на наш погляд, повинні дати достатнє уявлення про функціональні можливості та продуктивність ядер. Почнемо з ядра Cortex-A53:

- тактова частота (макс.): 1.2 ГГц;
- кеш-пам'ять команд рівня L1: 32 Кбайт;
- кеш-пам'ять даних рівня L1: 32 Кбайт;
- кеш-пам'ять даних рівня L2: 512 Кбайт;

Таблиця 1. Основні відмінності та параметри МК сімейства RZ/G2

Параметри	RZ/G2E	RZ/G2N	RZ/G2M	RZ/G2H
Особливості	Економічний варіант	Середня продуктивність		Висока продуктивність
Сумісність по виводах	–			
Процесорні ядра	2×Cortex-A53, 1.2 ГГц	2×Cortex-A57, 1.5 ГГц	2×Cortex-A57, 1.5 ГГц і 4×Cortex-A53, 1.2 ГГц	4×Cortex-A57, 1.5 ГГц і 4×Cortex-A53, 1.2 ГГц
Вбудована ОЗУ, Кбайт	128	384	384	384
Інтерфейс зовнішньої пам'яті	DDR3L-1866×32-bit; (ECC)	LPDDR4-3200×32-bit; (ECC)	LPDDR4-3200×64-bit; (ECC)	LPDDR4-3200×64-bit; (ECC)
Відеокодек	FHD resolution; H.265 Decoder; H.264/AVC	4k resolution; H.265 Decoder; H.264/AVC	4k resolution; H.265 Decoder; H.264/AVC	4k resolution; H.265 Decoder; H.264/AVC
3D графіка	PowerVR GE8300@600 MHz	PowerVR GE7800@600 MHz	PowerVR GX6250@600 MHz	PowerVR GX6650@600 MHz
Управління дисплеєм	2×LVDS или 1×LVDS, 1×Digital RGB	1×HDMI, 1×LVDS, 1×Digital RGB	1×HDMI, 1×LVDS, 1×Digital RGB	1×HDMI, 1×LVDS, 1×Digital RGB
PCIe	1 канал (Rev2.0 1 Lane)	2 канали (Rev2.0 1 Lane). Один з 2 каналів можна використовувати для SATA	2 канали (Rev2.0 1 Lane)	2 канали (Rev2.0 1 Lane). Один з 2 каналів можна використовувати для SATA
SATA	–	1 канал	–	1 канал
Корпус	552-вивідний FCBGA, 21×21 мм, крок 0.8 мм	1022-вивідний FCBGA, 21×21 мм, крок 0.8 мм		

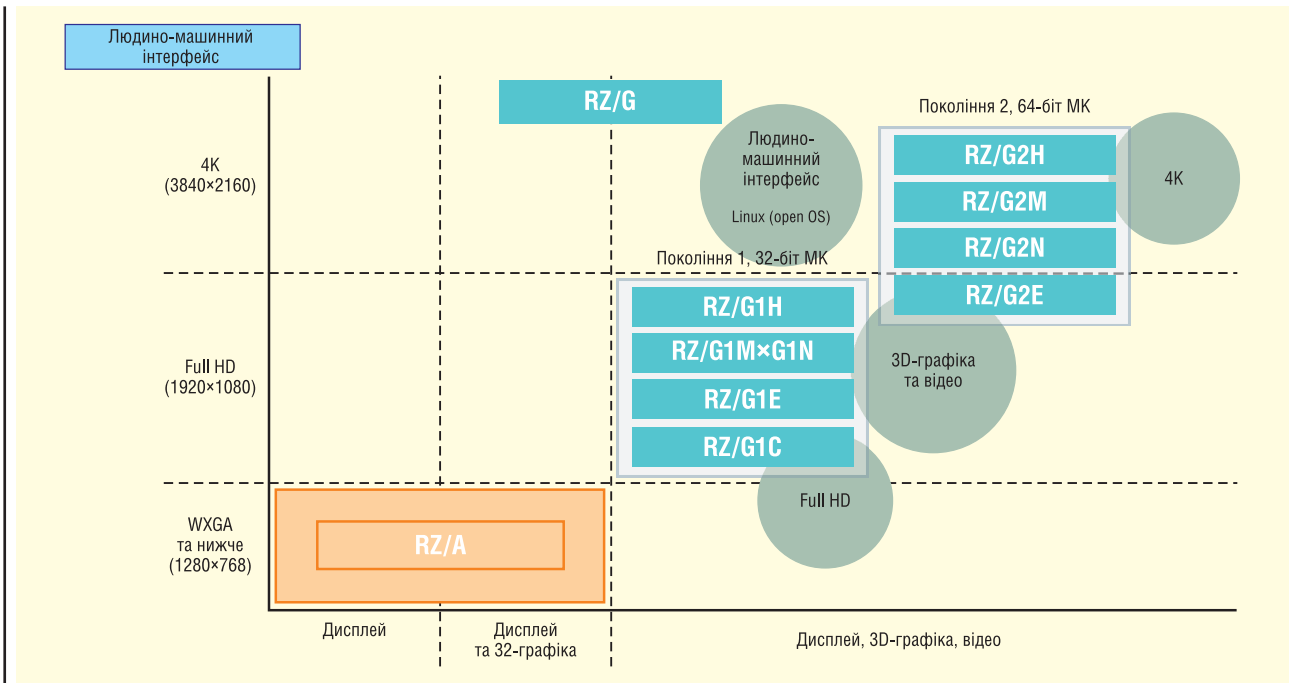


Рис. 1. Графічні можливості людино-машинного інтерфейсу з МК сімейства RZ/G

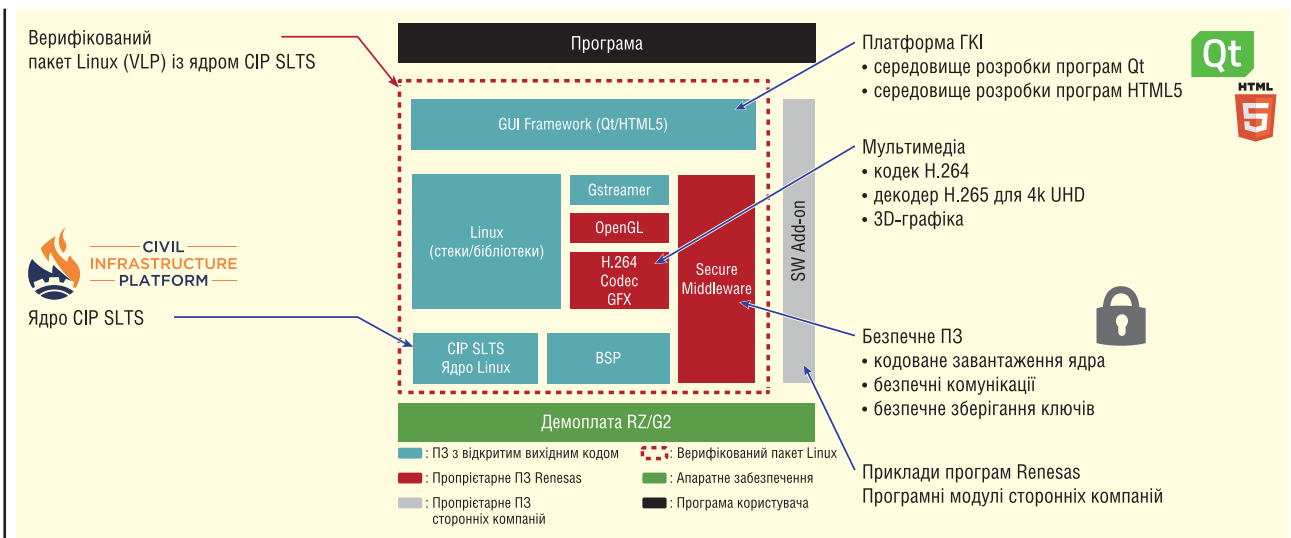


Рис. 2. Структурна схема платформи розробки МК сімейства RZ/G

- підтримка векторного співпроцесора NEON/VFP;
 - підтримка коду корекції помилок ECC;
 - вбудований модуль захисту пам'яті MMU;
 - режими зниженого енергоспоживання.
- Далі перерахуємо деякі параметри процесорного ядра Cortex-A57:
- тактова частота (макс.): 1.2 ГГц;
 - кеш-пам'ять команд рівня L1: 48 Кбайт;
 - кеш-пам'ять даних рівня L1: 32 Кбайт;
 - кеш-пам'ять даних рівня L2: 2 Мбайт;
 - підтримка векторного співпроцесора NEON/VFP;
 - підтримка коду корекції помилок ECC;
 - вбудований модуль захисту пам'яті MMU;
 - режими зниженого енергоспоживання.
- Цікавою особливістю є когерентне з'єднання кеш-пам'яті, яке поєднує функції когерентності кешу та між'єднання. Структурна схема процесорного вузла (AP) представлена

на рисунку 4. Окремий модуль управління живленням APMU процесорного вузла і кеш-пам'яттю рівня L2 реалізує чотири режими енергоспоживання процесорного вузла AP (див. табл. 2).

Крім кеш-пам'яті, у всіх МК RZ/G2, крім МК RZ/G2E, є вбудована ОЗУ об'ємом 384 Кбайт. Пам'ять тактується частотою 400 МГц, ширина шини — 512/236/128 біт. В економічній

Таблиця 2. Режими енергоспоживання процесорного вузла			
Режими енергоспоживання ЦП	Тактування ЦП	Живлення ЦП	Периферія ЦП (SCU та кеш-пам'ять рівня L2)
Активний	ВКЛ.	ВКЛ.	ВКЛ.
Сон	ВІДКЛ.	ВКЛ.	ВКЛ.
Зупинка ядра	ВІДКЛ.	ВІДКЛ.	ВКЛ.
Вимкнення кеш-пам'яті рівня L2	ВІДКЛ.	ВІДКЛ.	ВІДКЛ.

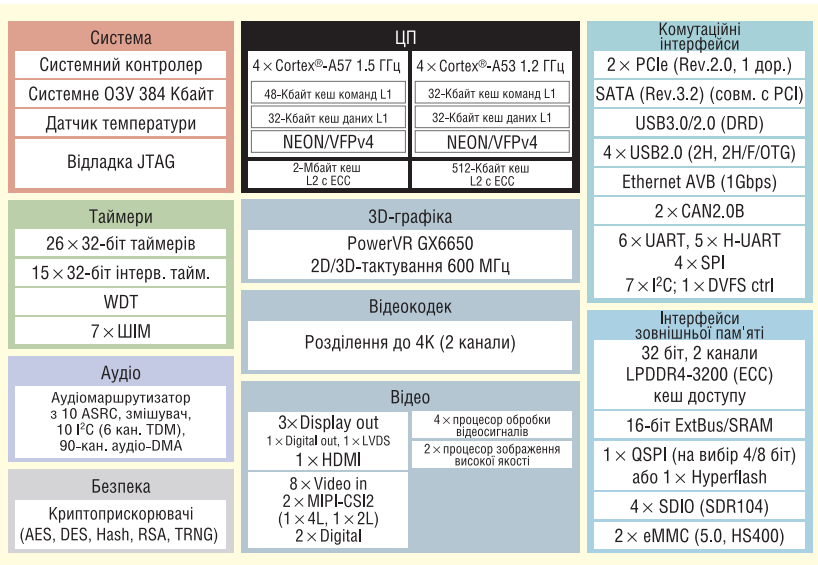


Рис. 3. Структурна схема МК RZ/G2H

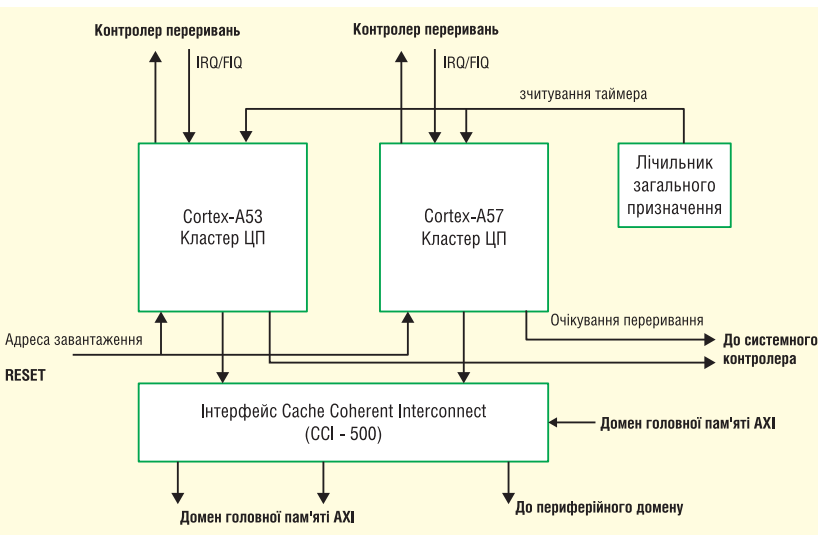


Рис. 4. Структурна схема процесорного вузла

- в архітектуру USC входить АЛП, що дозволяє підтримувати векторну обробку (SI MD);
- повна віртуалізація адресації пам'яті дозволяє підтримувати уніфіковану архітектуру пам'яті;
- дрібноструктурна обробка дозволяє перемикатися між завданнями для балансування навантаження і спрощення управління живленням;
- програмовне згладжування зображень;
- компресія текстур та параметрів без втрат.

У МК вбудовані два послідовні інтерфейси камери CSI2 на дві та чотири лінії. Підтримуються стандарти MIPI CSI-2 V1.1 та MIPI D-PHY V1.1. До складу модуля CSI2 входять PHY та LINK. Модуль PHY приймає сигнали, відокремлює дані зображення від службової інформації і передає їх модулю LINK, який формує сигнали вертикальної синхронізації VD, горизонтальної синхронізації HD тощо. У модуля LINK є інтерфейс периферійної шини APB, у модуля LINK такого немає. Зауважимо, що швидкість передачі від камери не має перевищувати 1.5 Гбіт/с, так як перевищення призведе до втрати даних.

Модуль відеовходу VIN здійснює захоплення відеоданих, які передаються у зовнішню пам'ять. Дані у форматі YCbCr-422 передаються через інтерфейси ITU-R BT.601, ITU-R BT.656 або ITU-R BT.709, дані у форматі RGB — через інтерфейси ITU-R BT.601 або ITU-R BT.709. Модуль має вісім незалежних каналів, по кожному з яких може здійснюватися захоплення зображення розмірністю 4096 × 4096 пікс. Дані формату YCbCr-422 перетворюються на формат RGB. У режимі одноразового захоплення відбувається захоплення одного кадру, а в режимі безперервного захоплення — всіх кадрів, що надходять.

Відеокодек iVDP1C здійснює декодування зображень до розмірності 1920 × 1080 за швидкості 60 кадр./с або 120 × 960 за 120 кадр./с. Процес відбувається з малою затримкою та забезпечує високу точність відтворення форматів стандартів H.264/AVC та JPEG. Максимальна швидкість становить 40 Мбіт/с при чотирьох потоках або 160 Мбіт/с — при одному.

Відеопроектор VCP4 є набором декількох кодеків, що здійснюють кодування і декодування декількох відеофайлів форматів H.265/HEVC, H.264/AVC. До складу VCP4 входять два ядра: VDPB та VCPLF. Ядро VDPB призначене

модифікації МК RZ/G2E ємність ОЗУ менша і становить 128 Кбайт. Для підключення зовнішньої пам'яті використовуються такі вбудовані інтерфейси:

- EX-BUS з 16-біт шиною і частотою тактування 66 МГц. Підтримує зовнішні ОЗУ та ПЗУ.
- RPC-IF з частотою тактування до 180 МГц. Підтримує до двох модулів зовнішньої послідовної флеш-пам'яті зі швидкістю передачі даних 160 Мбіт/с кожного модуля пам'яті. Сумарна швидкість передачі — 320 Мбіт/с.
- Контролер зовнішньої шини для підключення пам'яті LPDDR4-3200. Два канали із шириною шини по 32 біт. Сумарний об'єм пам'яті, що підключається, — до 8 Гбайт. Зауважимо, що LPDDR4X (JES D209-4-1) не підтримується.

МУЛЬТИМЕДІА ТА ГРАФІКА

Як графічний прискорювач (3DGE) у МК RZ/G2H використовується PowerVR GX6650 на частоті 600 МГц. Архітектура прискорювачів PowerVR Series6XT базується на Series6. На теперішній момент, в т.ч. завдяки використанню графічного інтерфейсу OpenGL ES, ця архітектура має найкращий показник у галузі щодо співвідношення енергоспоживання до займаної площі (мВт/мм²). До того ж, ця архітектура добре масштабується і може підтримувати до восьми обчислювальних кластерів. До основних особливостей прискорювача 3DGE відносяться:

- поліпшена візуалізація з одночасною обробкою декількох сегментів;
- багатопотоковий механізм з уніфікованою шейдерною архітектурою USC;

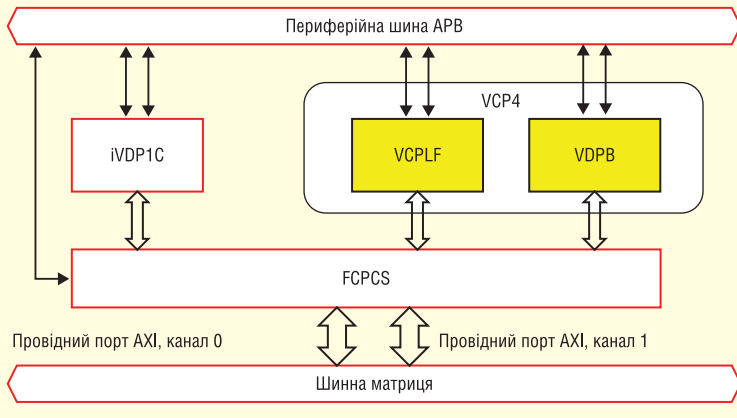


Рис. 5. Структурна схема відеопроцесора VCP4 та його зв'язок з іншими модулями

для декодування H.265/HEVC, а VCPLF реалізує операції кодування та декодування з декількома кодеками. На рисунку 5 представлена структурна схема відеопроцесора VCP4 та його зв'язок з іншими модулями.

Продуктивність відеопроцесора у форматі H.265 становить 3840×2160 за 60 кадр./с або 1920×1080 за 120 кадр./с. Швидкість обробки даних ядром VCPLF становить 30 Мбіт/с по кожному із чотирьох потоків або 120 Мбіт/с — по одному. Якщо вхідний потік не відповідає стандарту відеокодеків, можливе їхнє зависання.

Процесор обробки відеосигналів VSP2 підтримує 1D та 3D таблиці перетворення, масштабування, поворот та зшивку зображень, інтерфейс з дисплейним модулем (DU). До складу процесора VSP2 входить кілька модулів. Всі вони здійснюють обробку за принципом пам'ять-пам'ять, не використовуючи ресурси ЦП.

Модуль VSP1 здійснює масштабування та обертання зображення. Модуль VSPBC реалізує таблиці перетворення, побудову 1D-гістограм та зшивку зображень. Модуль VSPBD здійснює зшивку зображень, а модуль VSPD, крім зшивки зображень, реалізує інтерфейс з дисплейним модулем. Наведемо деякі основні чисельні параметри процесора обробки відеосигналів VSP2:

- обробляються формати: YCbCr444/422/420, RGB, RGB;
- розмірність оброблюваного зображення (макс.): 3840×2160 пікс.;
- продуктивність: два канали по 500 Мпікс./с.;
- при прямому підключенні до модуля дисплея передача до 4096 пікс. по горизонталі.

Роботу в режимі пам'ять-пам'ять забезпечує модуль доступу до пам'яті MAU. Він є провідним блоком шини, завантажуючи дані із зовнішньої пам'я-

ті, а після завершення обробки знову передає їх у зовнішню пам'ять. Модуль передачі команд STU може звертатися безпосередньо до регістрів та зчитувати параметри обробки зображення. Модуль растрових операцій (ROP) виконує операції накладання зображень, а при необхідності модуль кольорного кодування замінює колір.

Модуль форматування пікселів RPF зчитує дані фрагмента, що обробляється, із зовнішньої пам'яті, витягує дані з архіву, виконує кольорні конвертації. Модуль форматування пікселів WPF отримує 32-бітні дані зображення (YCbCr444 або RGB888 + 8bit-α) і перетворює кольорний простір, кольоровість і формат даних, а також передає результати обробки зображення у зовнішню пам'ять через модуль MAU.

Маршрутизатор DPR керує потоками даних між модулем RPF, функціональними модулями та WPF. Він, зокрема, забезпечує безперервність обробки зображення без використання зовнішньої пам'яті за рахунок перенаправлення даних між функціональними модулями. Відзначимо ще модуль SRU, який забезпечує обробку зображень надвисокої роздільної здатності, і модуль масштабування зображень UDS.

Опис відеопроцесора VCP4 завершено згідно функціональних модулів SHP, ILV та службового модуля LIF, що забезпечує інтерфейс із дисплейним модулем DU. Модуль SHP регулює різкість зображення, а ILV перетворює формати зображення на тривимірне зображення.

Двоканальний процесор зображення високої якості FDP1 перетворює відеодані з нарядковою розгорткою в

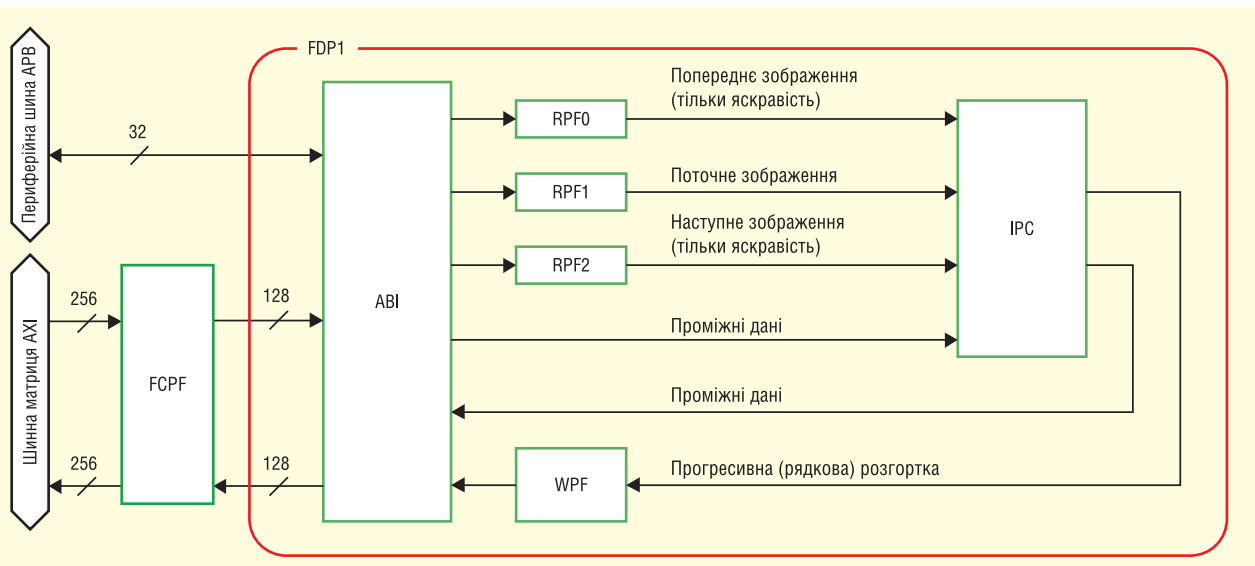


Рис. 6. Структурна схема процесора FDP1

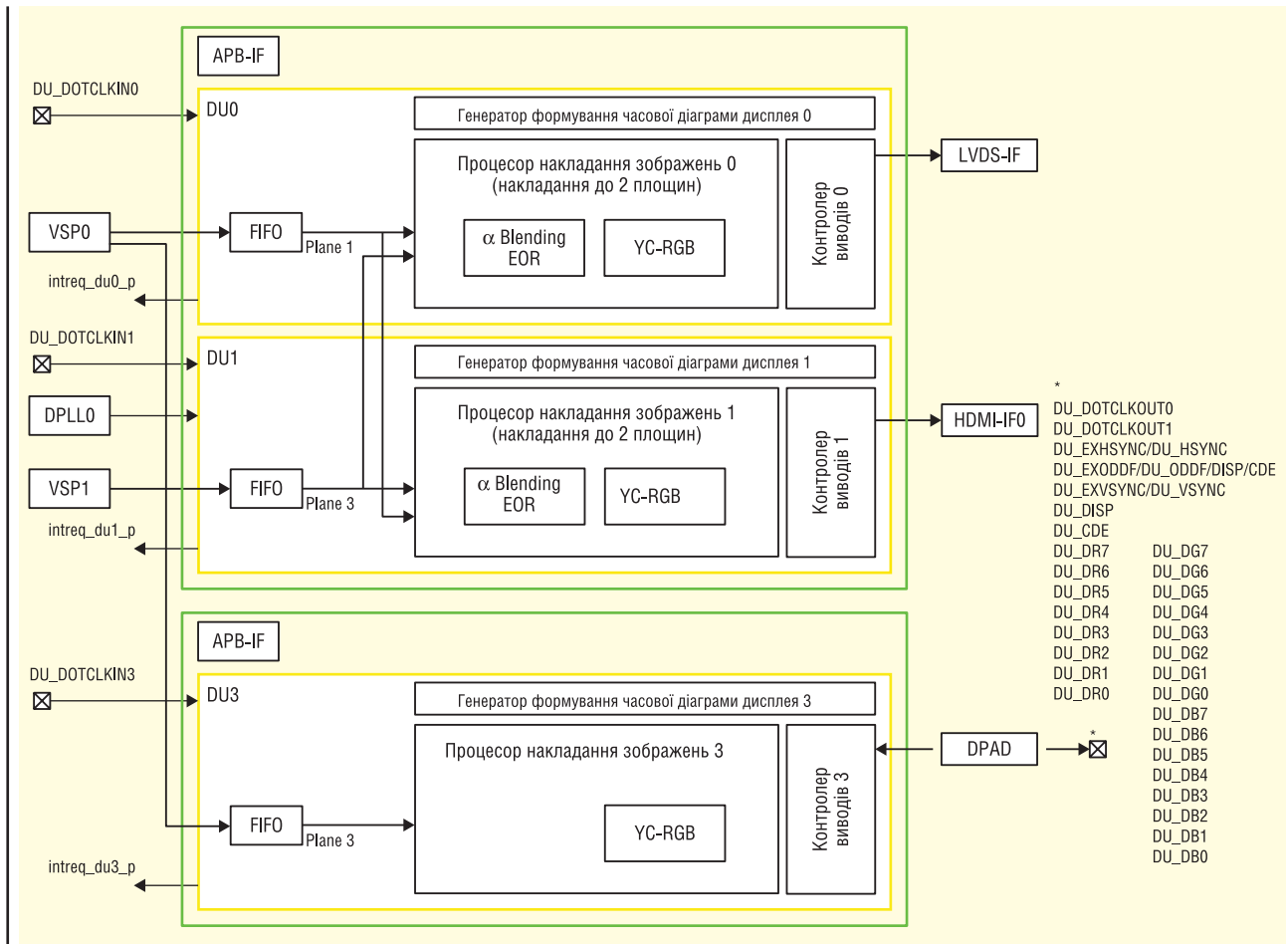


Рис. 7. Структурна схема модуля DU

дані з прогресивною (рядковою) розгорткою. Процесор витягує дані із зовнішньої пам'яті та після обробки передає оброблені дані у зовнішню пам'ять. Трансфер даних здійснюється модулем ABI, який є інтерфейсом шинної матриці AXI.

Структурна схема процесора FDP1, представлена на рисунку 6, краще за будь-які слова скаже про його пристрій, тому ми лише наведемо деякі основні параметри процесора FDP1:

- розмір зображення (макс.): 8190×8190 пікс.;
- швидкість обробки даних: 500 Мпікс./с;
- колірні формати (вхід):
- YCbCr444-PL, SP, IL V;
- YcbCr422-PL, SP, IL V;
- YCbCr420-PL, SP;
- розмір кадру (хв.): 32×32 пікс.;
- колірні формати (вихід): RGB та YCbCr.

На вхід модуля DU надходять вихідні сигнали процесора обробки відеосигналів VSP2. На виході дисплейного модуля формуються сигнали передачі на дисплей через інтерфейси LVDS I F, HDMI-IF, цифровий RGB. Структурна схема модуля DU показана на рисунку 7. Модуль може керувати трьома дисплейними панелями, причому можливе накладання зображень двох панелей. Управління кожної з них відбувається окремо. Параметри управління кожною панеллю прописуються у внутрішніх регістрах дисплейного модуля. У цих регістрах вибирається одна з трьох тимчасових діаграм керування і режими розгортки. У них задаються параметри кольорового перетворення та ряд інших установок.

Аудіомодуль має виділені канали DMA — Audio-C, Audio-DMACpp. Він безпосередньо з'єднаний з модулем синхронізації аудіоданих ADG та модулем послідовного інтерфейсу аудіоданих SSIU. До складу модуля не входять власні регістри. Канали Audio-DMACpp здійснюють зв'язок між аудіомодулем та зовнішньою пам'яттю.

ІНШІ РЕСУРСИ МК

У цьому короткому розділі згадаємо деякі модулі МК, які не увійшли або мали інші функціональні можливості у складі інших сімейств.

Контролер функціонального призначення виводів мікросхеми PFC складається з регістрів, в яких прописуються призначення мультиплексованих виводів, а також керування (підключення до шини живлення або землі) підтягуючих резисторів ліній вводу/виводу.

Системний контролер SYSC керує живленням процесорного вузла, модулів 3D-графіки, відеопроцесором, модулями відеокодеків. Якщо якісь із перерахованих модулів не активні, контролер відключає їхнє живлення, за рахунок чого знижується енергоспоживання.

Відключення живлення — ефективніший спосіб, ніж припинення тактування, тому що в останньому випадку зберігаються струми витоку. Крім того, контролер SYSC керує послідовністю включення та вимкнення модулів. Зрозуміло, при вимкненні живлення модуля припиняється його тактування.

СЛОВНИК

3DGE — 3D-графічний прискорювач
ABI — інтерфейс шинної матриці AXI
ADG — модуль синхронізації аудіоданих
AP — центральний процесор
APB — периферійна шина
APMU — модуль управління живленням процесорного вузла та кеш-пам'яті рівня L2
FDP1 — процесор зображення високої якості
CPG — генератор тактових імпульсів
CSI — послідовний інтерфейс камери
CTU — модуль передачі команд
DPR — маршрутизатор потоку даних
DU — дисплейний модуль
EX-BUS — контролер зовнішньої шини
ILV — модуль перетворення форматів зображення на тривимірне зображення
INTC — контролер переривань
INTC-AP — контролер переривань для ЦП
INTC-EX — контролер зовнішніх переривань
iVDP1C — відеодекодер
LIF — інтерфейс із дисплейним модулем DU
MAU — блок доступу до пам'яті
FCPC — модуль компресії кадру
FCPCI — спеціалізований модуль компресії кадру для відеодекодера iVDP1C
FCPCS — спеціалізований модуль компресії кадру

HD — сигнали горизонтальної синхронізації
HDMI-IF — мультимедійний інтерфейс високої роздільної здатності
PCCU — модуль живлення процесорного вузла та кеш-пам'яті рівня L2
PFC — контролер функціонального призначення виводів мікросхеми
ROP — модуль растрових операцій
RPC-IF — послідовний інтерфейс для підключення зовнішньої флеш-пам'яті
RPF — модуль форматування пікселів
SCU — керування швидкістю вибірки
SHP — модуль регулювання чіткості зображення
SSIU — модуль послідовного інтерфейсу аудіоданих
SRU — модуль обробки зображень надвисокої роздільної здатності
SYSC — системний контролер
WFI — очікування переривання
WPF — модуль форматування пікселів
UDS — модуль масштабування зображень
USC — уніфікована шейдерна архітектура
VCP4 — відеопроектор
VD — сигнали вертикальної синхронізації
VIN — модуль відеовходу
VSP2 — процесор обробки відеосигналів

32-РОЗРЯДНІ МІКРОКОНТРОЛЕРИ З ВИСОКОЮ ПРОДУКТИВНІСТЮ ТА ВІДМІННОЮ СТІЙКІСТЮ ДО ПЕРЕШКОД

Корпорація **Renesas Electronics** анонсувала **RX660 Group** — перший продукт, сумісний з напругою 5 В серед високопродуктивних мікроконтролерів загального призначення **RX600** і **RX700**. З цією підтримкою 5 В він забезпечує відмінну стійкість до шуму і не вимагає ніяких зовнішніх котушок для придушення шуму, що сприяє зниженню загальної вартості системи. Ядро **RXv3** працює на частоті 120 МГц без очікування доступу до флеш-пам'яті, що забезпечує стабільну арифметичну обробку та чудову продуктивність у реальному часі. Кількість ефективних контактів введення-виведення загального призначення було збільшено приблизно на 10% порівняно з попереднім **RX210**, сумісним з напругою 5 В, що дозволяє збільшити кількість датчиків, які можна підключити до одного і того ж корпусу, що сприяє легшому оновленню системи. Що стосується периферійних функцій, це перший пристрій серії **RX**, що включає **CAN FD**, що дозволяє реалізувати мережі наступного покоління, такі як промислові мережі. Крім того, точність коливань **HOCO 1.0%** може бути вперше гарантована у продукті високого класу, що дозволяє зменшити кількість зовнішніх генераторів та сприяє зниженню вартості системи. Один чип із лінійкою корпусів **LFQFP** від 48 до 144 контактів, а також до 1 МБ флеш-пам'яті та 128 КБ **SRAM** може виконувати широкий спектр клієнтських платформ. Це легко підвищує продуктивність та розширює функціональні можливості побутової техніки та промислового обладнання.

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

www.renesas.com

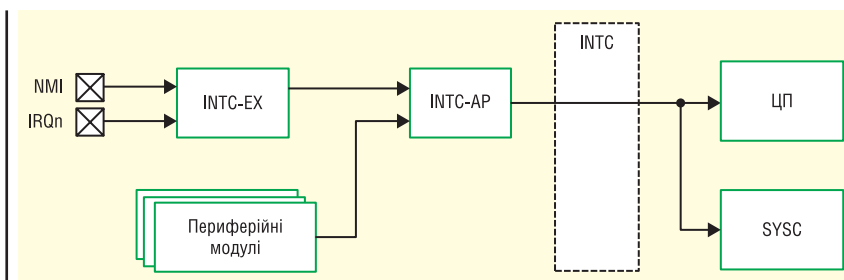


Рис. 8. З'єднання контролерів переривання

У МК використовуються три контролери переривання: контролер зовнішніх переривань **INTC-EX**, контролер переривань для ЦП **INTC-AP** та системний контролер переривань **INTC**. Їхня взаємодія показана на рисунку 8. Контролер переривань **INTC-AP** інтегрований у внутрішню мережу **ARM CoreLink GIC-400 (r0p0)**. Він обробляє переривання системного домену та має 32 програмні рівні пріоритету. Як неважко здогадатися, контролер **INTC-EX** обробляє перери-

вання від зовнішніх пристроїв, тому на його входах для шумозаглушення встановлений антидрезбезговий фільтр.

У МК вбудовано широко відомі комунікаційні інтерфейси. Ми відзначимо лише наявність інтерфейсів **PCIe** і **SATA**, які не часто зустрічаються в мікроконтролерах. Спільно з вбудованим інтерфейсом **Ethernet 1 Gbit** вони дозволяють використовувати МК в найскладніших системах керування, що вбудовуються, і на всіх рівнях АСУ.

CN

Огляд пристрою MIC-730AI NVIDIA Jetson AGX Xavier AI Edge

В цій статті ми покажемо як працює MIC-730AI та як його можна використовувати.

ОГЛЯД ОБЛАДНАННЯ ADVANTECH MIC-730AI

На передній панелі блоку Advantech (рис. 1) розташовані всі входи/виходи — вони є важливим фактором в периферійних системах такого типу. Рухаючись зліва направо, ми бачимо кнопку живлення та слот розширення низу. Також бачимо 16-бітний блок DI/DO зеленого кольору. Поряд із ними два COM-порти. Обидва порти LAN гігабітні. Один — Marvell 88E1512, а другий — Intel i210.

Також є по два порти USB 2 та USB 3. Як бачимо, з обох боків є отвори для нестандартних роз'ємів, які допомагають утримувати штекери USB Type-A. Також присутні відеовихід HDMI та точки подачі живлення/заземлення.

Весь блок має розміри 192 мм × 230 мм × 87 мм, і більша його частина є радіатором пасивного охолодження (рис. 2), що дозволяє системі працювати без вентиляторів в умовах робочого діапазону температур до 55–60 °C в залежності від режиму. Цей радіатор в основному охолоджує SOM NVIDIA Jetson AGX Xavier, яка розташована на основній системній платі.

NVIDIA Jetson AGX Xavier SoC розроблена для забезпечення прискорення машинного зору систем ШІ на одному чипі з восьмима ядрами Arm v8.2 Carmel та прискоренням кодування/декодування відео разом із графічним процесором покоління Volta.

ЦП також отримує 32 ГБ пам'яті LPDDR4X на модулі. Деякою мірою це не занадто відрізняється від версії чипа NVIDIA Apple M1, за виключенням того, що NVIDIA фокусується на відео для штучного інтелекту, а Apple — на ринку настільних ПК. Ядра CPU NVIDIA не дуже швидкі, цілочисельна продуктивність приблизно така сама, як і в Intel Xeon E3-1240. З іншого боку, GPU покоління Volta означає, що ми отримуємо вбудовані тензорні ядра. Цей процесор не призначений для

заміни настільних ПК, скоріше CPU створений для використання GPU та прискорювачів.

Скорочена схема розташування ЦП NVIDIA Jetson AGX Xavier наведена на рисунку 3. Можна побачити 2 МБ кеш-пам'яті L2 на два ядра NVIDIA Arm Carmel, а потім загальний кеш L3 об'ємом 4 МБ.

На нижній стороні материнської плати (рис. 4) розташовано багато внутрішніх входів/виходів розширення. Зазвичай ми починаємо згори та переходимо вниз, але зараз ми будемо рухатись навпаки — низу вгору.

Знизу ми бачимо плату живлення постійного струму. Ймовірно ви бачили вхід живлення постійного струму в розділі огляду портів. Це внутрішня сторона цього роз'єма. Для деяких читачів, менш обізнаних у вбудованих системах, зауважимо, що адаптер змінного струму для настільного використання можна використовувати навіть з промисловим роз'ємом живлення, а не з бочкообразним. Промислова версія просто розроблена для більшої надійності та запобігання випадковому вилученню.

Над цією платою живлення знаходиться підключення до основної друкованої плати. Над нею знаходяться слоти розширення PCIe x8 та x16, але для їх використання необхідно вивчити опції, яких у нас не було для тестування.

Ліворуч вгорі є невелика особливість, на яку ми хотіли би звернути увагу. Під внутрішньою кнопкою скидання знаходиться порт OTG MicroUSB, який можна помітити на рисунку 4.

Праворуч знаходяться роз'єми SATA для передачі даних та живлення.

Можна додати 2.5" диск, такий як SSD, підключивши кабелі до цих роз'ємів. Сама система має тільки 32 ГБ стандартної пам'яті eMMC, тож це може бути доволі вагомо.

На верхній грані материнської плати в нашому огляді — ліворуч знаходиться слот для карт пам'яті SD, а також слот MiniPCIe білого кольору (рис. 4).

З операційної точки зору важливо, щоб в системі не було вентиляторів. Вентилятори в промислових умовах можуть забруднюватись та стати причиною відмови роботи системи, тому пасивне охолодження є кращим варіантом. Важливо



Рис. 1. Передня панель блоку Advantech MIC-730AI



Рис. 2. Радіатор пасивного охолодження блоку Advantech MIC-730AI

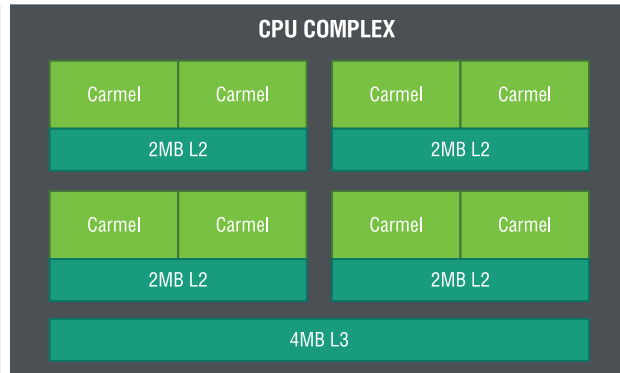


Рис. 3. Скорочена схема розташування ЦП NVIDIA Jetson AGX Xavier

підкреслити, що цей пристрій вже використовувався декілька разів — на деяких металевих панелях помітні сліди зносу, як, наприклад, в кутах на рисунку 4. Проте система все одно відмінно працює.

Тим не менш ми хотіли спробувати відтворити приклад використання подібної системи. Далі ми збираємось перетворити студію в текстильну фабрику.

ОПТИЧНЕ РОЗПІЗНАВАННЯ З AVANTECH MIC-730AI ТА SMASOFT

Коли ми вирішили зробити цей огляд, одним з головних питань було — «і що далі?». Зазвичай у нас є розділ продуктивності, але продуктивність процесора схожа з Хеон Е3-1240 і це не виглядає цікавою темою для розгляду. За рівнем продуктивності система з пасивним охолодженням й потужністю 30 Вт ніколи не сягне рівня процесорів потужності 280 Вт та графічних процесорів потужністю понад 500 Вт, що розповсюдженні на сьогодні. В результаті ми вирішили перетворити нашу студію на фабрику з інспекції текстилю (рис. 5).

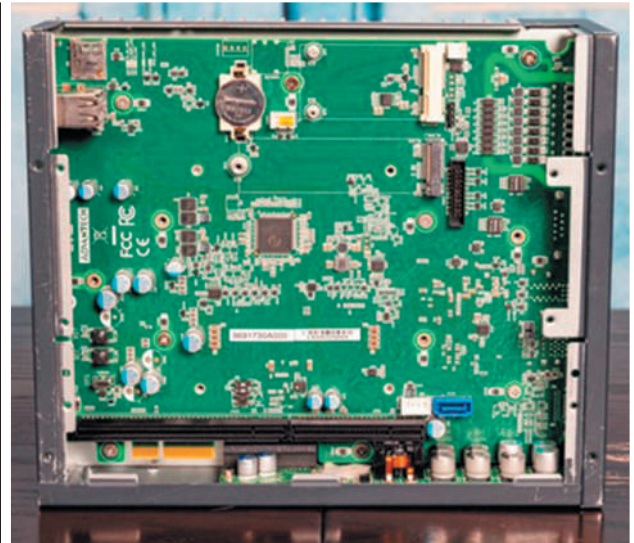


Рис. 4. Материнська плата Advantech MIC-730AI

Це загальна установка. Особлива подяка співробітникам Advantech та Smasoft за допомогу — ми знали, що прагнемо продемонструвати в рішенні і вони дуже допомогли з реалізацією цього проєкту.

Як бачимо — у нас не один, а два пристрої Advantech. Одночасно з MIC-730AI на базі NVIDIA Jetson, у нас було рішення Advantech MIC-7700 на базі Intel, що працює під управлінням Windows та програмного забезпечення Smasoft.

Зауважимо, що MIC-7700 був доволі гучним та використовував вентилятори, тож це різні класи вбудовуваних систем. Основна ідея полягає в тому, що співвідношення Advantech MIC-730AI та x86-блока не обов'язково має бути 1:1. Замість того щоб додавати коштовні та енергомісткі GPU в кожну систему, можна використовувати і масштабувати рішення на базі Jetson.

Далі йде камера. Це промислова камера з PoE, яка зафіксована на підставці. Існує багато способів отримання живлення, і у

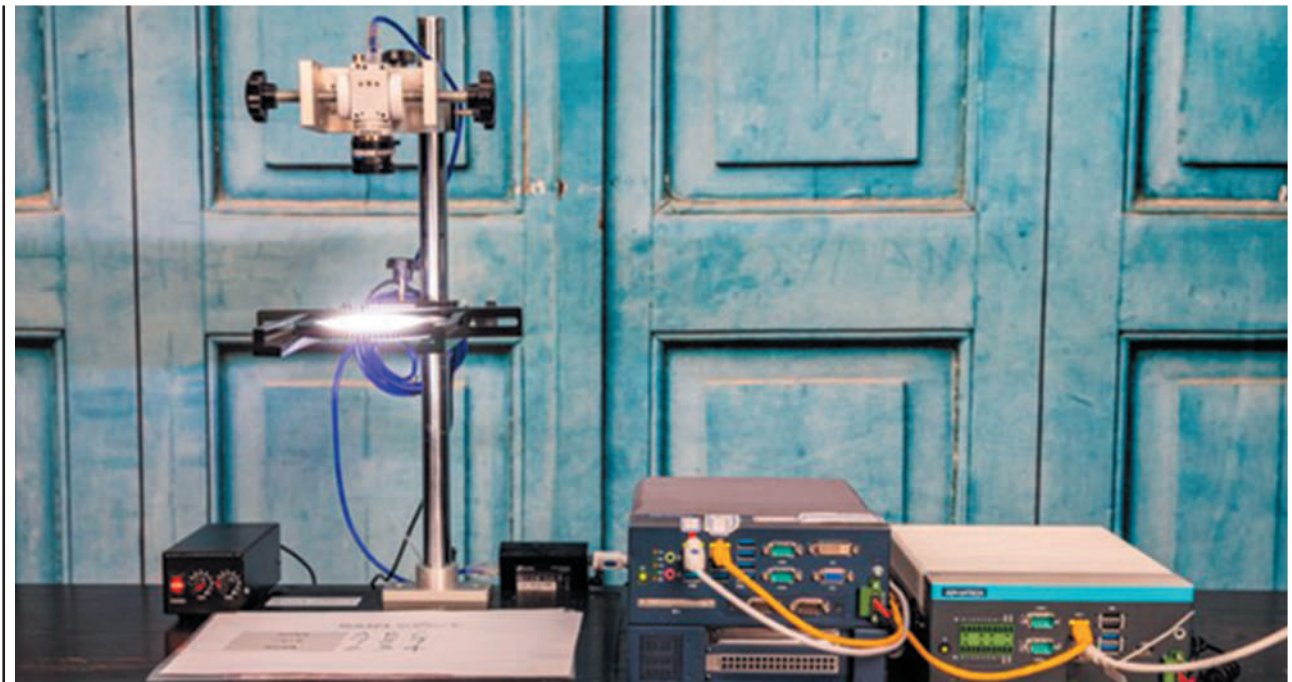


Рис. 5. Фабрика з інспекції текстилю

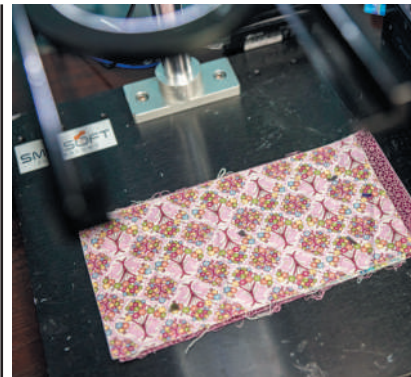


Рис. 6. Тканина розташована під камерою

компанії Advantech також є рішення PoE, проте тут у нас простий інжектор PoE.

Програмне забезпечення Smasoft також використовувало камеру. Зазвичай вона встановлюється на виробничій лінії, але у нашому випадку IP-камера встановлена на випробувальному стенді, щоб ми могли її фотографувати.

Під камерою є кільцева лампа, щоб отримати достатньо світла для камери.

Нижче знаходиться простір, де ми запускаємо нашу «текстильну лінію», а також зразок сторінки OCR (оптичне розпізнавання символів), яка освітлюється і знімається камерою (рис. 5). Потім рішення Smasoft використовує цю установку для ідентифікації символів.

Тканина розташована під камерою. Можна уявити, як тканина проходить повз камеру довгою лінією, але для демонстрації у нас лише невеликий клаптик (рис. 6). Рішення Smasoft може ідентифікувати дефект тканини чи визначений набір тексту з демонстрації OCR, а потім виконати дії на лінії для маркування того, що проходить по ній (рис. 7).

Таке маркування можна використовувати для автоматизованого відбору дефектної деталі з лінії. У нас не було робота-маніпулятора. На щастя, у Smasoft був емулятор руки робота

(рис. 8), який може виконувати відбір на основі OCR-розпізнавання зображень.

В цілому, це доволі цікаве рішення і можна уявити як буде виглядати комплексне рішення великих масштабів. У компанії Smasoft є рішення для різноманітних галузей промисловості, що засновані на обчислювальних платформах Advantech, таких як залучений в нашому проєкті MIC-730AI.

ЕНЕРГОСПОЖИВАННЯ ТА РІВЕНЬ ШУМУ ADVANTECH MIC-730AI

Невелике зауваження: за умови живлення від мережі змінного струму 120 В у нашій демонстрації спостерігалось енергоспоживання до 30 Вт. Лінійка NVIDIA Jetson має налаштоване TDP, тому можна знизити енергоспоживання за рахунок деякої продуктивності. Хоча 30 Вт — це максимум, в режимі простою ми спостерігали значення близьке до 15 Вт.

Що стосується шуму, то цей пристрій був дуже тихим. У нас було пасивно охолоджуване шасі і адаптер змінного струму FSP із пасивним охолодженням. В навколишньому середовищі з рівнем шуму 24 дБ ми не змогли зареєструвати навіть 1 дБа приросту від шуму котушки на надійному шумомірі Exttech, тому згідно з нашими цілями ми можемо назвати цей пристрій безшумним.

ВИСНОВОК

В цілому, це було цікаве рішення для огляду. Ми хотіли надати уявлення не тільки про власне рішення, а й про те, як його можна використати. Дійсно, популярна платформа NVIDIA Jetson AGX Xavier виходить за рамки комплекту розробника і може бути розширена.

Наразі ми живемо в часі, де багато уваги приділяється граничним системам, в тому числі використанню навчених моделей Штучного інтелекту (ШІ). Зараз ШІ вже не новинка, а предмет щоденного використання і це чудове поле для застосування MIC-730AI.

Загалом це дуже круте рішення. Наявність безвентиляторної вбудовуваної платформи, призначеної для широкого спектру середовищ, означає, що можна вивести обчислення з GPU-прискоренням на границі.

Матеріал надано ПРОКСИСТ™, <https://www.proxis.ua/uk/show-article/504/>



Рис. 7. Ідентифікація дефекту тканини

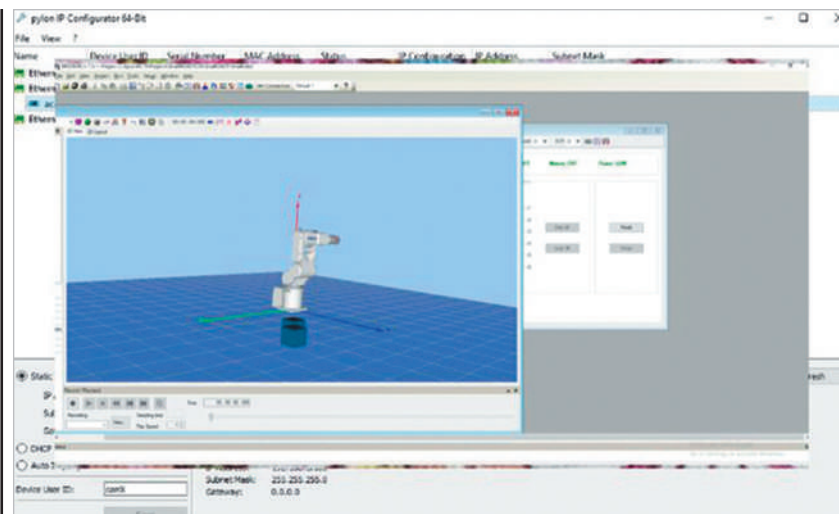


Рис. 8. Роборука Advantech Smasoft

Перші в індустрії супершвидкі USB 3.0 модулі цифрового вводу-виводу



Супершвидкий USB 3.0



Надійний дизайн



Гнучке розширення



Мінімум відмов



Легке обслуговування

ADVANTECH

Enabling an Intelligent Planet

Супершвидкі USB 3.0 цифрові модулі вводу-виводу для різних задач промислової автоматизації

Нова серія супершвидких USB 3.0 модулів цифрового вводу-виводу Advantech USB-5800 підходить для вирішення широкого кола задач в промисловій автоматизації, де потрібні легка установка, компактні розміри, та відсутні слоти розширення PCI/PCle. USB 3.0 модулі вводу-виводу Advantech USB-5800 надають екстремальну швидкість передачі до 5 Гб/с, розширюють системні функції вводу-виводу та підтримують послідовне підключення для легкого нарощування системи.



Більше інформації

USB Modules

Search

Доступні моделі

	USB-5830	USB-5850	USB-5860	USB-5855	USB-5856	USB-5862
Модель						
Ізольовані цифрові вхідні канали	16	16	8	32	32	16
Ізольовані цифрові вихідні канали	16	-	-	-	32	-
Релейні вихідні канали PhotoMOS	-	8	-	16	-	-
Релейні вихідні канали	-	-	8	-	-	16

www.advantech.com

www.proxis.ua
sales@proxis.ua

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

ADVANTECH Industrial IoT

Channel Partner



ПРОКСИС

Нові горизонти мікролокації: Bluetooth 5.1, UWB та Wi-Fi 802.11az

Єва Данель (Eve Danel)

Переклад та доповнення: Володимир Рентюк

З розвитком системи глобального позиціонування GPS місцезнаходження стало важливою і популярною функцією бездротових пристроїв. Однак тепер споживачі хочуть отримати переваги мікролокації, тобто визначення точного розташування людей та об'єктів в обмеженому просторі, і сьогодні бездротові технології вже адаптуються до цієї потреби, а рівень точності розташування зростає.

Використання бездротових технологій для позиціонування не є новиною. Однак з появою нових варіантів застосування, заснованих на місцезнаходженні, необхідний рівень точності змінюється [1].

Наприклад, залежно від якості сигналу система GPS може визначити позиціонування з точністю приблизно до 5–20 м. Цього цілком достатньо, коли ви вирушаєте на пошуки конкретної будівлі, але рівень точності GPS може виявитися незадовільним, якщо потрібно знайти, скажімо, певну полицю в магазині або картини під час музейної екскурсії.

Визначення розташування в приміщенні на рівні, достатньому для таких

додатків, як виявлення близькості об'єкта або людини в межах кількох метрів (ця технологія отримала назву Micro-Location — «мікролокація»), можуть забезпечувати сучасні системи позиціонування, засновані на рівні потужності сигналів Bluetooth та Wi-Fi, що приймаються. Тим не менш, наступне покоління технологій націлене на досягнення ще більшої точності, на рівні від одного метра до декількох сантиметрів. Вона відкриває нове покоління варіантів використання, які дозволяють користувачам дуже точно взаємодіяти з різними учасниками в середовищі, від управління доступом без допомоги рук до відслідковування руху та багато іншого.

Системи, засновані на специфікаціях Bluetooth 5.1 на базі стандарту IEEE 802.15.4z для мереж надширокопосмугового зв'язку — UWB та Wi-Fi Next Generation Positioning відповідно до стандарту IEEE 802.11az, відкривають можливості для застосунків точного позиціонування в рамках технології Micro-Location (рис. 1). UWB (Ultra-Wide Band — надширока смуга) — це бездротова технологія зв'язку на малих відстанях за низьких витрат енергії, що використовує в якості несучої надширокопосмугові сигнали з вкрай низькою спектральною щільністю потужності [2].

МІКРОЛОКАЦІЯ ЧЕРЕЗ BLUETOOTH 5.1

Специфікація Bluetooth 5.1 Bluetooth Special Interest Group (SIG) оновила основні характеристики Bluetooth, включаючи поліпшення для визначення напрямку. Від попередніх версій Bluetooth 5.1 відрізняється тим, що тепер користувачі мають можливість визначати місцезнаходження та напрямки з максимальною точністю. До випуску цього релізу Bluetooth [3] вже широко використовувався при відстеженні розташування всередині приміщень за допомогою технології на основі показника рівня сигналу (Received signal strength indication, RSSI). Суть його в оцінці відстані між передавачем та приймачем за допомогою вимірювання згасання сигналу на шляху його прямування.

Однак приймач може виявити лише те, що передавач знаходиться в круговій зоні, і не має інформації щодо напрямлення сигналу. Специфікації Bluetooth 5.1 додають спрямованість вхідного сигналу, надаючи інформацію про кут огляду. Системи для відстеження руху або програм для пошуку шляху можуть бути реалізовані з використанням методів

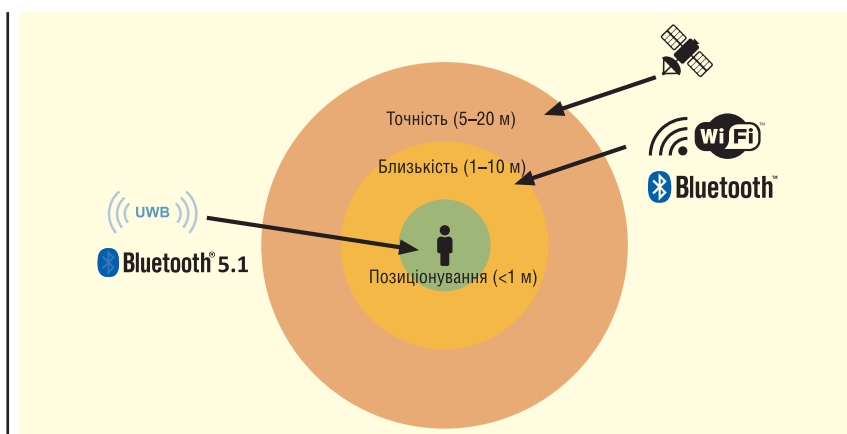


Рис. 1. Використання Bluetooth завдяки підтримці надширокопосмугового зв'язку дозволило перейти від низької точності позиціонування до визначення розташування об'єкта з роздільною здатністю менше 1 метра

Bluetooth 5.1 з кутом приходу (повернення) радіохвилі (angle of arrival, AoA) або кутом виходу (випромінювання) радіохвилі (angle of departure, AoD), як це представлено на рисунку 2.

Напрямок залежить від кута вхідного сигналу. Для пеленгації пристрої Bluetooth 5.1 передають пакети, до яких додається сигнал із додатковим полем Constant Tone Extension (CTE). Поле CTE є бітовою послідовністю немодульованих одиниць зі змінною тривалістю, яка спрощує обчислення фази на приймачі. Приймачі Bluetooth 5.1 використовують антенну решітку як мінімум з двома антенами та обчислюють кут падіння радіохвилі на основі різниці фаз між антенами, довжини хвилі сигналу та відстані між антенами.

У поєднанні з вимірюванням RSSI інформація про кут дозволяє пристроям визначити своє місцезнаходження з більшою точністю, ніж за методом RSSI.

Однак точність систем на основі Bluetooth 5.1 залежить від безлічі факторів, включаючи кількість антен у решітці та діаграму спрямованості антени, а також від алгоритму постобробки для визначення кута за інформацією фази I/Q. Топологія безпосередньо самої зони виявлення не менш важлива, оскільки як RSSI, так і точність вимірювання фази можуть погіршуватися через наявність тих чи інших перешкод. Однак вимірювання значно покращити, якщо для трилатерації використати кілька локаторів. Трилатерація — один із способів визначення координат на місцевості, спосіб визначення розташування геодезичних пунктів шляхом побудови на місцевості системи суміжних трикутників, у яких вимірюються довжини їх сторін.

Залежно від реалізації, системи на базі Bluetooth 5.1 повинні мати субметровий рівень точності, буквально до десятків сантиметрів. Сьогодні підтримка Bluetooth 5.1 вже додана всіма основними виробниками чипсетів.

МІКРОЛОКАЦІЯ ЧЕРЕЗ UWB

Технологія UWB не нова. Як визначено в стандарті IEEE 802.15.4, вона була вперше розгорнута на початку 2000-х років. Передбачалося, що вона замінить високошвидкісну передачу USB, але так і не набула широкого комерційного поширення. В останні роки рівні MAC і PHY були покращені в поправці IEEE 802.15.4z для ранжування.

На відміну від Bluetooth для оцінки відстані UWB використовує не рівень сигналу, а час польоту — це технологія time of flight, або ToF, добре відома у лідачах та системах машинного зору [4, 5]. ToF вимірює час розповсюдження сигналу від передавача до приймача. Оскільки радіочастотні сигнали поширюються зі швидкістю світла незалежно від навколишнього середовища, оцінка відстані на основі ToF є більш надійною для навколишнього середовища, ніж метод RSSI, передбачений у Bluetooth (рис. 3).

Технологія UWB відрізняється від Bluetooth та Wi-Fi. Головна відмінність у тому, що в ній передача інформації виконується не модульованими синусоїдальними хвилями, а якщо говорити точніше і зрозуміліше, модульованими послідовностями імпульсів, причому UWB-імпульси мають дуже коротку тривалість, порядку наносекунди. У цьому її переваги для застосування в технології ToF. Крім того, властивості використовуваного в UWB сигналу роблять цю технологію стійкішою до багатопроменевого приймання, типового для внутрішніх приміщень, оскільки короткі імпульси UWB більш стійкі до спотворень від відбитих сигналів, ніж сигнали Bluetooth або Wi-Fi.

Вимірювання відстані за технологією ToF через UWB може бути доповнено інформацією про кут, що забезпечує ще більш

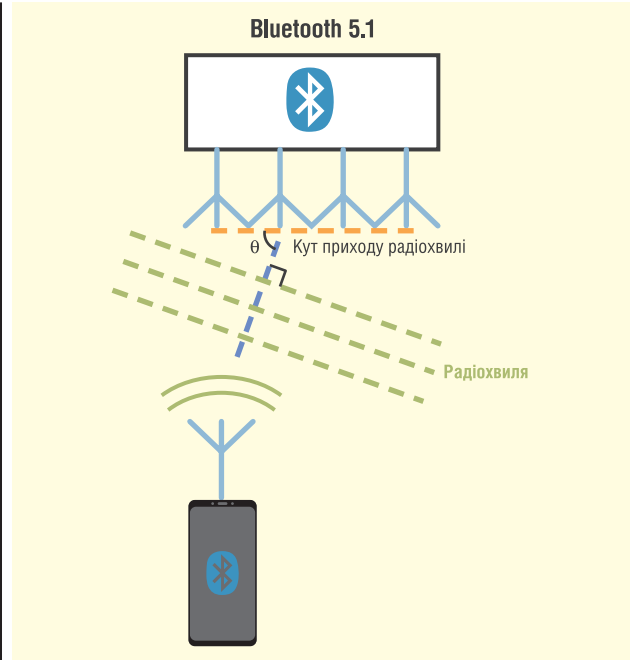


Рис. 2. Пеленгація Bluetooth виконується шляхом визначення кута приходу радіохвилі від пристрою Bluetooth

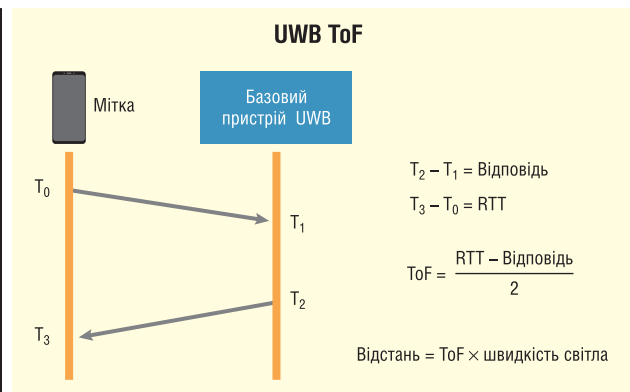


Рис. 3. Принцип визначення відстані під час прогнозової технології UWB

точне визначення розташування. Як і в Bluetooth 5.1, для того щоб обчислити кут приходу радіохвилі (AoA), у приймачі відбитої хвилі базового пристрою UWB використовується антенна решітка з двох або більше антен. Для визначення кута вхідного сигналу в розрахунках враховується час приходу відбитої хвилі (AoD) на кожну антену та інформація про відстань між антенами.

Системи, засновані на технології UWB, можуть, залежно від навколишнього середовища, досягати точності в діапазоні 10 см. Кілька великих виробників чипсетів вже пропонують рішення UWB, та прийняття цієї технології декількома виробниками смартфонів є доказом зростаючої динаміки застосування цієї технології.

МІКРОЛОКАЦІЯ ЧЕРЕЗ WI-FI 802.11AZ

Розробка найновішої та найменш відомої з обговорюваних технологій, стандарту Wi-Fi 802.11az [6] Next Generation Positioning (NGP), наближається до завершення. Як і Bluetooth, технологія Wi-Fi для визначення місця розташування деякий час

використовувалася з методом на основі RSSI. Але стандарт NGP заснований на протоколі точного виміру часу під назвою Fine Timing Measurement (FTM). FTM для оцінки відстані між станціями з підтримкою Wi-Fi та точками доступу використовує інформацію про час приймання-передавання (RTT). Механізм RTT застосовує тимчасові позначки часу відправлення (time of departure, ToD) та прибуття (time of arrival, ToA). Стандарт 802.11az розроблений для покращення застарілої FTM за рахунок нових функцій стандарту 802.11ax (Wi-Fi 6) (рис. 4).

Для вдосконалення 802.11az використовуються переваги ширшої смуги пропускання каналу, яка доступна в нових поколіннях Wi-Fi. Це стало можливо завдяки тому, що сигнали Wi-Fi 6 підтримують смугу пропускання каналу до 160 МГц, а Wi-Fi 7 — до 320 МГц. Більш широка смуга пропускання забезпечує вищу роздільну здатність, а технологія MIMO створює кращу стійкість до ефектів багатопроменевого поширення. MIMO (Multiple Input Multiple Output — множинні входи, множинні виходи) — метод просторового кодування сигналу, що дозволяє збільшити смугу пропускання каналу, при якому для передачі даних необхідні дві і більше антени і така ж кількість антен для приймання.

Для підвищення ефективності в протоколі NGP є кадри нульового пакета даних (null data packet, NDP), які вже визначені в стандарті 802.11ax для зондування з формуванням діаграми спрямованості. Новий стандарт також передбачає можливість Wi-Fi 6, розраховані на багато користувачів. При використанні ранжування на основі тригера з OFDMA висхідної і низхідної ліній зв'язку точка доступу за один сеанс передачі може ефективно отримувати інформацію про ранжування від безлічі станцій. OFDMA (Orthogonal frequency-division multiplexing) — розрахована на багато користувачів версія цифрової модуляції OFDM, одна з найважливіших функцій у Wi-Fi 6 для підвищення продуктивності мережі. Застосування OFDMA значно скорочує накладні витрати, необхідні для обміну інформацією про дальність, та покращує масштабованість до більшої кількості станцій.

Поки що дані про комерційні рішення позиціонування з використанням технології 802.11az NGP досить обмежені. Однак інформація про тестування, що опублікована в Wi-Fi Ranging [7], показує перспективні характеристики для умов прямої та непрямої видимості, де може бути досягнутий рівень точності до дециметра.

ПОРІВНЯННЯ ТЕХНОЛОГІЙ ДЛЯ МІКРОЛОКАЦІЇ НОВОГО ПОКОЛІННЯ

Якщо порівнювати можливості позиціонування трьох технологій, то саме UWB може досягти найвищого рівня точності на сантиметровому рівні. Системи на основі Bluetooth 5.1, мабуть, повинні бути здатні досягати субметрової точності, тоді як розгортання Wi-Fi на основі 802.11az повинні мати можливість досягати дециметрової точності. Однак при обговоренні точності позиціонування необхідно враховувати багато аспектів. Це і навколишнє середовище, у тому числі електромагнітна обстановка, конструкція системи, затримка в антенному тракті і ще ряд інших параметрів, які можуть погіршити номінальну точність.

Крім точності позиціонування, на рішення про інвестування в нову технологію впливає безліч факторів, і ці критерії залежать від застосування. Наприклад, на прийняття рішення можуть впливати безпека, енергоспоживання, вартість, існуюча інфраструктура, дальність передачі та функціональна сумісність. У будь-якому варіанті, незалежно від обраної

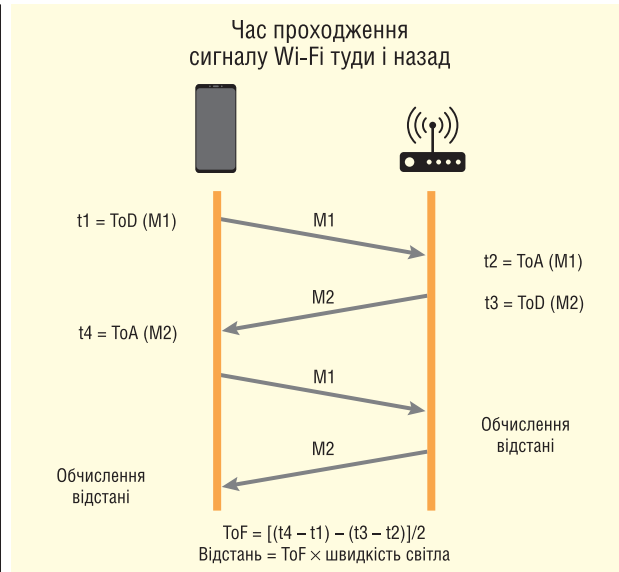


Рис. 4. Принцип визначення відстані Wi-Fi на основі протоколу точного вимірювання часу

технології, потрібне ретельне тестування проекту, щоб забезпечити найкращу продуктивність і зрештою призвести до успішного розгортання. Додаткова інформація щодо цього питання доступна за посиланнями [8–12].

Література:

1. UWB Use Cases. www.firaconsortium.org/discover/use-cases
2. Алексеев В. Новый стандарт IEEE 802.15.4z для сетей сверхширокополосной связи — UWB // Беспроводные технологии. 2019. № 3.
3. Bluetooth Core Specification Version 5.1 Feature Overview. www.bluetooth.com/bluetooth-resources/bluetooth-core-specification-v5-1-feature-overview/
4. Рентюк В. Технология распознавания глубины от компании Analog Devices для современных и перспективных приложений // Компоненты и технологии. 2020. № 2, 3.
5. Рентюк В. Машинное зрение в 3D: ToF-системы компании SICK // Control Engineering Россия. 2020. № 1.
6. IEEE P802.11 — Task Group AZ — MEETINGS UPDATE. Status of IEEE 802.11az. Next Generation Positioning (NGP). www.ieee802.org/11/Reports/tgaz_update.htm
7. Raissinia C. Z. A., de Vegt R. Qualcomm Wi-Fi Ranging: Delivering ranging and location technologies of tomorrow today. www.qualcomm.com/media/documents/files/qualcomm-wi-fi-ranging-white-paper.pdf
8. Optimizing Healthcare Facilities Using Wireless Technology. <https://www.bluetooth.com/>
9. www.firaconsortium.org/
10. IEEE P802.11az — IEEE Draft Standard for Information technology — Telecommunications and information exchange between systems Local and metropolitan area networks — Specific requirements Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications — Amendment 3: Enhancements for positioning. https://standards.ieee.org/project/802_11az.html
11. Location, Location, Location! BT 5.1, UWB and 802.11az // www.litepoint.com/knowledgebase/webinar-bt-5-1-uw-802-11az/
12. Qualcomm Wi-Fi Ranging White Paper www.qualcomm.com/documents/qualcomm-wifi-ranging-white-paper



ESP32-C3

Економічний мікроконтролер RISC-V
з можливістю підключення Wi-Fi і Bluetooth 5 (LE)
для безпечних додатків Інтернету речей



RISC-V в основі



Багаті можливості
підключення



Безпека



Доступність програмного
забезпечення

Партнерство з нами – успіх Вашого бізнесу!

ПЛІС – логічне вирішення проблеми нестачі мікроконтролерів

Скотт Каспер (Scott Casper), GOWIN Semiconductor Corporation
Email: rutronik_ua@rutronik.com

Сьогоднішній ринок сильно загальмований поточним браком (відсутністю) напівпровідникових мікросхем, що заважає нашим виробничим лініям. Це видно з обмеженої пропозиції доступних продуктів. Наприклад, з 2020 до 2021 року скоротилося виробництво автомобілів, а також споживчих товарів, таких як смартфони. Запуск нових продуктів також відкладається, оскільки виробники з'ясовують (налагоджують) нові ланцюжки постачання та постачальників, щоб подолати ці перешкоди. Нинішня думка полягає в тому, що дефіцит напівпровідників триватиме як мінімум до кінця 2022 року, а можливо, і довше.

Одним із недоліків пристроїв, що мають серйозний вплив на ланцюжок поставок і, отже, на виробництво, є мікроконтролер. Мікроконтролер — це компактна інтегральна схема, призначена для виконання операцій, подібних до мікропроцесора, і зазвичай використовується у вбудованих системах. Ви можете уявити, що ці пристрої розкидані по всьому вашому автомобілю, від силового двигуна до елементів управління інформаційно-розважальною системою (радіо), допомагаючи в безпеці, керуванні та розвагах в автомобілі. Без цих мікроконтролерів виробництво та постачання автомобілів скорочуються. Отже, які альтернативи є у інженерів та менеджерів з постачання?

Оскільки мікроконтролери, по суті, виконують логічні команди виконання операції, альтернативою мікроконтролерам є програмована вентильна матриця (FPGA). FPGA — це інтегральна схема, що складається з матриці конфігурованих логічних блоків. Отже, налаштувавши ПЛІС, ви зможете по суті виконувати ті самі операції, що й мікроконтролер. Є три методи, на які слід звернути увагу під час розгляду FPGA для заміни мікроконтролера:

- FPGA може замінити просту роботу мікроконтролера шляхом програмування комбінаторної логіки або кінцевого автомата в конфігурованих логічних блоках.
- FPGA може бути запрограмована з вбудованим мікроконтролером в конфігурованих логічних елементах, для запуску того ж програмного забезпечення, яке виконується на поточних мікроконтролерах. Іншими словами, жодних змін у програмному забезпеченні не потрібно.
- FPGA можна придбати з апаратно вбудованим на кристалі мікросхеми мікроконтролером. Його може запускати те ж саме програмне забезпечення, яке виконується на окремому мікроконтролері, але зазвичай він працює швидше, що пов'язано з технологією виробництва.

Існує багато переваг використання FPGA у порівнянні з мікроконтролером. Для інженера-проектувальника вбудованих систем ці переваги можуть бути слухними для досягнення цілей щодо збільшення продуктивності та продовження терміну життя пристрою. По-перше, це гнучкість програмовного введення-виведення (IO), яку може запропонувати FPGA. У той час як мікроконтролер має фіксоване і обмежене введення-виведення, FPGA можна запрограмувати для різних стандартів інтерфейсу введення-виведення (I²C, I²S, RGB, MIPI і т.д.), тим самим діючи як міст, розширювач введення-виведення або агрегатор сигналів. Потім мікроконтролер виконує свої операції за допомогою програмного забезпечення у послідовній функції. Швидкість операції контролюється довжиною коду та системним годинником. З іншого боку, операції в FPGA виконуються на паралельних конвеєрах, що в рази швидше ніж послідовне виконання рядків коду мікроконтролера. Крім того, ви можете створювати

окремі схеми в конфігурованих логічних блоках для паралельного виконання операцій. Мікроконтролер не може реалізувати такі паралельні конвеєри. Нарешті, мікроконтролер споживає активну енергію у стані очікування; йому завжди потрібно запускати код під час очікування переривання.

Компанія GOWIN Semiconductor пропонує рішення для трьох перерахованих вище методів заміни мікроконтролерів. ПЛІС від GOWIN поставляються з різними розмірами конфігурованих логічних блоків і гнучкими конфігураціями вводу/виводу. GOWIN пропонує багато програмних ядер для мікроконтролерів, включаючи серію Cortex M і RISC-V. Нарешті, GOWIN пропонує FPGA із жорсткими мікроконтролерами у кремнії для досягнення найкращого можливого значення продуктивності.

Розуміння того, що існують альтернативи для подолання нестачі мікроконтролерів, може бути корисним для виробництва, менеджерів ланцюжка поставок та ринку загалом. Таким чином інженери-конструктори зрозуміють, що:

- гнучкі інтерфейси, мости, розширення введення-виведення та агрегація сигналів,
- прискорення/паралельна обробка,
- завжди включені операції з низьким енергоспоживанням.

Все це може бути перевагою для будь-якої вбудованої системи, що прагне досягти цілей за продуктивністю та вартістю. Компанія GOWIN Semiconductor готова допомогти тим, хто потребує просування свого виробництва та запуску продуктів із продуктами FPGA менш ніж за 1 долар.

Більш детальну інформацію можна отримати у представника компанії Rutronik в Україні — Михайла Єлізарова:
тел.: +38 (050) 312-01-07. **СН**

З'єднувачі компанії Fischer Connectors для захищених виробів та кабельні збірки на їх основі

Інженерна думка поступово рухається вперед, незважаючи на деякі технічні та економічні складнощі. З'являються нові розробки, покращуються технології виготовлення виробів, полегшується їхня експлуатація. Повною мірою це стосується і ринку елементної та компонентної бази (ЕКБ) для портативної захищеної електронної апаратури зв'язку, обчислювальної техніки, навігації та автоматики. Однією з обов'язкових позицій при створенні будь-яких захищених пристроїв є електричні з'єднувачі, що розміщуються поза герметичним корпусом і характеризуються підвищеною стійкістю до зовнішніх впливів, високою надійністю та довговічністю.

Компанія Fischer Connectors (Швейцарія) пропонує широкую номенклатуру з'єднувачів для захищених пристроїв, що відповідають жорстким експлуатаційним вимогам. В даний час у виробничій програмі компанії налічується понад 30 тис. моделей з'єднувачів, основні серії яких раніше були представлені на сторінках нашого журналу. Не так давно інженери компанії Fischer Connectors запропонували творцям захищеної апаратури ряд новинок, які істотно відрізняються від раніше представлених зразків.

У серії UltiMate з'явилися мініатюрні з'єднувачі нового типу 80 (розмір 08) (рис. 1), метою створення яких стало зменшення їхньої маси при збереженні високої надійності та захищеності від зовнішніх факторів, що впливають. Основні характеристики з'єднувачів UltiMate 80 наведено у таблиці 1.

Ці з'єднувачі, оснащені защіпкою Push-Pull, забезпечують передачу елек-

тронів та високошвидкісних сигналів у найсуворіших умовах. Вони мініатюрні, міцні та легкі за рахунок нового алюмінієвого корпусу, просто конфігуровані, повністю екрановані, герметичні, надійно захищені від неправильної комутації за рахунок механічного кодування (за допомогою трьох ключів типу «паз-виступ»), аналогічного тому, що реалізовано в раніше випущених з'єднувачах серії UltiMate. Крім алюмінієвого корпусу з чорним антивідблискувальним (матовим) покриттям, з'єднувачі мають еластичний хвостовик з термопластичного еластомеру (TPE), що забезпечує збереження цілісності з'єднувача при не менше ніж 5 000 вигинів на 90° (рис. 2), а також контактами з латуні із покриттям золотом (товщина шару становить близько 1 мкм за стандартом MIL-DTL-45204D Type 1). Крім кабельних вилок UP81 у серії UltiMate 80 також є кабельні та блокові розетки (UR80 та UR81 відповідно).

Таблиця 1. Основні характеристики з'єднувачів серії UltiMate 80	
Параметр	Значення
Кількість контактів	6
Маса	2,1 г
Номинальний електричний струм	5 А
Опір контактів	менше 10 мОм
Опір ізоляції	понад 10 ¹⁰ Ом
Електромагнітне екранування	360°
Напруга пробую	не менше 750 В
Герметичність	IP68, занурення на глибину 2 м/24 год
Діапазон робочих температур	-55 ... +135 °С
Вібростійкість	с.к.з. віброприскорення -7,7g
Удароміцність	100g
Зусилля роз'єднання	(55±15) Н (типове значення)
Стойкість до корозії	солевий туман протягом 500 год
Кількість циклів з'єднання/роз'єднання	10 000 циклів
Опір вигину кабелю	5 000 вигинів на ±90°

Нові з'єднувачі сумісні зі з'єднувачами серії UltiMate розміру 08 зі сталевим корпусом, що вже випускаються, але в порівнянні з ними характеризуються істотно меншою масою, що особливо важливо для портативної і носимої апаратури.

Значно розширилася серія низькопрофільних з'єднувачів Fischer LP360 для носимої і портативної апаратури, що входять в серію Freedom і реалізують концепцію LPWC — Low Profile Wearable Connector (рис. 3). Тепер серія містить вилок та розетки двох розмірів (розмір 08 з чотирма контактами та розмір 14

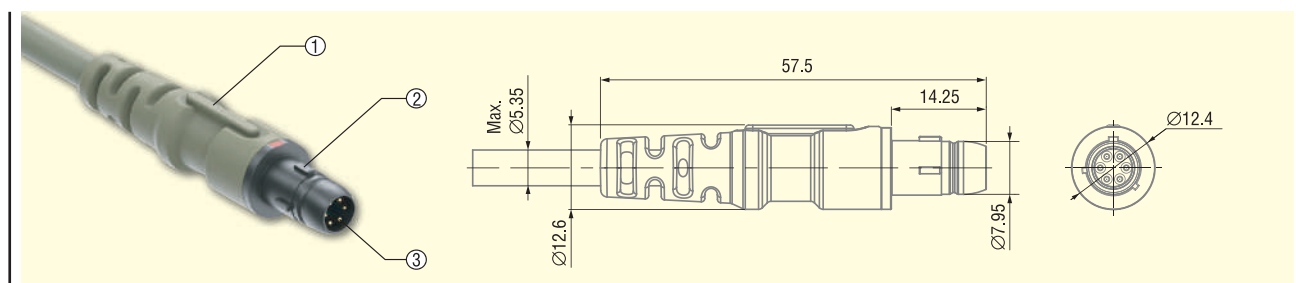


Рис. 1. Кабельна вилка серії UltiMate 80: 1 — хвостовик; 2 — корпус; 3 — контакти



Рис. 2. Гнучкий хвостовик з'єднувача захищає кабель від пошкодження при згинах

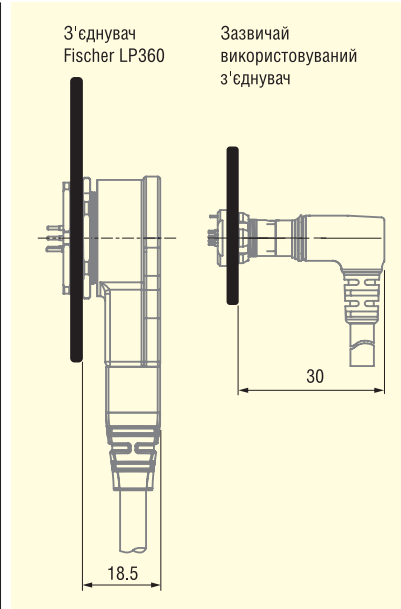


Рис. 3. Порівняння габаритних розмірів низькопрофільного з'єднувача і з'єднання, що зазвичай використовується

із сімома контактами) з металевими та пластиковими корпусами для монтажу на кабель та на блокові панелі (табл. 2). Мета розробки з'єднувачів сімейства Freedom — полегшити комутації та підвищити зручність використання апаратури завдяки проривним запатентованим рішенням у галузі сполучення (360-градусне вільне сполучення (з'єднання/роз'єднання), відсутність ключового коду), блокування (герметичний немагнітний швидкороз'ємний замикаючий механізм), матеріалів (герметизація мембранних контактів зі ступенем захисту IP68). Використання в якості контактів розетки концентричних плоских кілець замість гнізд, що накопичують забруднення, та мініатюрних, ізольованих, пружних мембран,

розташованих на певних відстанях від осі вилки, замість штирів, які можуть бути зламані, забезпечує унікальні характеристики з'єднувачів по легкості з'єднання та очищення комутувальних елементів.

Аналіз запитів споживачів, проведений фахівцями компанії Fischer Connectors, показав, що з'єднувачі Fischer LP360 повністю відповідають вимогам до комутаційних виробів військового, про-

мислового, медичного призначення, IoT (Internet of Things, «Інтернет речей») і т.д. Для підтвердження цього з'єднувачі Fischer LP360 успішно пройшли суворі та ретельні випробування відповідно до міжнародних промислових та військових стандартів, таких як IEC, EIA, MIL-STD-202 та MILSTD-810.

Конструктивні особливості з'єднувачів Fischer LP360 забезпечують широкую інтеграцію їх у структуру професійного екіпірування фахівців, реалізуючи інноваційну концепцію інтелектуальної платформи екіпіровки Eleksen, яку розробляє компанія Fischer Connectors у партнерстві з фірмою Wearable Technologies Ltd. З використанням з'єднувачів Freedom в рамках даної концепції розробники створили інтелектуальний жилет, що є концентратором для декількох переносних і носимих пристроїв, підключених до загальної шини даних і електроживлення. Внаслідок цього завдяки з'єднувачам Fischer LP360 підвищується зручність експлуатації обладнання, зменшуються його масогабаритні показники, спрощується налаштування.

Для полегшення розміщення з'єднувачів на поверхні жилету компанія Fischer Connectors пропонує відповідні набори конструктивних деталей (рис. 4).

Слід зазначити, що надійність, ергономічність, захищеність від зовнішніх впливів, масогабаритні показники портативної і носимої апаратури, і, зокрема, з'єднувальних джгутів, проводів і кабелів є системними характеристиками,

Таблиця 2. Варіанти з'єднувачів Fischer LP360

Кабельні вилки FLP01		Блочна вилка FLP03	Кабельна розетка FLR50	Блокові розетки FLR01	
Розмір 14 (метал)	Розмір 08 (пластик)	Розміри 08.14 (метал)	Розміри 08.14 (метал)	Розміри 08.14 (метал)	Розмір 08 (пластик)

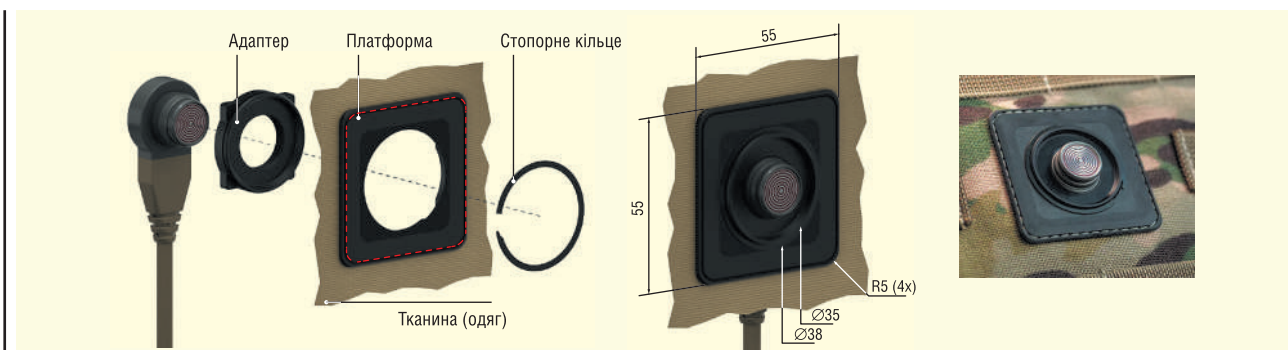


Рис. 4. Комплект деталей для розміщення з'єднувача на одязі

Таблиця 3. Характеристики кабельної збірки (приклад)		
Параметр		Значення
Робоча напруга		до 100 В
Довжина кабелю		1 м
Діаметр кабелю номінальний		5.35 мм
Колір кабелю		чорний (RAL9005)
Герметизація		захисний ковпачок або заливка полімером під тиском (overmolding)
Рекомендований радіус вигину:	статичний	не менше ніж 40 мм
	динамічний	не менше ніж 60 мм
Робоча температура		-40 ... +90 °С

при аналізі яких необхідно враховувати всі елементи і деталі, з яких складаються кабельні вироби.

Наприклад, функціональні характеристики з'єднувачів Fischer Connectors досягаються високою точністю їх виготовлення, а також щільністю упаковки контактів. Через це при створенні кабельних виробів на основі подібних з'єднувачів можуть виникати складності щодо розпаювання жил з'єднувального кабелю. Відповідаючи на запити споживачів, компанія Fischer Connectors запровадила виробництво кабельних збірок на основі власних з'єднувачів за технічними вимогами конкретного замовника (табл. 3). До переваг кабельних збірок належать:

- зниження витрат споживача на монтаж (основна перевага для роботи на віддалених об'єктах);
- висока якість серійного монтажу (у тому числі недоступні в умовах об'єкту методи контролю, що гарантують довготривалу надійність виробу);
- економія на монтажному оснащенні та комплектуючих (порівняно з виконанням монтажу на об'єкті).

Розглянемо один із прикладів виготовлення таких кабельних збірок. Виготовлення кабельних збірок виконується

висококваліфікованим персоналом і на сучасному автоматизованому спеціалізованому устаткуванні за нормативно-технологічною документацією компанії Fischer Connectors. При виготовленні кабельних збірок можливе використання як стандартних, так і замовних кабелів, у тому числі оптоволоконних. Кабель для кабельних збірок нарізається на автоматизованій установці мірного різання з точністю до 1 мм, закладання кабелю в з'єднувач здійснюється литтям полимерного матеріалу під тиском (способом Overmolding). Завдяки відпрацьованій технології забезпечується надійна герметизація кабельних з'єднувачів без повітряних включень, порожнин та областей неоднорідної полімеризації. Основний матеріал для хвостовика з'єднувачів — термопластичний поліуретан Estane 58887 NAT038, каталог Lubrizol. Пайка кабелю до контактів з'єднувача виконується припоєм LF 217. Перед заливкою полімерним матеріалом монтажний простір з'єднувача заповнюється герметиком UHU Plus Endfest 300 (арт. UH45735). Відповідно до вимог замовника замість заливання полімерним матеріалом можливе виконання герметизації за допомогою термоусаджувального захисного ковпачка.

Дані, отримані за результатами експлуатації кабельних збірок споживачами, свідчать про максимально можливу герметизацію кабельного з'єднувача, що захистить виріб від зовнішніх впливів середовища (вологи, бруду та ін.) та важких експлуатаційних умов (перевантажень, вібрації, механічних впливів).

Найбільш складними для монтажу є мініатюрні з'єднувачі серії MiniMax, призначені для високошвидкісної передачі даних за інтерфейсами USB 3.0, HDMI, 10 Gigabit Ethernet та ін. при швидкості передачі інформації до 10 Гбіт/с (рис. 5).

Завдяки оригінальним конструктивним рішенням кабельні збірки, у складі яких є з'єднувачі серії MiniMax, дозволя-



Рис. 5. Приклад кабельної збірки зі з'єднувачем MiniMax

ють заощадити до 45% на монтажних обсягах та скоротити масу виробів (у частині з'єднувачів) на 75% порівняно з використанням найближчих функціональних аналогів із тією самою кількістю контактів. З'єднувачі MiniMax можуть мати 4–24 контакти, випускаються розміром 08 або 06 (розетка діаметром 10 або 12 мм). У них реалізовані три механізми з'єднання: двотактна защіпка типу Push-Pull, різьбове з'єднання типу Screw-Locking та швидкороз'ємне з'єднання типу Quick-Release. З'єднувачі герметичні (ступінь захисту IP68, перевіряється шляхом занурення з'єднувача на глибину 2 м протягом 24 год), мають надійну конструкцію, що протидіє осьовому обертанню з моментом більш ніж 4 Нм і натягу з силою до 40 кг. Стійкість до корозії — не менше 1000 год при дії агресивних атмосферних умов, діапазон робочих температур -40...+85 °С. Завдяки ретельному конструкторському опрацюванню з'єднувачів виробником гарантується не менше 5000 циклів з'єднання без погіршення електричних параметрів.

У зв'язку зі складністю монтажу мініатюрних кабельних вилок MiniMax, що призводить до великого відсотка браку у споживачів при виготовленні кабельних збірок самотужки, компанія Fischer Connectors пропонує використовувати готові кабельні збірки, які виготовляють на автоматизованому прецизійному обладнанні. Багато споживачів переконалися, що застосування готових кабельних збірок, виготовлених у промислових умовах, доцільніше як за сукупною вартістю робіт, так і за швидкістю, якістю та надійністю.

CN

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

MICRODIS

Роман Прокопець
Менеджер з продажу

Microdis Electronics GmbH
Rheinauer Straße 1
68766 Hockenheim
Germany

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

fischer
CONNECTORS

www.microdis.net

Посміхніться, вас фотографують

Міхаель Хан (Michael Hahn), інженер відділу продажу з'єднувачів для пристроїв, Phoenix Contact Deutschland GmbH
E-mail: ua-office@phoenixcontact.com

В даній статті розглянуто переваги при застосуванні з'єднувачів компанії Phoenix Contact в пристроях для моніторингу дорожнього руху, на об'єктах транспортної інфраструктури тощо.

Яким дорожній рух був би без них? Вони заважають тим, хто швидко їздить, але потрібні для загальної безпеки на дорогах. Ми говоримо про камери контролю швидкості. Щоб забезпечити належну й бездоганну роботу цих вимірювальних пристроїв навіть у найнесприятливіших умовах навколишнього середовища, компанія VDS Verkehrstechnik покладається на мідні з'єднувачі для передавання даних від Phoenix Contact (рис. 1).

Уже понад 21 рік компанія VDS Verkehrstechnik GmbH із міста Лебау, Саксонія, розробляє та виготовляє високоточне обладнання для моніторингу дорожнього руху. VDS Verkehrstechnik GmbH є дочірнім підприємством International Road Dynamics Inc. (IRD) — компанії, яка створює продукти і рішення для інтелектуальних систем контролю дорожнього руху (ITS) і веде свою діяльність по всьому світу. Маючи 25 працівників, VDS є визнаним гравцем на ринку, а обладнання цієї компанії допомагає боротися з перевищенням швидкості і, таким чином, підвищувати загальний рівень безпеки на автомобільних шляхах. Увага завжди зосереджена на тому, щоб запропонувати довговічні й надійні технічні рішення, які відповідають сучасному рівню техніки, а також національним і міжнародним стандартам.



Рис. 1. Промислові з'єднувачі для передавання даних на об'єктах транспортної інфраструктури: міцна конструкція для забезпечення постійного й надійного зв'язку в системах камер контролю швидкості руху



Рис. 2. Пристрої для моніторингу дорожнього руху характеризуються особливими вимогами до встановлених компонентів, а надійне передавання даних є важливою умовою безпомилкової роботи

Основою кожного пристрою завжди є датчик камери — чи то камери контролю швидкості, чи то світлофора. Цей високочутливий фотодатчик має бути здатним за доли секунди зробити придатну для юридичного застосування фотографію об'єкта, що швидко рухається, і робити це не лише за денного освітлення й за сприятливих погодних умов, а й під час дощу, снігу та темряви. Щоб пристрій знову був готовим до негайного застосування, треба якомога швидше передати дані, зібрані за допомогою відповідного вимірювального датчика або вимірювального пристрою, до головки камери й електронного блока оцінювання (комп'ютера), а потім надіслати їх у медіаконвертер. Звідти зібрана інформація передається безпосередньо у відповідний компетентний орган через мережу LTE (рис. 2).

МОДУЛЬНІСТЬ НАВІТЬ У СТАЦІОНАРНОМУ ЗАСТОСУВАННІ

Щоб надати своїм замовникам рішення, в якому основну увагу надано зменшенню витрат і задоволенню перспективних потреб, компанія VDS застосовує у своїх вимірювальних приладах адаптовану модульну конструкцію. У результаті пристрій навіть пізніше можна укомплектувати й оснастити відповідно до конкретних вимог і потреб замовника.

При цьому вимірювальні системи можуть працювати цілком самодостатньо навіть у сільській місцевості, де немає інфраструктури енергозабезпечення. Щоб зменшити експлуатаційні витрати й витрати на персонал, який, наприклад, здійс-



Рис. 3. Роберто Келлер, інженер-розробник компанії VDS Verkehrstechnik GmbH, вибрав міцні та прості у використанні з'єднувачі з асортименту виробів Phoenix Contact

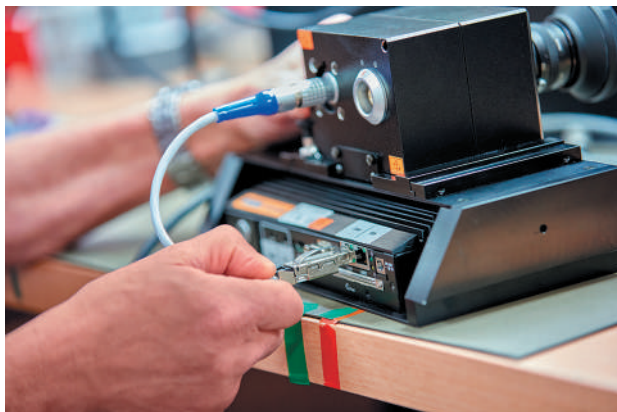


Рис. 4. Під час роботи в польових умовах також важливо, щоб конструкція була якомога простішою — це дозволяє уникнути помилок через неправильне поводження

нює регулярний моніторинг, є додатковий модуль звітності про технічний стан обладнання, який працює за технологією GSM. Цей пристрій сам постійно моніторить, чи не виникла несправність, чи не переповернено модуль пам'яті, чи не відбулася атака на систему, і в разі потреби негайно інформує оператора. Зв'язок усередині пристрою зазвичай забезпечують дротові лінії передавання даних. У подальшому дані передають назовні як правило за допомогою бездротової технології.

УМОВИ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА, ЯКІ СПРИЧИНЯЮТЬ ЗНОШУВАННЯ БУДЬ-ЯКОГО ОБЛАДНАННЯ

«Складно уявити, які ще фактори навколишнього середовища можуть мати тривалий вплив на таке обладнання, як певний стаціонарний пристрій. Навантаження на встановлену електроніку й компоненти створюють не лише екстремальні температурні коливання, а й струси та вібрація, — пояснює Роберто Келлер, відповідальний розробник, (рис. 3). — Уявіть собі місце на відстані 2 метрів від автомагістралі національного значення з напруженим рухом, якою кожні 10 секунд проїжджають 40-тонні вантажівки. Непросто знайти більш важкі умови експлуатації навіть у суворому промисловому середовищі».

«Набутий досвід навчив нас тому, що важливо застосовувати з'єднувачі, призначені для експлуатації в промислових умовах», — веде далі Р. Келлер. — З огляду на це компанія VDS уже розглядала можливість застосування круглих роз'ємів, призначених для військової техніки, але витрати — головний фактор навіть для пристроїв із такою високою вартістю. Також здійснювали випробування з більш стійкими стандартними рішеннями RJ45, але безуспішно. З одного боку, уже в лабораторії відбулася втрата даних. А з іншого боку, тривалі випробування показали, що через два роки експлуатації з'єднувачі буквально розвалюються».

ГНУЧКІСТЬ НА МІСЦІ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ТА ПРОСТОТА В МОНТАЖІ

Вирішення цієї проблеми забезпечили міцні з'єднувачі для передавання даних, створені компанією Phoenix Contact.

«Внутрішня програма випробувань була просто приголомшливою, — згадує Р. Келлер». Випробування на стійкість до

вібрації з частотою до 2000 Гц, на струси з прискоренням до 50 G і випробування на згинання із зусиллям утримання 30 Н не залишили сумнівів. Тепер ніщо не заважає застосовувати перспективні високошвидкісні кабелі зі швидкістю передавання до 10 Гбіт/с. Оскільки всі компоненти узгоджені між собою, максимальна надійність передавання даних гарантована навіть у найсуворіших умовах. Окрім основних технічних властивостей, промислові з'єднувачі RJ45, що застосовуються і збираються на місці (в польових умовах), також забезпечують високу гнучкість із погляду прокладання кабелів на місці монтажу. Залежно від конфігурації та доступного монтажного простору, можна приєднати прямий кабельний вихід або вивести кабель під кутом у двох різних напрямках. Однокомпонентна конструкція та збірка (монтаж), які не потребують спеціальних інструментів, забезпечують простоту використання для монтажника на виробництві або на будівельному майданчику (рис. 4).

Після того, як було знайдено технічне рішення, стала очевидною ще одна перевага. Оскільки за технічними умовами всередині пристрою потрібен лише захист ступеню IP20, то немає потреби використовувати військові або промислові роз'єми, що призначені для важких умов експлуатації, водночас можна заощадити близько 30 відсотків місця, а зменшення витрат перевищує 70 відсотків, якщо порівнювати з варіантами застосування круглих роз'ємів, які також розглядалися раніше.

ПІДСУМОК

Дедалі вищі вимоги до технологічних засобів потребують дедалі продуктивніших з'єднувачів.

Важливо зазначити, що треба брати до уваги вимоги відповідних стандартів і незмінно забезпечувати зворотну сумісність. Компанія Phoenix Contact вдалося дотримати всіх вищезазначених рамкових вимог і створити концепцію пристрою, оптимізовану за ціною та орієнтовану на перспективу, до того ж надійну та просту у використанні.

Більш детальну інформацію можна дізнатися, звернувшись в ТОВ «Фенікс Контакт»:
тел.: (044) 594-55-22,
факс: (044) 594-55-21,
www.phoenixcontact.com/uk-ua/

Оптичні роз'єми об'єднувальної плати: інтерфейсна технологія від компанії Molex

Переклад: Володимир Рентюк

Оптичні роз'єми на об'єднувальній платі (відомі як backplane connector) дозволяють її електричним роз'ємам з'єднувати оптичні волокна через глухі сполучні інтерфейси. Протягом десятиліть ці високотехнологічні інтерфейси з високою щільністю оптоволоконна успішно застосовуються для створення систем з масштабованою ємністю, але особливо популярні для застосувань у маршрутизації, оптичних комутаторах і телекомунікації. У статті йтиметься про те, чим привабливі для системних архітекторів та конструкторів такі оптичні міжз'єднання та які вимоги до їх проєктування. Описано роз'єми для оптоволоконна з високою щільністю його розміщення, проблеми технічного обслуговування, а також тенденції розвитку галузі. Крім того, представлена думка компанії Molex щодо майбутніх потреб у подібних рішеннях.

Як і у випадку з оптичними з'єднаннями на передній панелі, модулі типу ОВО (On Board Optic — «оптика на платі», тут і далі під терміном «оптика» спрощено маються на увазі загальні рішення на основі оптоволоконної технології) легко підключаються до оптичних роз'ємів задньої панелі через стандартні багатожильні кабелі з циліндричною оболонкою, стрічкове оптоволоконно або попередньо сформовану маршрутизовану стрічкову оптоволоконну технологію, що спочатку прикріплена до ОВО-модулів.

З оптичними сполучними елементами, специфічними для об'єднувальної плати, також використовується пропонує компанією Molex універсальна гнучка оптоволоконна система FlexPlane, яка забезпечує передачу даних з високою щільністю та може бути оснащена дискретними виводами для кожного оптоволоконного кабелю. За допомогою системи FlexPlane легко і просто здійснювати з'єднання типу «кабель–кабель», «плата–плата» та «кабель–плата». В цьому випадку на одному кінці знаходиться FlexPlane і на

іншому — ОВО. Таким чином, в елементах системи може бути виконано дуже щільне з погляду введення волокон і дуже складне зіставлення оптоволоконних портів. Розробники обладнання та системні архітектори віддають перевагу цим інтерфейсним технологіям і вибирають їх для своїх проєктів з цілого ряду причин, серед яких:

- звільнення простору на передній панелі для збільшення повітряного потоку та підвищення кількості клієнтських чи мережних портів;
- забезпечення швидшого розгортання, простота оновлення та ремонту системи за рахунок виключення ручної установки кабельних з'єднань на передній панелі;
- збільшення щільності міжз'єднань та спрощення прокладання кабелів у порівнянні з традиційними оптичними роз'ємами та трансиверами на передній панелі;
- забезпечення більшої модульності компонентів системи за допомогою вбудованих системних конфігурацій підключення, таких як оптична пере-

становка, яка стандартизує лінійні карти та висувні панелі, що дозволяє використовувати зовнішні по відношенню до шасі стандартні структуровані кабелі.

ТИПИ ОПТИЧНИХ РОЗ'ЄМІВ ОБ'ЄДНУВАЛЬНОЇ ПЛАТИ

Ще кілька десятиліть тому оптичні з'єднувачі на основі керамічних наконечників (ферул) вперше з'явилися на ринку і зазвичай використовувалися в конекторах промислового стандарту для сторони користувача, таких як MU (Miniature Unit — буквально «мініатюрний вузол»), SC (Subscriber Connector — «абонентський роз'єм») та LC (Link Control — «керування каналом зв'язку»), і на користувачьких версіях на основі кінцевих пристроїв для програм, специфічних для постачальників. Керамічні одноволоконні з'єднувальні муфти мають циліндричний наконечник-ферулу на кожній стороні інтерфейсу, вирівняний усередині керамічної розділової втулки, що утримується в сполученому корпусі, як правило, встановленому на об'єднувальній платі і призначеному для правильного сполучення кабелю з корпусом роз'єма.

Оптичні характеристики та щільність розміщення оптичних волокон є стандартним роз'ємом зі збільшеними габаритними розмірами, що пов'язано з додатковими елементами для його фіксації та монтажу. Кількість портів роз'ємів зазвичай варіюється в межах 2–8 з використанням наконечників-ферул діаметром 1.25 або 2.5 мм. Очищення та перевірка тут стандартизовані та добре підтримуються завдяки широкому застосуванню саме стандартних, а не унікальних роз'ємів. Сьогодні інтерфейс

сліпого сполучення з роз'ємами типу LC під ферулу 1.25 мм відрізняється простою встановлення та фіксації, зручністю комутації і є переважним при числі портів 2, 4 та 8. Роз'єми типу LC універсальні, вони підтримують як багатомодове, так і одномодове оптоволоконно.

Інтерфейси оптичної об'єднувальної плати на основі мультислоконних оптичних роз'ємів МТ сьогодні дуже популярні і завдяки використанню кількох волокон на один наконечник і кількох портів на з'єднувач забезпечують значно більшу щільність волокон, ніж керамічні наконечники одноволоконні. Кількість портів кабельних наконечників типу МТ зазвичай становить 1–8, що для 48 волоконних наконечників дозволяє використовувати до 384 волокон на з'єднувач в апертурі 16 × 55 мм. Ці інтерфейси доступні від кількох виробників у різних конфігураціях та стилях монтажу, що відповідають стилям каркасу карт, конкретним системним механічним потребам та типам корпусування.

В обтискних наконечниках типу МТ передбачені формовані прецизійні полімерні обтискні наконечники, вирівняні по металевих напрямних штифтах в конфігурації «вилка». Однак їх включення до корпусу роз'єму оптичної об'єднувальної плати для правильного функціонування вимагає детального розгляду в частині механічного вирівнювання та фіксації.

ОПТИЧНИЙ РОЗ'ЄМ ОБ'ЄДНУВАЛЬНОЇ ПЛАТИ З ПОГЛЯДУ МЕХАНІЧНИХ ВИМОГ

Оскільки вимоги системної архітектури, фізичного корпусу з'єднувача і типу інтерфейсу, а також усієї схеми оптоволоконного зв'язку системи тісно пов'язані, вирішальне значення в ході виконання проєкту має більш рання взаємодія між системними архітекторами та інженерами, відповідальними за вибір оптичних роз'ємів об'єднувальної плати. Кількість волокон, з'єднаних по всій системі, може бути величезною і обчислюватися тисячами, що стає дуже складною проблемою через безліч різних механічних та оптичних пристроїв, кабелів, а також регламентів з обліку теплових режимів та безпосередньо умов експлуатації та середовища застосування.

Складність рішення тут полягає ще й у тому, що через обраний механічний монтаж, крок плати та вимог до конструкції корпусу вже практично не-

можливо буде без значної переробки, додаткових витрат часу та засобів додати оптичні роз'єми об'єднувальної плати в конструкцію системи або змінити одні типи інтерфейсів на інші. Одним з дуже гнучких варіантів у цьому напрямку є кількість волокон на з'єднувач, саме через безліч опцій, доступних у мультислоконних оптичних наконечниках МТ та оптичних з'єднувачах, що підтримують кілька портів з наконечниками типу МТ. Компромісом тут служать оптичні характеристики, які зменшуються зі збільшенням числа волокон на об'єму та керування волоконми, коли один оптичний конектор об'єднувальної плати може мати сотні оптоволоконних з'єднань.

Значною мірою на конструкцію шасі через геометрію сполучення та нюанси у зусиллях фіксації та утримання, необхідних залежно від типу з'єднувача, впливають механічна конструкція та вимоги до монтажу оптичних з'єднувачів об'єднувальної плати. Оскільки кабельні наконечники окремо підпружинені, ці зусилля повинні враховуватися або в роз'ємі оптичної задньої панелі, або в заскочках передньої панелі оптичної карти. Зусилля пружини на МТ-наконечник знаходиться в діапазоні від 10 Н (12 волоконних наконечників) до 20 Н (для систем з більш ніж 24 волоконми), при цьому одне зусилля на наконечник множить для кожного порту з'єднувача. Враховуючи оптичний роз'єм об'єднувальної плати з вісьма 24-оптоволоконними МТ-роз'ємами і чотирма роз'ємами на карту, необхідне зусилля утримання досягає тут 640 Н. Слід взяти

до уваги і те, що оптичні роз'єми об'єднувальної плати бувають двох типів: такі, що самоблокуються або не фіксуються. При використанні останніх для утримання плати та роз'ємів у сполученому стані заскочка плати та структури шасі/об'єднувальної плати повинні стискати спеціально передбачені, окремо виконані обтискні пружини.

Оптичні роз'єми об'єднувальної плати, що мають механізм самофіксації, для компенсації відхилень плати проєктних допусків мають плаваючу конструкцію або додатковий елемент, що забезпечує їм вертикальне переміщення. Компроміс між двома версіями певною мірою залежить від конструкції окремого з'єднувача і впливає на щільність, складність з'єднувача і вартість, так як заскочки збільшують розмір, ускладнюють конструкцію та підвищують кількість компонентів з'єднувача. Це одна з причин привабливості технології розширення променя та альтернативних інтерфейсів ферул, наприклад, з повітряним зазором, оскільки вони значно зменшують силу стиснення пружини, яка необхідна для утримання ферул у щільному контакті і часто в 5–10 разів менша, причому незалежно від кількості волокон.

Оптичні роз'єми об'єднувальної плати зазвичай монтується на задній панелі, яка має виїмки для встановлення роз'єму всередині неї, що дозволяє волоконам легше проходити до задньої сторони корпусу. Як і у випадку з електричними роз'ємами, на задній панелі існують їх оптичні версії, що підтримують компланарну, ортогональну та

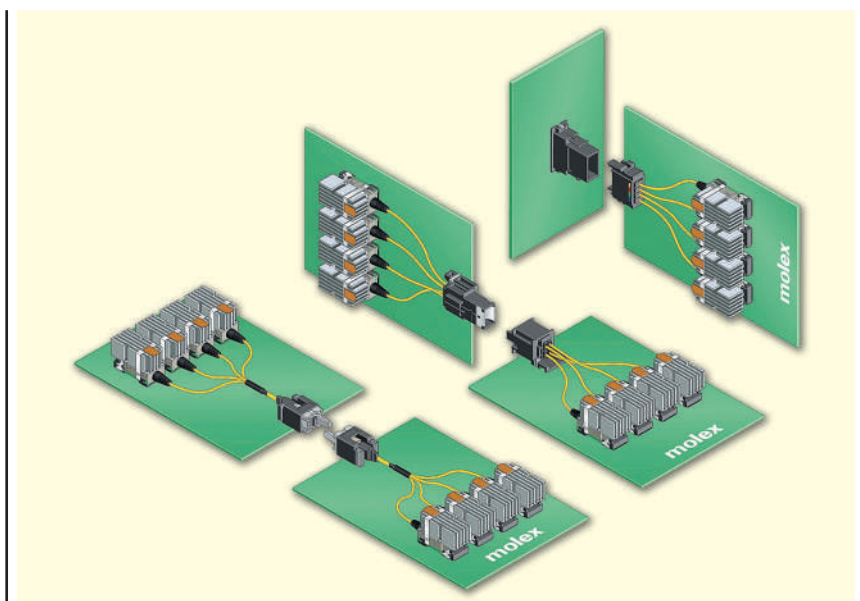


Рис. 1. Копланарна (що лежить в одній площині), ортогональна та стандартна конфігурації роз'ємів для оптичної об'єднувальної плати

стандартну для об'єднувальної плати конфігурації роз'ємів (рис. 1). Крім того, існують і нові архітектури висувних панелей для стійкових шаф, які відрізняються унікальними методами монтажу та власними механічними вимогами. Монтаж виконується за допомогою гвинтів, заклепок, затискачів або заскочок, і для відповідності допускам сполучення плати або ящика в зборі з об'єднаною платою/шасі передбачається певне механічне зміщення корпусу роз'єму.

Якщо механічні допуски каркасу або напрямні рек-стійки не знаходяться в межах діапазону, що підтримується роз'ємом, то для підвищення точності парування часто використовуються напрямні штифти. Тут необхідно враховувати, що оскільки оптичні роз'єми зазвичай довші і першими сполучаються в послідовності підключення портів, електричні роз'єми не можуть використовуватися як напрямні. Крім того, після фіксації встановлені на платі електричні роз'єми вже не мають плаваючих елементів, тому щоб виключити жорстку прив'язку декількох інтерфейсів, оптичний роз'єм повинен мати плаваючу конструкцію. Конструкторам слід ретельно розглянути всі ці аспекти та врахувати їх при виборі типу конкретного гнізда для організації оптичного інтерфейсу.

Критерії тестування та кваліфікації для підтвердження механічних та екологічних характеристик оптичних роз'ємів встановлені у стандарті GR 1435 CORE, який якраз охоплює загальні вимоги до мультимодальних оптичних роз'ємів [2] та розроблений компанією Telcordia (США), що займається стандартизацією низки областей промисловості, в тому числі волоконно-оптичних телекомунікацій. Тут необхідно враховувати, що довговічність та експлуатаційні характеристики цих роз'ємів в першу чергу визначаються експлуатаційними характеристиками обтискного кільця, при яких оптимальні оптичні параметри повинні підтримуватись як мінімум 50 циклів сполучення. Перевірка правильності механічного та кабельного керування для конкретної системи є ключовим фактором у процесі розробки.

Однак тут не все так гладко, і специфіка застосування оптичних роз'ємів об'єднувальної плати полягає в тому, що нині є дуже мало галузевих стандартів, які забезпечують гармонізацію чи взаємодію між постачальниками у цій сфері. Деякі, хоч і вкрай обмежені зусилля зі стандартизації (цим займалися

такі організації, як VITA і ARINC), були зосереджені переважно на аерокосмічних застосуваннях, потребують високої гарантованої надійності, при цьому продукція низки постачальників була сумісна, але з не повністю узгоджена в конструктивному плані. Різні виробники розробляють власні підходи до захисту та стійкості кабельних наконечників-ферул у своїх оптичних з'єднувачах та в корпусах роз'ємів, що конструктивно сильно різняться між собою. Це пов'язано з тим, кожен виробник, йдучи на ті чи інші компроміси, намагається досягти оптимального балансу між характеристиками продуктивності, щільністю розміщення волокон, надійністю і зручністю експлуатації. Деякі версії з низькою щільністю як інтерфейс, що сполучається, використовують стандартні з'єднувачі МРО/МТР, в той час як в більшості випадків застосовуються запатентовані затискачі і з'єднувачі, в результаті чого сумісність і взаємозамінність виробів відсутня. Для розробників систем та користувачів важливо розуміти, як оптичні наконечники утримуються в монтажних затискачах, як їх встановлювати і як вони фіксуватимуть корпус основного роз'єму під час виготовлення об'єднувальної плати та їх обслуговування, а також те, як будуть реалізовані потенційні процеси перевірки чи очищення безпосередньо в найбільш передбачуваній системі.

В даний час для вирішення питань надійності та зручності експлуатації кінцевим користувачем, а також зниження загальної вартості системи в цілому (тобто вартості з урахуванням життєвого циклу) розробляються альтернативні мультимодальні оптичні кабельні наконечники. Вони забезпечують переваги, пов'язані зі зниженою чутливістю до пилу та сміття, меншими зусиллями стиснення пружини, різними зисками механічного сполучення та вирівнювання.

Як і у випадку будь-якого фізичного інтерфейсу, для оптичних характеристик і запобігання пошкодженню поверхні волокна вирішальне значення має підтримання чистоти на поверхні обтискного кільця, що необхідно для забезпечення сталості і надійності контакту волокна з волокном. Сказане особливо важливо для оптичних роз'ємів об'єднувальної плати, де доступ до інтерфейсу, тобто до наконечника, для його очищення та огляду складніший. У цьому напрямку спостерігається підвищений інтерес до обтискних інтерфейсів з відповідними феру-

лами і таким сколом волокна, який не вимагає фізичного сполучення волокна з волокном, що можуть забезпечити обтискні наконечники з розширеним променем, так і ферули з зазором. Однак ми — і розробники, і користувачі — повинні знову порушити питання стандартизації, оскільки у випадку, коли альтернативні мультимодальні оптичні наконечники засновані на галузевому стандарті, вони можуть бути реалізовані в будь-якому роз'ємі об'єднаної плати на основі наконечника типу МТ, розширюючи сферу застосування з'єднувачів та знижуючи загальну вартість системи в цілому.

ОЧИЩЕННЯ ТА ОГЛЯД РОЗ'ЄМУ

Оскільки роз'єми оптичної об'єднувальної плати часто розташовуються глибоко в корпусі, або стійці, або на тісно розташованих картах, через обмежений доступ перевірка та очищення оптоволоконних інтерфейсів значно ускладнюються. Крім того, кришки або шорки, які встановлені на оптичних роз'ємах об'єднувальної плати для запобігання захищеним інтерфейсам наконечника, часто роблять неможливим повне очищення від пилу. Однак наявність такої кришки користна з точки зору безпеки для очей, і з її присутністю доводиться миритися. Зважаючи на сказане, ми приходимо до висновку, що на віддалених майданчиках та в цехах підприємства потрібно використовувати оптичні роз'єми, конструктивне виконання яких дозволяє виконувати їх максимально легке очищення та огляд.

Пристрої для очищення та перевірки, які доступні від промислових постачальників, можуть бути виготовлені у вигляді спеціальних пристроїв для роз'ємів, надійно встановлених на системних заглушках. З-за складнощів, що при цьому виникають, велика увага приділяється постачанню елементів системи з уже перевіреними на заводі, очищеними і захищеними інтерфейсами, що дозволяють вперше встановленій системі довести свідкість передачі даних до дуже високих значень і підтримувати її на прийнятному рівні. Що, втім, не виключає подальшого тривалого ремонту та перевірки, які потребують значних зусиль. Ці проблеми є серйозним стимулом підвищення інтересу до технологій з розширеним променем і альтернативним наконечником (як було зазначено, наприклад

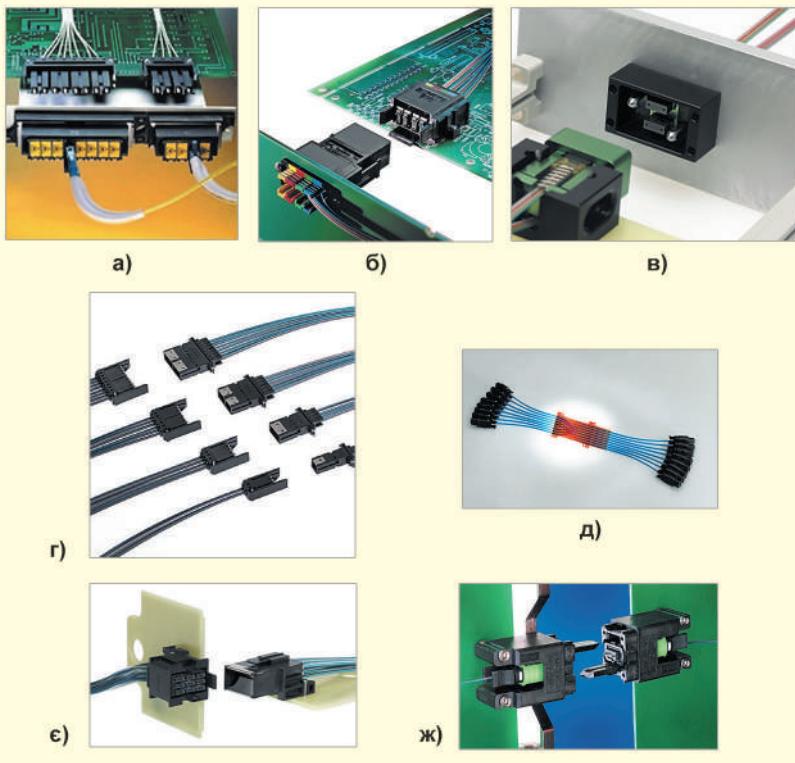


Рис. 2. Приклади оптичних роз'ємів компанії Molex та рішень їх підключення: BLC — 2, 4, 8 портів LC (а); HBMT — 4 порти MT (б); Vita 66.1 — 2 порти MT (в); сімейство VFI — 2, 4, 6, 8 портів MT (г); оптична схема FlexPlane (д); 9 портів MT — ортогональне підключення (є); MTP-CPI — 1 порт для підключення MTP (ж)

повітряним зазором), оскільки вони багато в чому полегшують перевірку, очищення й у результаті зменшують вартість самої системи в цілому для кінцевого користувача.

ПОГЛЯД У МАЙБУТНЄ ТА ПОТЕНЦІЙНІ ПРОБЛЕМИ, ЯКІ ПОТРЕБУЮТЬ ВИРІШЕННЯ

Дорожні карти для оптичних роз'ємів об'єднавчої плати повинні містити кілька аспектів:

- Версії, що підтримують нові варіанти застосування, такі як архітектура стійок, що передбачає серйозні механічні допуски при забезпеченні високої надійності для великих, насичених платами корпусів та/або рішень на основі знімних вставних блоків.
- Версії з нижчим сполученим зусиллям на об'єму або волокно для економічних конструкцій карт та об'єднувальної плати.
- Включення альтернативних технологій мультисловоконних оптичних наконечників, що спрощують розгортання та використання при од-

ночасному зниженні витрат на очищення та перевірку, що скорочує загальну вартість системи в цілому.

- Поліпшення в технологіях очищення та перевірки.
- Підтримка нових типів волокон для збільшення щільності, зменшення обсягу волокон.
- Потенційні зусилля зі стандартизації, що забезпечують безпеку на стороні пропозиції та збільшують обсяги за рахунок більш широкого впровадження.

У зв'язку з усім сказаним у статті компанія Molex пропонує широкий спектр оптичних між'єднань об'єднавчої плати, деякі з прикладів показано на рисунку 2.

Література:

1. *Optical Backplane Connectors. Dense i Highly Engineered Interface Technology.* www.literature.molex.com/SQLImages/kelmscott/Molex/PDF_Images/987652-1151.PDF
2. *Generic Requirements for Multi-Fiber Optical Connectors.* www.telecom-info.telcordia.com/site-cgi/ido/docs.cgi?ID=236363873SEARCH&DOCUMENT=GR 435

НОВИЙ РЕКОРД ШВИДКОСТІ ПЕРЕДАЧІ ДАНИХ

Група дослідників з Японії стала володарем нового рекорду швидкості передачі даних, який становив 1.02 петабіту за секунду. Більш того, цього рекорду було досягнуто за допомогою оптоволоконних кабелів, повністю сумісних з існуючою комунікаційною інфраструктурою. Для довідки, 1 петабіт дорівнює мільйону гігабітів, і це означає, що досягнута швидкість передачі у 100 тисяч разів швидше, ніж найшвидша швидкість доступу до Інтернету, доступна звичайним споживачам. Такої швидкості вистачить на те, щоб передавати одночасно 10 мільйонів каналів відео з роздільною здатністю 8K.

Новий рекорд швидкості передачі даних було встановлено вченими та інженерами з японського Національного інституту інформаційно-комунікаційних технологій за допомогою кількох інноваційних технологій. По-перше, у оптоволоконному кабелі, що використовується, було чотири скляні канали, через які передаються оптичні сигнали. І, по-друге, ширина кожного каналу була розширена до 20 ТГц за рахунок технології спектрального мультиплексування (*wavelength division multiplexing, WDM*). Таку високу пропускну здатність забезпечує 801 канал передачі даних, що займає свою частину в трьох основних спектральних смугах, широко використовуваних C- і L-смугах, та експериментальній S-смугі. Все це плюс нові технології посилення оптичних сигналів плюс нові технології модуляції дозволили отримати швидкість передачі 1.02 Pb/s на відрізьку оптоволоконної лінії, довжиною 57.1 кілометр.

Зазначимо, що це не вперше в історії, коли інженери NICT взяли бар'єр в 1 Pb/s. У грудні 2020 року вони отримали швидкість 1.01 Pb/s за допомогою оптоволоконного кабелю з одним ядром і 15 модами. На жаль, такий підхід виявився нежиттєздатним, оскільки він потребує дуже складної обробки сигналу за допомогою спеціалізованих мікросхем.

Використовуваний одномодовий оптичний сигнал сумісний з існуючими оптичними приймачами, а сам кабель має ядра, діаметром в стандартні 0.125 мм. Це означає, що нова рекордна технологія має бути сумісна з елементами існуючої комунікаційної інфраструктури та з технологічними виробничими процесами.

<https://newatlas.com>

MDR-з'єднувачі компанії 3М: надійне рішення для сучасних систем передачі даних

Олександр Самарін, Віктор Єгоров

3М (колишня назва Minnesota Mining and Manufacturing Company) — американська хімічна корпорація, що працює в галузі промислових товарів, товарів повсякденного попиту та для охорони здоров'я, а також багатьох інших продуктів, які мають регулярний попит для життєзабезпечення людини. Найвідоміший і традиційний продукт компанії, безсумнівно, універсальна стрічка Scotch, що клеїть. Проте в даний час компанія 3М суттєво розширила сфери своєї діяльності у бік виробництва високотехнологічних матеріалів та компонентів для електроніки. Одним з успішних напрямів, що розвиваються, стало виробництво електричних з'єднувачів. З'єднувачі типу MDR (Mini D Ribbon) компанії 3М користуються заслуженою довірою споживачів завдяки високій якості та надійності.

ІСТОРІЯ КОМПАНІЇ 3М

Компанія була заснована в 1902 році в США в штаті Міннесота п'ятьма підприємцями з метою організації видобутку та використання мінералу корунд як абразивних кіл, наждакового паперу та шліфувальних матеріалів. Надалі компанія розширила номенклатуру та сектори застосування своєї продукції. Насамперед це були матеріали та пристрої для організації побуту: фільтри для очищення води та повітря, канцелярські товари для дому та офісу, побутова хімія та системи кріплення, кухонні миючі засоби, автокосметика, поліролі тощо. Винахід прозорої стрічки скотч приніс компанії світову популярність. Бренд «Скотч» став ключовим для компанії. Споживачі у всьому світі стали широко використовувати скотч для пакування товарів, ремонту книг, меблів, побутових приладів та техніки. З усіх зареєстрованих торгових марок 3М Scotch є найвідомішою. За деякими оцінками, дана торгова марка займає 76-е місце у списку найбільших брендів світу, а її вартість становить \$5413 млн. Загаль-

ний обсяг продажів компанії у світі в 2020 році перевищив \$33 млрд, що робить її 95-ою у списку найбільших корпорацій США. Станом на 2021 рік у компанії працює понад 94 000 осіб у 70 країнах світу.

У повоєнні роки компанія опанувала випуск магнітної стрічки для магнітофонів. У 1960-80-ті роки 3М виготовляла аудіо-, відеокасети, гнучкі магнітні диски для комп'ютерів. Втрата ринку магнітних касет, на якому стали домінувати японські виробники TDK та Maxell, змусила 3М реструктуризувати бізнес. У результаті утворилися нові сектори, зокрема виробництво електронних компонентів. Виготовлення електричних з'єднувачів також стало успішним напрямком компанії 3М. Ці пристрої користуються заслуженою довірою споживачів та забезпечують високий рівень якості та надійності електронної апаратури. З'єднувачі проводів, що працюють за принципом U-подібного проколюючого контакту знайшли найширше застосування в практиці електричного монтажу як силових ланцюгів (Scotchlock), так і електронної апаратури.

КЛЮЧОВІ ТЕХНОЛОГІЇ З'ЄДНУВАЧІВ MDR

Сьогодні з'єднувачі типу MDR — це широко поширений тип електричного роз'єму для різних програм, наприклад, у комп'ютерному та телекомунікаційному обладнанні.

Вилка і розетка роз'ємного з'єднання мають два паралельні ряди контактів усередині корпусу характерної D-подібної форми, аналогічної тій, що використовується в надмініатюрних D-роз'ємах. Як приклад на рисунку 1 показаний загальний вигляд 20-контактної вилки MDR у виконанні з екранованим корпусом, а на рисунку 2 — 14-контактна розетка для поверхневого монтажу на друковану плату, виконана в екранованому корпусі з засчкокою.

Контактами вилок та розеток є невеликі плоскі металеві смужки, які назива-



Рис. 1. Загальний вигляд екранованої 20-контактної MDR-вилки компанії 3М

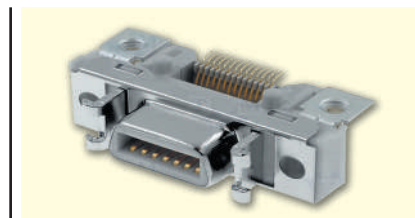


Рис. 2. Гніздо (розетка) на 14 контактів для поверхневого монтажу з екрануванням та засчкокою

ють стрічковими контактами. Номенклатура з'єднувачів представлена вилками та розетками з різним числом контактів. Компанія 3М випускає MDR-роз'єми з 14, 20, 24, 36, 40, 50, 64, 68, 80 та 100 контактами. Вони можуть бути встановлені на друкованих платах, панелях приладів або кінцевих кабелях. Для кабельних вилок є виконання для монтажу (наколки) на стрічковий кабель (Ribbon), а також для монтажу пайкою або обпресуванням. Для об'ємних (круглих) кабелів дроти кріпляться припоєм або обпресуванням. А при монтажі на плоский стрічковий кабель використовується технологія IDC — створення герметичного електричного контакту за допомогою зміщення (пластичного зсуву) ізоляції багатожильного дроту. Вилки (plug) мають защіпні (заскочні) замки для надійного з'єднання з розеткою (receptacle). Для фіксації з'єднань також можна використовувати гвинти. Базовими технологіями, що визначають характерні особливості даного з'єднувача, є:

- технологія стрічкового кабелю (Ribbon);
- технологія стрічкових U-подібних підпружинених контактів у роз'ємах;
- технологія IDC наколки вилки на стрічковий кабель.

Історія стрічкового кабелю

Стрічковий кабель був винайдений 1956 року компанією Cicoil Corporation. Інженери компанії запропонували використовувати силіконову гуму для формування плоского кабелю, що містить декілька провідників однакового розміру. Мета цього винаходу — збільшення продуктивності, технологічності виготовлення, а також надійності кабельного провідного монтажу. Стрічковий кабель швидко набув популярності у споживачів. Зокрема, дозволив таким компаніям, як IBM та Sperry/Univac, замінити громіздкі жорсткі круглі кабелі гладкими гнучкими стрічковими кабелями.

Перші стрічкові кабелі використовувалися у комп'ютерній промисловості. Стрічкові кабелі виробляються рядом різних компаній, у тому числі 3М. Були розроблені методи та матеріали для спрощення та зниження вартості стрічкових кабелів за рахунок стандартизації конструкції та відстані між проводами, а також товщини ізоляції, щоб їх можна було легко підключити за допомогою роз'ємів зміщення ізоляції (IDC). Простота кабелів, їх низький профіль та доступна вартість забезпечили широкий спектр застосувань стрічкових кабелів у комп'ютерах, принтерах та

багатьох інших електронних пристроях. На рисунку 3 показаний зовнішній вигляд типового стрічкового кабелю компанії 3М. Стрічкові кабелі зазвичай застосовуються для внутрішніх з'єднань у комп'ютерах, периферійних пристроях, таких як жорсткі диски, приводи компакт-дисків та дисководи гнучких дисків.

Технологія IDC

Контакт зміщення ізоляції (IDC), також відомий як контакт з проколюванням ізоляції (IPC), являє собою електричний з'єднувач, призначений для підключення до провідника або провідників ізолюваного кабелю за допомогою продавлювання заточених V-подібних ножових контактів через ізоляцію з'єднаного провідника. При цьому ножовий контакт із зусиллям обтискає внутрішній мідний провід без виконання зачистки. Створюється газонепроникне електричне з'єднання без паяння, загвинчування або знняття ізоляції (рис. 4).

Технологія IDC була розроблена завдяки дослідженням Western Electric, Bell Telephone Labs та низки інших компаній. Спочатку технологія IDC призначалася тільки для з'єднання одножильних провідів, але згодом була розширена і для монтажу багатожильних провідів. Спочатку IDC-технологія монтажу використовувалася лише у додатках зі слабкострумними сигналами низької напруги. Тепер технологія поширена в побутових і промислових низьковольтних (силових) пристроях. На рисунку 5 представлені два способи монтажу стрічкового кабелю на роз'єм.

Технологія стрічкових контактів

З'єднувальна система MDR містить стрічковий контакт із кроком контакту 0.05" (1.27 мм). Як розетка, так і вилка у відповідь має підпружинені контакти для надійного з'єднання під час циклів вставки та вилучення. У кабельних роз'ємах використовується V-подібний ножовий контакт для зсуву (зміщення) ізоляції в зоні контакту з проводом.

Контакт штампований з високоякісного мідного сплаву, що забезпечує відмінне поєднання механічної міцності, електропровідності та корозійної стійкості.

Контактні пари з'єднувача — на вилці та розетці U-подібні смужкові підпружинені. При з'єднанні спочатку відбувається ковзання контактних смужкових пар (wiper-to-wiper) до фіксації з утворенням надійної плями контакту електричного з'єднання. Максимальний струм для однієї контактної смужкової



Рис. 3. Стрічковий 3М-кабель: плоский, крок 1.27 мм, багатожильний, Cu, 9 x 26 AWG, кригла ПВХ-оболонка



Рис. 4. Проколювання ізоляції стрічкового кабелю, а потім фіксація пластиковою планкою затискача



Рис. 5. Два способи монтажу провідного плоского шлейфу. Зліва: обробка провідного шлейфу під пайку; справа: заправлення шлейфу наколкою на IDC-роз'єм

пари — до 1 А. Матеріал контактів — пружна бронза.

Покриття контактних смужкових пар: золото (0.76 мкм) з буферним підшаром нікелю для обмеження дифундування атомів міді в золоте покриття та перешкоди процесу сульфідізації міді контактів з агресивної атмосфери. Гарантований частотний діапазон сигналів, що забезпечується контактною парою, — до 1 ГГц.

ІСТОРИЯ РОЗРОБКИ MDR-З'ЄДНУВАЧІВ

Базова технологія та конструкція MDR-з'єднувачів були винайдені ком-



Рис. 6. Варіанти конструкції кабельних MDR-вилок серії 101

панією Amphenol. Продукція зарекомендувала себе як високонадійна і технологічна і незабаром стала широко застосовуватися на ринку побутової та промислової електроніки. Попит на з'єднувачі цього типу постійно зростає. В даний час широку номенклатуру з'єднувачів типу MDR випускають багато компаній, таких як 3M, TE Connectivity (раніше Tyco Electronics), Hirose Electric Group та численні китайські виробники.

СЕРІЇ 101 ТА 102 З'ЄДНУВАЧІВ MDR КОМПАНІЇ 3М

З'єднувачі цих серій мають крок виводів 1.27 мм (0.05"). На базі MDR-з'єднувачів можна реалізувати три типи з'єднань:

- плата-плата (board-board);
- кабель-кабель (wire-wire);
- плата-кабель (board-wire).

Вилка з'єднувачів (серія 101) може монтуватися на кабель, на друковану плату або на панель приладів. Частина з'єднувача — розетка (серія 102) — монтується на плоский кабель або на друковану плату. Серія 101 має моделі з конструкцією вилки для монтажу як на плоский кабель (IDC), так і для звичайного проводового об'ємного монтажу круглого кабелю. У номенклатурі серій 101 та 102 є з'єднувачі з числом виводів 14–100.

Допустимий ряд виводів для з'єднувачів MDR виробництва 3M: 14, 20, 26, 36, 40, 50, 68, 80, 100. При виборі слід враховувати, що для різних конструктивних виконань підтримується не повний ряд типорозмірів по виводах.

101 серія MDR-з'єднувачів (вилки)

Кабельні вилки випускаються в трьох варіантах: для монтажу на плоский шлейф (вилка без екрану), монтаж на плоский шлейф (вилка з екранованим корпусом) та вилка, що екранується під об'ємний проводовий монтаж круглого кабелю. На рисунку 6 показано три варіанти конструкції кабельних вилок серії 101.

Для самих проводових кабелів також можливе використання екранування (рис. 7).

102 серія MDR-з'єднувачів (розетки)

Можливі два варіанти розеток з монтажем безпосередньо на друковану плату або на приладову панель. У другому випадку на контактну групу наклеюється плоский провідний шлейф. Частина-відповідь кабельного шлейфу може з'єднуватися як з роз'ємом, встановленим на друкованій платі, так і з іншим внутрішнім модульним пристроєм приладу. Наприклад, із накопичувачем на жорсткому диску. Для варіанта з паянням контактів розетки на плату є виконання під пайку виводів в отвори та для поверхневого монтажу. Для обох виконань передбачені варіанти монтажу з різною орієнтацією контактуючої групи — вилка з вертикальним положенням і вилка з конструкцією «прямий кут». На рисунку 8 як приклад показаний варіант конструкції екранованої розетки (серія 102) для монтажу на панель приладів. З боку приладу наколюється плоский IDC-шлейф. На рисунку 9 наведено приклад конструкції екранованої розетки, монтаж в отвори на плату, з вертикальною орієнтацією (серія 102).



Рис. 7. Багатожильний провід 3600В-50 — кабель, 25 x 2 x 28 AWG, екранований, в ПВХ-оболонці

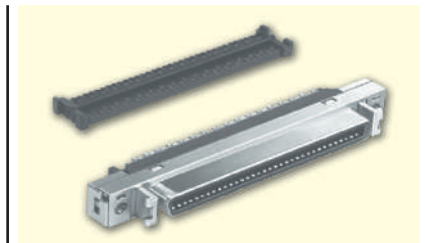


Рис. 8. Розетка серії 102, монтаж на панель приладів, плоский IDC-кабель



Рис. 9. Вертикальна розетка екранована на плату, монтаж в отвори (серія 102)

З'ЄДНУВАЧІ «ПЛАТА-ПЛАТА»

З'єднання електричних сигналів між двома друкованими платами можуть бути реалізовані застосуванням серії MDR-роз'ємів — вилка (серія 101) та розеток (серія 102). На рисунку 10 показані варіанти сполучуваних з'єднувачів серій 101 і 102.

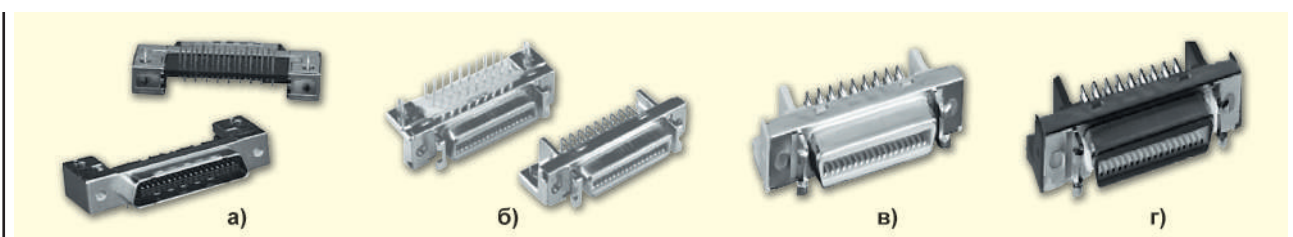


Рис. 10. З'єднувачі для зчленування «плата-плата»: вилка екранована на плату, прямий кут, монтаж в отвори (серія 101) (а); розетка екранована на плату, прямий кут, монтаж в отвори (серія 102) (б); розетка неекранована на плату, прямий кут, монтаж в отвори, бежевий пластик корпусу (в); розетка неекранована на плату, прямий кут, монтаж в отвори, чорний пластик корпусу (г)

ОБЛАСТІ ЗАСТОСУВАННЯ MDR-З'ЄДНУВАЧІВ

З'єднувачі 3М MDR — відмінне рішення для високошвидкісних цифрових інтерфейсів з використанням низьковольтних диференціальних сигналів, наприклад, для вимогливих LVDS-інтерфейсів. Типові серійні застосування MDR-з'єднувачів:

- 24-вивідний конектор: IEEE 488 (GPIB) інтерфейс;
- 36-вивідний конектор: IEEE 1284 паралельний інтерфейс даних;
- 50-вивідний конектор: SCSI-1 інтерфейс;
- 50-вивідний конектор: RJ21X telco connector для телефонних систем;
- 20-вивідний VESA/DFP, MDR монтується на пристрої хоста;
- конектори Panel Link/TMDS-інтерфейсу ПК-моніторів;
- з'єднувач для цифрових дисплейних інтерфейсів, сектора Datascom- та Telecom-додатків;
- конектор для LVDS FP Link, Flat Link, Channel Link;
- конектори інтерфейсів диференціальних сигналів із фольговим екраном;
- внутрішні цифрові приладові інтерфейси з екрануванням і без;
- кабельні MDR-шлейфи для жорстких умов експлуатації.

Роз'єм MDR можна побачити на випробувальному обладнанні Tektronix, такому як аналізатори спектру серії RSA, наприклад RSA3408, RSA5103.

ВИБІР З'ЄДНУВАЧІВ ТА СИСТЕМА ПОЗНАЧЕНЬ ДЛЯ ЗАМОВЛЕННЯ

Для оптимального вибору пари з'єднувачів та аксесуарів до них відповідно до призначення та конструктивних вимог монтажу слід користуватися посібниками [1, 2], спеціально розробленими компанією 3М. Насамперед потрібно враховувати наявність можливих варіантів конструктивного поєднання пар «вилка–розетка». Відповідно до рекомендацій вибирають каталожні номери вилок та розеток для кожного конкретного роз'ємного з'єднання.

На рисунку 11 показано варіант позначення розетки MDR (серія 102). Перший індекс — тип діелектрика (пластика) основи вилок або розетки. Можливі варіанти (таблиця 1) — використовується PBT (стандартний варіант, індекс порожній) або більш стійкий при високій температурі PCT — індекс N. PBT — полібутилентерефталат, він стійкий до ударів, зносостійкий, відрізняється високою міцністю та жорсткістю. PCT — термопластичний поліефір, аналог ПЕТ (або ПЕТФ, поліетилентерефталату). ПЕТ — прозорий матеріал, має високу міцність, хорошу пластичність (як у нагрітому стані, так і в холодному), хімічну стійкість. Далі в позначенні стоїть номер серії (тип) з'єднувача: 101 — завжди вилка (plug); 102 — розетка (receptacle). Після номера серії вказано число контактів, наприклад, 24. Для числа контактів 100 використовується позначення



Рис. 12. Загальний вигляд пластикового кожуха для кабельної 14-пінової кабельної вилок з екрануванням

A0. Наступна цифра — заводський номер моделі. Окрема позиція для вибору номіналу різьблення кріпильних гвинтів: 0 — різьблення M2.6 (дюймовою) та 1 — стандартне метричне M2.5.

КОЖУХИ ДЛЯ КАБЕЛЬНИХ ВИЛОК

Кожухи для кабельних вилок поставляються та замовляються окремо. Можливі варіанти кожухів з екрануванням та без. Матеріал кожуха — пластик або метал. У номенклатурі 3М є кожухи для кабельних вилок із числом контактів 14–100. Передбачені вибір конструкції з різною орієнтацією виходу провідного кабелю — пряма чи кутова. Для вибору відповідної моделі кожуха слід керуватися матеріалами [1, 2]. На рисунку 12 показаний приклад пластикового кожуха для 14-контактною MDR кабельної вилок.

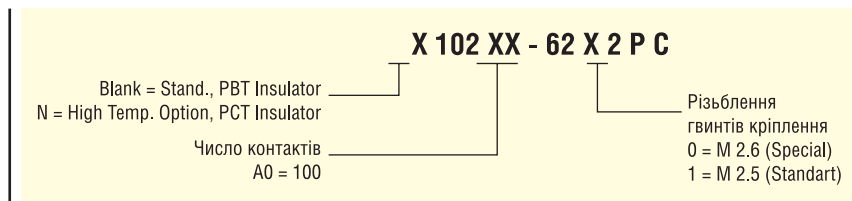


Рис. 11. Система позначень MDR-з'єднувачів під час замовлення

ІНСТРУМЕНТ ДЛЯ ЗАКЛАДЕННЯ ШЛЕЙФІВ В MDR-З'ЄДНУВАЧІ

Якість та довговічність електричного з'єднання в зоні зчленування (наколки) IDC-контактів MDR-з'єднувачів на провідний шлейф залежить від якості проведення операції кабельного заправлення. Потрібно забезпечити рівномірність тиску із заданим зусиллям. Без застосування спеціального набору інструментів неможливо гарантувати високу надійність з'єднання IDC. Виробники з'єднувачів випускають відповідні набори інструментів, що забезпечують технологічний регламент кабельного заправлення. Інструменти для заправлення контактів, також відомі як IDC Tools, використовуються з роз'ємами IDC для зняття, обтиску (з'єднання двох або більше металів разом) або заправлення (підключення кабелів до інших кабелів або пристроїв) провідів,

Таблиця 1. Основні характеристики матеріалів, що застосовуються у з'єднувачах MDR

Матеріал діелектрика	Пластик (поліестер PBT або PCT із порошковим склонаповнювачем, що забезпечує високі робочі температури)
Вогнестійкість	клас UL 94V-0
Колір пластику	Чорний (PBT) або бежевий (PCT) — високотемпературне виконання
Матеріал контактів	Пружна бронза
Буферний підшар контактів	Нікель 2.5 мкм
Зона зчленування	Золото 0.76 мкм
Покриття зони обслуговування	Золото з підшаром нікелю
Матеріал корпусу	Цинковий сплав
Покриття корпусу	Нікель
Елементи кріплення	Матеріал — сталь; покриття — нікель
Температурний діапазон, типовий	-20...+85 °C
Робоча температура	-55...+105 °C для кабельних вилок з паянням провідів, наприклад для серії 101

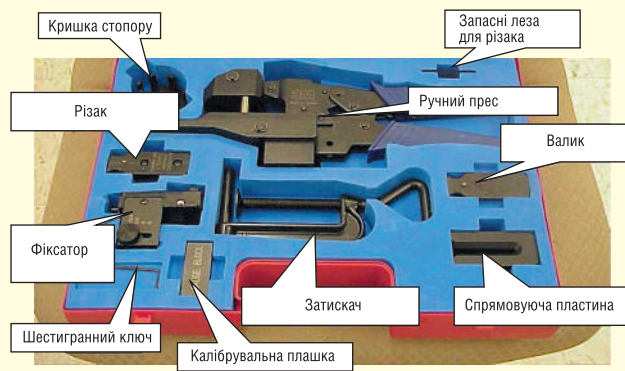


Рис. 13. Склад інструментального набору 3829 для ручного монтажу кабелів MDR-вилок

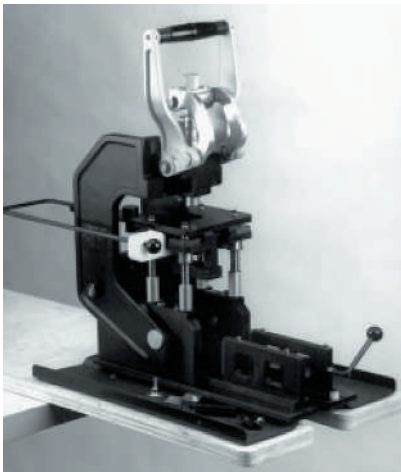


Рис. 14. Заправляючий кабельний прес моделі 10960 компанії 3М

мережевих кабелів або електричних компонентів, які підключені до роз'єму ICD. Базовим пристроєм є прес (ручний чи настільний). Пристрій обжимний (Crimper) призначений для обтискання (наколки) роз'ємів (типу IDC, IDM, FDC, DIP, IDCC) на плоский кабель. Даний пристрій може бути корисним для виробників великих партій електронного обладнання, де використовуються плоскі кабелі зі встановленими одним, двома та більше роз'ємами. Компанія 3М постачає для монтажу з'єднувачів та заправляння кабелів набір для ручного монтажу типу 3829 (рис. 13), а також більш серйозний інструмент на базі настільного преса типу 10960. На рисунку 14 показаний прес типу 10960 компанії 3М. Інструкцію з роботи з пресом описано в [7].

ВИСНОВОК

Компанія 3М має більш ніж 20 років досвіду роботи на ринку з'єднувачів і

є надійним постачальником висококласної продукції в даному секторі. З'єднувачі MDR компанії 3М мають широкий попит завдяки відмінному поєднанню конструктивних особливостей:

- Екрановані корпуси забезпечують захист від електромагнітних та електростатичних розрядів.
- Попередньо механічно навантажені стрічкові контакти забезпечують гарантовано надійне з'єднання.
- U-подібні контакти допускають великий ресурс циклів сполучення.
- Широка номенклатура з'єднувачів із різним числом висновків, варіантів монтажу та форм-факторів забезпечує гнучкість застосування з'єднувачів для різних секторів додатків.

Як одна з найінноваційніших компаній у світі, 3М постійно вдосконалює свої продукти, щоб задовольнити поточні потреби ринку.

Література:

1. MDR Connector. Selection Guide. 3M Interconnect Products.
2. 3M Interconnect Solutions. Mating Guide.
3. www.3M.com/interconnects
4. 3M Mini D Ribbon (MDR) Connectors. 050" Boardmount Through-Hole Vertical Receptacle — Shielded 102 Series. Datasheet TS-0427-B.
5. 3M Mini D Ribbon (MDR) Connectors. 050" Solder Plug Connector — Shielded 101 Series. Datasheet TS-0669-C.
6. Керівництво 3М. MDR Hand Tool Kit 3829 Instructions для assembly of 3M Plug Connector 101XX-6000XX Series on 3M Round Jacketed Discrete Wire Cable 3600 or 3644 Series.
7. Посібник з 3М. Instructions For the Assembly of the MDR 101XX-6000 Wiremount Plug using the 10960-2000 MDR Assembly Press and Related Accessories. CN

СТВОРЕНО ТРАНЗИСТОР, ЯКИЙ САМОТУЖКИ МОЖЕ ЗАМІНИТИ БАЗОВИЙ ЛОГІЧНИЙ ЕЛЕМЕНТ

Японські вчені з Національного інституту матеріалознавства (NIMS) та Токійського університету розробили новий тип органічного транзистора — антиамбіполярний транзистор (AAT), здатний виконувати будь-яку з п'яти операцій логічних затворів, регулюючи вхідну напругу на подвійних затворах. У цьому б не було нічого дивного, якби цей транзистор за рахунок особливостей його структури та наявності двох керуючих електродів не міг самостійно виконувати функції базових логічних елементів AND, OR, NAND, NOR або XOR, які зазвичай містять по кілька звичайних транзисторів. У майбутньому транзистори з подібною структурою можуть використовуватися для побудови логічних схем, що реконфігуруються. Це відкріє ряд абсолютно нових можливостей при конструюванні високоефективних мініатюрних і мобільних пристроїв.

Органічний антиамбіполярний транзистор з двома керуючими електродами, затворами (dual-gate organic antiambipolar transistor, DG-OAAT), має дуже незвичайну передатну характеристику. Коли напруга на його затворах перевищує певний поріг, струм, що йде через транзистор, зменшується. Варіюючи напруги сигналів на керуючих електродах, верхньому та нижньому, можна змусити транзистор діяти як один з базових логічних елементів з двома входами та одним виходом.

Для довідки: для реалізації за допомогою існуючих технологій інтегральних схем найпростішого логічного елемента NAND потрібно чотири звичайні транзистори, а для реалізації найскладнішого логічного елемента XOR — 12 транзисторів.

Розробники нового типу транзистора бачать його майбутнє у можливості суттєвого підвищення щільності інтеграції схем на основі органічних елементів, що до останнього часу було основною проблемою у цій галузі. А надалі японські вчені займуться розробкою інтегральних схем, що електрично реконфігуруються, базовою одиницею яких якраз і буде транзистор нового типу.

<https://scitechdaily.com>

Інфраструктура для електромобілів: електричні зарядні станції

Андрій Тимофєєв, Микита Балашенко

У статті наведено загальний огляд електричних зарядних станцій (ЕЗС) для електромобілів та стану ринку електромобілів та ЕЗС. Виконано класифікацію різних видів та типів електричних зарядних станцій з описом ключових відмінностей.

ВСТУП

В останнє десятиліття електричні автомобілі завойовують все більшу популярність у всьому світі. Потенційні користувачі перестають сприймати електричний та гібридний транспорт як малопридатний до повсякденної експлуатації засіб пересування та розглядають його як гідну альтернативу класичним автомобілям із двигуном внутрішнього згоряння. Згідно з різними прогнозами, до 2030 року у світі налічуватиметься близько 120 млн електричних і гібридних автомобілів на дорогах, при цьому в деяких країнах частка продажів електромобілів досягне 30%, а загальний попит на енергію для заряджання електричних автомобілів у основних країн — лідерів ринку (у Китаї, Європі та США) зможе зрости приблизно з 20 млрд до 280 млрд кВт·год [1].

Разом із збільшенням продажів електричних та гібридних автомобілів у всьому світі зростає і потреба у відповідній інфраструктурі та, перш за все, в електричних зарядних станціях (ЕЗС). За період 2014–2020 років у країнах Євросоюзу (ЄС) та Великобританії кількість публічних ЕЗС різних типів зросла з 34 000 до 250 000 станцій, з них 35 000 станцій підтримують заряджання постійним струмом (DC). Згідно з прийнятою в 2020 році Європейською комісією стратегії стійкої та інтелектуальної мобільності (Sustainable and Smart Mobility Strategy), в рамках якої потрібно досягти скорочення викидів парникових газів, створюваних транспортом, на 90%, планується встановити близько 3 млн публічних ЕЗС до 2030 року.

ВИДИ ЗАРЯДЖАННЯ ЕЛЕКТРОАВТОМОБІЛІВ

Відповідно до стандарту Міжнародної електротехнічної комісії IEC 61851-1, залежно від виду електричного струму, яким заряджається електричний автомобіль (змінний або постійний), та способу фізичного з'єднання електричного транспорту (ЕТ) з мережею живлення процес заряджання електромобіля поділяють на декілька видів:

- Заряджання типу 1 (Mode 1): з'єднання ЕТ з мережею змінного струму відбувається з використанням штепсельної розетки (в тому числі побутової) на стороні мережі живлення та силового кабелю. У цьому випадку забезпечується сила зарядного струму не більше 16 А і змінна напруга не більше 250 В (однофазна) або 480 В (трифазна). Керування процесом заряджання реалізується самим ЕТ.
- Заряджання виду 2 (Mode 2): цей вид аналогічний заряджанню виду 1 з тією відмінністю, що безпосередньо в силовий кабель вмонтовано пристрій, що забезпечує керування процесом заряджання та системою персонального захисту від ураження електричним струмом. Завдяки цьому допускається заряджання змінним струмом силою до 32 А.
- Заряджання типу 3 (Mode 3): заряджання забезпечується спеціальним електротехнічним пристроєм — обладнанням джерела живлення ЕТ (electric vehicle supply equipment). Електричний автомобіль підключається за допомогою силового кабелю до обладнання джерела жив-

лення ЕТ (ОДЖЕТ), яке у свою чергу підключене до мережі живлення змінного струму, керує процесом заряджання та забезпечує захист від ураження електричним струмом. Заряджання виду 3, як і заряджання виду 2, має бюджет потужності до 22 Вт.

- Заряджання виду 4 (Mode 4): заряджання ЕТ відбувається від ОДЖЕТ, що відповідає за керування та безпеку процесу. Ключова відмінність у тому, що у всіх попередніх способах перетворення змінного струму в постійний струм (яким відбувається підзарядка акумуляторної батареї електромобіля) завжди використовувався випрямляч, встановлений всередині електричного автомобіля, при цьому під час заряджання виду 4 використовується позабортовий випрямляч, встановлений в корпус ОДЖЕТ. Дане рішення дозволяє значно збільшити потужність процесу заряджання та скоротити час заряджання електромобілів. Деякі стандарти, що описують процеси заряджання з використанням заряджання виду 4, здатні забезпечити бюджет потужності до 350 кВт. Найчастіше під терміном «електрична зарядна станція» мають на увазі саме ОДЖЕТ, що підтримує заряджання виду 4 та (або) заряджання виду 3.

Ще одним важливим класифікатором для зарядних станцій є спосіб фізичного підключення електромобіля до ОДЖЕТ або мережі змінного струму. Залежно від типу приєднання ЕТ із застосуванням кабелів та вилок стандарт IEC 61851-1 визначає кілька випадків (рис. 1):

- Випадок А (Case A): підключення електричного автомобіля до мережі змінного струму відбувається за допомогою кабелю живлення та вилок, постійно прикріплених до ЕТ. Застосовуємо для заряджання виду 1.

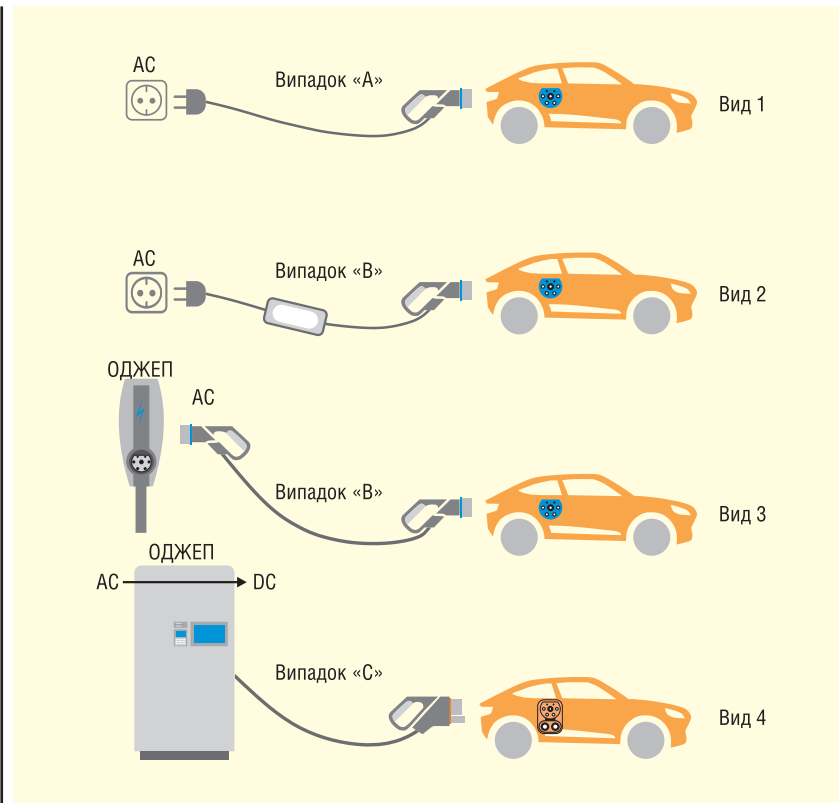


Рис. 1. Види заряджання

- Випадок «В» (Case B): підключення ЕТ до мережі змінного струму відбувається за допомогою кабельної збірки, яка не має постійного прикріплення ні до електротранспорту, ні до мережі змінного струму. Даний спосіб поділяють на два додаткові випадки: випадок «В1» передбачає приєднання ЕТ до настінної розетки і застосовується для заряджання виду 1 і 2; випадок «В2» передбачає з'єднання зі спеціалізованою зарядною станцією та застосовується для заряджання виду 3.
- Випадок «С» (Case C): електричний автомобіль під'єднується до мережі змінного струму за допомогою кабелю живлення та переносної розетки, постійно прикріплених до ОДЖЕТ. Заряджання виду 4 допускається лише в даному випадку.

ної складової процесу заряджання. Це призвело до ситуації, коли на ринку електротранспорту та відповідної інфраструктури одночасно існують кілька систем заряджання з різними технічними та апаратними характеристиками, які безпосередньо несумісні між собою.

Однією з основних та найбільш явних відмінностей між системами заряджання є конфігурація вилки та штепсельної розетки для підключення ЕТ до ОДЖЕТ. Найбільш прості та поширені системи заряджання використовують з'єднувачі транспортного засобу конфігурації типу 1 (Type 1) та типу 2 (Type 2) [3]. Обидва варіанти призначені для заряджання змінним струмом виду 2 і виду 3 у випадках «В» і «С». Конфігурація типу 1 набула найбільшого поширення в США та Азії, тоді як тип 2 використовується в Європі. Дані типи

відносять до так званих повільних заряджаль — повне заряджання електромобіля може займати 8–12 годин. У зарядці типу 1 реалізоване однофазне підключення змінного струму до ЕТ, в зарядці типу 2 — трифазне.

Наступним етапом розвитку електротранспорту та зарядної інфраструктури стала поява систем заряджання постійним струмом. Дані системи узагальнено називають швидкими зарядками. Як і у випадку з повільними зарядками, на ринку є кілька регіональних систем.

У Китаї набула широкого поширення система GB/T, в Японії випускаються електрокари з підтримкою системи CHAdeMO, у США відома Tesla розробила та впроваджує власну пропріетарну технологію Tesla Supercharger.

Європа пішла шляхом глобальної уніфікації та впроваджує систему швидкої зарядки CCS (Combined Charging System), основною ідеєю якої є уніфікація роз'ємів для підключення ЕТ до ОДЖЕТ. Система CCS дозволяє, з одного боку, заряджати електромобілі без перехідників від вже існуючих конфігурацій типу 1 і типу 2, з іншого — впровадити технологію заряджання постійним струмом.

Говорячи про уніфікацію систем заряджання, не можна не згадати японо-китайський проект під робочою назвою ChaoJi (з кит. — «супер»). Метою даного проекту є уніфікація до 2030 року всіх зарядних систем постійного струму, що існують на сьогодні, у єдиний глобальний стандарт. У квітні 2021 року була випущена специфікація системи ChadeMO 3.0 (ChaoJi type2), яка за своєю суттю є уніфікацією японської системи ChadeMO з китайською GB/T [4] (рис. 2).

Підсумовуючи все сказане вище, можна виділити кілька видів зарядних станцій та способів заряджання ЕТ, що існують на сьогодні.

- Заряджання ЕТ за допомогою кабелю та побутової розетки — це заряджання виду 1 (випадок «А» або

СИСТЕМИ ЗАРЯДЖАННЯ

Заряджання електричного автомобіля — це складний багатоступінний процес, в основі якого лежить безліч різних міжнародних стандартів. Основні регіони, що лідирують на ринку електричного автотранспорту, зазвичай мають власний набір стандартів, що описує вимоги до апаратної та техніч-



Рис. 2. Системи заряджання

- «В1») і виду 2 (випадок «В1») — найповільніший спосіб заряджання. Для заряджання потрібно лише кабель з комплексу поставки ЕТ та побутова розетка.
- Станції заряджання для приватного застосування (заряджання виду 3, випадок «В2» і випадок «С») — це невеликі настінні пристрої: автовласник може встановити собі таку станцію на стіну гаража або будинку. Пристрої застосовуються для машин з конфігурацією з'єднувачів типу 1 і типу 2. Потужність заряджання (і відповідно тривалість процесу заряджання ЕТ) буде обмежена побутовою електричною мережею.
- Публічні станції заряджання змінного струму (заряджання типу 3) — найпоширеніший вид громадських зарядних станцій. Є невеликими стійками або колонками, встановленими в публічних місцях (парковки та стоянки для автотранспорту), з можливістю підключення ЕТ з підтримкою випадків «В2» і «С». Станції застосовуються для машин з конфігурацією з'єднувачів типу 1 і типу 2. Максимальний бюджет потужності, що надається, — 22 кВт.

- Публічні станції заряджання постійного струму (заряджання типу 4) — швидкі електричні станції заряджання. Для підключення електромобіля до станції застосовуються випадки «В2» та «С». Більшість таких станцій візуально схожі на звичні паливно-заправні колонки АЗС. Підтримують весь спектр зарядних систем: CCS, CHAdeMO, GB/T, тип 1, тип 2. Конфігурація підтримуваних систем конкретною станцією заряджання визначається виробником та/або замовником станції і може бути будь-якою.

ВИСНОВОК

Ретроспективний погляд показує, що розвиток і впровадження електротранспорту в наше повсякденне життя відбувається з наростаючим темпом, а потім розвивається і відповідна інфраструктура. Можна з упевненістю сказати, що розглянуті типи, види та системи заряджання продовжать еволюціонувати у різних напрямках, що неминуче призведе до появи нових систем та стандартів.

Література:

- Engel H., Hensley R., Knupfer S., Sahdev S. *Charging ahead: Electric-vehicle infrastructure demand*. McKinsey & Company, 2018.
- Special Report. *Infrastructure for charging electric vehicles: more charging stations but uneven deployment makes travel across the EU complicated*. EUROPEAN COURT OF AUDITORS. Luxembourg, Publications Office of the European Union, 2021.
- Special Report. *Infrastructure for charging electric vehicles: more charging stations but uneven deployment makes travel across the EU complicated*. EUROPEAN COURT OF AUDITORS. Luxembourg, Publications Office of the European Union, 2021.
- Plugs, socket-outlets, vehicle connectors and vehicle inlets — *Conductive charging of electric vehicles — Part 2: Dimensional compatibility and interchangeability requirements for a.c. pin and contact-tube accessories*. IEC 62196-2. Geneva, International Electrotechnical Commission, 2016.
- Specification of DC EV Supply Equipment for Electric Vehicles. CHAdeMO 3.0 (ChaoJi type 2). CHAdeMO Association, 2021.

CN



Все для інфраструктури зарядки електричних транспортних засобів

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

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



© PHOENIX CONTACT 2022

PHOENIX CONTACT
INSPIRING INNOVATIONS

Проектування друкованих плат для пристроїв НВЧ-діапазону

Робимо все правильно з першого разу

Джон Прідей (John Friday), Джон Ліаф (John Leafe), Teledyne Labtech
Переклад: Святослав Зубарев

Завдяки зростанню продуктивності процесорів та розвитку технологій моделювання, в ході проектування друкованих плат для пристроїв НВЧ-діапазону вдається створювати моделі дедалі ближчі за характеристиками до їх реальних прототипів. Однак, як і раніше, існує безліч підводних каменів, які не враховуються розробниками і здатні вплинути на плату під час виготовлення або роботи пристрою. У статті розглянуто типові помилки, пов'язані з процесом проектування, способи боротьби з ними, а також деякі корисні прийоми, що дозволяють підвищити якість продукції.

На рисунку 1 стилізовано показані загальні проблеми, що виникають при виробництві друкованої плати, здатні вплинути на її характеристики і яких можна було б уникнути при правильному проектуванні. Дані проблеми докладніше будуть розглянуті у наступних розділах статті.

До основних проблем належать:

1. Зміщення посадочних місць компонентів через застосування матеріалів з недостатньою стабільністю розмірів (зміна розміру плати в процесі виробництва).
2. Підйом контактних майданчиків.
3. Відшарування доріжок.
4. Зміщення елементів під час використання термопластів.
5. Вигин шарів плати через невідповідність коефіцієнтів теплового розширення.
6. Неможливість створення глухих перехідних отворів.
7. Виникнення відводів (stub) в антенному ланцюзі.
8. Використання друкованих резисторів дуже маленької площі, недостатньої для підтримки точних значень.
9. Погане паяне з'єднання через крихтування золота.

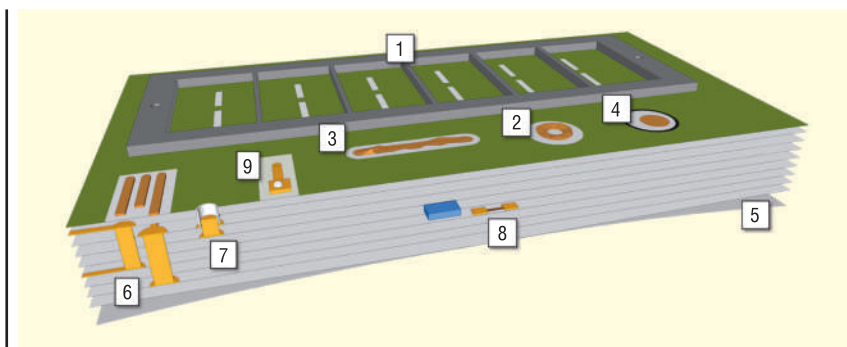


Рис. 1. Поширені проблеми, що виникають при виробництві друкованих плат НВЧ-діапазону

9. Погане паяне з'єднання через крихтування золота.

Сучасні друковані плати (PCB) для НВЧ-пристроїв, як правило, складаються з декількох спресованих і склеєних між собою шарів діелектрика та струмопровідного матеріалу. Шари плати формуються з базового матеріалу (base laminate) з мідним фольгованим покриттям зверху та знизу. У процесі виготовлення плати більшу частину мідного покриття видаляють, залишаючи лише певний рисунок, заданий розробником і складається з контактних майданчиків, доріжок та полігонів. Для з'єднання струмопровідних доріжок між шарами використовуються металізовані перехідні отвори (PTH). Деякі компоненти, такі як резистори, можуть бути вбудовані в стек шарів або створені шляхом укладання резистивного матеріалу, проте основний масив компонентів розміщується на верхньому та нижньому шарах друкованої плати, причому їх з'єднання з платою виконується за допомогою пайки або дротяного монтажу. Склад і структура шарів плати може мати значний вплив на характеристики та роботу НВЧ-пристроїв.

Для того щоб розібратися, що саме може вплинути на характеристики плати, ми коротко проаналізуємо матеріали, що використовуються в шарах, і розглянемо основні операції, що проводяться на них (рис. 2):

1. Базовий матеріал. Структура базового матеріалу шару може істотно впливати на продуктивність під час роботи в НВЧ-діапазоні в залежності від величини відносної діелектричної проникності (D_k) та тангенсу кута діелектричних втрат (D_f).
2. Характеристики мідного покриття шарів плати.

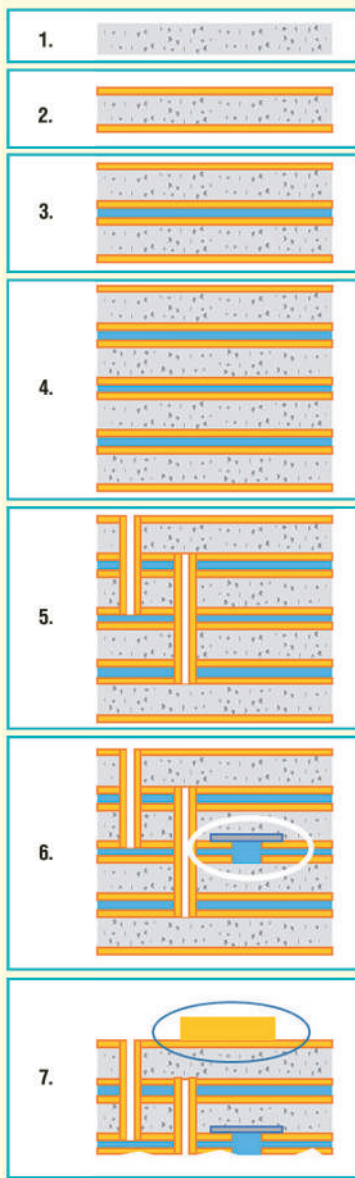


Рис. 2. Порядок обговорення структури плати

3. Препреги та матеріали для склеювання шарів.
4. Створення стека з кількох шарів.
5. Створення різноманітних типів перехідних отворів.
6. Вбудовані резистори.
7. Фінішне покриття.

У статті розглядаються основні аспекти, які слід враховувати під час проектування друкованих плат для ВЧ/НВЧ-пристроїв, зважаючи на технологічні вимоги (design for manufacturing, DFM). Стаття не є вичерпним посібником і призначена лише для загального ознайомлення з існуючими проблемами.

Одним з найчастіших питань, що ставляться під час розробки плат, є питання, на що слід звертати увагу насам-

перед для зниження витрат на виробництво. Відповідь на це питання не може бути однозначною, оскільки залежить від типу використовуваного матеріалу, кількості перехідних отворів, ступенів допуску тощо, проте нижче ми розглянемо кілька найбільш дієвих методів скорочення витрат.

БАЗОВИЙ МАТЕРІАЛ

Матеріал діелектрика друкованої плати є одним із перших факторів, здатних вплинути на продуктивність та вартість кінцевого рішення. На сьогодні доступно безліч різних матеріалів, але слід врахувати, що для пристроїв ВЧ/НВЧ-діапазону визначальною властивістю матеріалу служать значення D_k і D_f . Крім того, товщина мідного покриття діелектрика також може значно впливати на характеристики плати. Мінімізація товщини покриття — це один з найпопулярніших методів зниження втрат у провідних шарах. Далі наведено список характеристик, які необхідно враховувати під час вибору базового матеріалу друкованої плати:

- стабільність розмірів;
- використання та тип металеві підкладки: мідь, латунь чи алюміній;
- визначення коефіцієнта теплового розширення (КТР, СТЕ), особливо для багатшарових плат;
- температура склування (T_g) та температура або деструкції (T_d);
- тип та процентний вміст матеріалів у підкладці.

Стабільність розмірів є важливим фактором, особливо, коли справа стосується габаритних плат. І хоча зміну розмірів у процесі виробництва (як правило, усадка) може бути враховано під час проектування, високий рівень стабільності стає одним із ключів до випуску якісної продукції, особливо якщо йдеться про великі серії. Найбільш стабільні показники мають армовані матеріали, наприклад, склотканина.

Так як стабільність розмірів може вплинути на роботу пристрою? Використання матеріалів з поганою стабільністю тягне за собою зсув посадкових місць

компонентів від плати до плати, який до того ж не залежить від масштабування. Наприклад, фазовані антенні решітки можуть досягати розмірів 1.2×1.2 м і, якщо представити таку решітку на платі (рис. 3), схильну до деформації (усадки) в процесі виробництва, стане очевидно, що випромінюючі елементи на ній будуть зсунуті щодо встановлюваної металеві конструкції (від правильного розміщення в точці А до значного зміщення в точці Б), що неминуче спричинить зниження характеристик антени.

Інша, але також досить поширена проблема щодо розмірів плати — вибір розробниками матеріалу з високою стабільністю, причому в даному випадку діє вказівка жорстких допусків для плати, сподіваючись, що це додатково захистить її від зміни габаритів у процесі виробництва. Хоча в деяких випадках такі заходи виправдані, найчастіше такий підхід лише збільшує вартість виготовлення та кількість браку. Крім того, моделювання з використанням більш вільних допусків показує, що багато елементів конструкції не так сильно схильні до зміни розмірів, а послаблення допусків для них істотно полегшить процес виробництва.

Використання плат з металеві підкладкою — явище не поодиноке у НВЧ-обладнанні. Однак такі плати можуть викликати проблеми під час виробництва, пов'язані зі складністю обробки товстих шарів металу. У НВЧ-платах металеві підкладки, як правило, має товщину 6–8 мм, а сама конструкція може передбачати як наскрізні, так і глухі металізовані отвори.

Наступним важливим фактором, здатним вплинути на роботу кінцевого пристрою та на процес виробництва, стає коефіцієнт теплового розширення. Невідповідність КТР матеріалу передбачуваним умовам експлуатації та виробництва може бути причиною деформації (вигину) плати, а також появи натягу в паяних з'єднаннях, де КТР компонентів значно відрізняється від загального КТР плати, що неминуче знизить надійність пристрою і може стати причиною виникнення збоїв у його роботі. Одним із

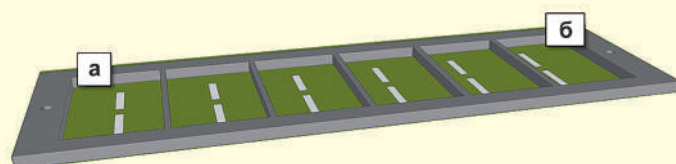


Рис. 3. Накопичення помилок позиціонування елементів через низьку стабільність розмірів матеріалу друкованої плати



Рис. 4. Приклад підйому контактного майданчика, який може статися при термічному навантаженні (плавлення припою при +288 °С протягом 10 с): змодельований приклад підйому майданчика (а); фото поперечного перерізу плати при підйомі майданчика (б) та збільшена область плати з дефектом (в)

прийомів, здатних зменшити проблеми, пов'язані з КТР, є використання одних і тих самих матеріалів у всіх шарах плати. У реальних проектах НВЧ-схеми часто йдуть пліч-о-пліч зі схемами керування на основі цифрової електроніки, і для економії розробники використовують для останніх більш дешеві матеріали, наприклад FR4, що створює проблеми, пов'язані з КТР, якщо ділянки плати з різних матеріалів виявляються несиметричними, а розподіл КТР недостатньо збалансований.

Ще один фактор, що впливає на процес виробництва, — температура склування (Tg). Для матеріалу FR4 Tg зазвичай становить +120...+140 °С. У свою чергу, для високоякісних матеріалів, що використовуються для виготовлення НВЧ-плат, Tg становить +170 °С і вище. Для більшості НВЧ-рішень потрібні матеріали з високим значенням Tg, від чого залежить і КТР, про який ми говорили раніше: при зростанні Tg можна спостерігати ступінчасту зміну КТР, іноді в 3 або 4 рази. Якщо врахувати, що для паяння за допомогою безсвинцевих припоїв необхідна температура порядку +230 °С, збільшення КТР вище Tg може означати зростання навантаження на перехідні отвори, контактні майданчики та інші складові плати, особливо по осі Z, що може призвести до підйому майданчиків після охолодження. Приклад підйому контактного майданчика показаний на рисунку 4. Перехідний отвір на рисунку 4а заповнений припоєм у результаті випробування на плавучість. Підйом майданчика відбувається через те, що КТР підкладки набагато вище КТР мідних стінок отвору, а плата піддана високотемпературному навантаженню, при якому також може бути перевищено Tg підкладки.

Останнім фактором, що стосується базового матеріалу є відносна діелектрична проникність Dk. Матеріали

з більш високою Dk зазвичай мають високий вміст домішок, які можуть стати своєрідним абразивом для свердл та фрез. Хоча це ніяк не впливає на характеристики плати, цей параметр може збільшити витрати на виробництво, пов'язані з необхідністю використання більшої кількості свердл та фрез.

МІДНЕ ПОКРИТТЯ

Покриття діелектрика провідним шаром мідної фольги може бути виконано різними методами, найпоширенішим є електроосадження (Electro Deposited). Використовуваний метод нанесення зрештою впливає на високочастотні характеристики схеми. Нижче наведено основні способи нанесення мідної фольги та відповідні їм значення шорсткості покриття:

- Електроосадження (Electro Deposited, ED), середньоквадратичне значення шорсткості 1.5 мкм, але може досягати значення 3.0 мкм.
- Фольга з обробленим зворотним боком (Reverse Treated, RT), середньоквадратичне значення шорсткості 0.7 мкм.
- Катана фольга (Rolled Annealed RA), середньоквадратичне значення шорсткості 0.3 мкм.

Але як значення шорсткості вплине на характеристики схеми? Ось кілька прикладів:

- При порівнянні двох плат з матеріалу RO3003 товщиною 0.02 дюйма з мідним покриттям 0.5 унції, нанесеним RA-методом і таким самим покриттям, нанесеним ED-методом при частоті 25 ГГц, втрати потужності становитимуть на 0.1 дБ/дюйм більше для ED-плати, ніж для RA.
- Інший приклад: використання RO3003 завтовшки 0.005 дюйма,

інші характеристики залишаються ті ж (0.5 унції міді, частота 25 ГГц). В даному випадку втрати для плати з ED-методом нанесення становлять вже на 0.35 дБ/дюйм більше, ніж для аналогічної з RA-покриттям.

Таким чином, використання технології нанесення з більшою шорсткістю спричиняє збільшення втрат потужності передачі. Дані втрати збільшуватимуться зі зростанням частоти та/або зі зменшенням товщини підкладки. Цей фактор особливо важливий для габаритних плат із довгими доріжками. Однак, коли мова заходить про виробництво, тут, як і у випадку з багатьма іншими аспектами, знаходиться місце вислову «палиця з двома кінцями»:

- По-перше, нанесення мідної фольги з меншою шорсткістю вимагає проведення більшої кількості ітерацій при виробництві, оскільки наступні шари плати стає складніше склеювати між собою, що у свою чергу збільшує вартість (рис. 5).
- По-друге, менша шорсткість знижує опір доріжок на відшаровування, що підвищить ймовірність утворення браку та ускладнить переробку або унеможливить її. Приклад цього — несумісність деяких матеріалів, таких як Rogers 4000, з покриттям, нанесеним методом Rolled Annealed.

ПРЕПРЕГИ ТА МАТЕРІАЛИ ДЛЯ СКЛЕЮВАННЯ

Існує безліч варіантів препрегів¹ і матеріалів для склеювання шарів друкованої плати. Для створення оптимального рішення з точки зору процесу виробництва та електричних властивостей при виборі матеріалу розробнику необхідно відповісти на такі питання:

- Терморектопласт (термоактивний пластик) чи термопласт?
- Температура склеювання. Чи витримають компоненти плати, такі як ламинати, паста для заповнення отворів, інтегровані компоненти, припій, смола з вмістом срібла і т. д., температуру склеювання?
- Чи витримає клейовий матеріал наступні етапи збирання? Чи буде плата орієнтована на поверхневий чи нависний монтаж?

¹ Prepreg являє собою тканину зі скловолокон, просочену смолою у стадії В (смола у проміжній стадії реакції полімеризації, розм'якшена, але не розплавлена). При нагріванні під тиском препрег плавиться і зв'язує шари разом, утворюючи ламінат після затвердіння.

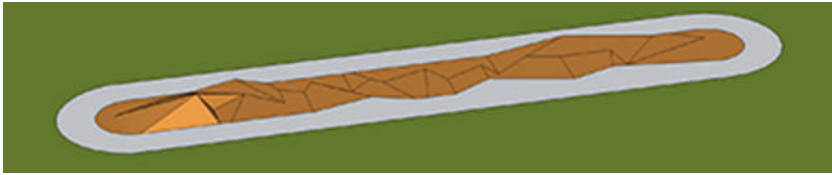


Рис. 5. Приклад відшаровування доріжки плати. Ризик відшаровування підвищується при використанні фольги з меншою шорсткістю



Рис. 6. Приклад зсуву перехідного отвору на верхньому шарі плати через плавлення термопласту

- Нанесення клеючого матеріалу відбувається у кілька етапів? Якщо це так, термореактивні препрега, як правило, полегшують процес виробництва. Використання термопласту теж може бути непоганим варіантом у тих випадках, коли застосовуються сполучні матеріали з різною температурою плавлення, а матеріал із найнижчою температурою наноситься в останню чергу.
- Чи потрібно заповнити перехідні отвори? При послідовному склеюванні шарів часто виникає потреба заповнити наскрізні перехідні отвори. Залежно від кількості і розміру отворів і препрега, що використовується, одним з варіантів є заповнення їх потоком смоли з препрега, що виникає під час склеювання. Однак якщо об'єм отвору занадто великий, для заповнення необхідно

додатково використовувати спеціальну пасту.

- Якщо на платі присутні вирізи, які не повинні бути заповнені смолою під час склеювання, слід використовувати препрега з низьким ступенем текучості або зовсім не схильні до неї.

Після нагрівання термореактивні матеріали стають не схильними до плавлення, в той же час при нагріванні термопласти розм'якшуються, і шари, побудовані на їх основі, можуть мати тенденцію до зсуву або навіть розвалу, якщо під час виробництва буде перевищена встановлена температура. Перегрів термопласту не такий страшний, якщо виконується послідовне склеювання шарів: спочатку склеюються шари з термопластів з високою температурою плавлення, потім з низькою — це дозволить уникнути повторного плавлення вже склеєних шарів. Яскравим прикладом неконтрольованого перегріву є зміщення перехідного отвору на шарах плати, як показано на рисунку 6.

СТВОРЕННЯ СТЕКУ З КІЛЬКОХ ШАРІВ

Нижче наведені базові правила, дотримання яких дозволить уникнути

проблем під час створення плат, стек яких складається з декількох шарів:

- Використовувати один і той же матеріал для шарів та препрега, що дозволить мінімізувати ризик виникнення проблем при склеюванні.
- Якщо потрібно використовувати різні матеріали, рекомендується зберігати симетричність нарощування ламінатів та препрега.
- Якщо жоден з вищенаведених варіантів неможливий та існує значна різниця між структурою матеріалів, рекомендується застосувати співвідношення $1 > 2.5$, це дозволить зробити один матеріал домінуючим та мінімізувати вплив різних значень КТР.

Коли друкована плата будується з кількох субплат, тобто під час виробництва проходить кілька етапів з'єднання, важливим аспектом стає їхня симетричність та відповідність розмірів. Відсутність симетрії може спричинити серйозні проблеми при формуванні кінцевого стеку. Невідповідність КТР матеріалів, що використовуються в субплатах, здатна викликати її вигин і порушення симетрії, після чого подальша обробка значно ускладнюється або стає зовсім неможливою (рис. 7).

Приклад сильного вигину шарів субплати через невідповідність КТР матеріалів показаний на рисунку 8. На рисунку

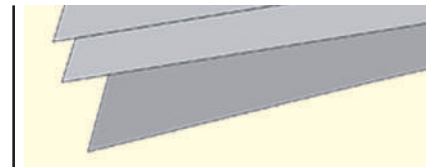


Рис. 7. Вигин шару друкованої плати

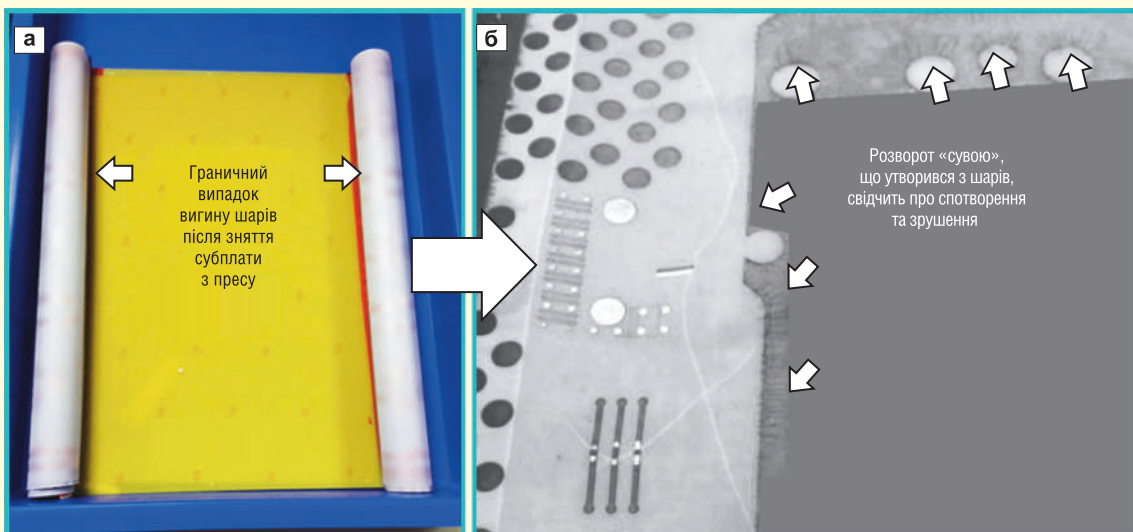


Рис. 8. Приклад сильного вигину шарів субплати через невідповідність КТР матеріалів

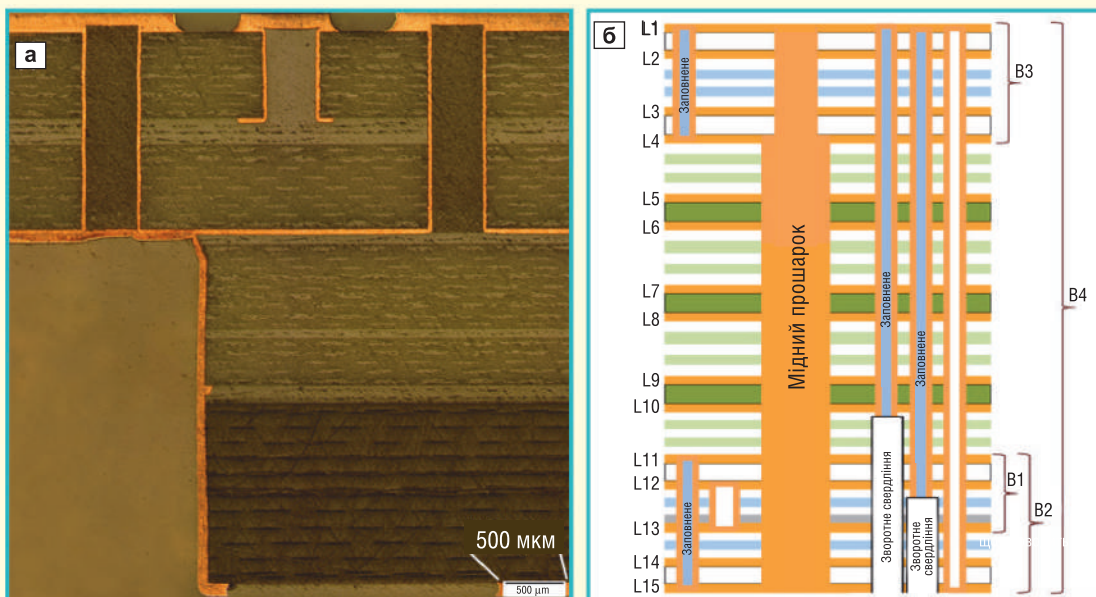


Рис. 9. Приклад реальної плати з перехідними отворами (а); концепт плати з перехідними отворами різного ступеня поглиблення (б)

ку зображено субплату після видалення з преса: як тільки тиск на плату ослаб, два вигнутих шари згорнулися подібно до сувою (а). Розгортання шарів та проведення аналізу (б) підтвердило той факт, що деформація була викликана невідповідністю КТР.

ПЕРЕХІДНІ ОТВОРИ

З'єднання провідних шарів плати відбувається за допомогою перехідних отворів. Залежно від складності та типу плати перехідні отвори можуть бути різної глибини та мати наскрізну чи глуху конструкцію. На рисунку 9а наведено приклад реальної плати з кількома перехідними отворами. На рисунку 9б зображено концепт плати, на якому показано варіанти перехідних отворів з різним ступенем поглиблення (B1–B4). Порядок та технологія виготовлення отворів є одним із важливих факторів, що впливають на процес виробництва та згодом на працездатність плати.

- Перехідний отвір L1–L4 просвердлено на субплаті плати (B3) з металевою основою та заповнено струмопровідною пастою².
- Отвір L12–L13 просвердлено лазером та заповнено міддю (B1).
- Отвір L11–L15 просвердлено на субплаті плати (B2) з металевою основою та заповнено струмопровідною пастою.
- Отвір L1–L10 спочатку був просвердлений через всю плату, потім

його частина (L10–L15, B4) була видалена зворотним висвердлюванням (back drill).

- L1–L12 аналогічно L1–L10 просвердлено через всю плату, потім його частина (L10–L15, B4) була видалена зворотним висвердлюванням.
- Отвір L1–L15 (B4) просвердлено через всю плату.

Використання сублат дозволяє просвердлювати наскрізні отвори перед остаточним складанням, зводячи до мінімуму необхідність у глухих перехідних отворах.

Незалежно від використовуваної технології під час створення отвору необхідно враховувати співвідношення його глибини до діаметра. Глухі перехідні отвори повинні мати максимальне відношення 1:1, а наскрізні отвори не більше 12:1. Дотримання цього співвідношення може бути далеко нетривіальним завданням, особливо при малих габаритах плати, що пов'язано з попаданням в отвір текучих/розплавлених матеріалів і розчинів, які використовуються в процесі виробництва, що порушує його рівномірність.

Хоча використання наскрізних перехідних отворів є кращим і простим для виробництва варіантом, в деяких випадках неможливо обійтися без глухих отворів. Компромісом стає виконання глухих

отворів спочатку у вигляді наскрізних, а потім використання технології зворотного висвердлювання. Однак при застосуванні даної технології важливо забезпечити достатню точність свердління, так як надто велике поглиблення проріже контактний майданчик, порушивши передбачуване електричне з'єднання; при недостатній глибині свердління майданчики залишаються недоторканими, але з'являється ризик виникнення зайвого провідника, що виконує роль відводу в антенному ланцюгу, що вплине на електричні характеристики пристрою (рис. 10). Оптимальним є залишення відводу перед цільовим шаром плати товщиною 100 мкм ±25 мкм. Додатково рекомендується перед початком зворотного висвердлювання заповнити наскрізний отвір пастою з подальшим



Рис. 10. Недостатня глибина висвердлювання, що залишає відвід в антенному ланцюгу

² При заповненні отвору струмопровідною пастою (plug paste) мінімальна товщина підкладки повинна становити 0.254 мм і бути укріплена склотканиною, щоб уникнути проблем зі стабільністю розмірів при виробництві.

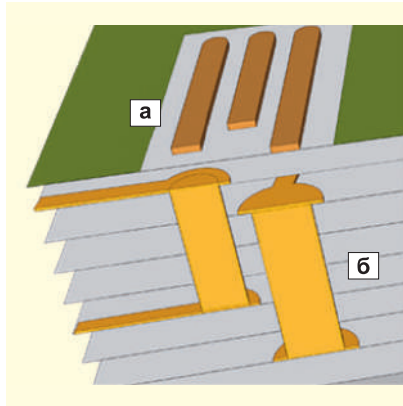


Рис. 11. Випадки, коли використання глухих перехідних отворів неможливе

затвердінням. Це особливо актуально у випадках, коли використовуються підкладки на основі ПТФЕ.

Слід також врахувати, що в деяких випадках використання глухих перехідних отворів і зворотного висвердлювання може бути неможливим. На рисунку 11 показані приклади таких випадків: (а) доріжки на верхньому шарі обмежують можливості зворотного висвердлювання для створення глухого перехідного отвору потрібної глибини; (б) — показує неможливість створення перехідного отвору між двома субплатами, тому що в даному випадку виникне перекриття провідних шарів.

ВБУДОВАНІ РЕЗИСТОРИ

Використання компонентів, інтегрованих у внутрішні шари плати, наприклад, друкованих резисторів, стає дедалі частішим явищем. Типовий приклад — формування з таких резисторів дільника Уілкінсона в системі з фазованою решіткою, де розподіл потужності

виконуватиметься між двома шарами плати. Вбудовування резисторів відбувається за допомогою нанесення резистивного матеріалу на шар плати, такі резистори дозволяють зменшити її габарити та особливо актуальні в системах з великою кількістю компонентів. Однак ці резистори не панацея, і остаточно позбутися більш традиційних чип-резисторів не вдасться. Зокрема, використання друкованих резисторів стає неможливим, якщо його потужність розсіювання перевищуватиме 200 мВт або його номінал повинен мати мінімальну похибку.

Компанія Teledyne Labtech пропонує своїм клієнтам такі варіанти виконання резисторів:

- Дискретні чип-резистори, які кріпляться до плати за допомогою паяння.
- Дискретні чип-резистори, які кріпляться до плати за допомогою струмопровідного клею (епоксидна смола із вкрапленнями срібла).
- Друковані резистори, виготовлені за технологіями OhmegaPly або Tiger та вбудовані у шари плати.
- Дискретні друковані резистори, виготовлені за технологіями OhmegaPly або Tiger.

Якщо використовуються дискретні компоненти, кріплення яких на друку-

вану плату передбачає застосування припою, важливо, щоб його температура плавлення була більш ніж на 40 °С вище температури з'єднання препрега та діелектрика шарів плати. Застосування дискретних чип-резисторів стає неминучим, якщо необхідний допуск величини опору менше $\pm 10\%$ від номінального значення та/або потужність, що розсіюється > 0.2 Вт. При використанні друкованих резисторів потужність, що розсіюється, визначається площею резистивної поверхні і, наприклад, для поверхні з опором 50 Ом на квадрат (square), виготовленої за технологією OhmegaPly, співвідношення потужності до площі³ (A до мм^2) становить $\text{мВт} = 173 \times A^{0.35}$. Застосування технологій OhmegaPly або Tiger та матеріалу з опором 50 Ом на квадрат дозволяє досягати допусків до $\pm 10\%$ від номіналу. З фінансової точки зору використання таких резисторів дає явну перевагу, особливо коли у схемі є безліч компонентів (рис. 12). Для досягнення оптимальних значень похибки величини опору слід уникати елементів із площею менше 0.2×0.2 мм за опору 50 Ом на квадрат. Цікавим варіантом також є використання дискретних друкованих

³ Джерело: Ohmega Technologies, Inc.

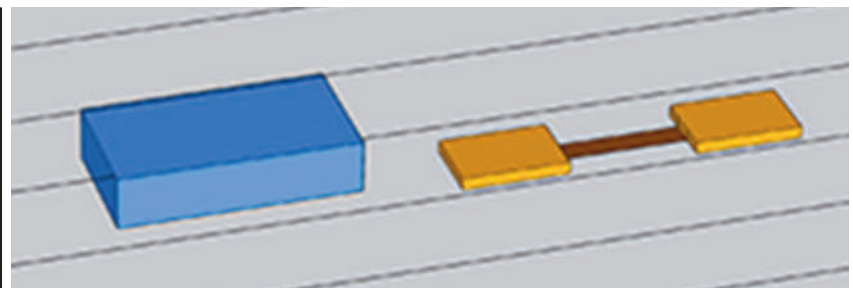


Рис. 12. Дискретний чип-резистор (ліворуч) та друкований резистор з малою площею опору (праворуч)

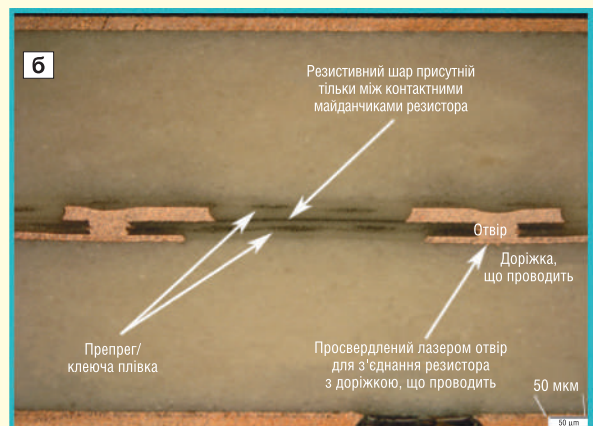
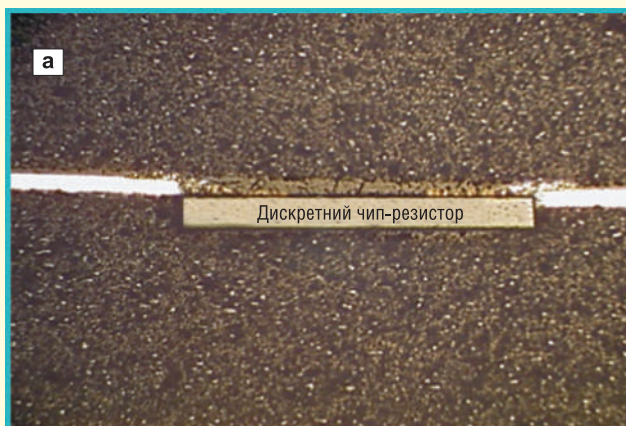


Рис. 13. Приклад вбудованого чип-резистора (а); друкованого резистора Ohmega-Ply (б)

резисторів, виконаних за технологією OhmegaPly або Ticer: такі резистори дозволяють звести до мінімуму втрати при роботі на високих частотах, оскільки виключають наявність резистивного шару під провідниками, по яких проходять радіосигнали. На рисунку 13 показаний приклад інтеграції дискретного чип-резистора (а) та вбудованого друкованого резистора, виготовленого за технологією OhmegaPly (б).

ФІНІШНІ ПОКРИТТЯ

Фінішне покриття провідників друкованої плати — важливий аспект при виробництві пристроїв НВЧ-діапазону і воно здатне безпосередньо впливати на їх характеристики. Тип покриття залежить від того, які сигнальні доріжки є на зовнішніх поверхнях друкованих плат. Плати, що реалізують смужкову лінію передачі, мають на поверхні лише невеликі контактні майданчики, і для їх покриття допустиме використання імерсійного золотіння (ENiG, Electroless Nickel Immersion Gold). Однак у тих випадках, коли на поверхні розташовуються доріжки, що проводять, вважається, що покриття ENiG має занадто великі втрати, особливо якщо довжина доріжки перевищує кілька міліметрів. Втрати через ENiG зростають зі збільшенням частоти та зменшенням товщини підкладки. При використанні ENiG не слід наносити на доріжки паяльну маску, оскільки це призведе до збільшення втрат.

Більшість покриттів, що наносять гальванічним методом, мають меншу провідність, ніж мідь, тому збільшують втрати у провіднику. Винятком стає хіба що імерсійне срібло — воно не має негативного впливу на продуктивність, але

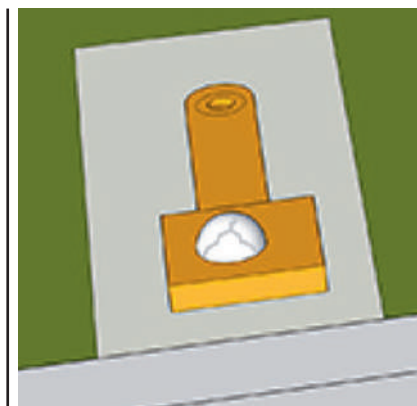


Рис. 14. Паяне з'єднання на надто товстому шарі золота може призвести до крихтування

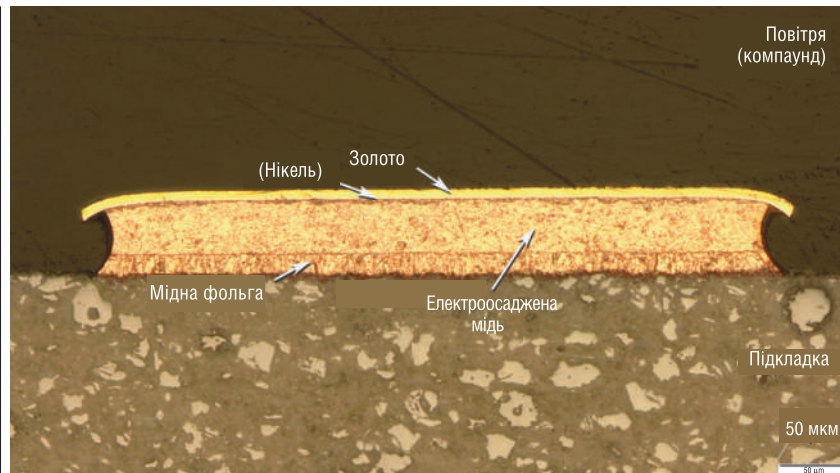


Рис. 15. Поперечний переріз плати із золотим покриттям, нанесеним на прошарок нікелю, який нанесений на мідну доріжку плати, підкладка якої має високу Dk. Структура підкладки має типові для матеріалів з високим Dk вкраплення оксиду алюмінію, що дозволяє підвищити загальну діелектричну проникність

потребує обережного поводження, а його переробка є витратним процесом.

Імерсійне золотіння по підшару нікелю та паладію (ENEPIG) дозволяє досягти менших втрат порівняно з ENiG і рекомендується для застосування в пристроях Ka- та більш високих діапазонів, особливо якщо компоненти на друковану плату цього пристрою будуть встановлюватися за допомогою SMT-або дротяного монтажу.

У всіх трьох випадках ENiG, імерсійне срібло та ENEPIG являють собою процеси хімічного осадження металу за допомогою контрольованої окисно-відновної реакції, при якій метал, що осаджується, покриває всі поверхні відкритих провідників, включаючи краї доріжок, що забезпечує рівномірну товщину. Якщо говорити про вартість, то найдешевшим у цьому випадку є імерсійне срібло, а найдорожчим — ENEPIG, головним чином за рахунок утримання паладію.

Рівномірне покриття золотом найчастіше застосовують при дротяному монтажі, товщина покриття в даному випадку становить 3–5 мкм і наноситься поверх шару нікелю завтовшки 1–3 мкм. Якщо крім дротяного монтажу використовується пайка, золото наноситься вибірково на ділянки з'єднання дроту і має на цих ділянках товщину 3–5 мкм, на решті поверхні товщина становить менше 1 мкм, що дозволяє уникнути проблем, пов'язаних із крихтуванням золота в паяних з'єднаннях (рис. 14). Як правило, такий тип покриття необхідно наносити на початок процесу витравлення доріжок, оскільки гальванічний процес вимагає, щоб на краях доріжок була оголена мідь. На

рисунку 15 показано поперечний переріз плати із золотим покриттям, нанесеним поверх прошарку нікелю, який у свою чергу нанесений на мідну доріжку плати, підкладка якої має високу Dk. Таке фінішне покриття має більш високу вартість, ніж простий електроліз або імерсійне золочення ENiG.

У тих місцях, де планується встановлення торцевих (крайових) роз'ємів або пружинних контактів, золото може бути додатково покриті нікелем, що дозволить забезпечити міцнішу поверхню.

ВИСНОВОК

Під час проектування плат для пристроїв НВЧ-діапазону розробників чекає безліч пасток, основні з яких були розглянуті в даній статті. Хоча останнім часом засоби проектування та розробки плат суттєво покращилися, вони все ще не враховують усі проблеми, які можуть виникнути у процесі реального виробництва. У статті було розглянуто кожен етап такого виробництва, починаючи від вибору матеріалу базового шару до фінішного покриття. Багато аспектів, здатних вплинути на характеристики плати, її вартість та/або надійність, пов'язані з вибором матеріалів та їхньою реакцією на фізичну або хімічну обробку. При пошуку вирішення проблем, що виникають при виробництві, часто відсутні однозначні правильні або неправильні відповіді та вихід із ситуації досягається компромісом, оптимальне значення якого може бути досягнуте лише за тісної співпраці розробника та виробника плат.

Ваш впевнений шлях до провідних світових виробників та широкого спектру ВЧ- і НВЧ-радіокомпонентів



QORVO. Mini-Circuits® SKYWORKS MACOM.

м. Київ, 02100, а/с 86, вул. Попудренка 22/14, 1-й поверх тел. (044) 495-75-75, моб. (068) 496-75-75
filur.net з питань поставок: palatny@filur.net

Пропонуємо повний перелік матеріалів для виробництва, ремонту та профілактичного обслуговування електроніки

MG Chemicals



Керування карбідом кремнію: драйвер для модуля SiC MOSFET 62 мм

Андрій Колпаков

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

За своїми характеристиками затвора транзистори SiC MOSFET помітно відрізняються від добре вивчених кремнієвих (Si) ключів. Карбідокремнієвим структурам притаманні деякі специфічні особливості, наприклад дрейф порогової напруги затвора $V_{GS(th)}$ SiC при тривалій експлуатації та деградація окисного шару при використанні негативної напруги вимкнення.

Проведені останніми роками дослідження дозволили досить добре вивчити властиві цим структурам температурні ефекти, зокрема нестабільність зсуву затвора (BTI — bias temperature instability). Визначення напруги керування V_{GS} має проводитися з урахуванням усіх цих факторів. Вибір оптимального резистора R_g також вимагає ретельного підходу, оскільки SiC-структури мають великий власний опір R_{Gint} .

У багатьох випадках для керування SiC MOSFET використовують стандартні драйвери IGBT зі зміщеним рівнем V_G . Прикладом такого рішення може бути адаптерна плата з ядром SKYPER 42 LJ, описана в цій статті.

КЕРУВАННЯ SiC, ЗАГАЛЬНІ ПОЛОЖЕННЯ

Найчастіше оптимальні характеристики SiC-ключів забезпечуються при напрузі на затворі $V_{GS} = 18\text{--}20$ В, що підтверджується кривими, показаними на рисунках 1 і 2. Як видно з графіків, у карбіді

кремнію набагато вищий ефект модуляції напруги керування. Це справедливо для режимів, де напівпровідниковий прилад поводить як активний опір, який керується напругою або як джерело струму, яке керується напругою, що залежить від V_{DS} . У відкритому стані напруга стік-витік V_{DS} SiC MOSFET, як правило, більша, ніж

$V_{CE(sat)}$ Si IGBT. Цей факт впливає на роботу схем контролю виходу з насичення, особливо якщо врахувати специфіку переходу MOSFET в режим стабілізації струму при перевантаженні.

Типовою помилкою є вибір пристрою керування по напрузі на затворі без урахування вихідного опору та властивостей щодо навантаження. Очевидно, що, крім відповідних значень $V_{GS,on}$ та $V_{GS,off}$ драйвер повинен мати високий піковий струм, малий вихідний імпеданс і потужність, достатню для керування затвором на заданій частоті комутації.

Перепад напруги керування ΔV_{GS} SiC-ключів — не менше 22 В, при цьому рекомендовані значення $V_{GS,on}$ (+20 В) і $V_{GS,off}$ (від -2 до -5 В) відрізняються від величин, які традиційно використовуються для контролю кремнієвих MOSFET і IGBT. Також відзначимо, що сумарний заряд затвора ($Q_{g,tot}$) у SiC MOSFET значно менший, відповідно, менша і енергія керування (добуток ΔV_{GS} на заряд Q_g). Однак це важко назвати перевагою SiC MOSFET, яка призначена для роботи на підвищених частотах.

Типова гранична напруга вмикання SiC MOSFET становить 2.5 В, але карбідокремнієвий ключ не може відкритися повністю доти, поки V_{GS} не досягне 18–20 В. Таким чином, діапазон зміни напруги на затворі SiC помітно ширший, ніж у кремнієвих транзисторів MOSFET і IGBT. Високий модулюючий ефект вважається одним із недоліків карбід кремнію, оскільки його наслідком є низька стійкість SiC-ключів до шумових сигналів. Будь-яке дріботіння (прим. редактора — це більш точний аналог англійському терміну chattering), що виникає на керуючому виводі, може призвести до помилкового вмикання або часткового вимкнення пристрою.

Великою перевагою SiC MOSFET вважається відсутність хвостового струму, властивого IGBT-модулям. Тим не

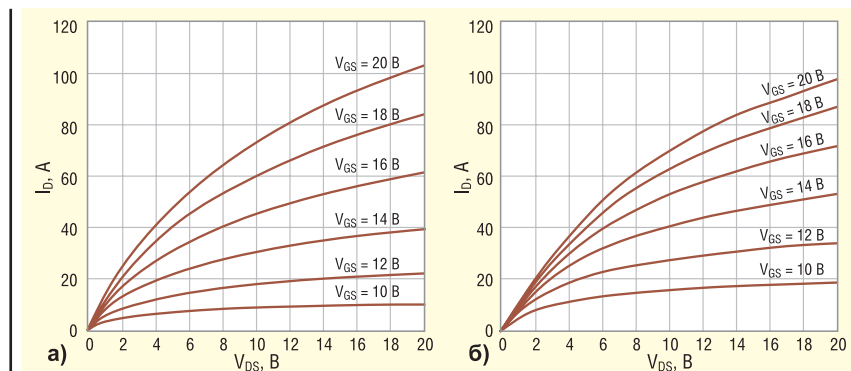


Рис. 1. Типова вихідна характеристика SiC MOSFET за температури кристалу $T_j = +25$ °C (а); при $T_j = +125$ °C транзистори SiC MOSFET демонструють мінімальні зміни (б)

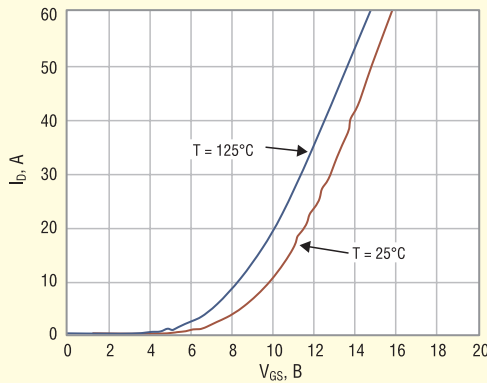


Рис. 2. Типова передавальна характеристика SiC MOSFET за температури кристалу $T_j = +25$ і $+125$ °C

менш, цей паразитний ефект біполярних структур забезпечує певний ступінь демпфування (прим. редактора — можна застосувати україномовний термін — притлумлення) перехідних процесів. При заміні кремнієвих ключів на карбідокремнієві часто з'являється додаткове дріботіння і сплески напруги високої амплітуди при перемиканні, рівень яких може виявитися достатнім для пробою напівпровідникового приладу. Для вирішення цих проблем слід оптимізувати схему керування, мінімізувати паразитні індуктивності в ланцюзі комутації та в ряді випадків використовувати додаткові снабберні кола.

ПЛАТА КЕРУВАННЯ SiC MOSFET

У розробленому SEMIKRON адаптері Board SiC Module SKYPER 42 LJ використано стандартне напівмостове ядро SKYPER 42 LJ. Плата може безпосередньо з'єднуватися з модулем 62 мм (конструктив SEMITRANS 3), використовуватись як вертикально розташований перехідник або підключатися провідниками до виводів керування SiC MOSFET (у цьому випадку необхідно забезпечити низькоіндуктивне з'єднання).

Драйвер SiC на базі ядра SKYPER 42 LJ здатний керувати карбідокремні-

євими модулями 12- та 17-го класу за напруги DC-шини до 1200 В та максимальної частоти перемикання 30 кГц. Робота на більш високих частотах можлива з урахуванням вимог щодо ізоляції та обмежень режимів SKYPER 42 LJ.

Схема захисту SKYPER 42 LJ детектує вихід із насичення (DESAT) обох ключів напівмосту, а також контролює стан давача (сенсора) температури NTC. При виявленні стану DESAT драйвер блокує обидва транзистори та видає сигнал про помилку. Те саме відбувається у випадку, коли сигнал з NTC-давача перевищує задане значення (встановлюється користувачем на платі адаптера). За замовчуванням функція Interlock (заборона одночасного увімкнення двох транзисторів напівмосту) відключена для розширення функціональних можливостей драйвера. У дворівневих інверторах контролер повинен виключати таку ситуацію, що призводить до замикання шин DC+ і DC-, а також забезпечувати необхідний «мертвий» час.

Плата керування призначена для спрощення розробки дворівневих інверторів на базі SiC MOSFET. Адаптер Board SiC Module SKYPER 42 LJ випробуваний по напрузі ізоляції, проте він не проходить функціональний тест, який слід проводити у складі виробу.

Основні особливості адаптера

Адаптер Board SiC Module SKYPER 42 LJ (рис. 3а) призначений для керування модулями SiC MOSFET з робочою напругою до 1700 В. Напруга затвора регулюється в діапазоні від -5 (V_{Goff}) до $+18$ (V_{Gon}) за допомогою схеми зміщення рівня, конкретно величина якого вибирається з урахуванням специфікації SiC MOSFET. Це дозволяє використовувати стандартний драйвер IGBT (SKYPER 42 LJ формує напругу на затворі $-8/+15$ В відповідно) для керування карбідокремнієвими ключами. Конструктивне рішення забезпечує підключення адаптера безпосередньо до SiC-модулів у конструктиві 62 мм (рис. 3б).

Апаратна реалізація

Адаптер Board SiC Module SKYPER 42 LJ (рис. 4) являє собою друковану плату (PCB, артикул 45126301), на якій встановлені резистори затвора R_G , діоди-супресори, конектори для підключення ядра SKYPER 42 LJ, інші компоненти.

Залежно від номінальної потужності та умов експлуатації (напруга, струм, індуктивність DC-шини) вибираються номінали R_G , напруга активного обмеження та порогові рівні схеми захисту. Gerber-файли надаються на запит, для їх отримання слід звернутися до офісу технічної підтримки SEMIKRON (прим. редакції — оскільки виробник закрит свій офіс в країні-агресорі, за технічною підтримкою звертайтеся до вітчизняних спеціалістів).

ТЕХНІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ

Блок-схема

На блок-схемі адаптера (рис. 5) показано друковану плату (виділено блакитним кольором) з сигнальним роз'ємом, резисторами затвора, діодами схеми DESAT та ядром SKYPER 42 LJ (виділено зеленим кольором).

Електричні та механічні характеристики

Відповідно до електричної специфікації, адаптер Board SiC Module SKYPER 42 LJ призначений для роботи в наступних режимах:

- максимальна напруга DC-шини: $V_{DC} = 1200$ В;
- максимальна вихідна напруга: $V_{AC} = 690$ (лінійне значення);
- максимальна частота комутації: $f_{sw} = 30$ кГц;
- температура довкілля: $T_o = 0...+40$ °C;
- клас захисту: IP00.

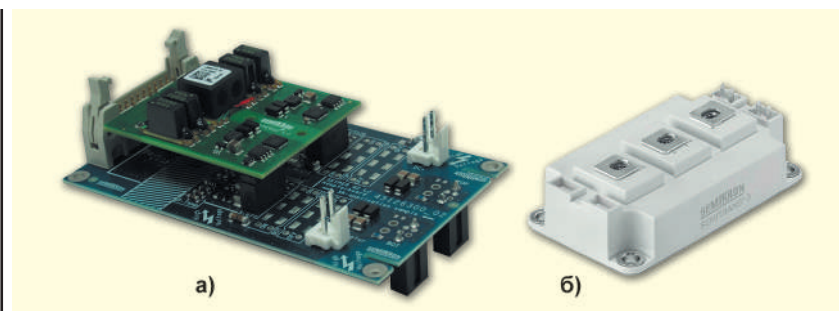


Рис. 3. Адаптер SiC Module SKYPER 42 LJ (а); модуль SEMIKRON 62 мм (б)

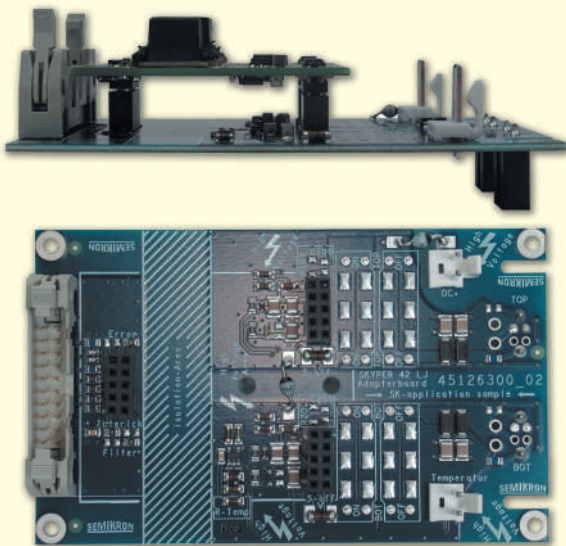


Рис. 4. Адаптер із встановленим ядром SKYPER 42 LJ (вид збоку) та без нього (вид зверху)

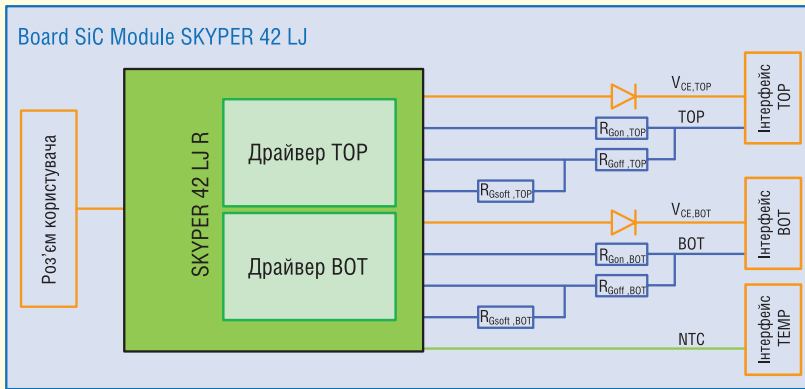


Рис. 5. Блок-схема адаптера SiC Module SKYPER 42 LJ

Перевищення цих обмежень може призвести до відмови виробу. Електрична ізоляція між інтерфейсом користувача (первинний каскад) і високовольтними ланцюгами (вторинний каскад) забезпечується трансформатором ядра SKYPER 42 LJ. Довжина шляху струму витoku повітрям і ізоляції між первинними і вторинними каскадами адаптера становить 12.2 мм. Слід врахувати, що застосування монтажних стійок із електропровідних матеріалів може погіршити ізоляційні властивості.

Плата має довжину 106 мм та ширину 65 мм, загальна висота з урахуванням SKYPER 42 LJ становить 42 мм. Для надійного від'єднання адаптера та ядра SKYPER 42 LJ передбачені монтажні отвори для встановлення опорних стійок із подвійною фіксацією.

Адаптер підключається до силового модуля 62 мм шляхом пресової посадки на сигнальні виводи. Виріб можна ви-

користувати з SiC-модулями в інших конструктивах, з'єднання при цьому виконується за допомогою проводів.

- Майданчики для встановлення V_{DS} (C_{DS} та R_{DS})
- Дві пари монтажних отворів для резисторів чи конденсаторів включення
- Дві пари монтажних отворів для резисторів чи конденсаторів виключення
- Майданчик для резистора «плавного» відключення
- Майданчик для налаштування порога термозахисту
- Підключення термодавача NTC
- Підключення до колектора/стоку верхнього ключа
- Майданчики для встановлення елементів схеми захисту
- Майданчики для встановлення елементів схеми Interlock
- Майданчики для встановлення елементів вхідного фільтра

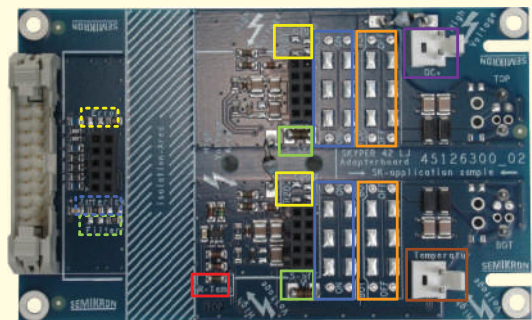


Рис. 6. Плата адаптера, вид зверху. Елементи, які добираються, виділені кольоровими рамками

Захисні функції

Адаптер Board SiC Module SKYPER 42 LJ забезпечує всі основні функції захисту силового ключа від аварійних ситуацій. Стандартний NTC-давач температури можна контролювати за входом ERROR каналу BOT. При досягненні заданого користувачем порогу ключ BOT блокується та помилка транслюється з високовольтного каскаду драйвера на його вхід.

Моніторинг стану перевантаження струмом здійснюється шляхом вимірювання падіння напруги на відкритому транзисторі $V_{DS_{off}}$. Як тільки величина $V_{DS_{on}}$ досягає заданого значення (відповідного виходу з насичення) драйвер видає повідомлення про помилку і блокує відповідний ключ в режимі плавного відключення.

Порогове значення прямої напруги $V_{DSS_{stat}}$ і час блокування T_{Blank} схеми захисту встановлюються в адаптері за допомогою резистора R_{DS} і конденсатора C_{DS} (типорозмір 0805) відповідно до формул, які трохи відрізняються від наведених в технічному описі драйвера SKYPER 42 LJ [5]:

$$V_{DSS_{stat}} = \frac{15 \text{ В} \times R_{DS}}{30.1 \text{ кОм} + R_{DS}} + 3 \text{ В},$$

$$t_{Blank} = \frac{C_{DS} \times 30.1 \text{ кОм} \times R_{DS}}{30.1 \text{ кОм} + R_{DS}} \times$$

$$\times \ln \left(\frac{10 \text{ В} (30.1 \text{ кОм} + R_{DS}) - R_{DS}}{30.1 \text{ кОм}} \right),$$

$$V_{CE(IN)} =$$

$$= \frac{30.1 \text{ кОм} \times R_{DS}}{30.1 \text{ кОм} + R_{DS} + (30.1 \text{ кОм} + R_{DS}) \times 3 \text{ кОм}} \times [V_{CE} + (V_{DCE} - 1.505 \text{ В}) \times 30.1 \text{ кОм} \times R_{DS}] + 3 \text{ В}.$$

Напруги V_{DSsat} і $V_{CE(IN)}$ відносяться до контакту 2 роз'єму X102 (ключ TOP) і контакту 1 роз'єму X202 (ключ BOT) відповідно. Взаємне положення R_{DS} та C_{DS} не має значення, оскільки вони з'єднані паралельно (елементи виділені жовтою рамкою на рис. 6).

Зверніть увагу, що функція DESAT не відключається, тому потенціал колектора/стоку верхнього (TOP) транзистора має бути підключений до X050 (фіолетова рамка на рис. 6, обидва контакти з'єднані паралельно).

ЕЛЕМЕНТИ ДРУКОВАНОЇ ПЛАТИ, ЯКІ ПОТРЕБУЮТЬ ОКРЕМОГО ДОБОРУ

На друкованій платі адаптера є компоненти, призначені для адаптації схеми до конкретних умов застосування. Вони виділені кольоровими рамками на рисунку 6; функціональне призначення та можливі значення описані далі.

Налаштування порога термозахисту

Для моніторингу теплового перевантаження силового каскаду використовується вбудований модуль або зовнішній NTC-давач. При перевищенні заданого значення температури спрацьовує компаратор (рис. 7) і вихід ERROR драйвера SKYPER 42 перемикається на рівень логічного 0. Порог спрацьовування термозахисту налаштовується резистором R52 (виділений червоною рамкою на рис. 6).

Стандартне значення R52 становить 475 Ом (відповідає температурі +100 °C), без підключення NTC-давача до конектора XT2 (коричнева рамка на рис. 6) тепловий захист не працює. Залежність опору NTC-давача від температури в діапазоні +70 ... +150 °C показано на рисунку 7, тому номінал R52 (типорозмір Міні MELF або 1206) необхідно вибирати відповідно.

Резистори затвора

На платі драйвера SKYPER 42 LJ передбачені окремі монтажні майданчики для встановлення резисторів увімкнення R_{Gon} , вимикання R_{Goff} та м'якого вимикання R_{soft} (рис. 8). Резистор R_{soft} номінал якого приблизно в 10 разів перевищує R_{Goff} використовується при відключенні струму КЗ. Для правильної роботи системи всі монтажні майданчики мають бути задіяні.

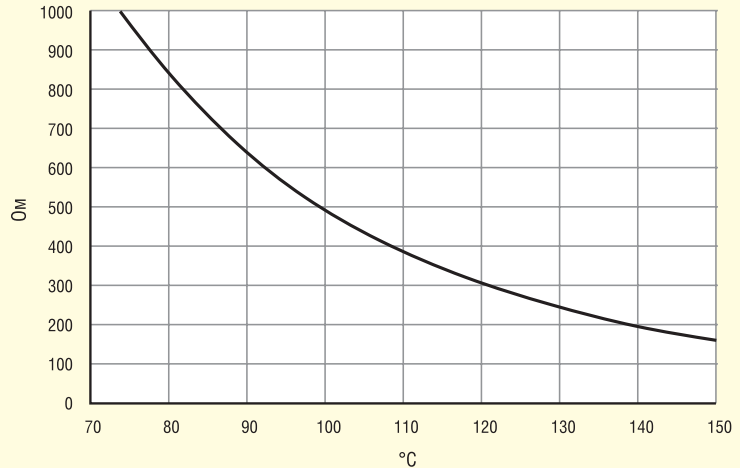
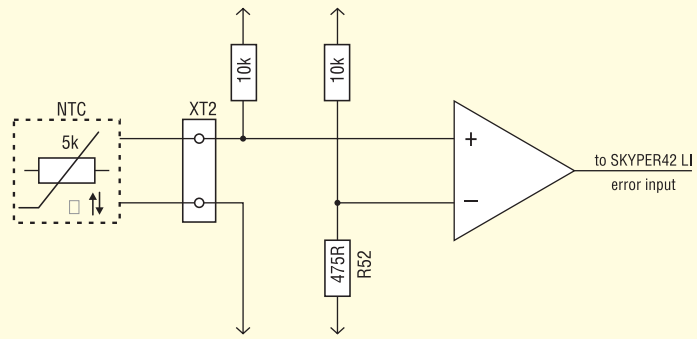


Рис. 7. Схема підключення NTC-давача та його робоча характеристика

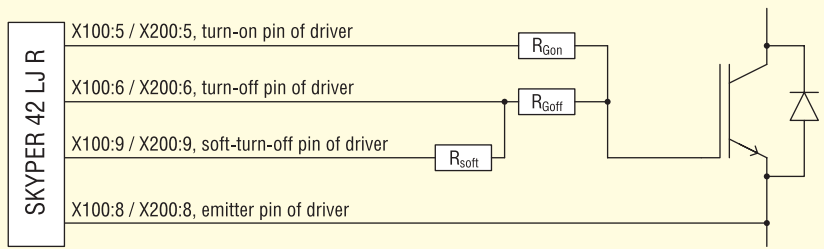


Рис. 8. Підключення резисторів затвора R_{Gon} , R_{Goff} , R_{soft}

На платі адаптера передбачено по три монтажні майданчики на кожен ключ для встановлення резисторів R_{Gon} та R_{Goff} (синя та помаранчева рамки на рис. 6) типорозміру MELF. Також є отвори для встановлення двох провідних компонентів. Для монтажу резистора плавного відключення R_{soft} передбачено один майданчик (зелена рамка на рис. 6). Номінали опорів/ємностей (резисторів/конденсаторів) необхідно вибирати відповідно до робочих режимів (напруга та індуктивність DC-шини, частота перемикавання, динамічні втрати тощо). Слід приділити особливу увагу розрахунку втрат потужності резисторів затворів в імпульсному режимі.

Обробка сигналів помилки у драйвері SKYPER 42 LJ

Призначення резисторів R12–R17 типорозміру 0805 описано у таблиці. Резистори R13 та R14 (жовта рамка на рис. 6) визначають взаємодію між каналами драйвера SKYPER 42 LJ за сигналом помилки. Використання будь-яких інших комбінацій (наприклад, всі = 0 або відсутні) може призвести до відмови системи.

Резистори R16 і R17 (блакитна рамка на рис. 6) призначені для активації та деактивації функції Interlock. При заміні R16 на перемичку ($R = 0$) Interlock відключається, тобто обидва канали драйвера можуть працювати одночасно.

Нульове значення R17 задає «мертвий» час t_{dt} тривалістю 2 мкс.

Резистори R12 і R13 (зелена рамка на рис. 6) дозволяють вибрати режим цифрової або аналогової фільтрації вхідного ШІМ-сигналу. Встановлення перемички замість R12 активує аналоговий фільтр, R13 цифровий фільтр. Більш детальну інформацію можна знайти у технічному описі SKYPER 42 LJ [5].

ІНТЕРФЕЙС КОРИСТУВАЧА

Адаптер Board SiC SKYPER 42 LJ може бути підключений безпосередньо до модуля SEMITRANS 3 за допомогою конекторів X102 та X202, розташованих на нижній стороні плати (рис. 9).

ОБМЕЖЕННЯ ТА ТЕХНІЧНІ ВИМОГИ

У цьому розділі описуються основні обмеження та вимоги, дотримання яких дозволяє уникнути пошкодження плати драйвера та силового модуля.

Формування сигналу несправності

При виході транзистора з насичення він повинен бути заблокований протягом короткого часу t_{psc} , який наведено в специфікації силового модуля. В іншому випадку виникає перенавантаження, здатне зруйнувати напівпровідникові чипи. Рекоменується дотримуватись правильної послідовності відключення, яка усуває виникнення небезпечних комутаційних перенапруг. Користувачеві необхідно відповідним чином реагувати на повідомлення про помилки, що генеруються драйвером: слід виконувати алгоритм блокування, що рекомендується, також є обов'язковим вимикання транзистора протягом часу, меншого t_{psc} . Остання вимога особливо важлива, якщо керування схемою захисту SKYPER 42 LJ налаштовано тільки на видачу сигналу попередження (табл. 1).

Резистори затвора

Мінімальний опір затвора визначається перепадом вихідної напруги драйвера при комутації: наприклад, при $V_{Gon_off} = +18/-5$ В різниця напруги становить 23 В. Піковий струм SKYPER 42 LJ — 20 А, тому мінімальний номінал резистора $R_{Gmin} = 1.15$ Ом.

Сумарний опір затвора складається з внутрішнього R_{Gint} (наводиться в специфікації модуля) та зовнішнього рези-

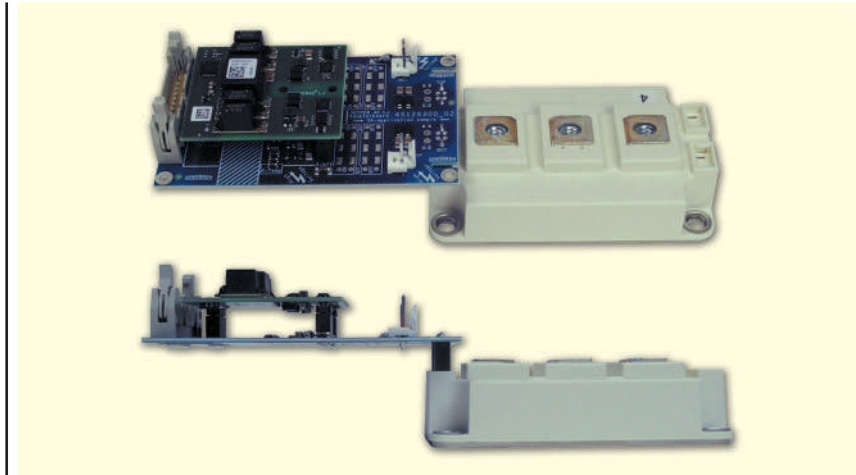


Рис. 9. Збірка адаптера SiC Module SKYPER 42LJ та модуля SiC SEMITRANS

Таблиця 1. Призначення резисторів R12–R17

R14	0 (перемичка)	Не встановлений
R15	Не встановлений	0 (перемичка)
Функція	Конкретний канал драйвера генерує сигнал помилки при виявленні помилки у вторинному каскаді, але відповідний транзистор не блокується. Драйвер не реагує на зовнішній сигнал; він залишається в попередньому стані доти, доки не буде знято вхідний ШІМ-сигнал (при повторній помилці використовується резистор плавного відключення). Безперервний сигнал помилки запобігає увімкненню драйвера.	Конкретний канал драйвера генерує сигнал помилки та негайно вимикає відповідний транзистор через резистор плавного відключення у разі виникнення помилки у вторинному каскаді. Під час подачі зовнішнього сигналу ERROR драйвер блокує транзистор. Безперервний сигнал помилки запобігає увімкненню драйвера. За замовчуванням (рекомендовано).
R16	0 (перемичка)	Не встановлений
R17	Не встановлений	0 (перемичка)
Функція	Interlock вимкнено, обидва канали можуть працювати одночасно. Установока за замовчуванням.	Interlock активний, «мертвий» час 2 мкс.
R12	Не встановлений	0 (перемичка)
R13	0 (перемичка)	Не встановлений
Функція	Активна цифрова фільтрація ШІМ-сигналу. Установока за замовчуванням.	Активна аналогова фільтрація ШІМ-сигналу.

стора увімкнення/вимкнення R_{Gon}/R_{Goff} . Мінімальну величину $R_{Gon,min}$ та $R_{Goff,min}$ можна розрахувати за формулою:

$$R_{Gon,min} = R_{Goff,min} = 1.15 \text{ Ом} - R_{Gint}$$

Якщо отримане значення ≤ 0 , то R_{Gon} та R_{Goff} можуть бути замінені перемичками (0 Ом) без небезпеки перенавантаження драйвера. В іншому випадку слід використовувати резистори з номіналом не менше $R_{Gon,min}/R_{Goff,min}$ що гарантує стійку роботу SKYPER 42 LJ. Вибір оптимальної величини R_G , яка забезпечує необхідний компроміс між втратами на динаміку та рівнем комутаційних перенапруг, виконується є розробником.

Слід уважно поставитися до нормування потужності резисторів затворів, які повинні витримувати високе імпульсне перевантаження, що виникає при комутації ємностей затвора. Додаткову інформацію про це можна знайти у посібнику AN-7003 [3].

Ізоляційні характеристики

Адаптер Board SiC SKYPER 42 LJ проходить перевірку напруги ізоляції (3200 В АС протягом 1 с) та тест на частковий розряд.

Література:

1. Матеріали сайту www.SEMIKRON.com
2. Wintrich A., Nicolai U., Tursky W., Reimann T. Application Manual Power Semiconductors. 2nd edition. ISLE Verlag, 2015.
3. Hermwille M. Gate Resistor — Principles and Applications. SEMIKRON Application Note, AN-7003 — rev00, 2007.
4. Hermwille M. IGBT Driver Calculation. SEMIKRON Application Note, AN-7004 — rev00, 2007.
5. Krapp J. Technical Explanation SKYPER42 LJ — rev11. SEMIKRON Technical Explanation, 2017.
6. Guidelines for CoolSiC MOSFET gate drive voltage window. Infineon AN2018-09.

СН

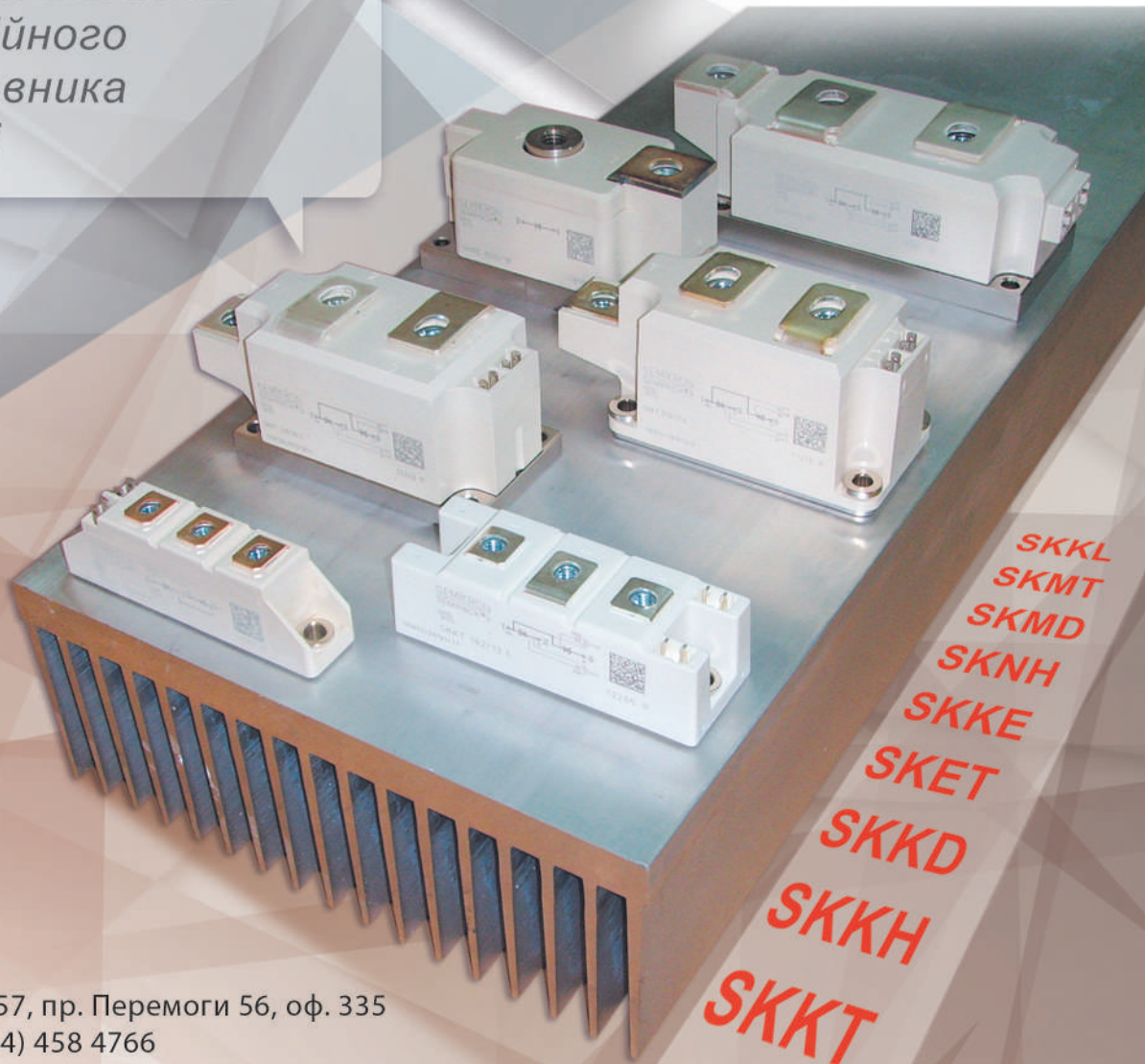
НВП "ТЕХНОСЕРВІСПРИВІД"

Офіційний представник Semikron в Україні

www.tsdrive.com.ua

SEMIKRON
innovation+service

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



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

тел/факс (044) 458 4766

E-mail: sales@semikron.com.ua

www.semikron.com.ua

Електробезпека оптичних ізоляторів в умовах можливих відмов у силових перетворювачах

Владан Мітов (Vladan Mitov), Чун Кеонг Ті (Chun Keong Tee)

У статті описано вплив можливих відмов незахищених IGBT на ізоляційний бар'єр драйверів затвора з оптичною ізоляцією компанії Broadcom.

ВСТУП

Драйвери затвора з оптичною розв'язкою Broadcom широко використовуються для керування IGBT для таких застосувань, як сонячні інвертори, системи керування двигунами і т.д. Оптична розв'язка є перевіреною та надійною технологією для забезпечення ізоляції між силовим IGBT та ланцюгами керування, а крім того, вона дозволяє знизити вплив синфазного шуму (CMR) на керуючий сигнал та запобігти помилковому закриттю/відкриттю IGBT.

Для забезпечення працездатності та збереження цілісності ізоляційного бар'єру слід уникати виникнення оптичної розв'язки напруги величиною, що перевищує номінальне значення. Однак це досить складно організувати у разі відмови, викликаній коротким замиканням IGBT.

ОПТИЧНА РОЗВ'ЯЗКА ТА СТРУКТУРА ІЗОЛЯТОРА

Оптична розв'язка в компонентах Broadcom забезпечує високий рівень ізоляції завдяки ізоляційному бар'єру, що складається з трьох шарів загальною товщиною, що перевершує аналогічний параметр компонентів на основі інших технологій. Три шари ізоляційного бар'єру є структурою кремній — поліімідна плівка — кремній (рис. 1). Поліімідна плівка створена спеціально для того, щоб протистояти руйнівному впливу часткового розряду, який може

спричинити іонізацію та руйнування ізоляційного матеріалу. Унікальні властивості поліімиду, що полягають у високій електричній міцності і широкому температурному діапазоні роботи, дозволяють застосовувати його в компонентах для забезпечення ізоляції в широкому спектрі застосувань: від локомотивів і поїздів до аерокосмічної техніки. Поліімідна плівка, що використовується в компонентах Broadcom, має діелектричну міцність 300 кВ/мм і здатна витримувати температуру $-200...+400$ °С.

Прикладом компонента, що має у своєму складі поліімідну плівку як один із шарів ізоляції, може служити драйвер затвора з оптичною розв'язкою ACPL-337J. Даний драйвер має товщину ізолятора (distance through solid insulation, DTI) 0.5 мм з піковим значенням пробивної напруги до 1414 В ($V_{ICRM} = 1414 V_{PEAK}$) і відповідає стандартам безпеки IEC/EN/DIN EN 60747-5-5.

Стандарт IEC/EN/DIN EN60747-5-5 є промисловим стандартом, роз-

робленим спеціально для компонентів із оптичною ізоляцією. Документ регулює температурні та механічні вимоги компонентів, їх стійкість до вібраційних впливів, вологостаійкість, стійкість до часткового розряду та перенапруги, а також методики тестування. Перед тестуванням на частковий розряд компоненти проходять випробування на відповідність вимогам безпеки входів і виходів мікросхеми протягом 72 годин. Перевірка на відповідність зазначеним нормативам дозволяє переконатися, що струм в контактах, розсіювана потужність і температура корпусу не перевищують встановлені межі і не здатні вплинути на цілісність ізоляційного бар'єру. Перевантаження на ділянці з оптичною розв'язкою можна уникнути за допомогою шунтування джерела живлення, а також включення до ланцюга обмежувального діода та резисторів. У той же час перевантаження, викликаного відмовою високовольтного IGBT, таким як коротке замикання або хибне відмикання транзистора через наявність ємності Міллера, можна запобігти за допомогою функції виявлення падіння напруги насичення (IGBT DESAT) та функції активного придушення ефекту Міллера

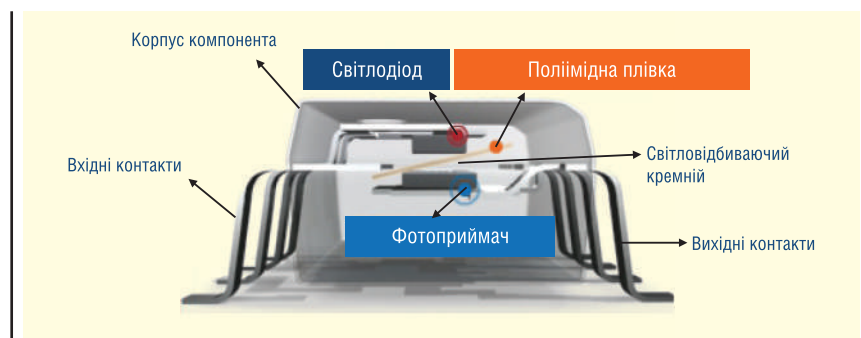


Рис. 1. Структура оптичного ізолятора з тришаровим ізолюючим бар'єром

Таблиця 1. Режими відмови IGBT та методи тестування				
Режим відмови IGBT	Можлива причина виникнення відмови	Можливі наслідки	Захист ACPL-337J	Метод тестування
Десатурація IGBT	Коротке замикання в ланцюзі живлення	Високий струм транзистора, що викликає перегрів компонента	Функція виявлення падіння напруги насичення (DESAT)	Тест на коротке замикання з відключеною функцією DESAT
Стрибок напруги колектор-емітер (VCE)	Жорстке відключення під час роботи транзистора	Сильний викид, що викликає перенапругу в ланцюзі колектор-емітер	Плавне відключення (Soft shutdown)	Повторний тест на коротке замикання з увімкненою функцією DESAT
Неправильне відмикання транзистора	Наявність ємності Міллера в структурі IGBT	Сильний викид струму в драйвер затвора	Плавне відключення (Soft shutdown), функція активного придушення ефекту Міллера (Active Miller Clamp)	Викид струму з IGBT в оптичну розв'язку

(Active Miller Clamp), які присутні в драйвері ACPL-337J. У цій статті, крім методів захисту, буде описано ступінь дії відмови незахищеного IGBT на цілісність ізоляційного бар'єру драйвера затвора з оптичною ізоляцією на прикладі компонентів Broadcom.

РЕЖИМИ ВІДМОВИ IGBT ТА МЕТОДИ ТЕСТУВАННЯ

Існує три основні причини відмови IGBT, які можуть спровокувати появу високої напруги на оптичній розв'язці та спричинити руйнування ізоляційного бар'єру:

- десатурація (вихід із насичення) IGBT;
- стрибок напруги колектор-емітер (VCE);
- хибне відмикання транзистора через наявність ємності Міллера у структурі IGBT.

Можливі причини відмов та методи тестування наведені у таблиці 1. Як видно з таблиці 1, драйвер затвора ACPL-337J має захисні функції для запобігання можливим наслідкам при відмові IGBT: функція виявлення падіння напруги насичення (DESAT), плавне відключення транзистора (Soft shutdown) та функція активного придушення ефекту Міллера (Active Miller Clamp). При проведенні тестування на дії відмови IGBT на ізоляційний бар'єр драйвера дані функції будуть відключені. Тестування проводиться у три етапи:

- тест IGBT на коротке замикання із вимкненою функцією DESAT;
- повторний тест на коротке замикання із включеною функцією DESAT;
- викид струму з IGBT в оптичну розв'язку.

ТЕСТ IGBT НА КОРОТКЕ ЗАМИКАННЯ

Під час проведення тесту на коротке замикання для керування затвором IGBT на 1200 В/150 А використовувався драйвер ACPL-337J, який забезпе-

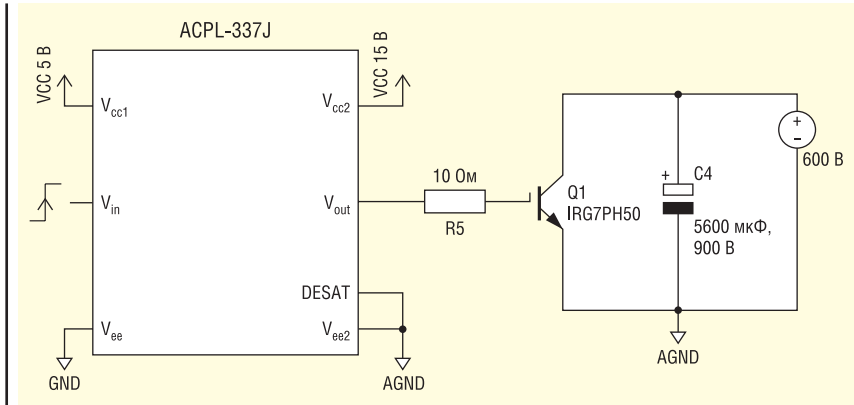


Рис. 2. Схема підключення драйвера затвора до IGBT для проведення тесту на коротке замикання

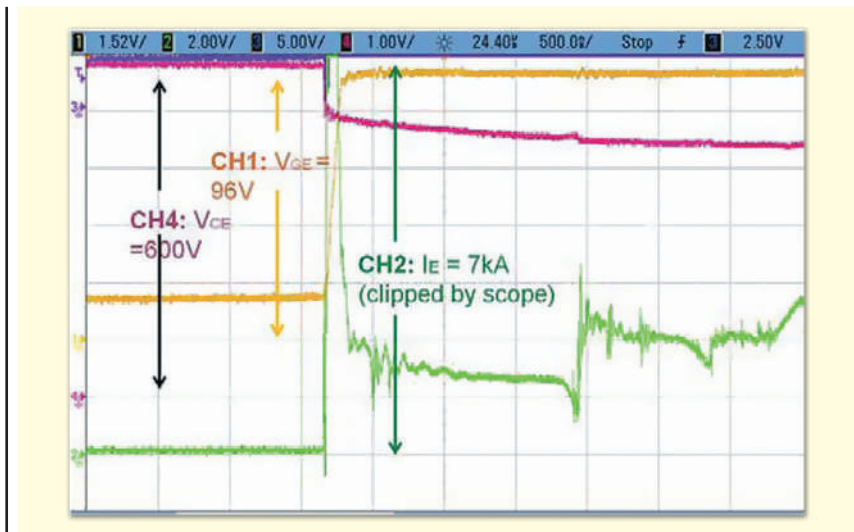
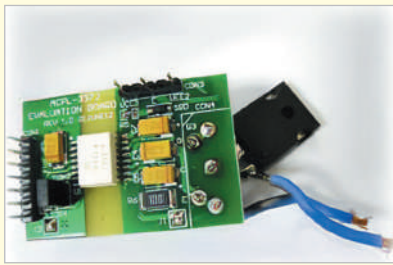


Рис. 3. Замір струму та напруги IGBT при проведенні тесту на коротке замикання

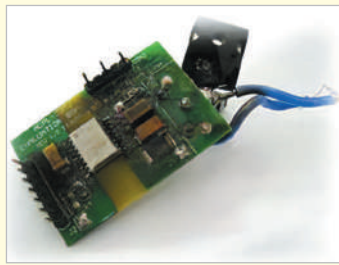
чив гальванічну розв'язку між високовольтною та логічною частинами схеми та мав живлення від одного полярного 15-В джерела живлення. Між колектором і емітером IGBT був підключений конденсатор на 5600 мкФ для створення короткого замикання при включенні живлення, а сам ланцюг живиться від джерела 600 В. Вивід DESAT драйвера ACPL-337J був підключений на «землю» для від'єднання відповідної функції захисту та запобігання автоматичному відключенню IGBT під час короткого замикання. Схему підключення драйвера ACPL-337J



Рис. 4. Руйнування IGBT після тесту на коротке замикання



До проведення тесту на коротке замикання



Після проведення тесту

Рис. 5. Плата драйвера затвора ACPL-337J до та після тесту на коротке замикання

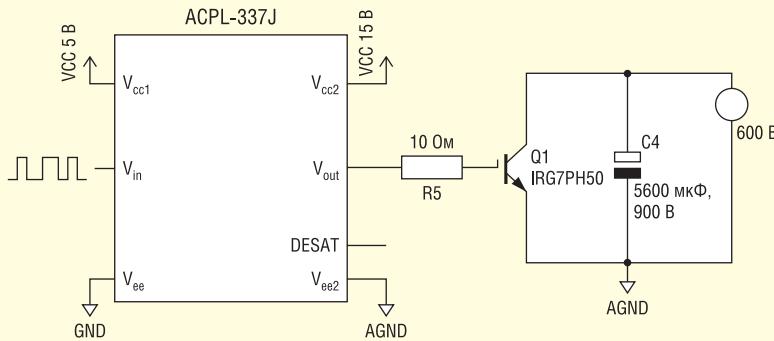


Рис. 7. Схема підключення драйвера затвора до IGBT для повторного тестування на коротке замикання

до IGBT наведено на рисунку 2, у схемі відсутній обмежувальний діод.

При виникненні короткого замикання струм емітера (I_E) склав 7 кА, транзистор не увійшов до режиму насичення (V_{CE}) і напруга затвор-емітер (V_{GE}) значно зростає (рис. 3), внаслідок чого стався перегрів та вибух компонента. Напруга затвор-емітер також була прикладена до ізоляційного бар'єра ACPL-337J.

Незважаючи на те, що корпус драйвера затвора ACPL-337J не піддавався негативним впливам, за винятком опіків, отриманих в результаті вибуху IGBT (рис. 4), багато другорядних компонентів плати драйвера затвора були пошкоджені і вона втратила працездатність (рис. 5).

Після проведення тесту на коротке замикання драйвер затвора ACPL-337J додатково пройшов електричні випробування на частковий розряд (1.88 кВ(RMS)/с) та вплив високої напруги (6.2 кВ(RMS)/с) для визначення ступеня пошкодження ізоляційного бар'єра. Потім було проведено візуальний огляд внутрішньої та зовнішньої частини компонента (рис. 6).

Візуальний огляд поліімідної плівки не виявив пошкоджень, а ізоляція залишилася непошкодженою, що свідчить про успішне проходження тесту.

ПОВТОРНИЙ ТЕСТ IGBT НА КОРТКЕ ЗАМИКАННЯ З УВІМКНЕННЯМ DESAT

Схема підключення драйвера ACPL-337J до IGBT для проведення даного тесту має такий самий вигляд, як і в попередньому випробуванні, за винятком того, що вивід DESAT драйвера не був замкнений на «землю», а залишався в плаваючому положенні (функція виявлення падіння напруги насичення активована) (рис. 7). ACPL-337J відключатиме IGBT при виникненні короткого замикання протягом 1 мкс. Потрібно 10–20 циклів тестування з періодом близько 2 с, щоб спровокувати викид напруги колектор-емітер

(VCE) та викликати пошкодження IGBT. Після проведення випробування драйвер ACPL-337J також пройшов тест на частковий розряд (1.88 кВ(RMS)/с) та вплив високої напруги (6.2 кВ(RMS)/с).

Плата драйвера затвора втратила працездатність через пошкодження другорядних компонентів, проте візуальний огляд знову не виявив пошкоджень поліімідної плівки, що свідчить про те, що ізоляція залишилася непошкодженою (рис. 8).

ВИКИД СТРУМУ З IGBT В ОПТИЧНУ РОЗВ'ЯЗКУ

В даному тесті на вихід драйвера затвора ACPL-337J було подано струм

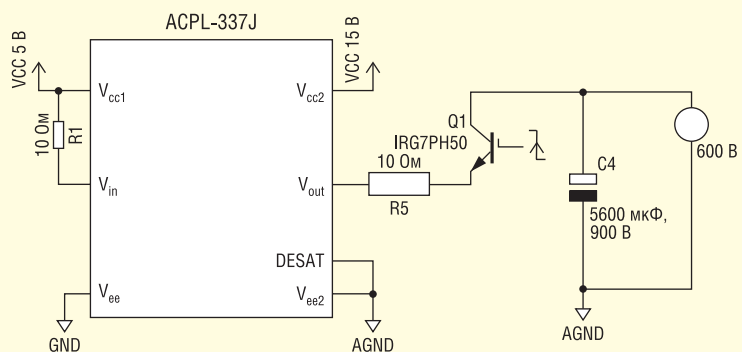


Рис. 9. Схема підключення драйвера затвора до IGBT для проведення тесту на вплив постійного струму на оптичну розв'язку

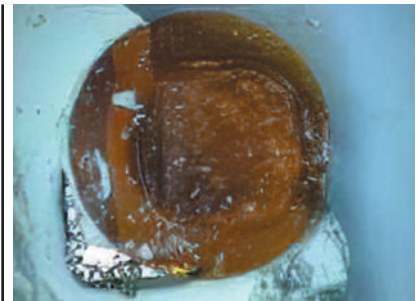


Рис. 6. Поліімідна плівка ACPL-337J після проведення тесту на коротке замикання

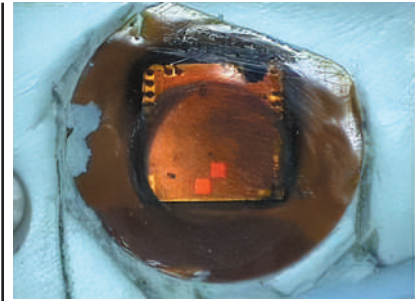


Рис. 8. Поліімідна плівка ACPL-337J після проведення повторного тесту на коротке замикання



Рис. 10. Стрибок струму на емітері в момент включення транзистора

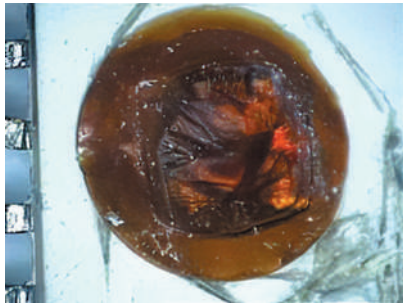


Рис. 11. Поліімідна плівка ACPL-337J після проведення тесту на вплив постійного струму високого значення

ВИСНОВОК

Поліімідна плівка та ізоляційний бар'єр драйверів затвора з оптичною розв'язкою від Broadcom довели свою надійність навіть при високих навантаженнях, викликаних відмовою підключеного IGBT (коротке замикання з увімкненим та відключеним DESAT, викид струму високого значення в оптичну розв'язку). Незважаючи на те, що плати драйвера затвора в результаті випробувань вийшли з ладу, самі драйвери успішно пройшли випробування на частковий розряд та вплив високої напруги, а отже, зберегли належний рівень ізоляції, здатний забезпечити безпеку оператора та обладнання системи. Результати випробувань наведено у таблиці 2.

Компоненти, які використовують альтернативні технології ізоляції (індуктивна та ємнісна ізоляція), мають значно меншу величину ізоляційного бар'єру (менше 17 мкм) і не зможуть забезпечити належний рівень безпеки у разі настання одного з описаних у цій статті режимів відмови IGBT.

Література:

1. ACPL-337J 4.0 Amp Gate Drive Optocoupler with Integrated (VCE) Desaturation Detection, Active Miller Clamping, Fault and UVLO Status Feedback, Broadcom, AV02-4390EN. **CN**

з емітера IGBT. Транзистор, запущений імпульсом 15 В, на вході драйвера затвора підтримувався високий логічний сигнал, а до колектора IGBT був підключений конденсатор на 5 600 мкФ за напруги шини 600 В (рис. 9).

У момент виникнення на затворі IGBT напруги 15 В підключений осцилограф зафіксував стрибок струму на емітері величиною близько 700 А (рис. 10). Цей тест є найбільш руйнівним, оскільки струм безпосередньо втік (подавався) у вивід драйвера затвора, викликаючи серйозні пошкодження плати.

Після проведення випробування драйвер ACPL-337J пройшов тест на частковий розряд (1.88 кВ(RMS)/с) та вплив високої напруги (6.2 кВ(RMS)/с). Візуальний огляд поліімідної плівки, як і в попередніх випробуваннях, не виявив пошкоджень (рис. 11).

Таблиця 2. Результати випробувань на вплив відмови IGBT на оптичну розв'язку підключеного драйвера затвора					
Режим відмови IGBT	Візуальний огляд	Працездатність плати драйвера затвора	Тестування на частковий розряд 1.88 кВ (RMS)/с	Тестування на дію високої напруги 6.2 кВ (RMS)/с	Цілісність ізоляційного бар'єру/поліімідної плівки
Десатурація IGBT	Пройдено	Провалено	Пройдено	Пройдено	Пройдено
Стрибок напруги колектор-емітер (VCE)	Пройдено	Провалено	Пройдено	Пройдено	Пройдено
Хибне відмикання транзистора через наявність ємності Міллера	Пройдено	Провалено	Пройдено	Пройдено	Пройдено

АВТОМОБІЛЬНІ МУЛЬТИГІГАБІТНІ ETHERNET-КОМУТАТОРИ

Компанія **Broadcom** анонсувала сімейство пристроїв BCM8958x, що є сьомим поколінням повністю інтегрованих багаторівневих комутаційних рішень Broadcom L2+, що відповідають автомобільним вимогам (AEC-Q100) та температурному класу для автомобільних мережних додатків. Сімейство продуктів BCM8958X піднімає планку для комутаторів з безліччю кращих у своєму класі функцій для автомобільної промисловості, таких як вбудовані функції безпеки, збільшена пропускна здатність підключення до хоста та апаратні можливості маршрутизації ривня 3.

КОМБІНОВАНИЙ ЧИПSET WI-FI 7 ТА ДВОЯДЕРНИЙ BLUETOOTH

Компанія **Broadcom** анонсувала BCM4398 — малопотужний, високоінтегрований комбінований чип Wi-Fi 7 і Bluetooth 5.2, оптимізований для програм мобільних телефонів, де ключовими вимогами є висока продуктивність, мала затримка, низьке енергоспоживання і невеликий розмір рішення. Система-на-чипі BCM4398 містить одночасний дводіапазонний (SDB) 2x2 радіозв'язок, сумісний з IEEE 802.11be, двоядерний радіозв'язок Bluetooth (BT) 5.2 та спеціальне ядро сканування, яке розширює можливості системи Bluetooth та WLAN.

ЧИПИ 4x4 ТА 2x2 802.11BE WI-FI 7 ДЛЯ КОРПОРАТИВНИХ ТОЧОК ДОСТУПУ

Компанія **Broadcom** анонсувала BCM43740 — пристрій 4x4 IEEE 802.11be Wi-Fi 7 MAC/PHY/радіосистема-на-чипі (SoC), та BCM43720 — пристрій 2x2 IEEE 802.11be Wi-Fi 7 MAC/PHY/радіосистема-на-чипі (SoC). BCM43740 та BCM43720 можуть працювати в діапазонах 2.4 ГГц, 5 ГГц та 6 ГГц вибірково зі шлюгою пропускання каналу до 320 МГц та 160 МГц відповідно. Використовуючи переваги Multi-Link Operation (MLO) на додаток до розрахованих на багато користувачів технологій, таких як низхідний і висхідний OFDMA і низхідний і висхідний MU-MIMO, BCM43740 і BCM43720 забезпечують кращу пропуску здатність, меншу затримку і високу надійність. Ці пристрої оптимізовані для використання в корпоративних точках Wi-Fi.

www.broadcom.com

Високоєфективні силові модулі на основі SiC для широкого спектру застосувань

**Рене Спенке (Rene Spenke), Нілс Солтау (Nils Soltau),
Тору Матсуока (Toru Matsuoka), Віктор Толстоп'ятов**

Адаптований переклад українською та технічне редагування:

Андрій Мовчанюк, доцент, кафедра прикладної радіоелектроніки, РТФ, НТУУ «КПІ»

В даний час силові транзисторні модулі на основі карбїду кремнію (SiC) знаходять все ширше застосування там, де потрібний підвищений ККД перетворювача або зниження його масогабаритних показників. Діапазон потужності таких застосувань дуже різноманітний: від побутових кондиціонерів та зарядних пристроїв до промислових та навіть тяглових залізничних приводів.

У статті наводиться актуальна інформація про останні розробки компанії Mitsubishi Electric у галузі SiC для широкого діапазону робочих напруг та потужностей у контексті використання модулів у різних застосуваннях.

ВСТУП

Зниження викидів вуглекислого газу і раціональніше використання електроенергії — це сьогоденні тенденції, які все міцніше закріплюються в сучасному суспільстві. Поява такого напівпровідникового матеріалу, як карбїд кремнію (SiC) з його унікальними фізичними властивостями, чудово задовольняє цим прагненням з погляду зниження енергоспоживання та мінімізації габаритів перетворювачів (зменшення кількості деталей та матеріалів).

Головна відмінність напівпровідників на основі SiC від класичних кремнієвих пристроїв — велика ширина забороненої зони. Це дозволяє досягти 10-кратного збільшення напруженості електричного поля в SiC-кристалах. Відповідно, для забезпечення однієї і тієї ж блокуючої здатності кристали на основі SiC будуть мати меншу товщину, а отже, і менший електричний опір (втрати провідності).

Більш того, завдяки широкій забороненій зоні високовольтні транзисто-

ри на основі карбїду кремнію з напругою пробою аж до 6 500 В можуть мати не звичну IGBT-структуру, а польову MOSFET. За рахунок високої швидкості перемикання польові транзистори мають низькі втрати при перемиканні та дозволяють суттєво збільшити частоту комутації. У більшості застосувань підвищення частоти роботи силового перетворювача дозволяє збільшити щільність потужності інших компонентів: фільтрів, трансформаторів, двигунів. Іншими словами, силові перетворювачі з використанням SiC стають компактнішими.

З 1990 року компанія Mitsubishi Electric накопичила великий досвід у галузі виробництва та застосування силових модулів на основі SiC. Сьогодні модулі на основі карбїду кремнію успішно виходять з галузі технологічного ноу-хау і набувають все більшого поширення в реальних застосуваннях, починаючи від побутових кондиціонерів і джерел живлення і закінчуючи потужними промисловими перетворювачами і навіть

тягловими залізничними приводами. Вимоги до SiC-модулів також різняться залежно від застосування, що наведені у цій статті.

ГОЛОВНИЙ КОМПОНЕНТ: НОВЕ ПОКОЛІННЯ SiC-КРИСТАЛІВ

В актуальній лінійці карбїд-кремнієвих модулів Mitsubishi Electric використовується друге покоління SiC-кристалів, що випускаються за новою технологією на шестидюймових пластинах. Як показано на рисунку 1, друге покоління SiC має покращену планарну MOSFET-структуру. Спеціальна технологія легування JFET-області сприяє суттєвому зниженню прямого опору $R_{on,sp}$ (рис. 2) до рівня останніх поколінь чипів з траншейним затвором (рис. 3). Більш того, легування JFET-області зменшує прохідну ємність кристала C_{rss} , що визначає швидкість перемикання SiC-приладу. Менша C_{rss} збільшує частоту перемикання, а також покращує стійкість

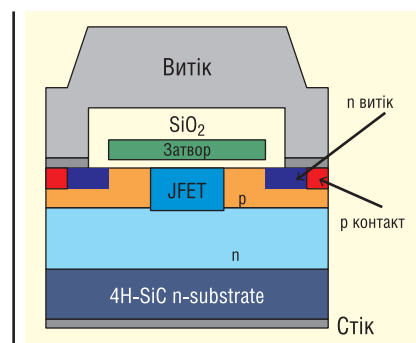


Рис. 1. Структура SiC MOSFET-чипа другого покоління

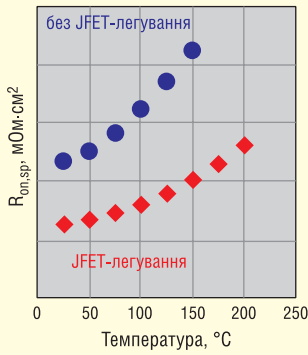


Рис. 2. Вплив нової технології легування області JFET на опір $R_{on,sp}$

чипа до паразитного включення, як описано далі.

ДИСКРЕТНІ SiC-ПРИЛАДИ ДЛЯ ЗАРЯДНИХ ПРИСТРОЇВ ЕЛЕКТРОТРАНСПОРТУ, КОНДИЦІОНЕРІВ ТА ТЕПЛОВИХ НАСОСІВ

Основними вимогами до силових ключів для таких застосувань, як зарядні пристрої електротранспорту, кондиціонери та теплові насоси, є доступність на ринку, універсальний взаємозамінний з іншими виробниками корпус, а також номінальний робочий струм до 100 А. Для цих застосувань компанією розроблена N-серія дискретних приладів у корпусі TO-247 на 1200 В з використанням SiC-кристалів другого покоління [1, 2]. Даний тип корпусів, як і раніше, затребуваний у багатьох застосуваннях низької та середньої потужності завдяки своїй універсальності: дискретні транзистори та діоди дозволяють зібрати перетворювач будь-якої топології. За рахунок простої конструкції корпусу TO-247 (рис. 4) та великих обсягів виробництва дискретні SiC-компоненти є найбільш доступними з точки зору ціни. Крім корпусів з трьома виводами, у лінійці пропонуються корпуси TO-247 з чотирма виводами, втрати на перемикання в яких знижено на 30% [3]. У таблиці 1 представлено характеристики дискретних MOSFET транзисторів на основі SiC. Крім типових вихідних тестів при виробництві, ряд транзисторів сертифікований за стандартом AEQ-Q101, що робить можливим їх використання в електротранспорті.

Завдяки низьким комутаційним втратам N-серія SiC-транзисторів рекомендується для застосування в джерелах

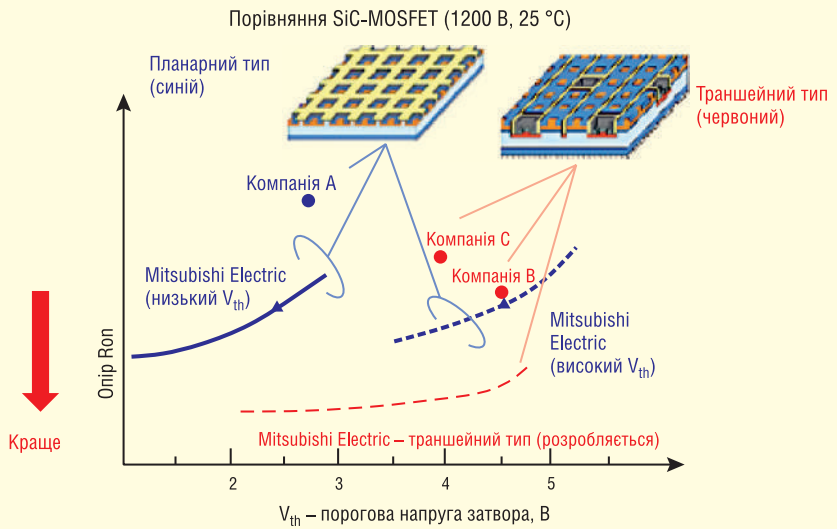


Рис. 3. Порівняння планарної та траншейної структури різних SiC MOSFET-чипів

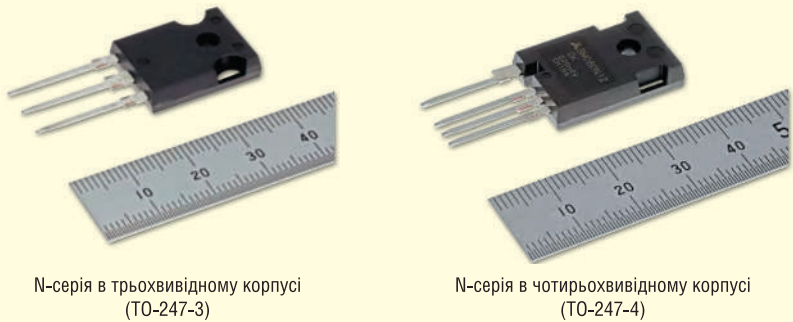


Рис. 4. Дискретні SiC-транзистори та діоди N-серії на 1200 В

Таблиця 1. Лінійка дискретних SiC-транзисторів Mitsubishi Electric N-серії

Модель	BM080N120S(J)	BM040N120S(J)	BM022N120S(J)
V_{DC} , В	1200		
$R_{DS(on)}$, мОм	80	40	22
$I_{D,max@25^\circ C}$, А	38	68	102
Корпус	TO-247-3		
Розмір, мм	15.9x41x5		

живлення, що дозволяє зменшити розміри або виключити зі схеми частину пасивних елементів (трансформаторів, дроселів) за рахунок збільшення частоти перемикання.

ОСНОВНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ

Друге покоління SiC MOSFET-кристалів Mitsubishi Electric має планарну структуру з легуванням області JFET. Ця технологія має ряд переваг перед попереднім поколінням SiC. Так, добре відомо, що за рахунок високої напруги пробую карбиду кремнію стало можливим створення MOSFET-транзисторів на 1200 В з низьким опором області дрейфу (R_{drift}). Але іншою значною частиною питомого опору MOSFET-транзистора

є опір акумулюючого шару JFET у його структурі. За рахунок нової технології легування області JFET у SiC-кристалах другого покоління був також знижений питомий опір JFET.

Ще одна з найважливіших характеристик MOSFET-транзистора, що визначають характеристики його перемикання — співвідношення вхідної ємності (C_{iss}) до прохідної ємності (ємності Міллера, C_{rss}). Увімкнення робочого струму транзистора нижнього плеча Q2 веде до високого dV/dt у транзисторі верхнього плеча Q1 (рис. 5). В результаті струм затвору I_g починає текти в затвор транзистора Q1 через ємність Міллера (C_{rss}). Якщо падіння напруги, викликане даним струмом, перевищить граничну напругу $V_{gs(th)}$, відбудеться паразитне відкриття верхнього транзистора Q1 і, відповідно,

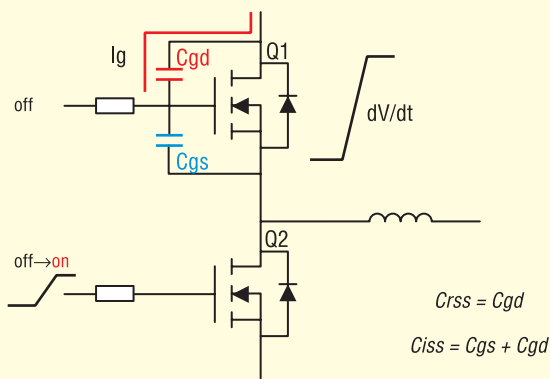


Рис. 5. Ефект паразитного включення верхнього транзистора

коротке замикання. При цьому величина струму I_g пропорційна C_{rss} та dV/dt . За рахунок зменшення параметра C_{rss} результуючий добуток опору транзистора на заряд затвор-сток склало 1450 мОм·нКл. Це збільшує стійкість до паразитного увімкнення (приблизно в 14 разів) у порівнянні зі звичайними SiC MOSFET. Таким чином, одночасно досягається висока швидкість перемикання та низький опір каналу.

Ключовим параметром в специфікації дискретних SiC MOSFET-транзисторів є опір $R_{DS(on)}$, що вказується для температури $T_j = +25^\circ\text{C}$. Однак у реальних умовах використання температура переходу T_j сягає $+100^\circ\text{C}$ і вище, при цьому опір $R_{DS(on)}$ зростає. Для N-серії транзисторів Mitsubishi Electric цей ефект слабо ви-

ражений, і зростання опору становить лише близько 10% при підвищенні температури переходу до $+100^\circ\text{C}$. Це знижує втрати провідності в перетворювачі і дозволяє збільшити його вихідну потужність, використовуючи транзистори з тим самим показником $R_{DS(on)}$.

Крім карбід-кремнієвих MOSFET-транзисторів N-серії компанія Mitsubishi Electric також випустила на ринок лінійку відповідних діодів Шоттки (SBD — Schottky-Barrier Diode). Зазвичай діоди Шоттки мають нижче пряме падіння напруги V_f порівняно з класичними діодами. Однак під час розробки кристала діода завжди існує баланс між низьким прямим падінням напруги V_f та стійкістю до ударного прямого струму. Щоб оптимізувати обидва параметри, компанія Mitsubishi Electric розробила так звану JBSD-структуру (Junction Barrier Schottky Diode), в якій на додаток до бар'єру Шоттки паралельно доданий $p-n$ -перехід, стійкий до великих ударних струмів (рис. 6, 7). Лінійка діодів включає прилади на 600 і 1200 В з номінальними струмами 10 і 20 А в різних дискретних корпусах: TO-247, TO-220FP-2, TO-263S [4].

увазі системи захисту, який містить модуль: захист від КЗ, захист від перегріву, а також захист від просадки напруги живлення. Як показано на рисунку 9, модулі виконані за технологією монолітного корпусу (Transfer Molding), яка дозволяє підвищити продуктивність та стійкість модуля до агресивного зовнішнього середовища. Виграш за рахунок використання SiC-кристалів особливо помітний у застосуваннях із графіком роботи «24x7», таких як кондиціонери чи насоси. На рисунку 10 порівнюється класичний кремнієвий модуль з аналогічним SiC. Видно, що зниження втрат у модулі за тих самих умов становить близько 70%.

SiC-МОДУЛІ ДЛЯ ДБЖ, СТАНЦІЙ ШВИДКОЇ ЗАРЯДКИ ТА ПЕРЕТВОРЮВАЧІВ ДЛЯ ВІДНОВЛЮВАНОЇ ЕНЕРГЕТИКИ

Такі застосування, як ДБЖ, станції швидкої зарядки та перетворювачі

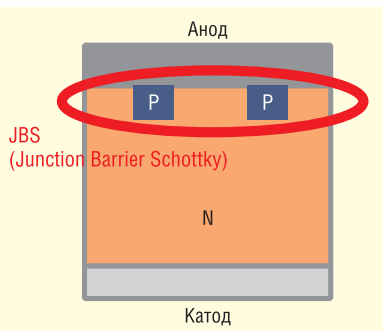


Рис. 6. Структура діода JBSD

ЗБІЛЬШЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ КОНДИЦІОНЕРІВ ЗА РАХУНОК ВИКОРИСТАННЯ SiC DIPIPM-МОДУЛІВ

Для інверторів невеликої потужності компанія Mitsubishi Electric представила карбід-кремнієві модулі DIPIPM (інтелектуальний силовий модуль в корпусі DIP) з блокуючою напругою 600 В і номінальним струмом 15 і 25 А. Дані інтелектуальні пристрої мають у одному корпусі шість транзисторів з антипаралельними діодами (трифазний міст), і навіть інтегральні схеми драйверів (рис. 8). Під «інтелектуальними» функціями в даному випадку мають на

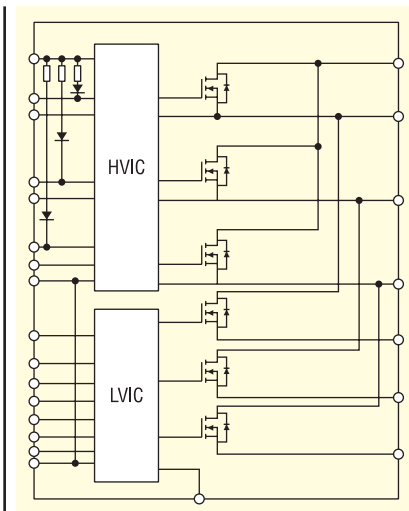


Рис. 8. Функціональна схема SiC-модуля Super Mini DIPIPM

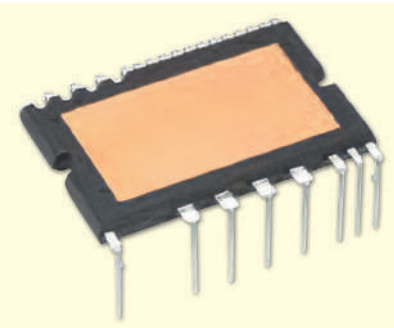


Рис. 9. Інтелектуальний SiC-модуль Super Mini DIPIPM і вбудованим драйвером

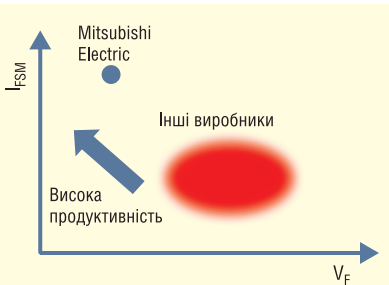


Рис. 7. Порівняння характеристик діода (падіння напруги V_f та максимальний прямий струм I_{FSM})

для відновлюваної енергетики, зазвичай вимагають більших вихідних струмів, ніж у випадках, які обговорювалися раніше. Спеціально для таких застосувань Mitsubishi Electric розширила лінійку модулів на базі SiC-чипів другого покоління, додавши до існуючих модулів на 1200 В пристрої на 1700 В з робочим струмом до 1200 А [5]. Як показано на рисунку 11 друге покоління SiC-модулів має ті ж корпуси, що і перше, дозволяючи замовникам замінити силові модулі без зміни дизайну перетворювача. Повна лінійка модулів представлена в таблиці 2.

Основні особливості

Підкладка SiC-модулів, маючи розміри корпусу 122x76.9 мм, точно повторює геометрію модулів серії NX. Проте для зниження внутрішньої паразитної індуктивності модуля було змінено розташування силових виводів пристрою. Це дозволило отримати максимальні низькі комутаційні втрати та перенапруги. Крім цього, конструкція основи модулів та схема розташування MOSFET- та SBD-чипів були оптимізовані для кращого розподілу тепла по підкладці.

За рахунок технології легування області JFET, описаної раніше, друге покоління SiC-модулів має суттєво менші втрати: у порівнянні з першим поколінням знижено як втрати провідності, так і динамічні втрати [6].

Розроблена компанією Mitsubishi Electric функція контролю в реальному часі RTC (Real-Time Control) спрощує схему захисту модуля від короткого замикання. Створення схеми захисту від КЗ є нетривіальним завданням при переході з IGBT на SiC MOSFET, оскільки стандартний метод, який виявляє вихід транзистора з насичення, до останніх не застосовується. Для подолання цього обмеження система RTC детектує струм КЗ за допомогою датчика струму, вбудованого безпосередньо в чип MOSFET. У разі виявлення КЗ керуюча напруга затвору автоматично знижується для обмеження струму та збільшення максимального часу до перегріву кристалів, за яке драйвер може зреагувати на сигнал помилки від RTC та відключити струм (рис. 12).

ВИСОКОВОЛЬТНІ SiC-МОДУЛІ ДЛЯ ЗАСТОСУВАННЯ У ТРАНСПОРТІ ТА ЗАЛІЗНИЦІ

У таких застосуваннях, як високошвидкісні поїзди, SiC-модулі дозволяють

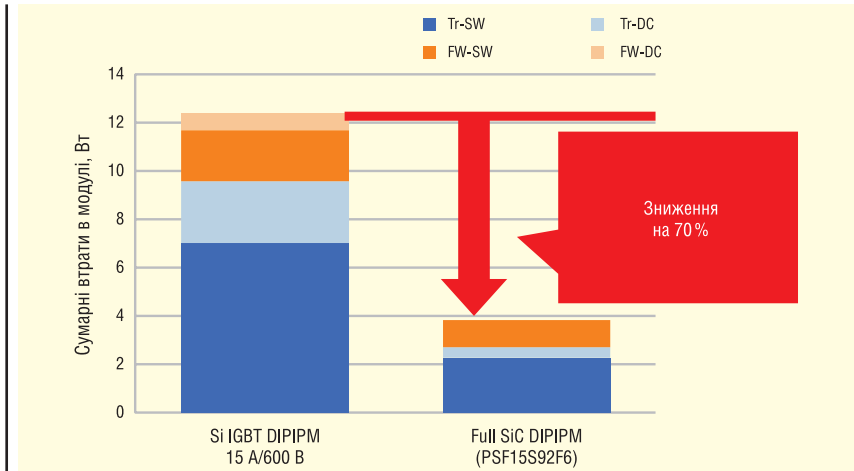


Рис. 10. Порівняння втрат у DIPIPM-модулях ($V_{cc} = 300$ В, $f_c = 15$ кГц, $I_o = 1,5$ А, $T_j = +125$ °С)

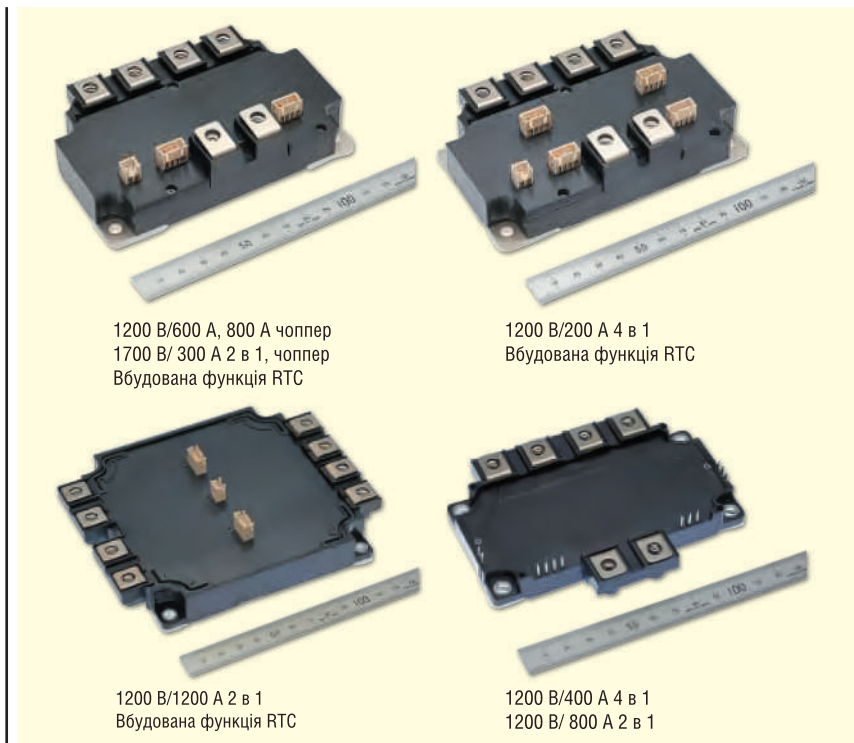
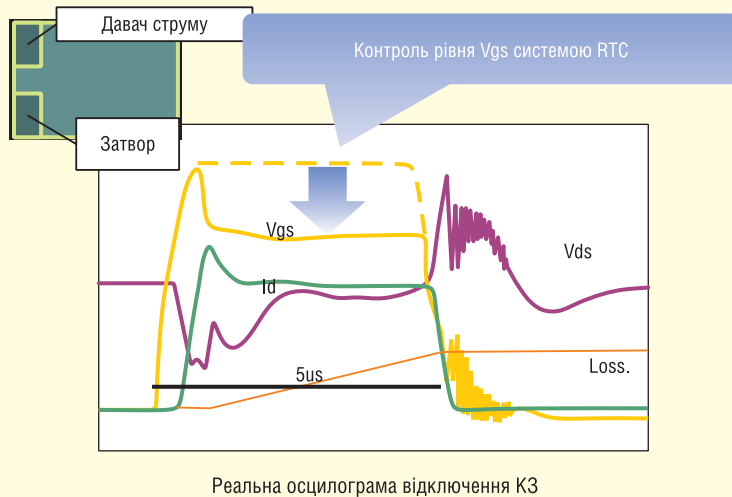
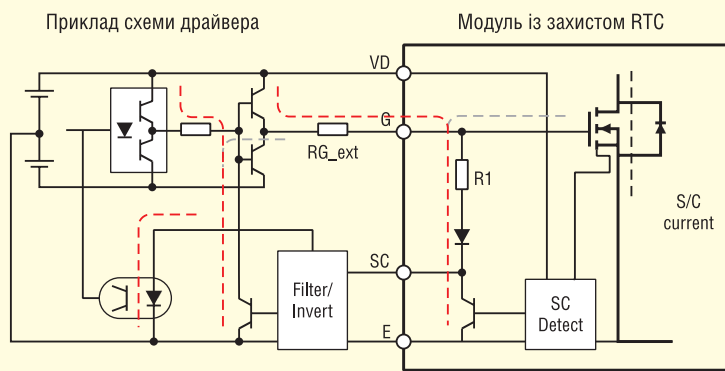


Рис. 11. Зовнішній вигляд загальнопромислових SiC-модулів другого покоління

Модель	Напруга, В	Струм, А	Топологія	Захист RTC	Розміри, мм
FMF400BX-24B	1200	400	4 в 1	Hi	121.7x92.3
FMF800DX-24B		800	2 в 1		
FMF300BXZ-24B		300	4 в 1	Так	
FMF400BXZ-24B		400			
FMF600DXZ-24B		600	2 в 1		
FMF800DXZ-24B		800			
FMF1200DXZ-24B	1200	1200	2 в 1		122x152 122x79.6
FMF300DXZ-34B	1700	300	2 в 1		
FMF300E3XZ-34B			Чоппер		

побудувати більш ефективну та компактну систему тяглового приводу. Наприклад, у високошвидкісних поїздах «Шинкансен» (Shinkansen) тягловий привід на

основі SiC має на 20% меншу масу, що дозволяє оптимізувати конструкцію вагона. Крім зниження маси з допомогою скорочення втрат під час переходу



Реальна осцилограма відключення КЗ

Рис. 12. Ефективне відключення КЗ системою RTC, вбудованою в модуль

спорт та електроенергетика, вимагають від приладів високої продуктивності та надійності. Компанія Mitsubishi Electric вивела на ринок SiC-модулі напругою до 3.3 кВ транспортного виконання, що спеціально призначені для таких застосувань. Вже в 2015 році в високошвидкісні поїзди, що серійно випускаються, почали встановлюватися повні силові SiC-модулі (транзистор і зворотний діод на базі карбіду кремнію) [10]. Таким чином, надійність даних приладів перевірена у реальній експлуатації щонайменше протягом більш ніж п'яти років.

Mitsubishi Electric випускає нові модулі 3.3 кВ класу напруги в корпусах LV100 (рис. 13). У цьому класі напруги доступні модулі двох номіналів струму: 375 і 750 А (рис. 14).

Крім повних SiC-модулів з чипами діодів та транзисторів на основі карбіду кремнію, у лінійці компанії є гібридні модулі. У корпусі LV100 випускається гібридний модуль на 3.3 кВ з номінальним струмом 600 А. Даний прилад поєднує кремнієвий IGBT-чип нового покоління (серія X) із SiC-діодом. На відміну від кремнієвого, даний діод не має процесу зворотного відновлення як такого, за рахунок чого динамічні втрати в ньому значно менші. Більш того, динамічні втрати в IGBT також знижені через відсутність викиду струму зворотного відновлення. Як бачимо на рисунку 15, втрати включення E_{on} у транзисторі зменшені на 38%. Це робить можливим збільшення частоти перемикання для даного модуля (до 2 кГц). Якщо ж потрібна ще більш висока частота і менші втрати, то відмінним вибором буде Full-SiC-модуль.

Крім існуючих рішень на базі карбіду кремнію, Mitsubishi Electric веде активну розробку нових SiC-чипів для подаль-

на SiC система охолодження інвертора була також зменшена — підсумковий розмір тяглового інвертора становив лише 50% від початкового [7].

Крім тяглових інверторів, при переході на SiC вираш у втратах перетворювачів власних потреб (ПВП), зарядних пристроїв батарей та DC/DC-перетворювачів стає ще суттєвішим за рахунок збільшення частоти перемикання. Велика частота ШІМ, як правило, дозволяє зменшити розміри пасивних компонентів: трансформаторів, дроселів, конден-

саторів. Більш того, з високочастотною ШІМ зазвичай можливе використання інших, магнітом'яких осердь. Це також дає широкий потенціал збільшення ККД і зниження вартості [8, 9].

Крім великих значень номінального струму та напруги силових модулів, такі застосування як залізничний тран-

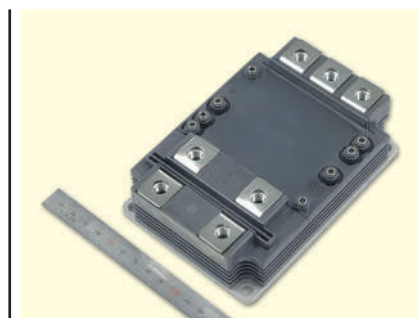


Рис. 13. SiC-модуль транспортного виконання на 3300 В у корпусі LV100 з ізоляцією 6 кВ

Тип	Схема	Тип корпусу	3300 В
2-в-1	ИЛИ	LV100 $V_{iso} = 6 \text{ кВ}$	750 А Full SiC
			375 А
			600 А Hybrid SiC
			600 А
			450 А Silicon

Рис. 14. Лінійка Si- і SiC-модулів на 3300 В корпусах LV100

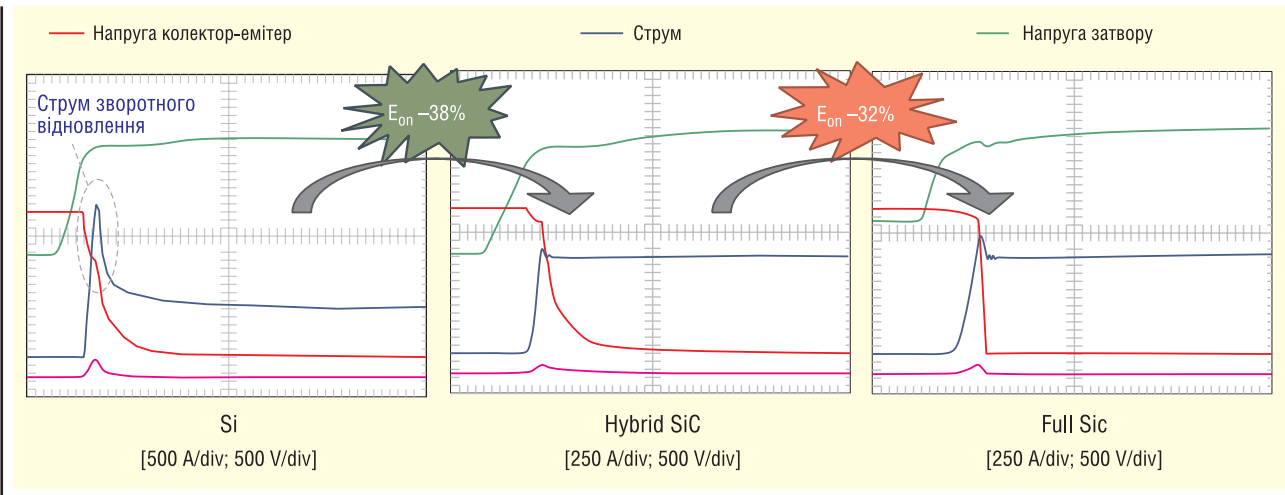


Рис. 15. Порівняння осцилограм включення Si-, гібридного SiC- і Full-SiC-модулів ($V_{ce} = 1800$ В, $I_c = 600$ А, $T_j = +150$ °С, $L_s = 65$ нГн)

шого поліпшення параметрів силових модулів. Один із напрямів досліджень — технологія поєднання кристала зворотного діода Шотткі з MOSFET-структурою. Зазвичай антипаралельний діод використовується для запобігання протіканню зворотного струму через паразитний діод MOSFET-структури, що дозволяє уникнути появи дефектів упаковки. У наступних поколіннях SiC-модулів діоди Шотткі будуть інтегровані

безпосередньо у SiC MOSFET-транзистор (рис. 16). Крім відсутності дефектів упаковки, таке рішення знижує динамічні втрати [11, 12].

Технологія вбудованого в транзистор діода Шотткі використовується й у прототипі Full-SiC-модуля на 6.5 кВ [13]. Даний концепт виконаний у корпусі HV100 (рис. 17) та має номінальний струм 400 А. Як видно з рисунку 18, динамічні втрати в цьому

модулі становлять лише 1/10 від аналогічного кремнієвого IGBT-модуля. Це дає SiC-модулям на 6.5 кВ величезний потенціал застосування з високою частотою перемикання.

ВИСНОВОК

У статті представлені новітні силові модулі компанії Mitsubishi Electric



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

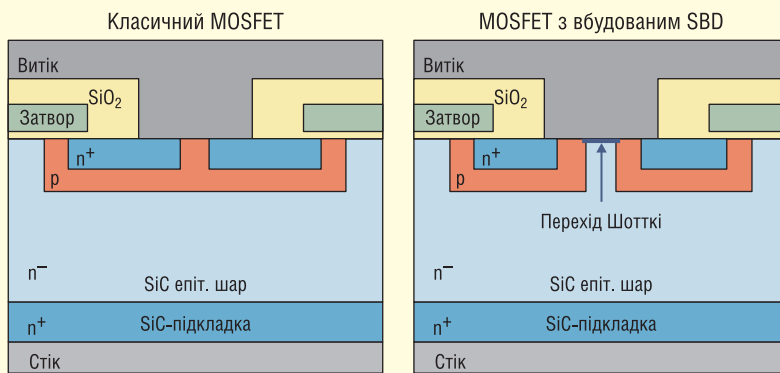


Рис. 16. Структура класичного MOSFET-чипа та MOSFET із вбудованим SBD

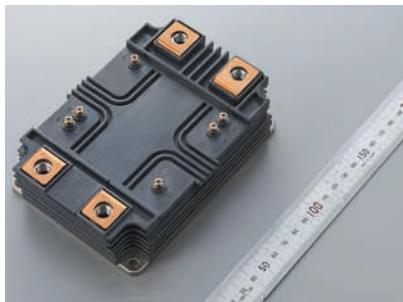


Рис. 17. Full-SiC-модуль на 6500 В у корпусі HV100 з ізоляцією 10.2 кВ

на основі карбиду кремнію в широкому діапазоні робочих напруг і номінальних струмів, розраховані на застосування у великому спектрі потужностей. Описано основні характеристики новітніх поколінь SiC, а також технології, що використовуються при створенні карбід-кремнієвих кристалів. Перетворювачі на базі SiC компанії Mitsubishi Electric забезпечують більш високу ефективність, а також найкращі масогабаритні показники.

Література:

1. Mitsubishi Electric to Launch N-series 1200 V SiC-MOSFET. Mitsubishi Electric Press Release No. 3361. Japan, 2020.
2. Толстопятов В. А. «Mitsubishi Electric» запускает производство дискретных SiC-диодов и транзисторов в корпусах TO-247 // Силовая электроника. 2020. №.6.
3. Mitsubishi Electric to Launch 4-terminal N-series 1200V SiC-MOSFETs. Mitsubishi Electric Press Release No. 3382. Japan, 2020.
4. Mitsubishi Electric to Launch 1200V SiC Schottky Barrier Diode. Mitsubishi Electric Press Release No. 3272. Japan, 2019.
5. Толстопятов В. А., Солтау Н., Таль Э. Новые карбид-кремниевые модули на кристаллах второго поколения // Силовая электроника. 2019. № 4.
6. Soltau N., Thal E., Matsuoka T. The Next Generation of SiC Power Modules // Bodo's Power Systems. September 2019.
7. Sato K., Kato H., Fukushima T. Development of SiC Applied Traction System for Shinkansen High-speed Train.

International Power Electronics Conference (IPEC-Niigata, ECCE Asia, 2018). Niigata, 2018.

8. Helsper M., Ocklenburg M. SiC MOSFET Based Auxiliary Power Supply for Rail Vehicles. 20th European Conference on Power Electronics and Applications (EPE'18 ECCE Europe). Riga, 2018.

9. Wu D., Xiao C., Zhang H., Liang W. Development of auxiliary converter based on 1700V/325A full SiC MOSFET for urban rail transit vehicles. IEEE Transportation Electrification Conference and Expo, Asia-Pacific (ITEC Asia-Pacific). Harbin, 2017.

10. Mitsubishi Electric Installs Railcar Traction System with All-SiC Power Modules on Shinkansen Bullet Train. Mitsubishi Electric Press Release No. 2942. Japan, 2015.

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

12. Murakami T., Sadamatsu K., Imaizumi M., Suekawa E., Hino S. Comparative study of electrical characteristics between conventional and SBD-embedded MOSFETs for next generation 3.3 kV SiC modules. International Exhibition and Conference for Power Electronics, Intelligent Motion, Renewable Energy and Energy Management (PCIM). Germany, 2020.

13. Nakashima J. et. al. 6.5-kV Full-SiC Power Module (HV100) with SBD-embedded SiCMOSFETs. International Exhibition and Conference for Power Electronics, Intelligent Motion, Renewable Energy and Energy Management (PCIM Europe). Germany, 2018.

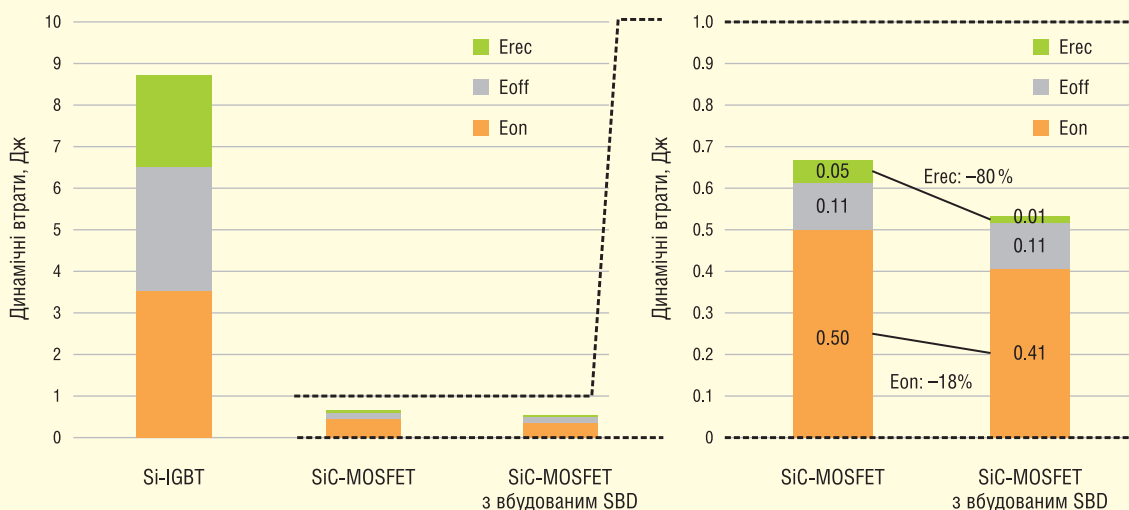


Рис. 18. Порівняння динамічних втрат у Si-IGBT (+150 °C), SiC-MOSFET (+175 °C) та SiC-MOSFET із вбудованим SBD (+175 °C)

Простий метод керування швидкістю наростання напруги для підвищення енергоефективності

Вольфганг Франк (Wolfgang Frank), Infineon

Адаптований переклад українською та технічне редагування:

Андрій Мовчанюк, доцент, кафедра прикладної радіоелектроніки, РТФ, НТУУ «КПІ»

Зменшити динамічні втрати в елементах силової електроніки можна за рахунок керування швидкістю наростання напруги. Вона також пов'язана з рівнем електромагнітних завад (ЕМС). Необхідна швидкість наростання напруги, як правило, забезпечується шляхом вибору опорного резистора в колі керування заслоном силового ключа. Однак, його не можна змінювати у процесі роботи пристрою. У цій статті розглядається варіант вирішення цієї проблеми за рахунок паралельного ввімкнення ІС драйверів заслону.

ВСТУП

Вибір величини опорного резистора в колі керування заслонами силових ключів здійснюється з метою оптимізації процесів перемикання. Зменшення опорного резистора збільшує швидкість перемикання силового транзистора, що зменшує динамічні втрати і, відповідно, сумарні втрати. Збільшення опорного резистора в колі заслону дозволяє зменшити швидкість наростання напруги dv_{CE}/dt чи струму di_C/dt силового ключа. В результаті зменшуються амплітуда коливань напруги, що виникають через паразитні індуктивності та ємності. Отже, для кожної окремої задачі слід шукати своє компромісне рішення.

Однак, інколи достатньо провести оптимізацію кола керування лише для певних режимів роботи силового каскаду, наприклад, для режиму максимального струму в навантаженні та недовантаженого режиму роботи. Такі умови дозволили б зменшити динамічні втрати порівняно з варіантом, коли оптимізація проводиться для номінального струму в навантаженні.

Як типовий приклад можна навести роботу електроприводу в умовах мало-

го навантаження. Перемикання малого струму діода на IGBT може спричинити суттєві коливання напруги, якщо включення другого IGBT відбувається надто швидко. Цей коливальний процес можна значно зменшити або повністю позбутися, якщо величину прямого струму задати на рівні 25% або вище від номінальної величини [1].

ВДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДУ КЕРУВАННЯ ЗАСЛОНОМ

На рисунку 1 наведено типову схему керування заслоном. Один вивід драйвера заслону є джерелом струму i_{OUT+} , що витікає, а інший — приймачем

струму, що втікає i_{OUT-} . В обох випадках величина струму визначається резисторами в колі заслону. Струм i_{OUT+} заряджає ємність заслону транзистора, а струм i_{OUT-} — розряджає.

На відміну від складніших схем керування заслоном [1] або IPM [2], пропонується система керування, що складається з двох стандартних ІС драйверів заслону.

На рисунку 2 представлена нова схема керування заслоном з удосконаленим колом струму, що витікає. У цій схемі два драйвери заслону 1EDI60112AF працюють паралельно. Конфігурація входів IN+ та IN- дозволяє використовувати виводи IN+ для подачі стандартного ШІМ-сигналу керування. Вхід IN- драйвера заслону IC2 керує підключенням чи відключенням виходу IC2 до заслону транзистора, по інвертованому сигналу дозволу/EN. Цей сигнал формується зовнішнім модулем керування в результаті обробки сигналів, що пропорційні струму через силові ключі або їх температурі та ін. Ввімкнення IC2 додає струм i_{OUT+2} до струму керування заслоном i_G першого драйвера.

Рисунок 2 ілюструє ситуацію, коли для вимкнення транзистора використовується лише драйвер IC1. У даному випадку не можна одночасно використо-

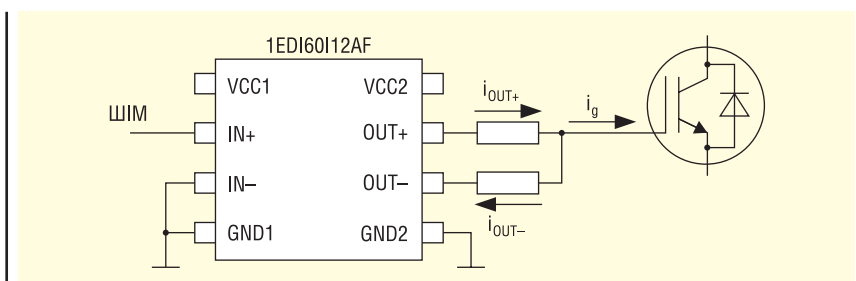


Рис. 1. Типова схема керування заслоном за допомогою однієї ІС

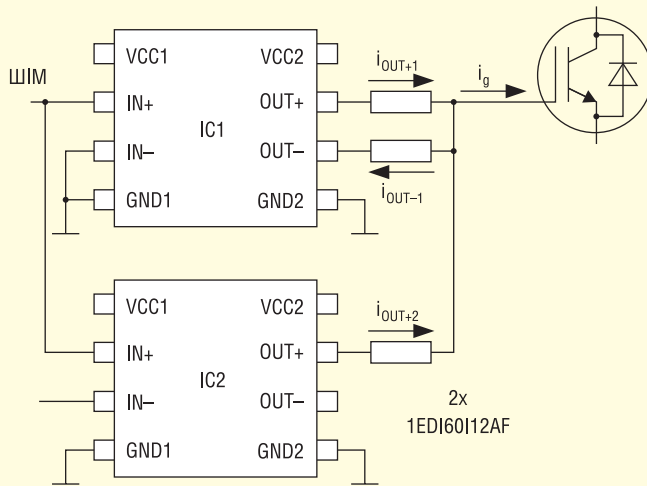


Рис. 2. Вдосконалена схема керування заслоном за допомогою двох ІС драйверів забезпечує простий контроль швидкості наростання

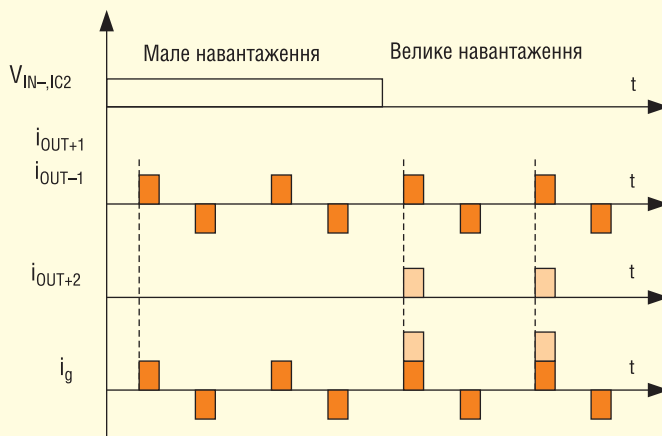


Рис. 3. Часова діаграма струмів драйверів IC1 та IC2 з підвищеним витікаючим струмом

за рахунок виділення надлишкової потужності.

Часова діаграма струму заслону $i_G(t)$ наведена на рисунку 3. Як видно з верхньої частини діаграми, при малому навантаженні струм заслону для вмикання і вимикання забезпечується тільки драйвером IC1. Значення параметрів вмикання, наприклад, максимальну величину dv_{CE}/dt , можна обирати з урахуванням індивідуальних параметрів пристрою або згідно рекомендацій [3]. Перехід між режимами роботи з великим або малим навантаженням здійснюється подачею інвертованого сигналу до входу IN- драйвера IC2 (див. рис. 2). При цьому активується вихід з витікаючим струмом IC2, що прискорює ввімкнення силового ключа. Значення опору додаткового резистора заслону на виводі OUT+ драйвера IC2 обирається за умов забезпечення необхідних динамічних параметрів ввімкнення силового ключа для вирішення конкретної задачі.

АНАЛІЗ РЕЗУЛЬТАТІВ ВИМІРЮВАНЬ

На рисунку 4 представлено експериментальні результати роботи запропонованої схеми керування. Під час роботи визначалися енергія ввімкнення E_{ON} та швидкість наростання напруги dv_{CE}/dt при різних значеннях опору резисторів заслону та струмів колектору. Затворні резистори змінювали в діапазоні 10–47 Ом (суцільними кривими позначені результати для типового рішення), а струми колектору в межах 10–100% від номінального значення. В спеціалізованому програмному забезпеченні було розраховано величину

увати обидва драйвери для вимикання док, коли IC1 є джерелом витікаючого струму. Якщо драйвер IC2 працює з втікаючим струмом, можливий випадок, коли IC1 є джерелом витікаючого струму. В результаті це може привести до виходу зі строю резисторів або IC

10–100% від номінального значення. В спеціалізованому програмному забезпеченні було розраховано величину

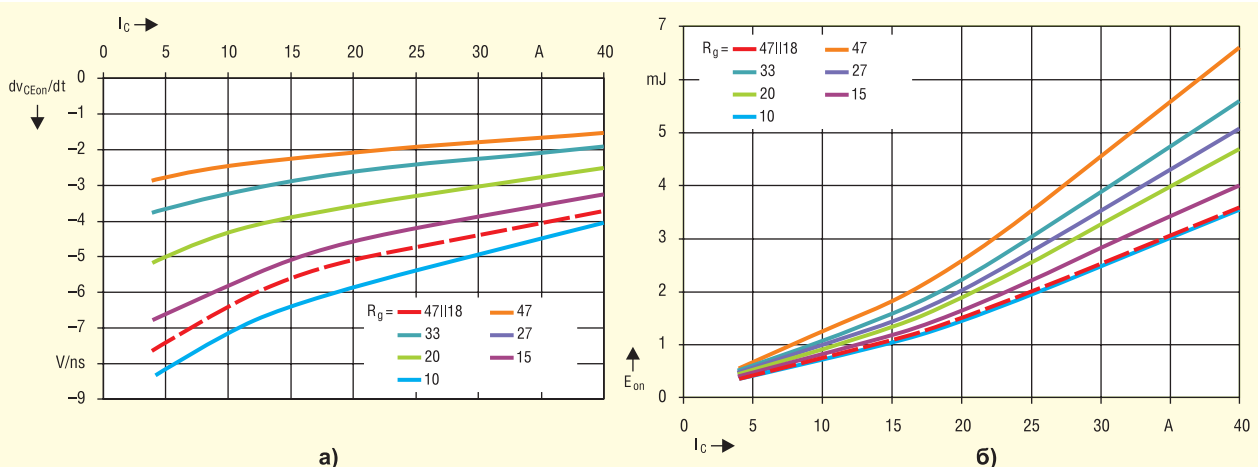


Рис. 4. Вплив запропонованого методу керування на: швидкість наростання напруги dv_{CEon}/dt (а); енергію вмикання E_{ON} ключа (б)

швидкості наростання напруги dv_{CE}/dt в межах 90%/10%. В якості силових ключів було використано IGBT транзистор IKW40N120T2 (40 A/1 200 V) від Infineon.

Швидкість наростання напруги dv_{CEon}/dt зростає при збільшенні колекторного струму. Єдиним винятком стала крива для випадку $R_G = 10$ Ом при $I_C = 10$ А, коли стрибок напруги на паразитній індуктивності щупів вимірювального стенду, призвів до виникнення автоколивань, що унеможливило коректне вимірювання dv_{CEon}/dt .

Те ж саме спостерігалось під час тестування драйвера з характеристикою, позначеною червоним кольором. У ході випробувань використовувалися два драйвери заслону з резисторами $R_{G1} = 18$ Ом та $R_{G2} = 47$ Ом.

У запропонованому методі керування заслоном, резистор R_{G1} можна використовувати при порівняно малих колекторних струмах. Як бачимо, зелена крива для $R_G = 20$ Ом на рисунку 4 демонструє схожі результати, як

і для $R_G = 18$ Ом при значно меншому значенні dv_{CE}/dt . Перехід на паралельну роботу двох ІС драйверів з $R_{G1} = 18$ Ом та $R_{G2} = 47$ Ом можливий при колекторному струмі, що дорівнює 50% від номінального значення ($I_C = 20$ А). Використання запропонованого методу керування дозволяє зменшити енергію ввімкнення транзисторного ключа (рис. 4б) з 4.8 до 3.6 мДж при номінальному струмі. Таким чином, величина цієї енергії стає меншою приблизно на 25%.

ВИСНОВКИ

Використання двох драйверів заслону для керування одним силовим транзистором — простий спосіб підвищити ефективність роботи силових ключів, оскільки значення резисторів в колі заслону на двох виходах можна змінювати незалежно один від одного. Дві ІС дозволяють легко та незалежно

змінювати величину струмів керування. Більше того, завдяки ІС 1EDI60I12AF від Infineon скорочується трудомісткість розробки у порівнянні з дискретними рішеннями, що виконують аналогічні функції. Оскільки зменшення енергії вмикання на 25% і збільшення струму, що витікає, забезпечується стандартним методом, запропоновану концепцію керування заслоном можна віднести до розряду дуже ефективних.

Література:

1. W. Frank: Real-time adjustable gate current control IC solves dv/dt problems in electric drives. Proc. PCIM 2014.
2. Mitsubishi: System Benefits of Using G1 Series Intelligent Power Modules (IPM). Bodo's Power Magazine. Ed. 3. Germany. 2017.
3. Gambica Association: Motor Insulation Voltage Stresses under PWM Inverter Operation, Technical report No. 1. 3rd ed. UK.

CN





Офіційний дистриб'ютор в Україні

Rainbow Technologies
www.rainbow.com.ua
 04112, Україна, м. Київ, вул. Дегтярівська, 62, оф. 46
 Тел./факс: +38 (044) 290-41-69, 290-41-82
svl@rainbow.com.ua







**Постачальник напівпровідників
зі складу та на замовлення**

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

Підвищення ефективності систем із батарейним живленням за допомогою перетворювачів з постійним коефіцієнтом перетворення

Том Куратоло (Tom Curatolo), головний інженер відділу технічної підтримки, Vicor

Конвертери напруги без функції стабілізації з фіксованим коефіцієнтом перетворення працюють як «трансформатори» постійного струму. Вони мають досить високу питому потужність, ККД і гнучкість, які дозволяють створювати більш ефективні схеми подачі живлення (PDN) навіть при використанні джерел живлення з широким діапазоном вихідної напруги, наприклад акумуляторів або відновлюваних джерел енергії. На відміну від широко поширених регульованих DC/DC-перетворювачів, перетворювачі з постійним K дозволяють розробляти та оптимізувати PDN-схеми для підвищення ефективності системи. Розділення функцій перетворення, ізоляції та регулювання забезпечує помітне підвищення ефективності та відчутні переваги усієї системи.

Сучасні системи електроживлення автомобілів, легких електромобілів (LEV), роботів, БПЛА (дронів) та промислових систем, що споживають більше енергії, все частіше використовують первинні джерела з високою напругою 100, 400, 800 В, а розподіл електроживлення здійснюється за більш високих значень безпечної низьковольтної напруги (SELV) у діапазоні 48–60 В. Багато з цих систем, що використовують батареї, відновлювані джерела енергії та паливні елементи як первинне джерело електроенергії, мають одну загальну проблему: їх вихідна напруга змінюється в досить широкому діапазоні.

З цієї причини найбільш затребуваним перетворювачем високовольтних джерел живлення з широким діапазоном вихідної напруги є стабілізований DC/DC-перетворювач з гальванічною розв'язкою у вигляді єдиного функціонального блоку.

Однак DC/DC-перетворювач зовсім не повинен виконувати функції пе-

ретворення, стабілізації та розв'язки в одному функціональному блоці. По суті кожна з цих функцій знижує ефективність перетворювача, збільшуючи втрати енергії у вигляді тепла — основного фактора, що визначає питому потужність DC/DC-перетворювача, а також його вартість та надійність. Оскільки рівні потужності систем підвищуються до багатьох десятків кіловат, втрати насамперед позначаються на масогабаритних показниках перетворювачів. Засоби керування тепловим режимом також значно збільшують розмір та вартість перетворювального каскаду.

АЛЬТЕРНАТИВНА АРХІТЕКТУРА

Зміркувань забезпечення безпеки більшості систем потрібна ізоляція між високовольтними і низьковольтними частинами PDN-схем; при цьому можна розділити функції перетворен-

ня та регулювання/стабілізації вихідної напруги. Після зниження вхідної напруги системи електроживлення за допомогою перетворювача з постійним K до необхідного рівня SELV (визначуваного K) потрібно встановити, де найкраще здійснювати перетворення і регулювання напруги, необхідної для споживачів.

Оскільки рівень потужності зростає в таких застосуваннях як високопродуктивні обчислювальні пристрої та електричні транспортні засоби, в якості безпечної низьковольтної напруги розподільної шини все частіше замість 12 В використовуються номінали 54 і 48 В, відповідно. При більш високих навантажувальних струмах ці вищі значення дозволяють суттєво зменшити втрати потужності (I^2R) у розподільчій схемі та підвищити загальний ККД, а також скоротити масогабаритні показники за рахунок зменшення розмірів кабелів, проводів, роз'ємів та мідних шарів живлення друкованих плат. Однак ключем до використання перетворювачів з постійним K на вході цих систем є здатність будь-якого подальшого проміжного перетворювача і PoL-стабілізатора працювати в широкому діапазоні зміни вхідної напруги при цих більш високих номіналах безпечної низьковольтної напруги. Понижувальні та понижувально-підвищуючі стабілізатори з перемиканням при нульовій напрузі (ZVS) мають переваги за рахунок більш високої ефективності перетворення та регулювання більш високих напруг.

Розглянемо три додатки, ефективність яких значно підвищується за рахунок розподілу цих трьох функцій:

- а) заряджання електромобілів;
- б) робототехніка для сільського господарства;
- в) БПЛА.

ПЕРЕТВОРЕННЯ ВИСОКОЇ НАПРУГИ БЕЗ ГАЛЬВАНІЧНОЇ РОЗ'ЯЗКИ ДЛЯ ЗАРЯДЖАННЯ ЕЛЕКТРОМОБІЛІВ

На ринку електромобілів як основне джерело живлення все частіше використовуються батареї на 800 і 400 В. Підвищення швидкості зарядки бортових акумуляторів при таких напругах сприяє зростанню популярності та поширенню технології електромобілів. Однак жодна зарядна станція не працює одночасно з цими обома напругами батарей. В даний час виробники автомобілів проєктують бортові системи зарядки, які або підвищують напругу станції з 400 В для 800 В акумулятора автомобіля, або знижують 800 В до 400 В для забезпечення сумісності і швидкої зарядки.

Рівні потужності цих бортових перетворювачів змінюються в діапазоні 50–150 кВт. Оскільки зарядна станція має ізольовану та регульовану вихідну напругу постійного струму, а батарея на 800 або 400 В оснащена ізольованим високовольним перетворювачем для електроживлення наступних систем (див. рис. 1), двонаправленому перетворювачу 800/400 В ізоляція та регулювання не потрібні. При використанні топології з високою частотою комутації ККД наближається до 99.3%, що значно знижує розмір і вагу перетворювача цього типу.

ІЗОЛЬОВАНІ ТА НЕІЗОЛЬОВАНІ ПЕРЕТВОРЮВАЧІ ДЛЯ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ РОБОТІВ

Сільськогосподарські роботи — великі машини, для живлення яких, як правило, від батареї на 800 В потрібно до 20 кВт потужності. Оскільки від ефективності електроживлення залежить час роботи між зарядками, цей показник важливий для додатків даного класу. Ізольований шинний перетворювач або перетворювач з постійним К знижують високу напругу до безпечного рівня 48 В, завдяки чому забезпечується найбільша ефективність подачі живлення кабелями і роз'ємами (див. рис. 2). Можливість легко створювати масиви паралельно включених шинних конвер-

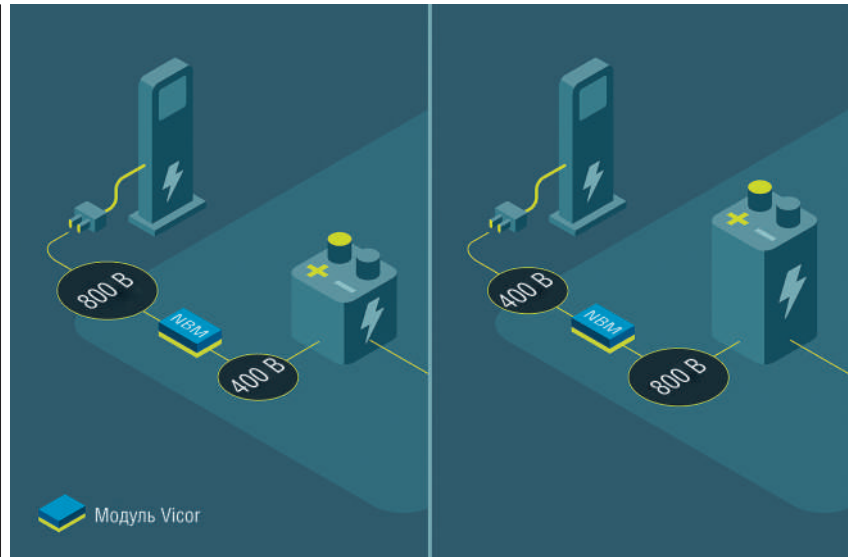


Рис. 1. Для забезпечення сумісності електромобілів і зарядних станцій незалежно від того, чи однакова у них напруга, схема подачі електроживлення використовує неізольований модуль шинного перетворювача з постійним К (NBM) виробництва Vicor для перетворення 800 В в 400 В або назад при потужності 6 кВт. Це високоефективне масштабоване рішення з високою питомою потужністю дозволяє електромобілям з різною напругою батареї використовувати ті самі зарядні станції

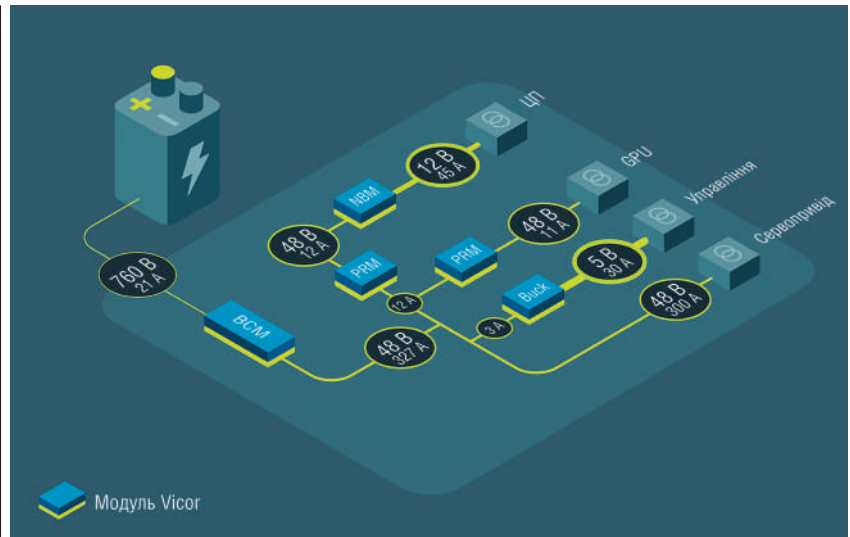


Рис. 2. Для роботи з широким рядом навантажень та економії заряду батареї у схемі подачі живлення сільськогосподарського робота застосовується модуль шинного перетворювача з постійним К (BCM) виробництва Vicor для генерації напруги 48 В, що мінімізує втрати порівняно з шинами, розрахованими на меншу напругу. Електроживлення ефективно розподіляється за навантаженнями за допомогою перетворювачів з постійним К або регульованих PoL-перетворювачів, наприклад NBM, PRM, понижуючих ZVS-перетворювачів та понижувально-підвищуючих ZVS-стабілізаторів компанії Vicor

торів дозволяють масштабувати вхідний каскад та підвищити гнучкість всього рішення. Пряме перетворення та стабілізація 48 В забезпечуються з урахуванням різних навантажень у системі за допомогою високоефективних понижувально-підвищуючих та понижувальних ZVS-стабілізаторів. Наприклад, для жив-

лення системної материнської плати ЦП напругою 12 В найефективнішим рішенням з найбільшою питомою потужністю є неізольований перетворювач 48/12 В з постійним К. Подальше регулювання здійснюється за допомогою багатофазного каскаду 12 В понижуючого PoL-стабілізатора.

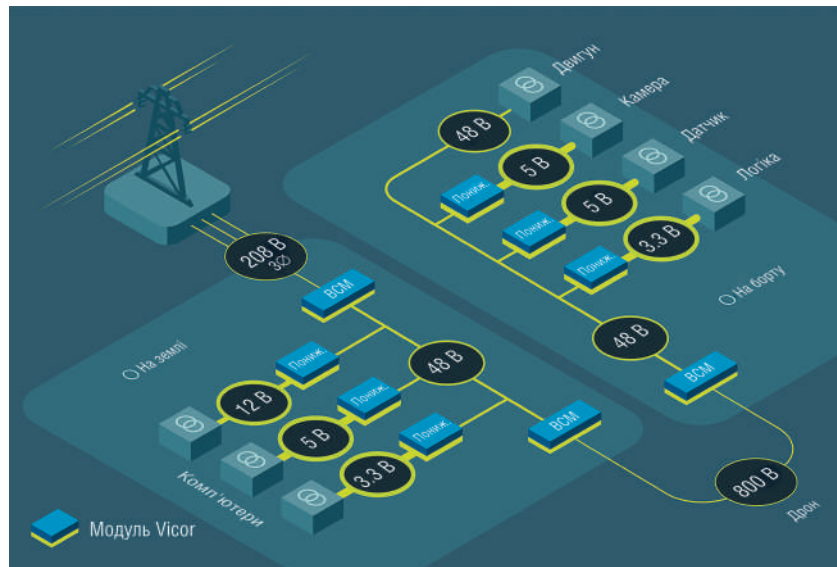


Рис. 3. Щоб суттєво скоротити діаметр і вагу кабелю прив'язного дрона, у схемі подачі електроживлення використовується модуль шинного перетворювача з постійним К (BCM) компанії Vicor, який підвищує напругу кабелю до 800 В. Як і в інших PDN-схем, 48-В шина використовується локально, щоб мінімізувати втрати на землі та в повітрі. BCM-модуль також застосовується для ізоляції та зниження випрямленої вихідної напруги від одно- або трифазного джерела змінного струму до 48 В

ПІДВИЩУЮЧЕ ПЕРЕТВОРЕННЯ БЕЗПЕЧНОЇ НИЗЬКОЇ НАПРУГИ ТА ПОНИЖУВАЛЬНЕ ПЕРЕТВОРЕННЯ ДЛЯ ЖИВЛЕННЯ ПРИВ'ЯЗНИХ ДРОНІВ

Прив'язні дрони застосовуються охоронними, пожежними та рятувальними службами для стаціонарного спостереження, зв'язку та освітлення. Двонаправлений перетворювач з постійним К має дуже ефективну універсальну схему, яка дозволяє використовувати батарейне джерело живлення з низькою безпечною напругою, мінімізувати масогабаритні показники кабелю, щоб максимально збільшити час безвідмовної роботи та корисне навантаження.

У додатках цього класу шинний перетворювач з $K = 1:8$ підвищує напругу з 48 до 384 В для подачі живлення по кабелю; при цьому використовується кабель меншої товщини і скорочуються омичні втрати. Той же перетворювач застосовується на БПЛА для перетворення 384 в 48 В для бортової електроніки і роторної системи дрона. Така PDN-схема забезпечує максимальну ефективність та питому потужність (за рахунок скорочення масогабаритних показників) перетворювача з постійним К, а також дозволяє звільнити частину простору дрона під корисне навантаження. У майбутніх додатках з'явиться можливість підвищу-

вати напругу з 48 до 800 В ($K = 1:16$), щоб збільшити довжину кабелю для роботи на великих висотах, зменшити його товщину та вагу (див. рис. 3).

Ефективність та питома потужність системи електроживлення мають вирішальне значення для працездатності, яка залежить від часу безвідмовного функціонування та зарядки, пройденої відстані, корисного навантаження, не кажучи вже про інші можливі характеристики додатків для ринку автомобілів, роботів та дронів. Було наочно продемонстровано, що навіть при використанні як джерела живлення з широким діапазоном вихідної напруги, наприклад акумуляторних батарей, ефективність PDN-схеми зростає завдяки перетворювачам з постійним К. У цих та інших додатках функції гальванічної розв'язки та стабілізації напруги можуть виконуватися у висхідному або низхідному напрямках так, щоб використання більшої напруги призводило б до скорочення розмірів кабелів, роз'ємів і товщини мідних шарів системних друкованих плат, призначених для підведення напруги до навантаження. Розглянуті в цій статті приклади розподілу електроживлення PDN-схемами показують, як перетворювачі з постійним К у поєднанні з високоефективними ZVS-стабілізаторами дозволяють створити інноваційні виробничі та високоякісні рішення з конкурентними перевагами.

CN

ЕНЕРГОНЕЗАЛЕЖНА ЕЛЕКТРОНІКА: СИСТЕМА VFREE ПОЗБАВИТЬ ДЕВАЙСИ ВІД БАТАРЕЙ

Команда інженерів-програмістів із голландського Делфтського технічного університету та американського Північно-Західного університету розробляють гаджети, час роботи яких не обмежуватиметься ємністю батареї. Нещодавно фахівці показали приставку Game Boy, яка отримувала живлення від фотоелементів та вбудованих генераторів, які виробляли енергію за рахунок натискання на кнопки пристрою. Тепер інженери представили систему, яка дозволить винахідникам, електронікам-аматорам і навіть програмістам-початківцям самостійно модифікувати будь-які саморобні девайси, щоб вони працювали не від акумулятора, а від збираної безпосередньо під час функціонування енергії, яка в тому числі надходить переривчасто.

Платформа VFree — це пристрій VFree Shield, призначений для приймання струму від джерела живлення, та стійке до збоїв живлення програмне забезпечення, написане на Python — одній з найпопулярніших мов програмування. Метою команди було створення придатного для масового використання продукту, який дозволив би поєднати в саморобних пристроях швидкість виготовлення з екологічністю. На відміну від акумуляторів, альтернативні джерела живлення, наприклад, фотоелементи не здатні стабільно видавати енергію. Система VFree покликана зробити цей недолік несуттєвим, тому що вона призначена спеціально для оптимізації роботи девайсів, до яких електрика надходить уривчасто. При відключенні живлення програма призупиняє обчислювальні процеси та зберігає інформацію про них в незалежній пам'яті. Це дозволяє пристрою після відновлення подачі струму відразу продовжити роботу зі стану, в якому він перебував до переривання роботи, не витрачаючи час та енергію на завантаження. Для використання платформи достатньо під'єднати VFree Shield до мікроконтролера Adafruit Metro M0, а потім запрограмувати девайс стандартним способом. Після невеликої модифікації систему можна поєднати з іншим пристроєм, коди для якого пишуться на CircuitPython.

<https://acm.org>

Живлення датчиків для систем технічного обслуговування за станом

Стів Робертс (Steve Roberts)

Ефективне обслуговування складних промислових процесів є ключовим фактором для підтримки високої продуктивності та зниження витрат. Технічне обслуговування в разі потреби (Condition-Based Maintenance, CBM) є альтернативою регулярному плановому технічному обслуговуванню, при якому використовуються дані з датчиків мереж промислового Інтернету речей для розпізнавання тенденції до зниження продуктивності, що відбувається перед збоєм. У статті не лише обговорюється ця проблематика, а й даються рекомендації щодо вибору модулів живлення таких датчиків.

Світ, що розвивається, рухається до все більшого рівня промислової автоматизації, нарощуючи обсяги випуску при менших витратах і розширюючи універсальність сучасних продуктів. Сьогодні багато об'єктів інфраструктури, наприклад центри даних або розподільні склади, ставлять собі за мету працювати при вимкненому світлі з мінімальним втручанням людини та часткою ручної праці, завдяки таким технологіям, як «Індустрія 4.0» або промисловий «Інтернет речей», що стає частиною процесу, при якому моніторинг та контроль проводяться там, де це необхідно для швидкого реагування. Сюди можна віднести і мережу зв'язку між датчиками, виконавчими елементами і центральним пультом. Такий підхід може бути реалізований і за допомогою хмарних технологій, де відбувається збирання та аналіз даних, що використовуються для алгоритму оптимізації на «розумних» підприємствах.

Переваги «розумних» виробництв численні, що приносить чималу економію ресурсів та енерговитрат. Але якщо щось піде не так? Ми не розглядаємо питання «повстання машин», йдеться про просту механічну поломку, або про одиничний збій у вузлі процесора від впливу випромінювання, або про одну з багатьох інших випадкових відмов. Термін експлуатації великої частини електрифікованої інфраструкту-

ри у світі перевищує 25 років, тому збільшення кількості відмов викликає цілком зрозуміле занепокоєння. Хоча розробники і включають резервування критично важливих елементів для компенсації одиничних або навіть подвійних відмов в залежності від додатка і проводять оцінку компонентів, що використовуються, з великим запасом для збільшення надійності, проте знос є даністю будь-якої механічної і навіть електронної системи — адже конденсатори висихають, обмежувачі перенапруг виходять з ладу, а в напівпровідниках накопичуються з часом дефекти кристалічної решітки.

ТЕХНІЧНЕ ОБСЛУГОВУВАННЯ НІХТО НЕ СКАСОВУВАВ

Теоретично можна просто дочекатися несправності та усунути її за фактом, керуючись принципом «працює — не чіпай», але несправності можуть виникнути у будь-який час. Таке коригуюче обслуговування є цілком прийнятним методом для некритичних функцій, наприклад світлодіодів, що перегоріли в матриці або в системах з багаторазовим резервуванням, про які ми вже згадували. Моніторинг стає ключовим моментом, оскільки необхідно чітко розуміти, що відбулася відмова. Обслуговуючий персонал повинен бути напо-

готові, можливо і в режимі «24x7», як кажуть, про всяк випадок.

Для більшості процесів найкращим способом вважається проведення періодичного профілактичного обслуговування та перевірок. Для простої системи це може бути регулярна заміна фільтрів та масла, перевірка та очищення підшипників, а також їх регулювання для компенсації зношування. В електроніці — заміна старих запобіжників, обмежувачів напруги та електролітів. Тут виникає складна дилема: дуже часто заміна призводить до непотрібних витрат як матеріалів, так і витрат на робочу силу, а нечаста може стати причиною відмов. Таким чином, розрахунок періодичності є складним завданням, де береться до уваги минулий час роботи, характер використання, а часто інтуїція та досвід відіграють не останню роль. Для систем, де працездатність стає ключовим фактором, зазвичай проводиться аналіз режимів, наслідків та критичності відмов (Failure Modes and Effects and Criticality Analysis, FMECA), щоб зрозуміти, як часто відбуваються відмови та як вони впливають на весь процес. За такого аналізу можна планувати наявність запасних частин заздалегідь, а роботи проводити у зручний час.

ТЕХНІЧНЕ ОБСЛУГОВУВАННЯ ЗА СТАНОМ

У великих та складних процесах досить складно планувати профілактичне обслуговування, тому використовується альтернативний метод — технічне обслуговування за станом (CBM). Це оптимальний варіант, при якому проводиться заміна або налаштування за фактично виміряного терміну служби. При цьому необхідно знати поточний стан деталі, навіть якщо вона працює бездоганно, але почався процес зносу. Наприклад, масляний фільтр втратив пропускну здатність на 10%, а за 50%

його продуктивність вже вважається неприйнятною. За характером роботи цей стан буде досягнуто за 10 тижнів, відповідно, міняти треба заздалегідь, наприклад, через 8 тижнів. Аналогічним чином, аналізуючи характер вібрацій двигуна або механізму в режимі реального часу та екстраполюючи результати, можна судити про час відмови підшипника.

Для вимірювання та оцінки роботи можна вимірювати рівень технологічних рідин, характеристик та вібрацій, визначати температуру за допомогою безконтактного ІЧ-вимірювання, прозорість масла, характеристики струму та напруги в ланцюгах живлення, проводити ультразвукову діагностику витоків, визначати наявність озону (оцінка іскріння та виникнення розрядів) та багато інших факторів. При застосуванні даного підходу до вже працюючих систем вартість початкових витрат для організації такого складного моніторингу може бути блокуючим фактором, проте довгострокова економія може стати вирішальним аргументом. На щастя, використання систем промислового «Інтернету речей» надає безліч даних, які можна використовувати і для СВМ-аналізу. Додаткові датчики для вимірювання процесу, необхідні для СВМ, зазвичай легко встановити в систему. За своєю природою дані, потрібні для СВМ, змінюються повільно, тому їх передача (як бездротова, так і по лініях зв'язку) і обробка додає незначні витрати у загальну вартість системи промислового «Інтернету речей». Порівняння різних підходів у технічному обслуговуванні наведено на рисунку 1.

ДЛЯ СИСТЕМИ СВМ ПОТРІБНЕ НАДІЙНЕ ЖИВЛЕННЯ ДЛЯ ДАТЧИКІВ

Живлення віддалених датчиків та інтерфейсів може бути забезпечене вузлами IIoT (Industrial Internet of Things) від шини DC, акумуляторів, модулів збору енергії або AC/DC-конвертера. Самі датчики, вузли систем IIoT та модулі живлення можуть знаходитися в жорстких умовах експлуатації через кидки напруги від потужного обладнання, тому необхідно забезпечувати гальванічну ізоляцію як DC-, так і AC-джерел. Крім того, функція моніторингу повинна підтримувати надійну роботу навіть при деградації основного процесу, можливо при більш високих температурах і рівнях вібрації, оскільки обладнання, що

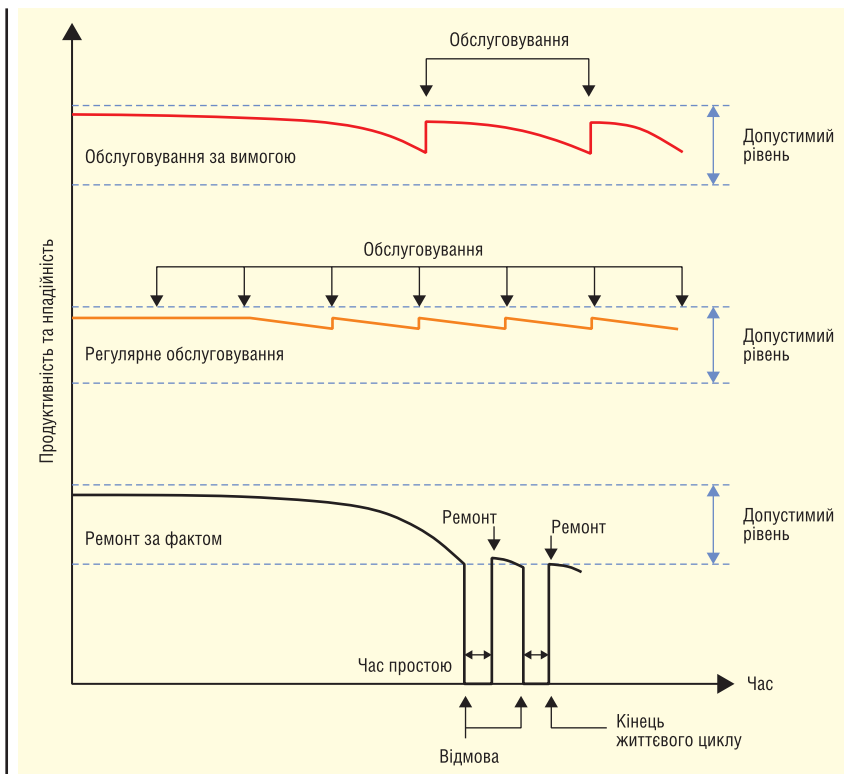


Рис. 1. Вплив типу технічного обслуговування на надійність і продуктивність

забезпечує процес СВМ, має функціонувати без додаткового обслуговування та мати тривалий термін експлуатації. Тому надійність має вирішальне значення, а рівень ККД має бути високим, щоб зменшити втрати енергії та виключити скорочення терміну служби від самонагріву.

Прикладом ізольованого DC/DC-конвертера з високою температурою навколишнього середовища (максимально +140 °C) служить серія RxxCT (E)xx від компанії RECOM, забезпечуючи 0.5 або 1 Вт вихідної потужності при 3.3 або 5 В на виході і 5 В на вході в низькопрофільному корпусі SOIC-16. Вихідна напруга підходить для більшості активних датчиків, мікроконтролерів і цифрових сигнальних процесорів. При використанні ізольованих інтерфейсів CANBus, MODBus або PROFIBus забезпечується посиленна гальванічна ізоляція 5 кВ AC (опційно 3 кВ AC для додатків з більш високими вимогами).

Якщо напруга доступного джерела змінюється в широких межах, наприклад, від сонячної батареї, потрібен стабілізований DC/DC-конвертер. Звичайний лінійний регулятор є неприйнятним рішенням через малий ККД, додатково витрачаючи акумулятор. Серія R-78Exx-1.0 компанії RECOM з ККД, що досягає 97%, — це оптимальний модульний імпульсний регулятор для вирішення

цього завдання, зокрема при живленні від сонячних батарей або на рухомому устаткуванні (моніторинг стану підшипників на осях залізничного транспорту).

Компактні AC/DC-конвертери частіше стають зручним рішенням для забезпечення електроживлення від мережі, зазвичай з номіналом до 277 В AC. Модулі можуть бути об'єднані з шиною IO-Link для промислових датчиків, яка має двонаправлений послідовний інтерфейс і стандартні роз'єми M12. Для живлення потрібна напруга 24 В, а максимальне навантаження становить 410 мА на вузол, тому серії AC/DC-модулів на плату компанії RECOM RAC10, RAC20 та RACM40 потужністю до 40 Вт закривають потреби чотирьох портів IO-Link. Наприклад, малопотужна серія RAC03 може бути використана для контролера процесу з вбудованим бездротовим підключенням та віддаленого моніторингу перевищення температури.

Приклад, показаний на рисунку 2 може бути реалізований в габаритних розмірах приблизно 40×25×25 мм. Інформація про технологічний процес необов'язково обмежена лише температурою, можна вбудувати датчик акустичного шуму, швидкості потоку, газоаналізатор тощо.

Часто температурні ІЧ-датчики, сенсори витoku газу та акустичного шуму встановлюються на стелі приміщень, а

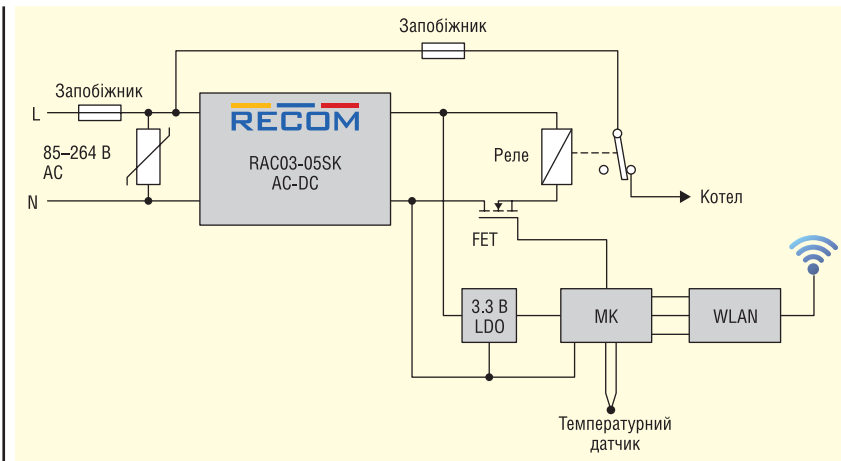


Рис. 2. Компактний AC/DC-конвертер для живлення датчика, мікроконтролера та двонаправленого бездротового зв'язку

живлення забезпечується від лінії освітлення 115, 230 або 277 В AC (напруга фаза-нейтраль в 3-фазних системах 480 В). Передача даних може здійснюватися за протоколом LPWAN далекої дії (LoRa, sigfox, KNX-RF тощо) або мережами стільникового зв'язку (5G, NB-IoT, GSM тощо). Споживана потуж-

ність зазвичай не висока, тому модуль, що встановлюється на плату, наприклад RECOM RAC05-K/277, буде відмінним вибором.

Для забезпечення максимальної автономності деякі вузли та датчики живляться від модулів збору енергії. Це може бути сонячне світло, акустичні,

електромагнітні, вібраційні або температурні градієнти. Напруга на виході джерела може бути низькою, тому необхідний ефективний модуль перетворення для підвищення напруги до рівня, який потрібний для живлення процесора або датчика. RECOM REN-3-31.8 спеціально розроблений для таких завдань і діє при вхідній напрузі від 50 мВ для підтримання подвійного виходу 3.3/1.8 В. REN-3-31.8 включає функцію відстеження точки максимальної потужності (MPP) для роботи від фотоелементів і може бути з'єднаний з батареєю або суперконденсатором для зберігання накопиченої енергії.

Так зване технічне обслуговування за умовами — це оптимальний спосіб підтримки процесу у робочому стані з найменшими витратами, який зручно інтегрується у концепцію промислового «Інтернету речей». Надійні та бюджетні перетворювачі живлення є ключовим елементом систем CBM, а асортимент продукції, що випускається компанією RECOM, повністю задовольняє всі вимоги застосувань.

CN



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

Випробування імпульсних джерел живлення на кондуктивні випромінювання

Шейн О'Коннор (Shane O'Connor), розробник, Bourns

До недоліків імпульсних джерел живлення відноситься генерація гармонік, що виникають при комутації силових ключів, а також через несинусоїдальну форму напруги і струму перетворювача. На їхню величину безпосередньо впливають обрана топологія та схема комутації. Ціль цієї статті — ознайомити читача з основами тестування на наявність кондуктивного випромінювання з використанням DC/DC-перетворювача з низьким рівнем електромагнітних перешкод (ЕМП). Результати вимірювання електромагнітних перешкод аналізуються на прикладі трансформаторів НСТSM8 серії від Bourns.

НЕОБХІДНІСТЬ ПРОВЕДЕННЯ ВИПРОБУВАНЬ НА ЕЛЕКТРОМАГНІТНЕ ВИПРОМІНЮВАННЯ

Щоб вивести електронний виріб на ринок, проводиться тестування на кондуктивні перешкоди (conducted emissions, CE) з метою оцінки ЕМП. Перешкоди від пристрою не повинні перевищувати встановленої межі. Випромінювання електромагнітних перешкод визначається як будь-яка небажана електромагнітна енергія, що розповсюджується пристроєм. Їх можна розділити на дві категорії: кондуктивні та випромінювані. Кондуктивні перешкоди поширюються у провідних середовищах, наприклад, по проводах, доріжках друкованих плат та роз'ємах. Випромінювані перешкоди поширюються повітрям між своїм джерелом і приймачем.

Паразитні елементи трансформатора, наприклад, індуктивність розсіювання і міжобмотувальна ємність, можуть значно впливати на випромінювання електромагнітних перешкод. Міжобмотувальна ємність утворюється між первинною та вторинною обмотками. Напруга на первинній обмотці прикладається до цієї ємності, викликаючи перебіг синфазних струмів через бар'єр. Двотактна топологія дозволяє великою мірою вирішити цю проблему за рахунок збалансованої конфігурації перемикачів, коли синфаз-

ні струми в кожній половині обмотки взаємно гасять один одного. Розглянута нами схема складається з послідовного трансформатора НСТSM8 компанії Bourns та двотактного драйвера SN6501 від Texas Instrument. Разом вони дозволяють реалізувати відмінний двотактний DC/DC-перетворювач із низьким рівнем електромагнітних перешкод.

ТЕСТУВАННЯ НА НАЯВНІСТЬ КОНДУКТИВНИХ ПЕРЕШКОД

Рівень ЕМП регулюється стандартами. Виробники повинні сертифікувати вироби відповідно до стандартів. Тестування — найважливіший етап сертифікації. Стандарт встановлює максимальний рівень допустимих електромагнітних перешкод, які може випромінювати пристрій за нормальної роботи. Він також визначає випробувальне встановлення для об'єктивної оцінки результатів вимірювань. Давайте подивимося, як виконується тестування відповідно до стандарту.

Випробувальна установка

Вимірювання рівня електромагнітних перешкод здійснюються з допомогою схеми на рисунку 1. Тестування цього типу називається попередніми випробуваннями на відповідність. Вони

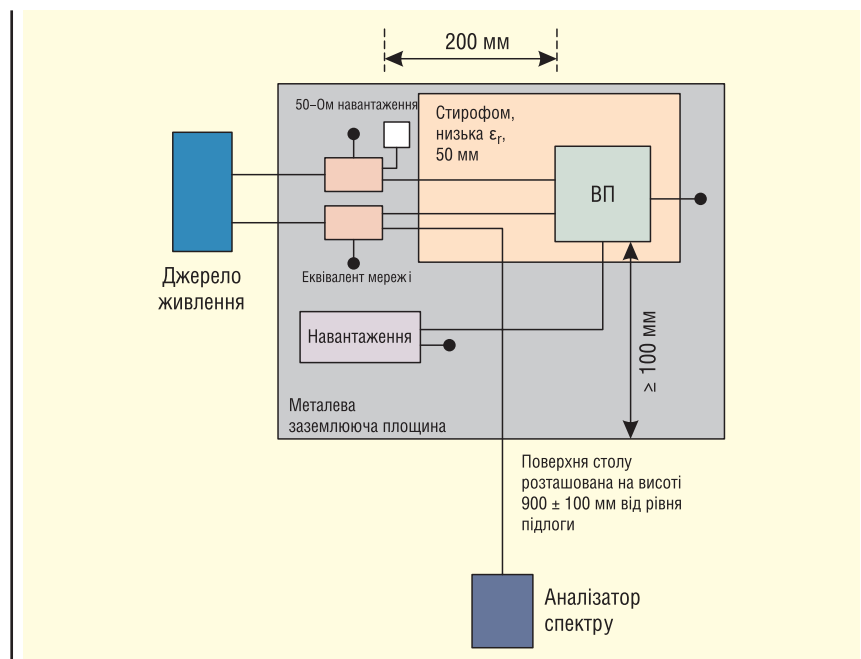


Рис. 1. Установка для вимірювання кондуктивних перешкод відповідно до стандарту CISPR 25

Таблиця 1. Пікові та квазіпікові граничні рівні CISPR 25

Сервіс/полоса	Частота, МГц	Рівні, дБмкВ									
		Клас 1		Клас 2		Клас 3		Клас 4		Клас 5	
		п.к.	квазіп.к.	п.к.	квазіп.к.	п.к.	квазіп.к.	п.к.	квазіп.к.	п.к.	квазіп.к.
Широковіщення											
ДВ	0.15–0.30	110	97	110	87	90	77	80	67	70	57
СВ	0.53–1.8	86	73	78	65	70	57	62	49	54	41
КВ	5.9–6.2	77	64	71	58	65	52	59	46	53	40
УКВ	76–108	62	49	56	43	50	37	44	31	38	25
ТВ-1	41–88	58		52		46		40		34	
Мобільні сервіси											
Безліцензійна смуга частот	26–28	68	55	62	49	56	43	50	37	44	31
ОВЧ	30–54	68	56	62	49	56	43	50	37	44	31
ОВЧ	64–87	62	49	56	43	50	37	44	31	38	25

Таблиця 2. Середні граничні рівні CISPR 25

Сервіс/полоса	Частота, МГц	Рівні, дБмкВ				
		Клас 1	Клас 2	Клас 3	Клас 4	Клас 5
		Середній	Середній	Середній	Середній	Середній
Широковіщення						
ДВ	0.15–0.30	90	80	70	60	50
СВ	0.53–1.8	66	58	50	42	34
КВ	5.9–6.2	57	51	45	39	33
УКВ	76–108	42	36	30	24	18
ТВ-1	41–88	48	42	36	30	24
Мобільні сервіси						
Безліцензійна смуга частот	26–28	48	42	36	30	24
ОВЧ	30–54	48	42	36	30	24
ОВЧ	64–87	42	36	30	24	18

дають уявлення про те, чи відповідає пристрій вимогам стандарту ЕМП, і дозволяють внести зміни в конструкцію до етапу сертифікації кінцевого виробу. На рисунку 1 показано використовувана випробувальна установка. Аналізатор спектру вимірює випромінювання випробуваного пристрою (ВП), рівень якого порівнюється з граничними значеннями, встановленими стандартом.

Еквівалент мережі

Для тестування пристрою на кондуктивні перешкоди застосовується еквівалент мережі (Line Impedance Stabilization Network, LISN), як показано на рисунку 2. Він гарантує,

що імпеданс джерела визначено та узгоджено з вхідним імпедансом аналізатора спектра (50 Ом). Більш того, еквівалент повинен забезпечити точне вимірювання шуму випробуваного зразка. Еквівалент блокує будь-який високочастотний шум, що надходить по лініях живлення від джерела, а також запобігає будь-якому шуму, що їх залишає. При цьому еквівалент мережі пропускає низькочастотні сигнали.

CISPR 25

Перетворювачі потужності для автомобільних програм проходять випробування відповідно до стандарту CISPR 25, який визначається як «Радіоперешкоди. Межі та методи вимірювання характе-

ристик для захисту приймачів, встановлених на борту транспортних засобів, суден та машин». Стандарт визначає різні класи. Клас пристрою вибирається залежно від того, де він використовується у системі транспортного засобу. Існують п'ять класів, з яких клас 5 має найсуворіші обмеження. Допустимі межі вказані в таблицях 1–2.

Вимірювання кондуктивних перешкод

Детектор застосовується для перетворення вихідного сигналу, що змінюється в часі, еквівалента мережі в сигнал фіксованого рівня для вимірювання. Зазвичай для детектування використовуються три методи, що дозволяють встановити: квазіпікові (QP), пікові (PK) та середні (AV) значення. Стандарт визначає граничні значення для кожного методу. Для попереднього тестування на відповідність краще почати з детектування пікових значень. Якщо результати детектування пікових значень виявляються нижчими за встановлену межу QP і AV в більшості випадків завершуються успішно.

Приклад тестованого пристрою

Трансформатори для двотактних перетворювачів серії HCTSM8 від компанії Vourns застосовуються в ізолюваних драйверах затворів або системах управління батареями (BMS) в обладнанні промислової автоматизації, керуванні виробничими процесами та джерелах живлення з ізолюваними інтерфейсами CAN, RS 485, RS 422, RS, SPI, I2C. Вони були протестовані та затверджені компанією Texas Instruments (TI) для використання з двотактним драйвером SN6501 TI. Для отримання характеристик ЕМП було проведено відповідне тестування двотактної схеми з використанням драйвера SN6501 та

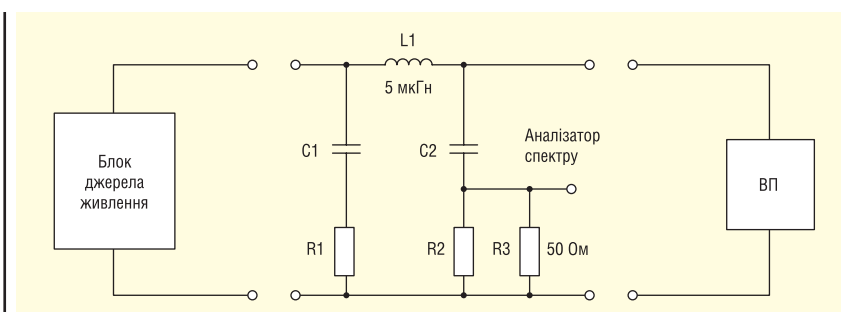


Рис. 2. Схема еквівалента мережі

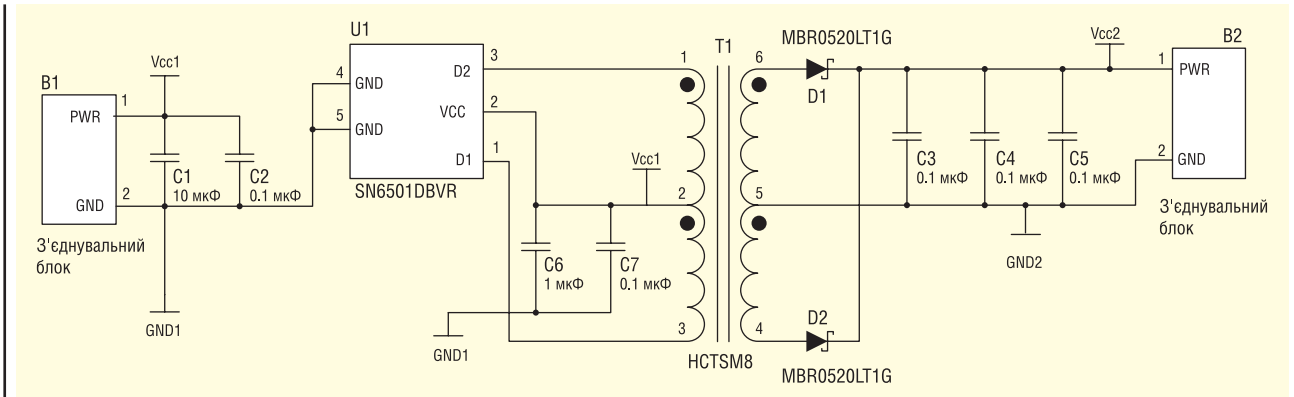


Рис. 3. Схема 1

трансформатора HCTSM8. На рисунку 3 показана випробувальна схема для тестування ЕМП.

Процедура тестування

Схему тестування показано на рисунках 4–5. Установка відповідає стандарту CISPR 25. Лінійне джерело живлення

подає напругу 5 В. У кожній лінії живлення встановлено по одному еквіваленту мережі. Для узгодження з імпедансом зворотного порту еквівалента мережі використовується 50 Ом навантаження, а шум іншого еквівалента в лінії живлення вимірюється аналізатором спектра. До ВП підключено резистивне навантаження 100 Ом. Перед увімкненням живлення скануються перешкоди навколишнього середовища, а потім здійснюється вимірювання пікових рівнів. З вимогами стандарту порівнюються найбільші амплітуди гармонік.

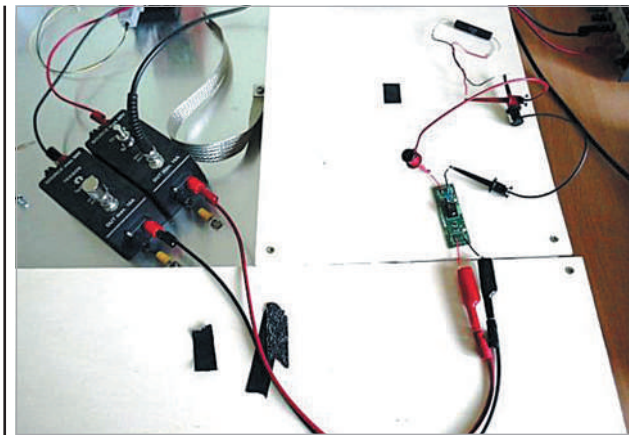


Рис. 4. Еквіваленти мережі та випробуваний пристрій в установці для вимірювання кондуктивного випромінювання

Результати тестування

Результати вимірювання пікових значень показані на рисунку 5 кривою червоного кольору, а синя крива відображає виміряні середні величини. Зауважимо, що для аналізу було обрано стандарт CISPR 25 Class 5. Зелена лінія на графіку встановлює граничний квазіпіковий рівень для конкретної смуги частот, а синя лінія — граничний рівень середніх значень конкретної смуги частот. Результати вимірювання пікових значень та граничні рівні квазіпікових значень обговорюються далі.

Результати вимірювання кондуктивних перешкод

Частотна характеристика кондуктивних перешкод трансформатора HCTSM80304BAL показана на рисунку

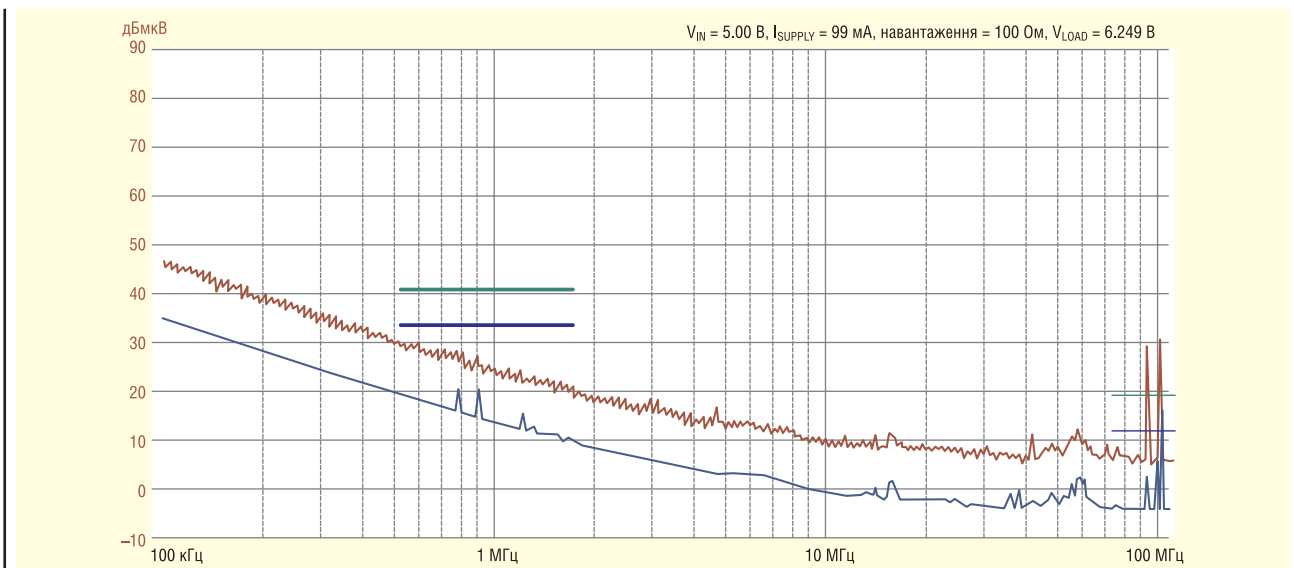


Рис. 5. Результати сканування перешкод навколишнього середовища

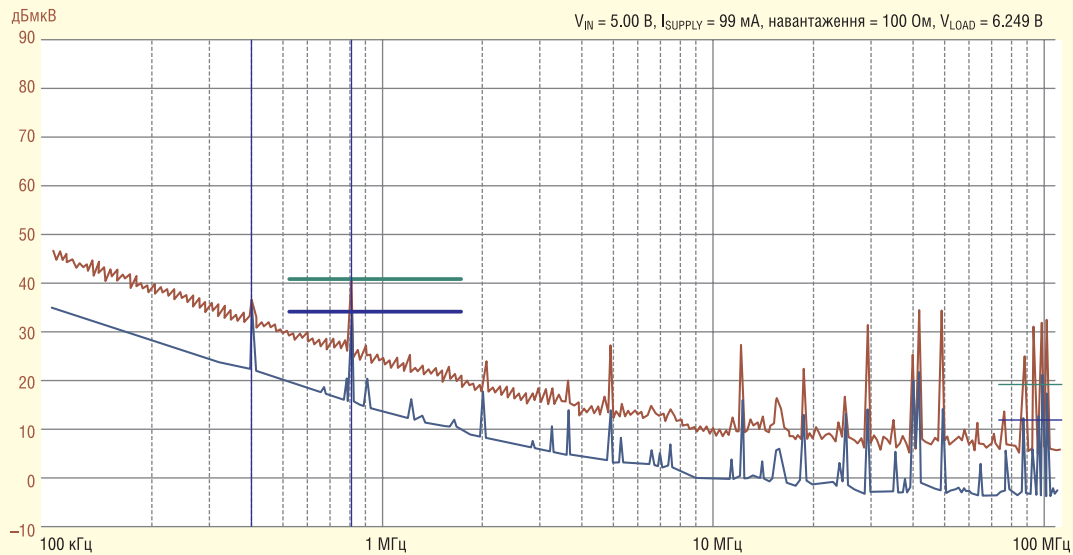


Рис. 6. Результати вимірювання кондуктивних перешкод трансформатора NCTSM80304BAL

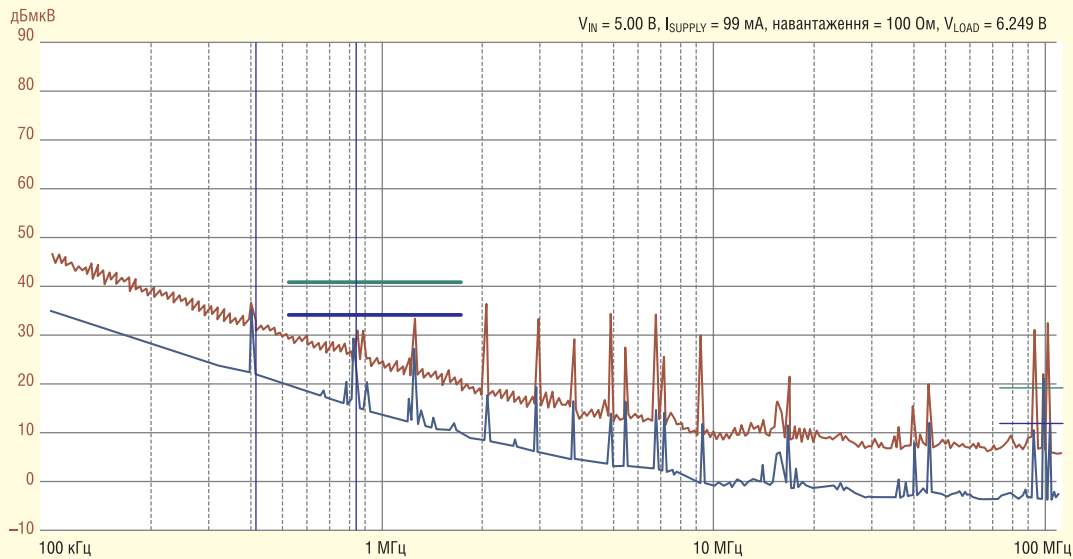


Рис. 7. Результати вимірювання кондуктивних перешкод трансформатора NCTSM80803AAL

ку 6. Її необхідно отримати перед тестуванням. За наявності гармонік з великою амплітудою випробувальний пристрій віднімає їх від усіх вимірних результатів.

Вимірювання проводилися за наступних значень параметрів: $V_{IN} = 5.00$ В, $I_{SUPPLY} = 99$ мА, навантаження = 100 Ом, $V_{LOAD} = 6.249$ В.

На рисунку 7 показано результати вимірювання електромагнітних перешкод трансформатора Bourns NCTSM80304BAL. Комутаційна частота становить 420 кГц. Отже, на частоті 840 кГц, яка кратна частоті перемикачання, у гармоніки велика амплітуда. У діапазоні $1-10$ МГц відсутній сигнал, що викликає збої. На частоті 100 МГц віднімається велика пікова амплітуда

гармоніки, якщо вона є у результатах сканування перешкод навколишнього середовища.

Вимірювання проводилися за наступних значень параметрів: $V_{IN} = 5.00$ В, $I_{SUPPLY} = 18$ мА, навантаження = 100 Ом, $V_{LOAD} = 1.632$ В. На рисунку 7 наведено результати вимірювання електромагнітних перешкод трансформатора NCTSM80803AAL. На частоті 840 кГц спостерігається велика амплітуда гармоніки, яка кратна основній частоті, що перевищує граничне квазіпікове значення 41 дБмкВ. У діапазоні $1-10$ МГц збої відсутні. На частоті 100 МГц віднімається велика пікова амплітуда гармоніки, якщо вона є у результатах сканування перешкод навколишнього середовища.

ВИСНОВКИ

Розробникам силових DC/DC-перетворювачів потрібна така схема, яка не тільки забезпечує необхідну потужність та ефективність за конкурентоспроможної вартості, а й відповідає всім застосовним нормам електромагнітної сумісності. Ми представили короткий огляд вимог до ЕМС, у т.ч. описали випробування, проведені компанією Bourns з використанням ізолюваного 5-В рішення на основі трансформатора NCTSM8 від Bourns та мікросхеми драйвера SN6501 компанії TI. Результати випробувань свідчать про те, що комбінація драйвера SN6501 та рішення NCTSM8 забезпечує відповідність стандартам і дозволяє зрештою скоротити час виведення продукції на ринок. **СН**

Плоскопанельні детектори рентгенівського випромінювання компанії BOE: технологія та застосування

Олександр Самарін, Віктор Єгоров

Один із ключових бізнес-напрямків китайської компанії BOE — смарт-медицина. Об'єктами розробки компанії є медичне обладнання, інтелектуальні системи, обладнання для охорони здоров'я, а також плоскопанельні датчики цифрової радіографії (Digital Radiography, DR) [1]. В даний час плоскопанельні цифрові рентгенівські датчики широко застосовуються в сучасних комп'ютерних рентгенівських апаратах та системах у стоматології, ортопедії, апаратах мамографії, флюорографії, рентгеноскопії та в кардіохірургії. Компактність сучасних рентгеноскопичних апаратів дозволяє легко переміщати їх у палатах та встановлювати у мобільних шпиталях. Ефективність застосування та компактність сучасних рентгенівських апаратів багато в чому визначається використанням плоскопанельних цифрових рентгенографічних датчиків, які також успішно застосовуються і у сфері промисловості та безпеки — наприклад, для дефектоскопії матеріалів і пристроїв, в апаратах рентген-контролю на вокзалах і аеропортах.

РЕНТГЕНОГРАФІЯ ТА РЕНТГЕНОСКОПІЯ

Рентгенографія вважається найпоширенішим рентгенологічним дослідженням, оскільки надає важливу інформацію про стан органів. В основі цього методу лежить рентгенівський знімок, завдяки якому можна виявити переломи кісток, запалення легенів та інші захворювання. І тому за допомогою зовнішнього джерела рентгенівського випромінювання виконується пряма (оглядова) рентгенографія. Якщо результати прямої рентгенографії недостатні, робиться бічна проекція, але таке дослідження застосовується рідше. Оглядова рентгенографія відноситься до найбільш поширених способів досліджень, проте трапляються випадки, коли потрібно провести контрастну рентгенографію. При контрастній рентгенографії

в організм до дослідження повинна бути введена спеціальна речовина, яка може розподілятися по стравоходу, кишечнику, кровоносних судинах, шлунку або сечовому міхуру. Завдяки чому з'являється можливість виявити різні порушення, оцінити структуру та прохідність органу. Саме запровадження такої речовини є особливістю контрастної рентгенографії, що проводиться у режимі реального часу. Якщо при рентгенівському дослідженні вивчаються показники в динаміці, таке дослідження називається рентгеноскопією та виконується як з використанням контрастної речовини, так і без неї.

Історія розвитку технології рентгенографії

Історія рентгенології та рентгенографії починається у 1895 році, коли Вільгельм Конрад Рентген вперше зареєстрував затемнення фотопластинки під дією рентгенівського випромінювання. Першим рентгенівським знімком наприкінці 1895 став знімок долоні руки його дружини Берти. У червні 1896 року військові лікарі почали використовувати лабораторні рентгенівські апарати виявлення положення куль у поранених солдатів. Інтерес до рентгенографії швидко зріс у всьому світі.

Починаючи з появи першого рентгенівського знімка і досі для фіксації та зберігання рентгенівського зображення застосовується рентгенівська фотоплівка та супутні технології процесу прояву та фіксування зображення.

З 1981 року розпочалася епоха комп'ютерної радіографії. Для перетворення рентгенівського зображення на цифрове та введення даних у комп'ютер використовувалася ПЗЗ-камера та плоскопанельний детектор рентгенівського випромінювання. Зображення з пластини скінцилятора (це був тоді DR-детектор) зчитувалося оптикою ПЗЗ-камери. У 1992 році було розроблено перші зразки плоскопанельних DR-детекторів, у яких застосовувалася матриця фотосенсорів на основі технології аморфного кремнію. Використання безплівкової радіографії дозволило значно скоротити вартість процедури, підвищити ефективність та оперативність аналізу зображення та прийняття правильного рішення під час діагностики.

КОНСТРУКЦІЯ ПЛОСКОПАНЕЛЬНИХ DR-ДЕТЕКТОРІВ

Плоскопанельні DR-детектори конструктивно виконували у форматі касет рентгенівської плівки для сумісності з



Рис. 1. Варіант конструктивного виконання плоскопанельного цифрового рентгенівського детектора

- джерело рентгенівського випромінювання;
- плоскопанельний DR-датчик зі схемами зчитування даних, АЦП та інтерфейсом з комп'ютером;
- комп'ютер (ноутбук);
- програмне забезпечення для візуалізації, аналізу, збереження знімків. Області застосування плоскопанельних DR-детекторів:
- відділення інтенсивної терапії, операційні, реанімаційні палати;
- рентгенівські апарати стоматології;
- зони бойових дій та мобільні госпіталі;
- місця аварій та катастроф;
- ветеринарія;
- влаштування неруйнівного контролю матеріалів;
- лабораторні апарати рентгеноскопії;
- системи безпеки на вокзалах та аеропортах (радіаційний контроль багажу).

рентгенівськими апаратами того часу, що використовують плівкові касети.

Тому розміри будь-яких плоскопанельних DR-детекторів, що серійно випускаються (рис. 1) у всьому світі строго стандартизовані і історично прив'язані до форматів рентгенівських касет. У назві будь-якої моделі детектора є код виробника, серія виробу та розмір корпусу детектора в дюймах. Наприклад, модель детектора 1717 має розмір 17×17 дюймів.

Основні характеристики плоскопанельних DR-детекторів:

- розмір активної області детектора;
- фактор оптичної сприйнятливості поверхні детектора;
- розмір/крок точки (пікселя) цифрових зображень;
- гранична просторова здатність;
- розмір матриці зображення;
- градаційна роздільна здатність;
- вага.

Виробництво плоскопанельних рентгенівських датчиків — один із секторів медичного напряму бізнесу ВОЕ. Можливості технології — робота з гнучкими та жорсткими підкладками, базові операції КМОН, аморфний кремній, нанесення товстих плівок, складання з мікросхем на поліімідних носіях. Все це дозволило компанії налагодити випуск плоскопанельних детекторів. Нині на цьому ринку працюють десятки компаній і, відповідно, існує досить жорстка конкуренція. Формати приладів, задані в дюймах, визначені необхідністю сумісності з раніше створеним рентгенівським обладнанням, розрахованим працювати з фіксацією зображення на рентгенівській фотоплівці. Однак такий метод вже застарів: матеріал дорогий, зберігання об'ємних знімків та архівування важко. Для комп'ютерної обробки потрібна цифровізація. Для комп'ютерного аналізу сучасних методів діагностики такі носії не зручні.

Бездротова система цифрової радіографії надає найінноваційніші технології для обробки рентгенівських зображень.

Для передачі оцифрованого зображення в пам'ять ноутбука або на екран дисплея, для аналізу, обробки та зберігання використовуються стандартні інтерфейси USB або Ethernet. Останнім часом обидва інтерфейси стали доповнюватися бездротовим швидкісним Wi-Fi-інтерфейсом.

Комп'ютерна рентгенографічна система має наступний склад:

- джерело живлення (перетворювач) для рентгенівського випромінювача;

ЦИФРОВІ ДЕТЕКТОРИ ПРЯМОГО ТА НЕПРЯМОГО ПЕРЕТВОРЕННЯ

Енергія рентгенівського випромінювання, проходячи через різні органи людського тіла, поглинається по-різному. Після проходження через середовище з різною щільністю та коефіцієнтами поглинання вихідний рентгенівський двовимірний потік (умовно рівномірний) перетворюється в енергетичний потік з розподілом двовимірного профілю. Піксельний плоскопанельний детектор перетворює рентгенівське випромінювання (рис. 2), що проходить через людське тіло, в електричні сигнали, зчитує заряд кожного пікселя, перетворює аналоговий сигнал на цифровий і відправляє його на FPGA. Після обробки та фільтрації на екрані дисплея формується зображення, яке аналізує рентгенолог чи лікар.

Плоскопанельні детектори розрізняються за принципом перетворення енергії рентгенівського випромінювання.

У детекторах з непрямим перетворенням рентгенівське випромінювання проміжною плівкою сцинтилятора спочатку трансформується на випромінювання видимого спектра, яке потім за допомогою матриці фотодетекторів конвертується в двовимірний профіль електричних сигналів. Як піксельні сенсори можуть використовуватися тонкоплівкові транзистори аморфного кремнію або рпн-фотодіоди, які забезпечують більшу швидкість і вимагають меншого часу експозиції.

Пряме перетворення — метод, який без проміжного сцинтиляційного кроку перетворює поглинений рентгенівський промінь в електричний заряд пропорційного розміру. У детекторах прямого перетворення двовимірний профіль рентгенівського зображення електричні сигнали в якості рентгеночутливого матеріалу, як правило, застосовується плівка аморфного селену (aSe). Системи прямого перетворення стали доступними завдяки тому, що технологічні досягнення зменшили ефекти затримки, викликані захопленням заряду в напівпровіднику, та були реалізовані схеми захисту від перезарядки. Рентгенівський промінь не перетворюється на світло, тому немає паразитного розсіювання світла на шляху до фотосенсора. Це забезпечує більш чітке зображення і вищий контраст, ніж у випадку з непрямим типом перетворення, дозволяє конвертувати рентгенівське випромінювання безпосередньо в цифровий сигнал без сцинтиляторів або фосфору. Через відсутність впливу розсіювання та оптимального відношення сигнал/шум зображення досягає

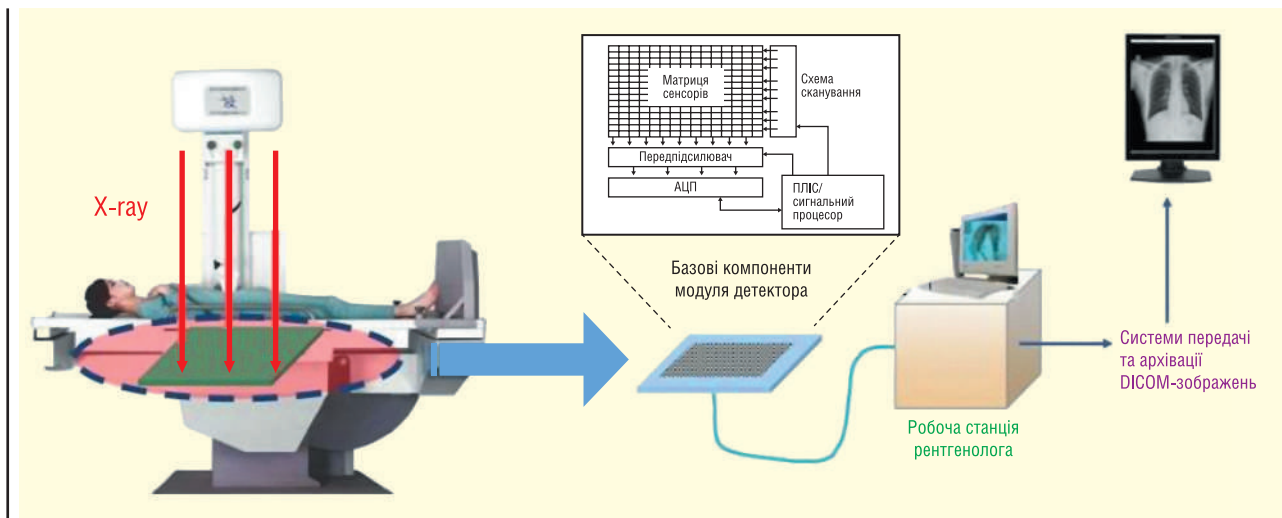


Рис. 2. Архітектура рентгеновської апаратури на основі плоскпанельного DR-датчика

якості, характерної для середньозернистої плівки. Обмеженням селенового детектора стає вузький діапазон робочих температур. Як для роботи, так і при зберіганні детектор потрібно підтримувати в температурному діапазоні $+5 \dots +30 \text{ }^\circ\text{C}$, щоб уникнути руйнування шару селену. Також при високих енергіях ($>180 \text{ keV}$) селен схильний до утворення фантомних зображень.

Всі ці обмеження роблять допустимим застосування аSe-панелей у дуже специфічних умовах, де можна суворо контролювати необхідні для цих панелей умови роботи. Детекторна система прямого перетворення на основі CdTe вільна від низки недоліків системи на основі аSe і може працювати в значно ширшому температурному діапазоні при енергіях рентгеновських квантів до 300 keV , маючи в кілька разів більшу чутливість.

На рисунку 3 показано типову структуру DR-датчика. Джерело рентгеновського випромінювання формує тестовий потік, який, проходячи через контрольований об'єкт (тіло людини,

матеріал, пристрій), пропорційно послаблюється локальною щільністю поглинання енергії променів, що проходять. Таким чином, формується двовимірний образ тіні, або профілю щільності, об'єкта.

Сцинтилятор перетворює енергію рентгеновського випромінювання на видимий спектр. Плівка радіаційно чутливих сцинтиляційних матеріалів наноситься поверх матриці фотосенсорів. Отримане зображення видимого спектру від плівкового шару сцинтиляції далі конвертується в сигнал напруги масивом фотодатчиків. Технологія виробничих лінійок BOE, що використовуються для формування TFT-матриць дисплеїв, дозволяє отримувати матриці фотодатчиків для DR-детекторів великої площі та з більшою роздільною здатністю.

СТРУКТУРА МАТРИЦІ СЕНСОРІВ

У структурі кожного пікселя міститься чутливий до випромінювання сен-

сор (фотодіод або транзистор), ключ адресації рядка матриці та підсилювач вихідного сигналу. Збирання заряду в такому детекторі відбувається відносно швидко і займає близько 100 нс . Двовимірний масив фотосенсорів матриці зчитує кожен кадр із заданою частотою. Далі за допомогою АЦП аналогові значення профілю зображення перетворюються на цифровий код і через інтерфейс комп'ютера (провідний USB або Ethernet або бездротовий Wi-Fi) передаються в пам'ять керуючої програми. Програма забезпечує попередню обробку для усунення артефактів та шумів зображення. Використовується інтегрування кількох послідовних кадрів сканованого профілю, що дозволяє значно покращити контраст та роздільну здатність зображення. Робочий цикл пікселя містить три фази — фазу скидання залишкового заряду на ємності сенсора, фазу інтегрування зарядів, що утворюються при впливі фотонів випромінювання, фазу передачі аналогового сигналу через ключ адресації. Зчитування даних із запам'ятовуючого елемента відбувається одночасно, послідовно, рядок за рядком; 12-бітовий АЦП оцифровує порядково аналоговий сигнал кожного пікселя.

КОНСТРУКЦІЯ МОДУЛЯ DR-ДЕТЕКТОРА

Конструктивно модуль DR-детектора (рис. 4, 5) виконаний у вигляді плоскої касети, що має розміри, стандартизовані під касети рентгеновської плівки.

У матрицях адресації може використовуватися технологія тонкоплівкових транзисторів на основі аморфного

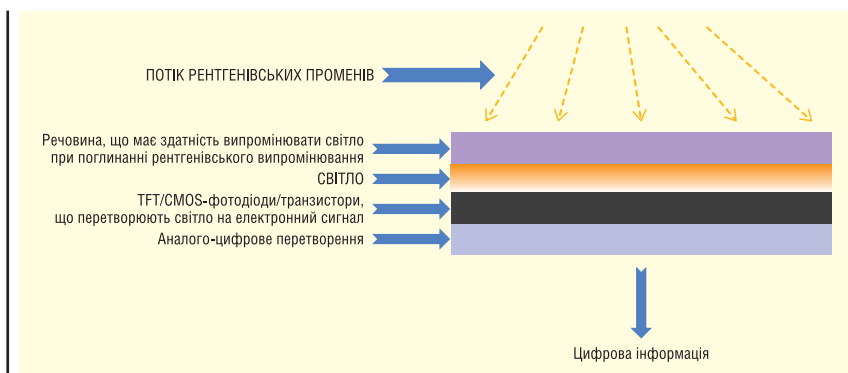


Рис. 3. Принцип перетворення рентгеновського випромінювання у DR-детекторі з непрямим перетворенням енергії рентгеновських променів

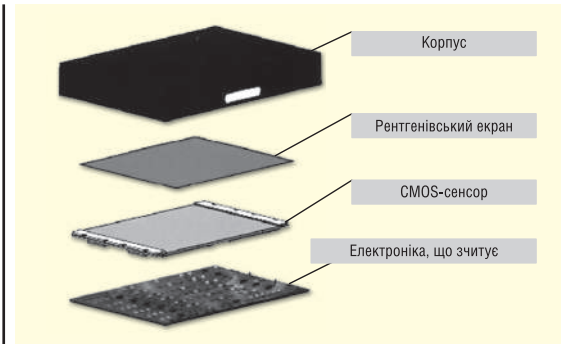


Рис. 4. Конструкція модуля DR-детектора

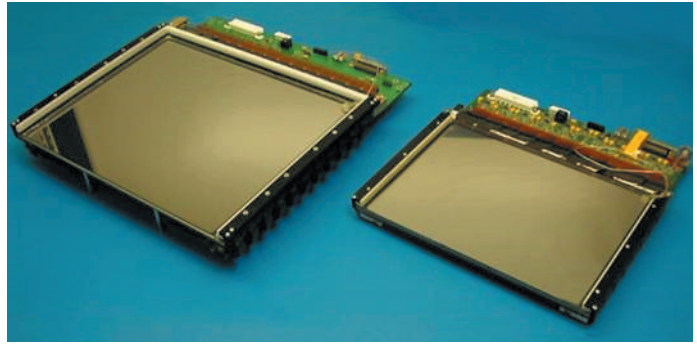


Рис. 5. Загальний вигляд DR-датчиків

кремнію або КМОН-технологія. Порівняльний аналіз цих технологій показує, що кожна з них має переваги і недоліки. Наприклад, тонкоплівкові транзисторні структури фотоприймачів на аморфному кремнії радіаційно стійкіші, і за цією технологією легше виготовити панелі великих розмірів. У КМОН транзисторних або діодних фотоприймачів менші адитивні шуми, вони дозволяють забезпечити високу швидкодію. Важливою перевагою КМОН-фотоперетворювачів є можливість виконання ланцюгів керування, підсилювачів та аналого-цифрових перетворювачів на одній підкладці в рамках однієї й тієї ж технології. IGZO (Indium gallium zinc oxide) — оксид індія, галію та цинку. Цей напівпровідниковий матеріал замінює аморфний кремній, що використовується в транзисторних матрицях тонкоплівкових фототранзисторів. Ключовою перевагою є радикальне (до 40 разів) зменшення часу відгуку. При використанні транзисторів на IGZO можна значно скоротити час для експозиції і знизити рівень радіаційного навантаження на пацієнта.

КОНСТРУКЦІЯ СУЧАСНИХ РЕНТГЕНОГРАФІЧНИХ КОМП'ЮТЕРНИХ СИСТЕМ

Замість громіздкого рентгівського обладнання, традиційна конструкція яких була розроблена понад 50 років тому, зараз застосовуються компактні недорогі зручні комп'ютерні рентгівські апарати.

Сучасний мобільний рентгівський апарат має малі габарити — весь апарат може вміститися у зручному кейсі вагою до 40 кг, який легко транспортувати чи переміщати будівлю. Потужність всієї системи, що споживається, становить близько 300–500 Вт. Більшість споживаної потужності посідає компактний блок джерела рентгівського випромінювання. Основа джерела — формувач високої напруги для живлення катодної рентгівської вакуумної трубки. Ця напруга приблизно 100–300 кВ. Касета плоскочастинного детектора, інтерфейс сполучення з комп'ютером та комп'ютер (звичайний ноутбук) споживають трохи більше 100 Вт. Для живлення рентгенографічної комп'ютерної системи може використовуватися мережна напруга 11–230 В, 50/60 Гц або акумуляторне джерело, що зазвичай потрібне для роботи в польових умовах, де немає мережного живлення або бензогенератора. Вся система може бути розміщена на площі кілька квадратних метрів у будь-якому приміщенні. При потребі навіть у наметі польового шпиталю.

На рисунку 6 показано робоче місце сучасного рентгенолога. На рисунку 7 представлена апаратура маммографа з касетою цифрового введення зображення.

ВИБІР МАТЕРІАЛУ ДЛЯ СЦИНТИЛЯТОРА

Сцинтилятори — ключовий компонент рентгівської візуалізації. ВОЕ вибирає оптимальні матеріали сцинтиляторів для досягнення найкращої роздільної здатності, чутливості та швидкості для конкретних застосувань.

Сцинтилятори — це матеріали, здатні перетворювати рентгівські або гамма-фотони на фотони видимого світла. Техніка з'єднання сцинтиляторів з фотодіодами називається «сцинтиляція». Під сцинтилятором знаходиться датчик CMOS або CCD, який здійснює захоплення перетворених видимих фотонів для створення зображень, що виводяться з детекторів. У деяких випадках сцинтилятор буває тонким і досить чутливим, щоб отримувати профільні зображення з високою роздільною здатністю. У міру збільшення товщини сцинтилятора більше проявляються ефекти світлорозсіювання та перехресних перешкод — фактори, які можуть вплинути на чіткість зображення та роздільну здатність детектора.



Рис. 6. Робоче місце сучасного рентгенолога



Рис. 7. Маммограф (тип C-Arm) із касетою цифрового введення зображення

Деякі характеристики сцинтиляторів:

- світловий вихід — кількість фотонів, що випускаються на поглинену енергію;
- час загасання (τ) — час, необхідний для того, щоб сцинтиляційне випромінювання зменшилося до e^{-1} максимуму;
- післясвітіння — залишковий світловий потік, що виникає після первинного згасання;
- гальмівна здатність — коефіцієнт ослаблення поглиненого випромінювання для заданої товщини матеріалу;
- Modulation Transfer Function (MTF) — передатна характеристика, що визначає ефективність перетворення енергії рентгенівського або протонного випромінювання у видимий спектр.

Йодид цезію (CsI) являє собою сцинтиляційний матеріал з високою гальмівною здатністю до гамма-променів завдяки своїй відносно високій щільності та атомному номеру. Нелегований CsI має інші сцинтиляційні властивості порівняно з більш поширеними CsI (Tl) і CsI (Na), активованих талієм або натрієм відповідно.

Чистий CsI застосовується головним чином у фізичних експериментах завдяки комбінації швидкого спаду і відносно високої щільності матеріалу. Сцинтилятор CsI має незначну гігроскопічність, тому слід уникати контакту з водою та високою вологістю. Нелегований CsI має максимум випромінювання при 315 нм з інтенсивністю 0.1 від інтенсивності випромінювання легованих кристалів CsI. При кімнатній температурі світловий вихід дуже низький, але при охолодженні до $-77\text{ }^\circ\text{C}$ збільшується в 10 разів. Фотоелектронний вихід у комбінації з фотокатодом ФЕУ складає близько 400 фотоелектронів/МеВ при кімнатній температурі. Для невеликих кристалів енергетична роздільна здатність становить 17–18%, по лінії 662 кеВ може бути використана при виготовленні систем візуалізації в комп'ютерних томографах. Сцинтиляційний матеріал містить модифікований оксисульфід гадолінію (GOS), в якому приблизно 25–75% гадолінію (Gd) заміщено лантаном (La) або приблизно не більше 50% гадолінію (Gd) заміщено лютетієм (Lu).

Сцинтилятор CsI: Tl має чутливість 40% при 140.5 кеВ порівняно з 54% у сцинтилятора GOS. Власна просторова роздільна здатність піксельного детектора GOS становила 1.09 мм, більш ніж у 4 рази бідніша, ніж для CsI: Tl. Також було виявлено, що швидкість підрахунку значно нижча, коли використовувався сцинтилятор GOS. Однорідність була порівнянна для обох сцинтиляторів. Чутливість детектора із

сцинтилятором із Gadolinium Oxisulfide буде залежати від товщини покриття. Однак при збільшенні товщини покриття через розсіювання світла погіршується просторова роздільна здатність детектора. Певною мірою від цього недоліку вільні панелі з плівкою CsI.

Компанія BOE використовує широкий діапазон сцинтиляторів в залежності від області застосувань. У детекторах малої енергії 25–130 кеВ, як правило, застосовують порошкоподібний оксисульфід гадолінію (GOS: Tb). Цезій, легований талієм йодид (CsI: Tl), зазвичай використовується там, де потрібний товстий сцинтилятор з високою світловіддачею. Кристал вольфрамату кадмію (CdWO_4 , CWO) має високе ефективне Z-число, високу щільність, забезпечує більш високий світловий потік та дуже слабе післясвітіння.

ДЕТЕКТОРИ ПРЯМОГО ПЕРЕТВОРЕННЯ НА ОСНОВІ АМОРФНОГО СЕЛЕНУ АБО ТЕЛУРИДУ КАДМІЮ

У детекторах прямого перетворення використовується активна матриця адресації фотосенсорів, яка містить транзистори на основі аморфного кремнію. У перспективних розробках для формування транзисторів матриці буде зодіяна технологія LTPS, що забезпечує більшу рухливість носіїв і, відповідно, більшу швидкодію при скануванні всієї матриці. Замість полікремнію BOE планує запровадити перспективний напівпровідниковий матеріал IGZO. Висока рухливість носіїв цього матеріалу дозволить збільшити частоту зчитування кадрів зображення.

У детекторній матричній структурі прямого перетворення наноситься плівка напівпровідника — аморфного селену або телуриду кадмію, що забезпечує пряме перетворення рентгенівського випромінювання на електричний заряд. Під час експонування під впливом рентгенівського випромінювання відбувається індукція заряду на обкладках фотопін-діода пікселя. Рівень заряду кожного пікселя прочитується через транзисторний ключ рядка і передається на АЦП. З виходу АЦП цифровий послідовний код рядок за рядком передається до схеми інтерфейсу, а потім і в пам'ять комп'ютерної системи. Дані проходять попередню обробку для очищення шумів, пов'язаних з похибками перетворень. На останній стадії формується файл кадру зображення візуалізації рентгенівського зображення.

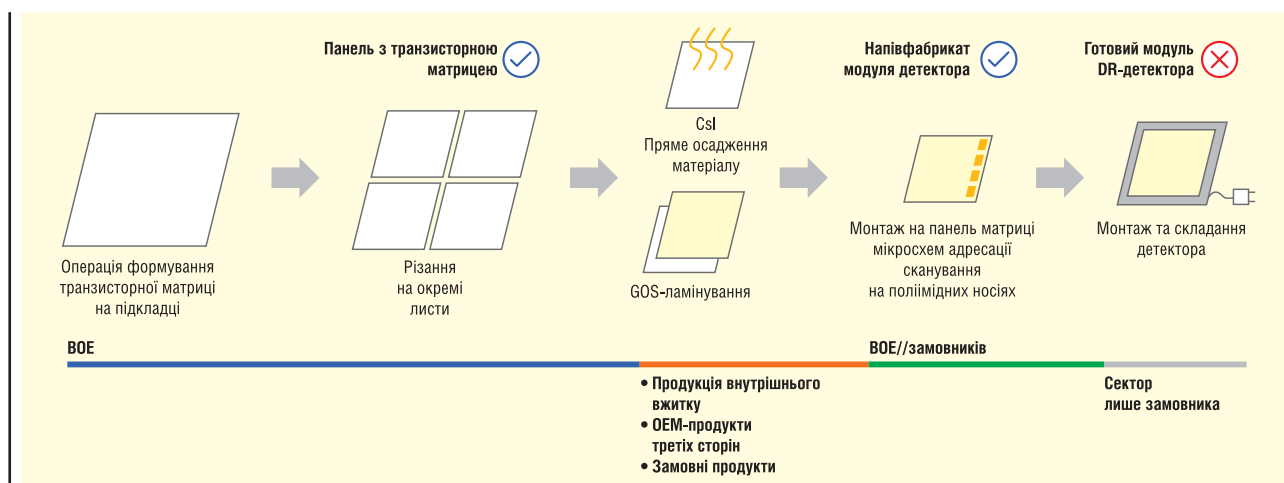


Рис. 8. Технологія виробництва DR-детекторів та варіанти постачання компонентів датчиків для замовників

ТЕХНОЛОГІЯ ВИРОБНИЦТВА ЦИФРОВИХ ПЛОСКОПАНЕЛЬНИХ РЕНТГЕНІВСЬКИХ ДЕТЕКТОРІВ ВОЕ

Для виробництва плоскопанельних рентгенівських детекторів компанія ВОЕ використовує ті ж технологічні лінійки, що і для випуску TFT РК-дисплеїв великого формату. На рисунку 8 показані основні технологічні операції під час виготовлення DR плоскопанельних детекторів ВОЕ.

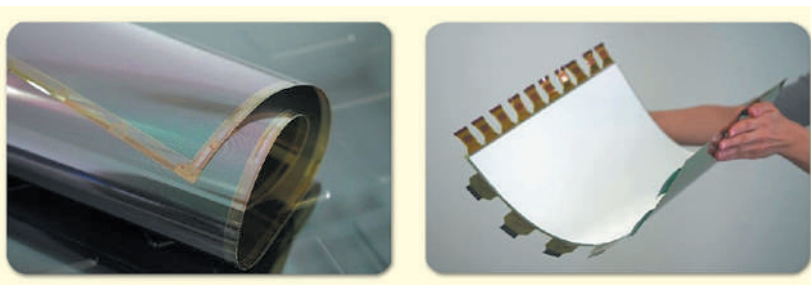


Рис. 9. DR-детектор на гнучкій плівці. На фото праворуч показано склеювання фоточутливої матриці з плівкою сцинтилятора та схеми розгортки на гнучких шлейфах для зчитування аналогового фоторельєфу зображення

ДЕТЕКТОРИ НА ЖОРСТКІЙ ТА ГНУЧКІЙ ОСНОВІ

Компанія ВОЕ випускає DR-детектори, використовуючи різні несучі підкладки — жорсткі та гнучкі (плівкові). Тобто і плівка матеріалу, і матриця фотодатчиків можуть наноситися як на жорстку (як правило скляну) підкладку, так і на гнучку (рис. 9). Як гнучкі підкладки можуть використовуватися полімерні матеріали, а також надтонке гнучке скло. До переваг детекторів на гнучких підкладках відноситься в першу чергу висока механічна стійкість і надійність при експлуатації. Детектори не просто зламати під час транспортування та монтажу. У порівнянні з детекторами на жорсткій підкладці, детектори на гнучкій підкладці мають меншу на 17% вагу. Гнучкість детектора ряду застосовувань має вирішальне значення, дозволяючи огинати поверхню досліджуваного об'єкта.

Порівняння параметрів двох технологій демонструє повну перевагу та

Таблиця 1. Порівняння основних параметрів DR-детекторів на гнучких та жорстких підкладках

Конструкція детектора	Товщина	Вага детектора	Робочі температури	Механічна стійкість конструкції
Гнучка підкладка	100 мкм	<2.5 кг	5–45 °С	стійка
Жорстка підкладка	700 мкм	>3.5 кг	10–40 °С	крихка

перспективність розвитку конструкції DR-детекторів на гнучких підкладках (див. табл. 1).

ПОРТФОЛІО DR-ДЕТЕКТОРІВ ВОЕ

Основні обсяги продукції компанії ВОЕ орієнтовані на ринок детекторів форматів 1717 і 1417 (рис. 10). Формат характеризує розмір активної площі детектора у дюймах. Наприклад, детектори серії 1717 мають розмір активної площі 17×17", або 432×432 мм. Компанія також планує розширити лінійку розмірів детекторів для виведення на ринок оксидних IGZO та перспективних детекторів на гнучких підкладках.

Основні характеристики DR-детекторів серії 1717:

- розмір активної площі детектора: 17×17";
- формат матриці: 4302×4302 пікселів (18.5 млн пікселів);
- High MTF >10% за 5 lp/мм;
- низький рівень шуму;
- High DQE > 12% за 5 lp/мм.

Детектор цієї серії може бути рекомендований для ортопедії, неруйнівного контролю тощо.

HIGHLIGHT 4317 — ПЕРСПЕКТИВНА СЕРІЯ DR-ДЕТЕКТОРІВ

Сьогодні ця серія сенсорів має найбільшу у світі активну площину детектора розміром 43×17", або 432×1092.2 мм. Така площа детек-

Тип	Модель														
Standard@MP Panel	1717	1417	1210	1008											
Стандартні серійно випускаються	CSI <table border="1"> <tr><td>Розмір</td><td>1717</td></tr> <tr><td>Шаг пікселя</td><td>140/100 мкм</td></tr> <tr><td>Товщина</td><td>300–600 мкм</td></tr> </table>		Розмір	1717	Шаг пікселя	140/100 мкм	Товщина	300–600 мкм	GOS <table border="1"> <tr><td>Розмір</td><td>1717</td></tr> <tr><td>Шаг пікселя</td><td>140 мкм</td></tr> </table>		Розмір	1717	Шаг пікселя	140 мкм	
	Розмір	1717													
Шаг пікселя	140/100 мкм														
Товщина	300–600 мкм														
Розмір	1717														
Шаг пікселя	140 мкм														
Стандартні в розробці Flex/IGZO	 <table border="1"> <tr><td>Розмір</td><td>1417</td></tr> <tr><td>Шаг пікселя</td><td>140/100 мкм</td></tr> <tr><td>Товщина</td><td>300–600 мкм</td></tr> </table>		Розмір	1417	Шаг пікселя	140/100 мкм	Товщина	300–600 мкм	<table border="1"> <tr><td>Розмір</td><td>4317</td></tr> <tr><td>Шаг пікселя</td><td>140 мкм</td></tr> </table>		Розмір	4317	Шаг пікселя	140 мкм	
	Розмір	1417													
Шаг пікселя	140/100 мкм														
Товщина	300–600 мкм														
Розмір	4317														
Шаг пікселя	140 мкм														
	 <table border="1"> <tr><td>Тип</td><td>Датчики на гнучкій підкладці</td></tr> <tr><td>Вага, г</td><td>233</td></tr> <tr><td>Товщина, мм</td><td>0,52 (Філім 0,02)</td></tr> </table>	Тип	Датчики на гнучкій підкладці	Вага, г	233	Товщина, мм	0,52 (Філім 0,02)	 <table border="1"> <tr><td>Тип</td><td>IGZO</td></tr> <tr><td>Шаг пікселя</td><td>140 мкм</td></tr> <tr><td>Частота кадрової розгортки</td><td>≥30fps (1×1) ≥60fps (2×2) ≥100fps @ FOV (1×1)</td></tr> </table>	Тип	IGZO	Шаг пікселя	140 мкм	Частота кадрової розгортки	≥30fps (1×1) ≥60fps (2×2) ≥100fps @ FOV (1×1)	
Тип	Датчики на гнучкій підкладці														
Вага, г	233														
Товщина, мм	0,52 (Філім 0,02)														
Тип	IGZO														
Шаг пікселя	140 мкм														
Частота кадрової розгортки	≥30fps (1×1) ≥60fps (2×2) ≥100fps @ FOV (1×1)														

Рис. 10. Модельний ряд панелей DR-детекторів



Рис. 11. Миттєвий рентгенівський знімок хребта (пряма та бічна проекції) за одне сканування без тривалої експозиції

робочий процес рентгенографії, захоплюючи все зображення за одну експозиційну дозу в кілька секунд. Через що знижується ймовірність виникнення артефактів зображення, викликаних рухом пацієнта. Скорочується час, протягом якого пацієнт повинен зберігати нерухомість. Зйомка з одноразовою експозиційною дозою забезпечує скорочення часу отримання зображень порівняно з пристроями цифрової рентгенографії (DR) з кількома експозиціями. Підвищується безпека та комфорт пацієнтів за рахунок швидшого завершення обстеження та зменшення дози, одержуваної пацієнтом під час експозиції.

ПЕРСПЕКТИВИ ВПРОВАДЖЕННЯ НОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Для успішної конкуренції на ринку плоскопанельних рентгенографічних детекторів потрібно забезпечити найвищу якість та надійність на рівні останніх досягнень у даному секторі. А тому компанія BOE має намір найближчими роками освоїти та впровадити новітні технології виробництва плоскопанельних DR-детекторів. З цією метою компанія BOE планує:

- Підвищення роздільної здатності датчиків за рахунок зменшення розмірів пікселів від 140 до 76 мкм.
- Перехід на гнучкі підкладки.
- Зменшення дози випромінювання під час експозиції — використання

нових матеріалів сцинтиляторів, а також технології прямого перетворення із сенсорами на аморфному селені або телурид кадмію.

- Збільшення швидкодії для забезпечення реєстрації динамічних процесів при діагностиці за рахунок використання перспективних матеріалів для плівок сцинтилятора — наприклад, CsI з підвищеною чутливістю, галогенідів або перовскіту.
- Мінерал перовскіт, титанат кальцію, має здатність перетворювати світло на електрику і робить це ефективніше за матеріали, які використовують зараз. Журнал Science включив перовскіт у топ-10 проривів 2013 як перспективний матеріал для сонячної енергетики.
- Підвищення кадрової частоти сканування матриці плоскопанельних детекторів за рахунок використання напівпровідникового IGZO-матеріалу в транзисторних ключах матриці адресації та пін-діодних сенсорів. Матеріал забезпечує значно більшу швидкодію транзисторних ключів. В даний час інтенсивно використовується у матрицях активної адресації РК-дисплеїв. Пін-фотодіоди забезпечують кращу чутливість, завдяки чому можна скоротити час експозиції сенсора.
- Значно поліпшити ефективність детекторів BOE планує завдяки впровадженню технології активного пікселя (APS — Active Pixel Sensor) замість

тора в більшості випадків забезпечує сканування об'єму грудної клітки без склеювання кількох зображень (рис. 11). Зображення виходить за одну експозицію (one shot), забезпечуючи високий рівень радіаційної безпеки під час дослідження. У матричному детекторі застосовується транзисторна матриця фотодетекторів на аморфному кремнії.

При використанні стандартного детектора квадратної форми для цифрової рентгенографії довгомірних об'єктів (наприклад, всього хребта) доводиться робити кілька знімків. Довгомірний детектор дозволяє значно покращити

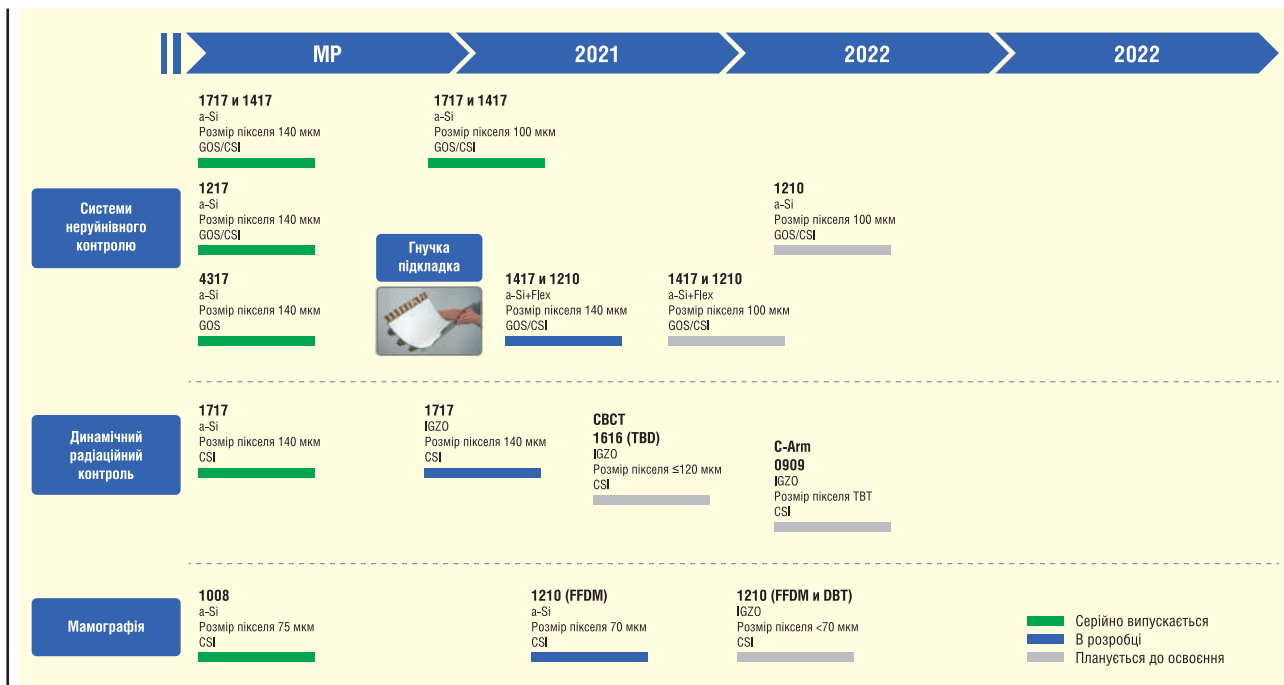


Рис. 12. Перспективний план розробки та випуску нових моделей DR-детекторів

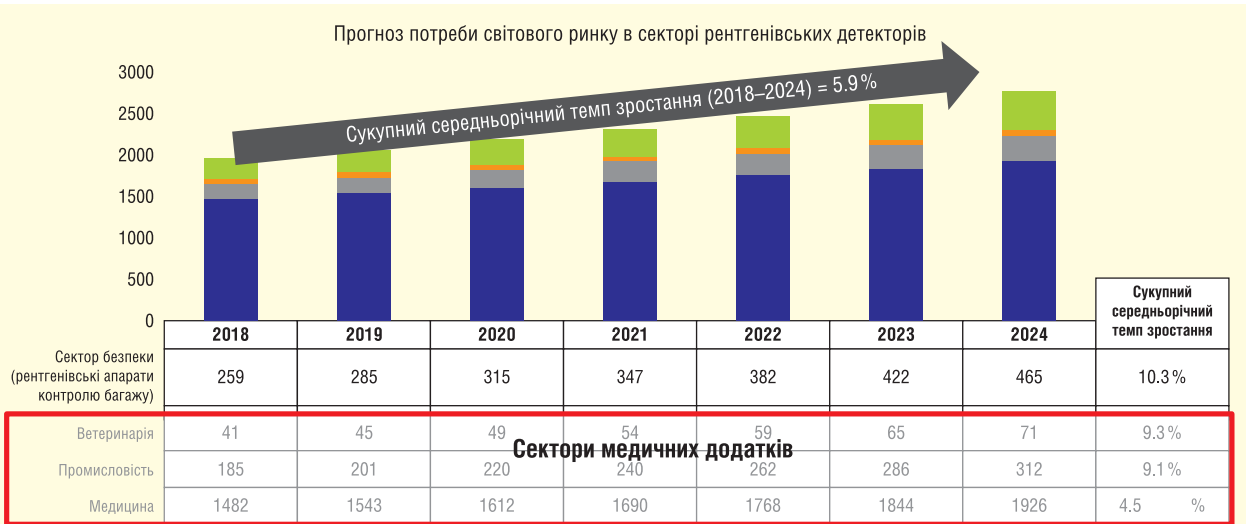


Рис. 13. Прогнози та тенденції розвитку світового ринку плоскопанельних DR-детекторів

PPS-технології пасивного сенсора. Відмінність полягає в тому, що в APS у кожному пікселі для посилення слабкого сигналу фотосенсора сформовано КМОН-підсилювач. Ця технологія складніша, і датчики такого типу дорожчі. Раніше технологія використовувалася виключно на кремнієвих backplane у фотосенсорах цифрових камер. Матриці APS-детекторів нового покоління буде реалізовано на LTPS-технології. BOE має технологічні лінійки, у яких використовуються дані технології. Лінійки LTPS були призначені для виробництва дисплейної продукції. Частина потужностей буде задіяна для виробництва плоскопанельних DR-детекторів.

На рисунку 12 показано перспективний план BOE випуску нових моделей плоскопанельних DR-детекторів.

СТРАТЕГІЯ РОЗВИТКУ РИНКУ ЗАСТОСУВАННЯ DR-ДЕТЕКТОРІВ BOE

Детектори рентгенівського випромінювання поширені в різних галузях медицини, ветеринарії, безпеки та промисловості, причому ринок медичної візуалізації є найбільшим та найрозвиненішим з них. Промислові та ветеринарні програми — це нові програми, які розширюють існуючі розробки, завдяки чому їхній бізнес більше не обмежується лише медичною промисловістю. На рисунку 13 показаний прогноз та тенденції розвитку світового ринку плоскопанельних детекторів.

В даний час у світі існують десятки виробників як самих DR-детекторів,

аналогічних за параметрами BOE, так і готових рентгенівських апаратів на їх основі. Насамперед це великі японські виробники, які вийшли на ринок ще в 1990-ті роки. Випускають DR-детектори південнокорейської фірми, компанії у США та Європі. Конкуренція у цьому секторі досить жорстка. Тим не менш, компанія BOE має намір найближчим часом значно розширити ринок застосування своєї продукції в секторі датчиків DR та інтегральних рішень на їх основі. Насамперед планується освоїти ринки Індії, США, Канади, Франції. А це дуже великі та перспективні ринки збуту. Бізнес BOE в даний час зосереджений на китайському та корейському ринках, в той час як Європа та США вступили в стадію розробки та валідації продукту, Японія знаходиться у процесі валідації технологій, а бізнес у галузі медичної візуалізації поступово поширюється з Китаю до зарубіжних країн.

BOE планує постачати як готові рентгенівські системи та DR-датчики, так і окремі їх компоненти як напівфабрикати для виробників аналогічних датчиків, а саме:

- окремі TFT-панелі;
- TFT-панель + плівка сцинтилятора (замовний матеріал);
- TFT-панель + сцинтилятор + COF (мікросхеми сканування та інтерфейсний кабель) — відкритий осередок.

Література:

1. Medical Imaging Business Introduction. Medical Image Business BOE. www.boe.com/en/Enterprise/MedicalImaging
2. Application Note: Scintillator Selection. X-scan Imaging, 2020.

232-ШАРОВА 3D NAND ПАМ'ЯТЬ

На Сінгапурській фабриці відомої компанії **Micron** розпочато масове виробництво та відвантаження споживачам нових чипів 3D NAND флеш-пам'яті, що мають тривимірну структуру із 232 шарами. Даний випадок є першим в історії, коли виробникам пам'яті вдалося подолати позначку 200 шарів і це відкриває шлях до появи SSD-дисків, ємністю від 200 ТБ і більше. Для порівняння, ємність найбільшого на сьогоднішній день SSD-дису, Nimbus Data ExaDrive, становить 100 ТБ.

До недавня найбільшу ємність пам'яті мав чип компанії Micron, що містив 176 шарів. Нова 232-шарова 3D NAND пам'ять має пропускну здатність 2.4 ГБ в секунду, на операціях запису вона обганяє попередника на 100%, а на операціях читання — на 75%. Показник щільності запису інформації нової пам'яті складає 14.6 гігабіт на квадратний міліметр, і це найвищий показник у галузі на теперішній час.

Незважаючи на масове виробництво чипів нової 3D NAND пам'яті, звичайні люди навряд чи можуть розраховувати на придбання дисків з нею для модернізації свого комп'ютера. SSD-диск ExaDrive на 100 ТБ має вартість 40 тисяч американських доларів, а диски на 200 ТБ, за наявною інформацією, коштуватимуть ще дорожче. Тому SSD-диски з 3D NAND пам'яттю будуть використовуватися довгий час тільки в дата-центрах та сервісах, побудованих на базі хмарних обчислень та технологій штучного інтелекту.

<https://gizmodo.com>

Майбутнє 3D-друку: п'ять прогнозів від компанії Jabil

Раш ЛаСель (Rush LaSelle)
Переклад: Сергій Шихов

Те, що можна зробити за допомогою 3D-друку, більше не є теоретичними дослідженнями — тепер це виробнича необхідність.

Буквально кілька років тому переваги адитивного виробництва були дуже дискусійними. Багато суперечок йшлося про те, чи є фінансові чи технологічні підстави для переходу від традиційних великосерійних процесів до адитивних. Сьогодні ж 3D-друк позиціонується як основна виробнича технологія у багатьох сферах, де вона дозволяє суттєво підвищити ефективність виробництва, скоротивши тимчасові витрати, необхідні для проектування та виготовлення продукції. Адитивне виробництво набирає обертів і стає опорою для розвитку, а майбутнє 3D-друку бачиться дуже перспективним.

Багато галузей, включаючи охорону здоров'я, аерокосмічну та оборонну індустрію, знаходяться в процесі трансформації, яка викликана розвитком цифровізації бізнесу, активною розробкою та впровадженням у виробництво нових матеріалів та зміна-

ми в ланцюжках постачання, а також великою мірою розширенням сфер застосування технологій адитивного виробництва.

Так, в аерокосмічній галузі виготовлення внутрішніх частин літальних апаратів — зокрема, повітроводів, вентиляційних отворів та аеродинамічного обладнання — з використанням адитивного виробництва дозволяє конструкторам зменшувати вагу та кількість компонентів у вузлах, що дає можливість максимально ефективно розміщувати все обладнання у тісному просторі кабіни. Крім того, під час проектування деталей 3D-друк надає розробникам свободу експериментувати, підбирати найбільш оптимальну форму виробів, знижувати кількість потенційних точок відмови та покращувати їх функціональні властивості.

На тлі скорочення циклів створення нового продукту можливості адитивного

виробництва дають виробникам недоступний раніше рівень гнучкості у процесі проектування, виготовлення та постачання продукції.

У ході третього дослідження «Тенденції 3D-друку», яке проводить компанія Jabil раз на два роки, з'ясувалося, що за останні пару років області застосування адитивного виробництва помітно розширилися. Сьогодні компанії найчастіше вдаються до технології 3D-друку на етапах досліджень та проектування нової продукції, тоді як раніше найбільшого поширення 3D-друк отримував в процесі прототипування. Дослідження показало, що суттєве зростання застосування 3D-друку відбулося у галузі створення технологічного оснащення (37% у 2019 проти 57% у 2021 році), виготовлення мостів (з 39 до 56%) та виробництва деталей (рис. 1). При цьому більше половини респондентів вважають 3D-друк реальною «стратегічною можливістю» для своєї компанії, що свідчить про добрі перспективи розвитку адитивних технологій.

Провівши дослідження, аналітики компанії Jabil задумалися про те, як вплине зростання застосування адитивного

Дослідження та розробки (R&D) є на сьогодні найбільш розповсюдженими сферами застосування 3D-друку.
Яким чином ваша компанія на сьогодні використовує 3D-друк?



Рис. 1. Результати дослідження «Тенденції 3D-друку»

виробництва на інші галузі та аспекти виробництва, і що саме чекає 3D-друк у майбутньому. Нижче представлено п'ять прогнозів, зроблених Jabil.

1. ВІД ШВИДКОГО ПРОТОТИПУВАННЯ ДО МАСОВОГО ВИРОБНИЦТВА

Адитивне виробництво дає переваги на кожному етапі розробки продукту, дозволяючи ефективніше управляти його життєвим циклом і швидко масштабувати процеси під час переходу від прототипів до масових серій. А в цьому і полягає суть промислового виробництва.

Коли обсяги випуску виробів порівняно невисокі (наприклад, якщо планується надрукувати 100 деталей для різнобічного тестування їх характеристик або для запуску пілотного продажу на регіональних ринках), адитивне виробництво дає можливість виробникам виготовляти невеликі партії з високим ступенем повторюваності продукції. Більше того, якщо потрібно збільшити обсяг навіть у 3 або 4 рази, 3D-друк дозволяє зробити це без додаткових витрат на переналадження обладнання.

Адитивне виробництво також стає оптимальним рішенням для підприємств, що випускають дрібні та середні обсяги партій, але мають необхідність робити великі вкладення в налагодження виробничих ліній, що, природно, ускладнює виведення продукту на ринок. У такій ситуації продукція на початкових етапах виготовляється за допомогою 3D-друку, а надалі переводиться на стандартне заводське обладнання для великосерійного виробництва. При правильному плануванні технологічних процесів, починаючи з етапів створення проекту та розробки матеріалів, цей перехід здійснюється легко, без будь-яких нестиковок.

Адитивні технології також допомагають виробничим компаніям скоротити свої складські запаси і цим істотно економити фінансові ресурси, що витрачаються на зберігання деталей. Тепер підприємству не потрібно щоразу звертатися до постачальника, коли виникає потреба у тій чи іншій деталі, досить просто надрукувати її на 3D-принтері. Це особливо актуально для автомобілебудівної галузі, де за рахунок 3D-друку складські запаси деталей можуть бути знижені на 90%.

Переведення виробництва деяких деталей з традиційного способу на ади-

тивні технології довів свою ефективність і в суднобудуванні. Так, за даними дослідження Гдинського морського університету в Польщі, виготовлення металеві деталі за стандартними технологіями займає в середньому 12 тижнів і коштує близько \$20 000, а при використанні 3D-друку терміни виготовлення такої ж деталі скорочуються до 72 год, а її вартість не перевищує \$1 250.

Обговорюючи адитивні технології, виробники переходять від питання можливостей до розмови про потужності. Незабаром 3D-друк стане невід'ємною частиною на всіх етапах введення у виробництво нового продукту (new product introduction, NPI), що дозволить підприємствам досягати цільової вартості продукції на початкових етапах виходу товару на ринок. Це, у свою чергу, зменшить ризики, пов'язані з новим продуктом, і дозволить компаніям відкласти масштабування обсягів виробництва до найсприятливішого моменту.

2. АДИТИВНІ ТЕХНОЛОГІЇ ЯК СПОСІБ ЦИФРОВІЗАЦІЇ ВИРОБНИЦТВА ТА ПІДВИЩЕННЯ ГНУЧКОСТІ ЛАНЦЮЖКІВ ПОСТАВОК

Якщо пандемія коронавірусу нас чомусь і навчила, це тому, що звична налагоджена робота ланцюжків поставок може раптом стати абсолютно непередбачуваною. Так склалося, що при формуванні ланцюжків поставок, як правило, на чільне місце була поставлена їх потенційна ефективність, а питання стабільності було другорядним, і цей підхід характерний для всіх галузей промисловості. Не дивно, що багато ланцюжків постачання було порушено, коли світова економіка зіткнулася з такою серйозною проблемою, як пандемія. Вплив карантинних заходів на постачання деталей та матеріалів був дуже серйозним у всіх галузях, але особливо важким виявилось становище підприємств, що працюють у сфері охорони здоров'я та виробництва медичних пристроїв. Цей важкий досвід показав, що створення стабільних ланцюжків постачання є важливим завданням для кожного виробника. Але поки компанії вирішують це питання, виробничі лінії повинні продовжувати працювати. І тут на допомогу приходять адитивні технології.

Так, 3D-друк став справжнім прятунком у ситуації, коли збій у ланцюжках поставок призвів до нестачі деталей апаратів штучної вентиляції

ПЕРШИЙ В СВОЄМУ РОДІ ВИСОКОЕФЕКТИВНИЙ ОРГАНІЧНИЙ БІПОЛЯРНИЙ ТРАНЗИСТОР

Коли в 1947 році винайшли перший транзистор, це стало початком ери мікроелектроніки і докорінно змінило життя людей. Перший винайдений транзистор був біполярним транзистором, у структурі якого чергуються області напівпровідникових матеріалів різного типу провідності. Уніполярні (польові) транзистори, на основі яких зараз створюються всі мікропроцесори та більшість чипів інших видів, з'явилися дещо пізніше.

Однак, ні біполярні, ні польові транзистори, виготовлені з кремнію, через твердість і крихкість цього матеріалу, не дуже добре підходять для виготовлення, наприклад, гнучких електронних пристроїв, екранів, які можна згорнути в трубочку, або медичних імплантатів. Для таких областей застосування ідеально підходять транзистори, виготовлені на основі органічних хімічних сполук. Перші органічні польові транзистори з'явилися ще в 1986 році, але досі їх швидкодія та інші характеристики дуже поступаються характеристикам кремнієвих «побратимів».

І нещодавно група вчених із Технологічного університету в Дрездені (TU Dresden) здійснила прорив у галузі створення органічних транзисторів. Структура створеного ними біполярного транзистора складається з кількох шарів кристалічного рубрена (C42H28) з добавками, що забезпечують різний тип провідності, р або n. Такий підхід забезпечив коефіцієнт передачі (посилення) транзистора в районі 100 і вищу швидкодію. Вперше органічний транзистор може працювати на частотах в області одного гігагерца, тобто. здійснювати близько одного мільярда перемикачів на секунду.

«Створення першого органічного біполярного транзистора було великою проблемою з технічної точки зору», — стверджують дослідники.

Поява органічного біполярного транзистора відкриває абсолютно нові перспективи в галузі гнучкої органічної електроніки, яка тепер зможе самостійно виконувати завдання щодо попередньої обробки даних та передачі цих даних за допомогою різних технологій.

<https://techxplore.com>

легенів, тоді як виробництво апаратів ШВЛ було без перебільшення життєво важливим для людей у всьому світі. У той період компанія Jabil підтримала розробку інноваційної технології виробництва розгалужувачів апарату штучної вентиляції легень за допомогою 3D-друку. Це дозволило використовувати один апарат для кількох пацієнтів одночасно. Завдяки адитивному виробництву було виготовлено понад 60 000 розгалужувачів лише за три тижні, при цьому якість деталей залишалася на високому рівні, необхідному для досягнення позитивних результатів у лікуванні пацієнтів.

Використання 3D-друку, крім іншого, прискорює цифровізацію виробничих процесів, адже адитивне виробництво — це суто цифрова технологія. Вона вимагає засобів технологічного оснащення, отже, дозволяє знизити чи взагалі виключити витрати на переміщення виробництва між різними типами устаткування й кількома ділянками заводу. Це радикальний відхід від традиційних трудомістких методів виробництва, що застосовуються останні 150 років у промисловій сфері, коли для досягнення цільового рівня витрат, особливо на ринку споживчих товарів, чутливих до ціни, була потрібна агрегація великих обсягів виробництва на одному майданчику.

Насправді найреволюційніший аспект адитивного виробництва має мало спільного безпосередньо з 3D-принтерами. Ключовий момент у тому, що адитивні технології дозволяють переводити цифрову форму у фізичний продукт. Файл для 3D-друку є вже готовим кінцевим продуктом, тоді як проєкт (прототип) — це певний компроміс між підсумковим, бажаним продуктом і можливостями традиційного виробничого процесу. Таким чином, можна говорити, що 3D-друк — значний крок на шляху кардинальної цифрової трансформації виробництв.

Причому цифровізація виробництва зачіпає як етапи виготовлення продукції, так і всі суміжні процеси, зокрема і ланцюжки поставок, і способи зберігання деталей. Склади, перевантажені компонентами, які можуть застаріти і залишитися незатребуваними, відходять у минуле. Адитивне виробництво переводить купи коробок, що з'їдають фізичний простір, в цифрові файли, які можна зберігати в хмарі і мати до них доступ у будь-який момент, як тільки знадобиться.

Окрім цифрового зберігання, 3D-друк надає ще одну важливу можли-

вість — розширення мережі локалізацій виробничих майданчиків, що дозволяє компаніям розглядати впровадження адитивних технологій у розрізі стратегічного планування бізнесу.

Розширення мережі локалізацій виробничих майданчиків, власне, є децентралізацією виробничих потужностей, простіше кажучи, організацію кількох невеликих виробництв поруч із потенційними споживачами замість одного великого заводу, де зосереджено все устаткування і ресурси компанії. Так, компанія Jabil використовує можливість адитивних технологій для організації мережі заводів, що дозволяє швидко переміщувати виробничі навантаження з одного географічного ринку на інший, при цьому витрати на переналагодження технологічних процесів та на «підлаштування» продукту під конкретного споживача виявляються мінімальними. Це було б неможливим без цифрових технологій 3D-друку.

Таким чином, адитивне виробництво дозволяє ефективно комбінувати реальні поставки компонентів із цифровими (файлами деталей), що дає широкі можливості менеджменту продукту на всіх етапах його життєвого циклу, від створення концепції до закінчення терміну служби. Виробничі процеси можуть бути оперативно переміщені на будь-який майданчик, що має потрібне цифрове обладнання, для цього необхідно лише завантажити та надіслати потрібний файл! Виробництво більше не прив'язане жорстко до одного заводу та до налагоджених ланцюжків поставок. А це означає, що у разі будь-якої глобальної проблеми, подібної до нинішньої пандемії, у виробника є більше можливостей для оперативного та гнучкого реагування: реорганізації ланцюжків поставок та переналагодження виробничих процесів в інших точках виробничої мережі. Ця гнучкість дає промисловості «запас міцності» у складних економічних умовах, що, в свою чергу, підвищує надійність світового ринку загалом.

У світлі широкого застосування адитивних технологій майбутнє промисловості виглядає як гібрид кількох великих мегазаводів та безлічі майданчиків, обладнаних з урахуванням вимог цифрових технологій, таких як 3D-друк, і не тільки. Заглядаючи ще далі, можна прогнозувати використання 3D-принтерів у сервісних центрах, пунктах видачі товарів і навіть у житлових будинках. Так адитивне виробництво зможе зробити цей «останній крок» до кінцевого спо-

живача. Апологети адитивних технологій вважають, що 3D-друк вже скоро стане настільки доступним, що люди зможуть просто купити файли продукту та надрукувати його самостійно, буквально за пару кліків.

Промисловість вже вступила на цей довгий шлях, що веде до такої міри гнучкості, яку споживачі очікують від ринку, подібно до того, що компанії Google і Amazon створили у сфері інформаційних технологій та електронної комерції.

3. 3D-ДРУК ДЛЯ ПЕРСОНАЛІЗАЦІЇ ТОВАРІВ

На сучасному споживчому ринку переважає тенденція, що диктує зміни у багатьох виробничих галузях. Йдеться про персоналізацію товарів. Сьогодні люди вже не хочуть купувати продукт, виготовлений у рамках масового виробництва, покупці все частіше шукають унікальний товар, створений спеціально для них, що відповідає їх особистим смакам та уподобанням.

Персоналізацію та унікальність продукції легко забезпечити завдяки адитивним технологіям у дрібносерійному виробництві. Замість того, щоб наповнювати ринок великою кількістю однакових товарів, виробники зможуть дозволити собі випустити невеликі партії продукції, яку потім можна буде легко вдосконалювати в міру вивчення настроїв споживачів та їхніх відгуків щодо товарів, не втрачаючи при цьому економічної ефективності.

У компанії Jabil вважають, що це лише питання часу, коли адитивні та молекулярні технології досягнуть такого рівня розвитку, що кожен володар 3D-принтера зможе надрукувати свою власну оправу для окулярів, чи їжу, чи... та все що завгодно!

4. МАЙБУТНЄ АДИТИВНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ЗАЛЕЖИТЬ ВІД МАТЕРІАЛІВ

Але повернемося з майбутнього з його 3D-принтерами в кожному будинку до теперішнього часу, де 3D-друк поки що залишається сферою промислового застосування.

Незважаючи на зростання інвестицій в адитивне виробництво в різних галузях промисловості, існує низка стримуючих факторів, що заважають активному впровадженню технологій 3D-друку. Другим після високої вартості

обладнання фактором є матеріали, які потрібні для адитивного виробництва. Сьогодні на ринку є різні типи матеріалів для 3D-друку, але лише деякі з них повністю відповідають вимогам якості та/або нормативним вимогам конкретної галузі. Більше половини промислових компаній, що використовують адитивні технології, говорять про те, що саме труднощі з матеріалами не дозволяють їм ширше застосовувати 3D-друк у виробничих процесах.

На жаль, у нинішній складній економічній ситуації постачальники та виробники матеріалів для 3D-друку не зацікавлені у розробці нової продукції за цим напрямком. Але слід розуміти, що світле майбутнє адитивного виробництва з'явиться тільки в тому випадку, якщо будуть створюватися нові матеріали, особливо це актуально для інженерних матеріалів, необхідних для вузькопрофільних застосувань. Загалом, різноманітність галузей потребує такої самої і навіть більшої різноманітності матеріалів. Ринки сторицею винагородять ті компанії, які зможуть прискорити процеси розробки та впровадження нових матеріалів для 3D-друку, особливо для специфічних виробництв та спеціальних інженерних завдань.

У свою чергу впровадження нових інженерних матеріалів зробить економічно виправданим створення нових галузей застосування адитивних технологій та цифровізації виробництв загалом.

5. 3D-ДРУК НА ВАРТІ ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ

нарешті, розглянемо ще два важливі аспекти адитивного виробництва — це

екологічна безпека та охорона навколишнього середовища. Однією з незаперечних переваг 3D-друку є скорочення або повна відсутність відходів через брак продукції. Як зазначають у своєму есе «Адитивне виробництво та екологічна безпека: дослідження переваг та труднощів» Симон Форд та Мелані Деспейс, адитивне виробництво імітує біологічні процеси за рахунок створення об'єктів шар за шаром, на відміну від традиційного способу, за якого в більшості випадків необхідно спочатку виготовити громіздкий об'єкт, а потім відрізати від нього значні шматки для одержання продукту потрібної форми. Автори есе вважають, що оскільки 3D-друк створює набагато менше відходів, ніж звичайні методи виробництва, він потенційно може допомогти відокремити у свідомості споживачів створення соціальних та економічних благ від негативного впливу промисловості на навколишнє середовище.

Крім зменшення кількості відходів 3D-друк заощаджує енергію. Федерація галузей металевих порошків провела дослідження, в якому порівняла виробництво шестерні вантажівки субтрактивним методом із створенням цієї деталі за допомогою адитивних технологій. У першому випадку продукту необхідно пройти 17 етапів виробництва, тоді як у другому лише шість! 3D-друк витрачає вдвічі менше енергії, ніж традиційні технології. А локалізація мережі адитивних виробничих майданчиків ближче до споживачів багаторазово знижує кількість транспортувань матеріалів та готової продукції, зменшуючи цим шкідливий вплив промисловості на навколишнє середовище. Таким чином, цифрові технології взагалі

та адитивні зокрема призведуть нас до екологічно безпечного майбутнього.

ВИСНОВОК

Ми є свідками поворотного моменту в історії промисловості. Сьогодні наші ідеї, розробки та продукти можуть бути практично повністю представлені у цифровому просторі, і ми навчилися перетворювати біти інформації на фізичні об'єкти. Ми знаємо, як зробити це економічно вигідним, технологічно ефективним та екологічно безпечним способом! Як перша по-справньому цифрова технологія виробництва, адитивне виробництво демонструє свій революційний характер і вже ефективно видозмінює бізнес з різкою швидкістю.

Згідно з дослідженням компанії Jabil, 87% компаній планують розширити використання адитивних технологій на своїх виробництвах щонайменше вдвічі, а близько 40% респондентів — у п'ять і більше разів (рис. 2). У міру впровадження адитивних технологій виробники зможуть зменшувати розміри партій, що прискорить процеси виведення на ринок нових розробок та продуктів, а зрештою зробить 3D-друк основним інструментом серійного виробництва. Зараз завдяки розвитку адитивних технологій закладається той фундамент, на якому компанії зможуть побудувати нові виробничі технології, що дозволяють створювати інноваційні продукти, поліпшувати характеристики товарів і підвищувати їх ефективність. Не потрібно мати кришталеву кулю, щоб побачити: 3D-друк чекає світле майбутнє!

CN

Як, на ваш погляд, зміняться сфери застосування адитивних технологій в вашій компанії в найближчі 2-5 років?

Виберіть найбільш підхожу відповідь.

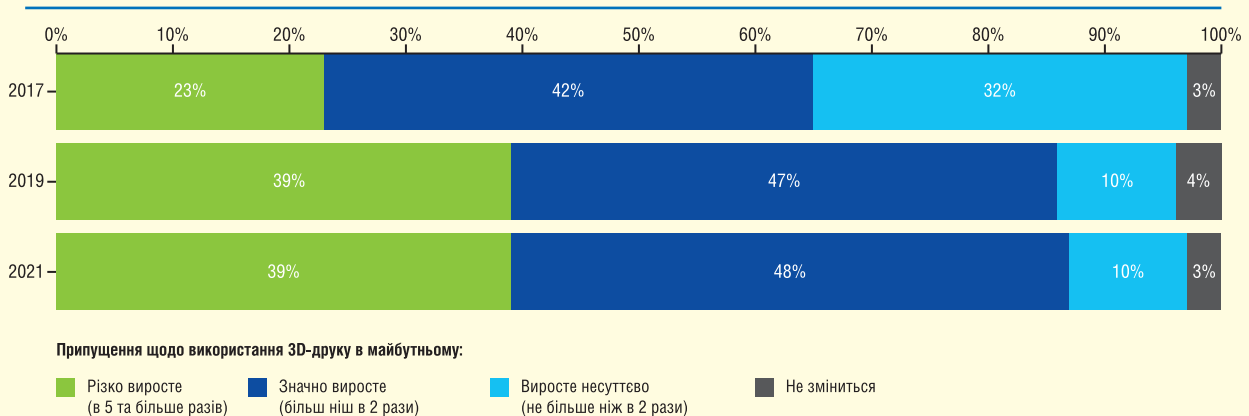


Рис. 2. Результати дослідження компанії Jabil

АД
Ве

ЕЛЕКТРОННІ КОМПОНЕНТИ

від провідних виробників світу,
зі складу та під замовлення

Гнучкі ціни



ТОВ "АДС ТІМ"
Україна, 03680, м. Київ
пров. Радищева, буд. 3
+38 (044) 361-46-78, 206-22-52
+38 (067) 249-77-58, (050) 464-22-52
zapros@adcgr.com www.adcgr.com

ТОВ Аіронікс КОМПОНЕНТС



тел.: +38 044 384-17-55
+38 044 501-07-29
+38 044 501-80-09
info.aironics@gmail.com

- електронні компоненти
- друковані плати
- виготовлення дослідних зразків приладів
- контрактне виробництво
- перетворювачі частоти до 11 кВт (Україна) до 220 кВт (Китай)

м. Київ, вул. О. Довженка, 3
www.aironics.com.ua
www.aironics.prom.ua



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

ОПЕРАТИВНІ ПОСТАВКИ
ЕЛЕКТРОННИХ КОМПОНЕНТІВ

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



Розробка ВЧ та НВЧ приладів

від ідеї та тех-завдання до прототипа та виробництва

- Аналогова та цифрова частини
- Інтеграція з корпусними елементами
- Вимірювання та тести

Допомога у виборі компонентної бази.
Допомога у проходженні тестів та CE/FCC сертифікації.

61003, Харків
пл. Конституції, 1, оф. 85-05

+380 577 300 650
info@ag-rf-engineering.de
www.ag-rf-engineering.com

ТОВ «НВП АСТЕРА»
директор **ТЕРЕЙКОВСЬКИЙ**
Артем Семенович
Ферритові осердя,
аксесуари, індуктивні елементи

61072, Україна, Харків, вул. Тобольська 42 оф. 222
тел.: 057-757-2859, факс: 057-728-1808
050-323-3763, 067-575-4440, 068-616-7777
http://www.ferrite.com.ua E-mail: ferrite@ukr.net

SONION, Amphenol LTW, TE, DARKCO, OSRAM, SAMSUNG, MORNSUN

- Електронні компоненти
- Світлодіодне освітлення
- Друковані плати
- Контрактне виробництво



bis_electronics @BISelectronic bis@bis-el.kiev.ua | bis-el.com
+38 (044) 490-35-99

Представництво „Вайдмюллер Интерфейс
ГмбХ & Ко. КГ“

вул. Здолбунівська, 7Д (корп. Ж), оф. 414
02081 Київ
Т +38 044 574 97 20
Ф +38 044 574 97 20

info.ua@weidmueller.com
www.weidmueller.com



VD MAIS

ДИСТРИБ'ЮЩА +
КОНТРАКТНЕ
ВИРОБНИЦТВО

03061, Київ,
вул. Михайла Донця, 6
тел.: +380 (44) 201 02 02
info@vdmals.ua
www.vdmals.ua

- електронні компоненти
- електромеханічні компоненти
- промислова автоматизація
- вимірювальні прилади
- обладнання та матеріали для виробництва електроніки
- друковані плати
- контрактне виробництво

VD MAIS

Контрактне
виробництво
електроніки
(за стандартом IPC-A-610)

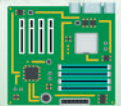


- автоматизований монтаж SMD-компонентів (до 2.5 млн на добу)
 - автоматизована селективна пайка компонентів, що монтується у отвори
 - монтаж прототипів друкованих плат
 - 100% автоматичний оптичний контроль якості монтажу
 - виготовлення дослідних зразків виробів
 - дрібносерійне та серійне виробництво
 - більш ніж 10-річний досвід контрактного виробництва
 - гарантія якості продукції
- Сертифікація на відповідність вимогам стандартів ISO 9001:2015, ISO 14001:2015, IATF 16949:2016 та ISO 13485:2016.
Ціни – оптимальні

Україна, 03061, Київ, вул. Михайла Донця, 6
тел./факс: (044) 201-0202, (057) 719-6718,
(0562) 319-128, (032) 245-6478, (048) 734-1954,
info@vdmals.ua; www.vdmals.ua

ВЕРІКОМ КОМПОНЕНТС

- Виробництво друкованих плат від 1 шт
- Контрактне виробництво
- Власний склад електронних компонентів
- Покриття плат лаком і компаундами
- Відповідаємо вимогам стандарту ISO 9001:2015



Україна, м. Київ
вул. Марії Калніст, 2а, оф. 114
URL: www.verikom.kiev.ua



тел./факс: (+380) 44-501-9335
(+380) 67-508-0229
E-mail: sales@temys.kiev.ua

WINTEX

(044) 5036112
(067) 2983455
Професійний ремонт (050) 2665517



www.wintex.com.ua

- 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

ГАММА УКРАЇНА
www.microchip.ua sale@microchip.ua

(056) 745-46-65, (0562) 36-07-92
(044) 494-35-72, (044) 223-84-63

Прямі поставки від виробника

Комплексні поставки електронних комплектуючих

- Автоматика
- Датчики
- Джерела живлення
- Компоненти і модулі СВЧ
- Мікросхеми
- Рознімачі
- Реле
- Системи бездротового зв'язку
- Системи відображення інформації
- Хімічні джерела струму

38 (044) 239-96-06
38 (044) 498-01-68

www.grandelectronic.com
office@grandelectronic.com

Бульвар Вацлава Гавела, 8
м. Київ, 03124

ДАСПОЛ **ВСЕ ДЛЯ СИЛОВОЇ ЕЛЕКТРОНИКИ ТА АВТОМАТИКИ**

діоди, тиристори, триаки, IPM, IGBT;
давачі струму та напруги LEM;
запобіжники BUSSMANN;
конденсатори електролітичні ВНС, плівкові, високовольтні;
резистори середньої та великої потужності;
напівпровідникові, електро механічні реле;
вентилятори радіальні та центробіжні;
обладнання для шафів;
кінцеві вимикачі, давачі тиску, рівня, вологості;
світлові та звукові сигналізатори;
UF та IR промислові лампи PHILIPS.

02090, м. Київ, вул. Сновська, 20
E-mail: kiev@daspol.ua, www.daspol.ua
T./ф: (+380 44) 501 93 44, GSM: (+380 50) 447 39 12

Промислові комп'ютери та монітори, модулі вводу виводу

ask@ekzot.com.ua
Київ, М. Донця, 6, оф. 102 Б
+38 (050) 807-97-62
+38 (068) 972-95-70

ЕКЗОТ

ДП «Гальванотехніка» ПАТ «Київський завод "Радар"»

ТОВ «НВЦ друкованих плат»

Виготовлення друкованих плат:

- одно-, дво- та багатшарових 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. Оптимальне співвідношення ціна/якість.
Послуги по монтажу плат.

03680, м. Київ, вул. Предславинська, 35
тел.: (044) 592-5467, 528-2068, 528-3656

http://plata.com.ua
order@plata.com.ua

Науково-Впроваджувальна Фірма "Гранато"

Тел / факс 044-453-44-04, 453-44-06
E-mail: granato@granato.kiev.ua, office@granato.kiev.ua
http://www.granato.com.ua, http://www.multiport.com.ua
м. Київ, вул. Вацлава Гавела, 8, для листів: 03067, а/с 63, НВФ Гранато

СИСТЕМИ ВІДОБРАЖЕННЯ, ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ ТЕЛЕКОНФЕРЕНЦІЙ,
МУЛЬТИПОРТОВІ ПЛАТИ, ЕЛЕКТРОННІ ГОДИННИКИ, КОНТРОЛЕРИ

Інформаційні транспортні системи
Розробка та виготовлення на основі електромеханічних та світлодіодних індикаторів.

Бортові комп'ютери, передні, бокові, задні, внутрішні табло, аудіоінформатори.

ЕЛЕКТРОННІ КОМПОНЕНТИ
від провідних виробників світу,
зі складу та під замовлення

Гнучкі ціни

ADC TEAM

ТОВ "АДС ТІМ"
Україна, 03680, м. Київ
пров. Радищева, буд. 3
+38 (044) 361-46-78, 206-22-52
+38 (067) 249-77-58, (050) 464-22-52
zapros@adcgr.com www.adcgr.com

Незалежний постачальник електронних компонентів

EVOCOM
www.evocom.ua

- Швидкі терміни поставок (до 7 днів)
- Безкоштовна доставка по Україні
- Більш ніж 6 млн. товарів в каталозі

www.evocom.ua
email: info@evocom.ua
тел. [044] 520-19-13

ЕЛЕКТРОНІКА • ЕЛЕКТРОТЕХНІКА • АВТОМАТИКА

CHIP NEWS

НАУКОВО-ТЕХНІЧНИЙ ЖУРНАЛ
ВИДАЄТЬСЯ З 2001 РОКУ

03061, Київ,
просп. Відрадний, 10

(044) 490 74 99
(044) 490 74 30
info@chipnews.com.ua
www.chipnews.com.ua

Єв
Ме

**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



IMRAD
Електронні компоненти

**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



ІНКОМТЕХ-ПРОЕКТ

електронні компоненти
електромеханічні компоненти
контрактне виробництво
промислова автоматизація

Україна, 04050, м. Київ,
вул. Герцена, 17-25, оф. 9
e-mail: office@i-p.com.ua
www.i-p.com.ua

тел.: (+38 044) 230-01-81
(+38 044) 486-25-37
факс: (+38 044) 483-95-11



ОЛЬВІЯ

ТОВ "КОМПАНІЯ ОЛЬВІЯ"
Корпуса пластиків. Клавіатура плівкова.
Кабельно-провідникова продукція.

[044] 399.7550 [044] 503.3323 KORPUS.KIEV@GMAIL.COM
ISO# 9001-2008

03113, м. Київ, вул. Дружківська, 12 А korpus.kiev.ua



MASTEK
VISSA GROUP

м. Київ, пров. Радищева, 3, офіс 307
тел. +38 (044) 451-60-80 info@mastek.com.ua
моб. +38 (067) 919-51-15 www.mastek.com.ua

Авторизований дистрибутор
NXP, STMicroelectronics, AMPELON, WeEn в Україні



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

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.: (057) 732 04 50, 732 01 76

e-mail: imskharkov@gmail.com

(073) 757 25 21 (22, 23)

we who are not as others



Телефон:
044 501 90 90

Web:
info@cogito.com.ua



**КОМПАНІЯ
СК-ТЕХНО**
контрактне виробництво

- контрактне виробництво
- друковані плати
- монтаж
- комплектація

<http://spcb.com.ua>
e-mail: info@spcb.com.ua
тел./факс: (044) 369-53-67

<http://melsys.com.ua>



- контрактне виробництво електроніки
- монтаж і виготовлення друкованих плат
- виготовлення трафаретів

ТОВ "Мелсис"
Київ, вул. Новозабарська, 2/6, оф. 204
info@melsys.com.ua

+38 044 578 18 15
+38 096 926 70 69
+38 063 435 68 10

Microdis Electronics GmbH
Rheinauer Straße 1
68766 Hockenheim
Germany

MICRODIS

Дистриб'ютор
електронних
компонентів

www.microdis.net

Роман Прокопець
Менеджер з продажу

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

Партнерство
в електроніці

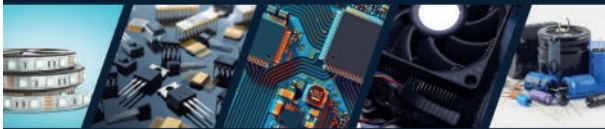
МИКРО
ПРИБОР



03142, м. Київ, вул. Кржижановського, 4, офіс 101
Тел.: 044 392-93-86, Факс: 044 392-93-87
www.micropribor.com.ua sales@micropribor.com.ua

Mi
Pa

ОПТОВИЙ ПРОДАЖ ЕЛЕКТРОННИХ КОМПОНЕНТІВ



μ'S
MICROS

Польща | 30-198 Краків | вулиця Е. Годлевського 38
тел. | WhatsApp | Telegram | VIBER | IMO: +48 601 480 223
тел. +48 12 636 95 66 ext. 146 SKYPE: pavlogrd

www.otlodka.com.ua

Автоматизований SMD монтаж
друкованих плат

Фрезерування панелей,
корпусів та пластику

3D-друк

+38 050 447-12-58 +38 098 661-97-97

ФОП Сарієв Р.Б.

PCBA

КОНТРАКТНИЙ
ВИРОБНИК ЕЛЕКТРОНІКИ
ПІД ЗАМОВЛЕННЯ

+38 044 338 97 73
info@pcba.com.ua
pcba.com.ua

ЕЛЕКТРОННІ КОМПОНЕНТИ

від провідних виробників світу,
зі складу та під замовлення

Гнучкі ціни



ТОВ "АДС ТІМ"
Україна, 03680, м. Київ
пров. Радищева, буд. 3
+38 (044) 361-46-78, 206-22-52
+38 (067) 249-77-58, (050) 464-22-52
zapros@adcgr.com www.adcgr.com

PCBTUT

Зручний онлайн РСВ-калькулятор
мінімальне замовлення - 5 шт.

Постачання:

- друковані плати FR-4;
- алюмінієві друковані плати;
- трафарети для паяльної пасты;
- паяльна паста;
- припій.

Сайт: pcbtut.com
e-mail: pcbtut@pcbtut.com
+38 (067) 674 99 14

вбудовані процесорні плати

www.proxis.ua
+380(44)4675977
+380(44)5995977

COMexpress
Qseven
PC-104
ETX



промислові комп'ютери та системи

RADIODETAILI

- Паяльне обладнання
- Резистори
- Вентилятори
- Світлодіодне обладнання
- Трансформатори
- Акумулятори
- Реле
- Блоки живлення
- Конденсатори
- Мобільні аксесуари

КУПУЙ ВИГІДНО

radiodetali.com.ua



ЕЛЕКТРОНІКА • ЕЛЕКТРОТЕХНІКА • АВТОМАТИКА

CHIP NEWS

НАУКОВО-ТЕХНІЧНИЙ ЖУРНАЛ

ВИДАЄТЬСЯ З 2001 РОКУ

03061, Київ,
просп. Відрадний, 10

(044) 490 74 99
(044) 490 74 30
info@chipnews.com.ua
www.chipnews.com.ua

РАДІОМАГ
МЕРЕЖА МАГАЗИНІВ РАДІОДЕТАЛЕЙ

Львів Київ Харків
Одеса Дніпро

www.rcscomponents.kiev.ua
+38(044)299-77-55 sales@radiomag.com.ua

- мікросхеми
- транзистори
- діоди і діодні містки
- GSM, GPS, GPRS
- паяльне обладнання
- вимірювальне обладнання
- блоки живлення
- рознімачі
- інструмент
- пасивні компоненти
- батарейки та акумулятори та багато іншого

МП "РЕМІКС"
www.remix.com.ua
Офіційний дистриб'ютор в Україні

FineTek, Venanzetti Vibrazioni, Nivelko

Пропонує датчики рівня рідин та сипучих матеріалів, датчики тиску, різноманітні регулятори, панель метри, пневмо та електровібратори

Тел./факс +38 04563 99-760, 99-926, 99-775

Committed to excellence
CONSULT | COMPONENTS | LOGISTICS | QUALITY

RUTRONIK
ELECTRONICS WORLDWIDE

Wilhelm Fleischhauer
Country Manager
Phone: +49 7231 801 1403
Mail: Wilhelm.Fleischhauer@rutronik.com

Михайло Єлізаров
представник в Україні
Тел. +038 (050) 312 01 07
Mail: Mykhaylo.Yelizarov@rutronik.com

- Напівпровідники
- Пасивні компоненти
- Електромеханіка та кабельні рішення
- Дисплеї та монітори
- Промислові комп'ютери
- Рішення по DDR і SSD
- Бездротові технології

Semisvit
Create with us

ТОВ "СЕМІСВІТ"
вул. Б. Хмельницького, 16-22, оф. 504-Г
01601, м. Київ, Україна
тел./факс: +380 44 586-2580
www.semisvit.com.ua
info@semisvit.com.ua

Електронні компоненти зі всього світу.
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

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

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

SEA ІННОВАЦІЇ ТА ЕФЕКТИВНІСТЬ

30 років
1984-2014

м. Київ, вул. Краківська, 13-Б
тел. +38(044)330-00-88
sea.com.ua, info@sea.com.ua

Постачання: Електронні компоненти • Джерела живлення • Світлодіодна продукція та оптоелектроніка • Обладнання для енергетики • Електротехнічна продукція
Кабельно-провідникова продукція • Обладнання для промислової автоматизації
Вимірювальні прилади • Паяльне обладнання та матеріали для пайки • Сонячна енергетика

Виробництво: Світлофори та технічні засоби керування дорожнім рухом • Паркувальне обладнання і системи • Система управління міським освітленням • Система диспетчеризації ліфтів
Плати зі світлодіодами для LED освітлення • WIM - системи динамічного зважування транспортних засобів

Послуги: Комерційні розробки • Проектування та виготовлення друкованих плат
Контрактне виробництво • Модернізація та обслуговування паркінгів

Харків: kharkiv@sea.com.ua Дніпро: dnipro@sea.com.ua Львів: lviv@sea.com.ua

Україна, Київ
вул. Є. Сверстюка, 13, оф. 903
тел. 044 239 20 65 багатокан.
e-mail: kiev@symmetron.ua
www.symmetron.ua

Електронні компоненти зі складу
Пряма офіційна дистриб'юція

НВП ТЕХНОСЕРВІСПРИВІД
ВСЕ ДЛЯ СИЛОВОЇ ЕЛЕКТРОНІКИ 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

TRANSFER MULTISORT ELEKTRONIK

ПОНАД 800
ПРОВІДНИХ ВИРОБНИКІВ

ПОНАД 160 000
ПРОДУКТІВ



Electronic Components

tme.eu

▪ ЕЛЕКТРОТЕХНІКА ▪ ЕЛЕКТРОННІ КОМПОНЕНТИ
▪ ВИМІРЮВАЛЬНІ ПРИЛАДИ ▪ ІНСТРУМЕНТИ

Łódź, Poland, +48 42 645 54 44, export@tme.eu

Te
Xa


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 ЕЛЕКТРОНІК
ОФІЦІЙНИЙ ДИСТРИБ'ЮТОР В УКРАЇНІ



04080, Київ
вул. Вікентія Хвойки, 18/14, офіс 710

тел./факс +38 (044) 451-48-34
e-mail: office@west-l.com
www.west-l.com



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

ЕЛЕКТРОННІ КОМПОНЕНТИ
від провідних виробників світу,
зі складу та під замовлення

Гнучкі ціни



ТОВ "АДС ТІМ"
Україна, 03680, м. Київ
пров. Радищева, буд. 3
+38 (044) 361-46-78, 206-22-52
+38 (067) 249-77-58, (050) 464-22-52
zapros@adcgr.com www.adcgr.com



PHOENIX CONTACT

phoenixcontact.ua



ФІЛУР ЕЛЕКТРИК



Електронні компоненти
Електротехнічна продукція
Технологічне обладнання, інструмент, матеріали

1-й пов., вул. Попудренка, 22/14, м. Київ
тел. 044 495 75 75, моб. 068 496 75 75

www.filur.net
office@filur.net

People · Power · Partnership



HARTING
Polaska
Sp. z o.o.
Pushing Performance

Kateryna Bodaratska
Business Manager

ul. Duńska 11 · 54-427 Wrocław, Polska · kateryna.bodaratska@HARTING.com
☎ +48 (71) 352 81 71 int. 9 · mobile +48 607 078 277 · www.HARTING.com

ЕЛЕКТРОНІКА • ЕЛЕКТРОТЕХНІКА • АВТОМАТИКА

CHIP NEWS

НАУКОВО-ТЕХНІЧНИЙ ЖУРНАЛ
ВИДАЄТЬСЯ З 2001 РОКУ

03061, Київ,
просп. Відрадянний, 10

(044) 490 74 99
(044) 490 74 30
info@chipnews.com.ua
www.chipnews.com.ua



РОЗМІРИ РЕКЛАМНИХ БЛОКІВ

1 сторінка (200×270 мм)*
 2/3 сторінки (112×240 мм)
 1/2 сторінки (170×120/83.5×240 мм)
 1/3 сторінки (54×240/112×120/170×80 мм)
 1/4 сторінки (112×100 мм)
 1/6 сторінки (54×120/112×60/127×55 мм)
 «Візитка» (80×40 мм)

* Для усунення неточностей при обрізанні, розмір реклами, яка подається, повинен бути 210×280 мм (дообрізний формат з урахуванням «вильотів» по 5 мм з кожного боку, які краще заповнити основним фоном реклами). Значимі символи (текст, логотип та інші елементи оформлення, які гарантовано не повинні потрапити під обрізку) не повинні підходити до краю сторінки менш ніж на 10 мм (післяобрізний формат сторінки 200×270 мм).

Редакція журналу «CHIP NEWS» приймає до розміщення тільки повнокольорові рекламні блоки, розміри яких повинні в точності відповідати розмірам, наведеним у таблиці.

Текст реклами повинен бути виключно українською мовою.

ЦІНА ПЕРЕДПЛАТИ НА 2022 рік

звичайна	550 грн
для студентів і бібліотек	450 грн

* ПДВ не обкладається.

ПРИ ОФОРМЛЕННІ ПЕРЕДПЛАТИ НА ЖУРНАЛ ЧЕРЕЗ РЕДАКЦІЮ, ПОЧИНАЮЧИ З БУДЬ-ЯКОГО НОМЕРА, НЕОБХІДНО:

переказати на вказаний нижче розрахунковий рахунок ТОВ «Булавіа-Посад л.т.д.» суму, згідно з ціною на передплату.

Для **фізичних осіб** обов'язково передати факсом (044) 490-74-99 або на email: peredplata@chipnews.com.ua, або вислати поштою на адресу редакції заповнений талон чи копію платіжного доручення, або іншого документа, який підтверджує оплату.

Банківські реквізити:

р/р № UA403510050000026008572392300 в ПАТ «УкрСиббанк», м. Київ
 МФО 351005, код по ЄДРПОУ 21500793, ІПН 215007926586

Отримувач: ТОВ «Булавіа-Посад л.т.д.»

Призначення платежу: Передплата на журнал «CHIP NEWS»

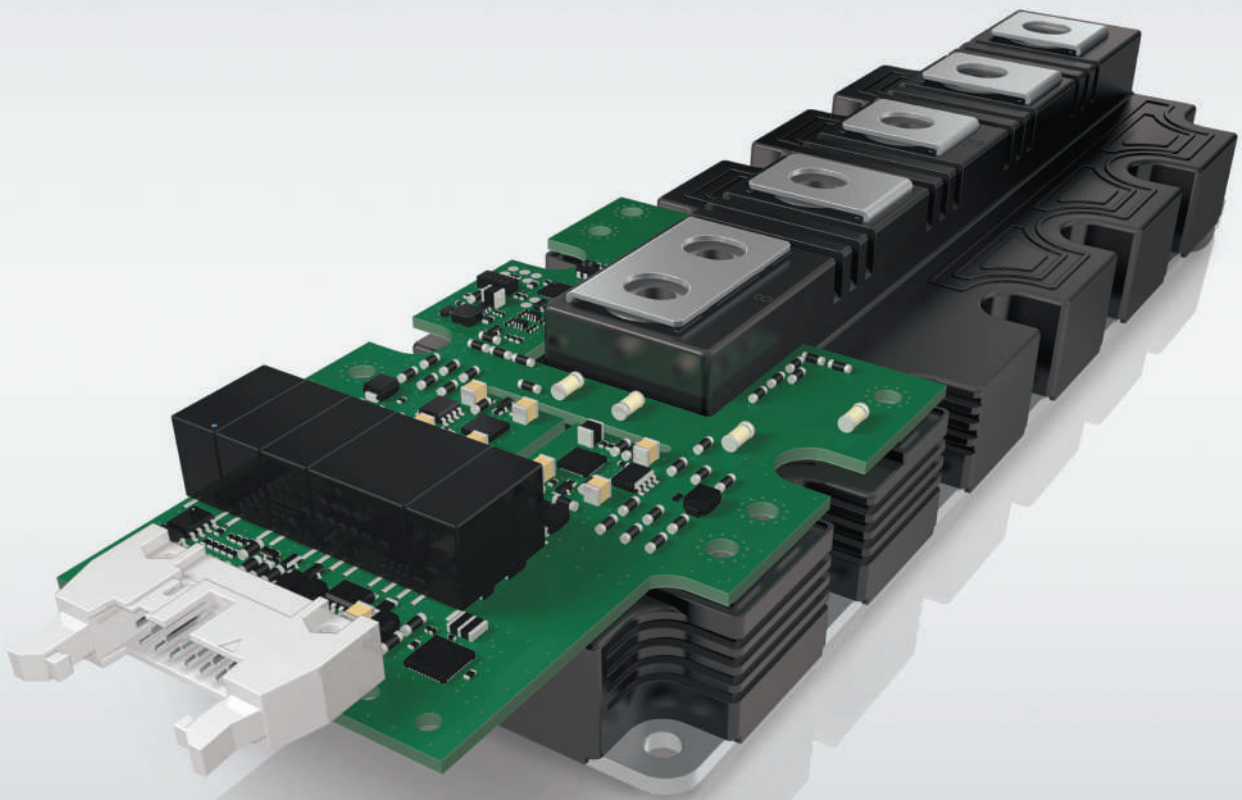
Тут також вкажіть точну поштову адресу (**індекс обов'язково**), телефон, П.І.Б. особи, відповідальної за передплату.

ВИМОГИ ДО РЕКЛАМНИХ І АВТОРСЬКИХ МАТЕРІАЛІВ

Рекламні матеріали приймаються **тільки українською мовою в форматах «.eps» або «.tif» (300 dpi)**. Кольорова модель — **СМУК**. 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 СМУК. **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 — **СМУК** і надані окремими файлами. Кожний рисунок повинен мати підписувачий підпис і посилання на нього в статті. Якщо в статті є таблиці, то кожна таблиця повинна мати назву, посилання на неї в статті і надаватись в форматах «*.doc» або «*.xls».

Нове покоління модулів SEMITRANS 10 і цифрових драйверів SKYPER PRIME



Діапазон потужностей 500 кВт–1,5 МВт

Модулі IGBT в стандартному промисловому корпусі

Висока стійкість до термоциклювання

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.com

shop.semikron.com





A PERFECT ALLIANCE.

Наступне покоління рознімачів для модернізації військової техніки — рознімачі серії ODU AMC

Радіотелефонія та передача даних по радіоканалу

- Відмінне екранування
- Відмінні характеристики

3'єднання з каскою

- Мінімальні розміри / низькопрофільний рознімач

Прилади нічного бачення / дисплеї TFR

- Версія з підпружиненими контактами rого ріп

Персональний комп'ютер

- Малий розмір
- Мала вага
- Можливе колірне кодування

Модуль навігації

- Версія з простим очищенням контактів

Обмін даними з автомобілем

- 3'єднання-роз'єднання під навантаженням

Блок управління, що носитья

- 3'єднання кабель—кабель

GPS антена

- Коаксіальні рознімачі розміру "0"
- Push-pull засочка

www.odu.de

Rainbow Technologies

www.rainbow.com.ua

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

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

esp@rainbow.com.ua