ЕЛЕКТРОНІКА • ЕЛЕКТРОТЕХНІКА • АВТОМАТИКА

1 / 2022

CHIP NEWS

КОНТРАКТНЕ ВИРОБНИЦТВО ПОВНОГО ЦИКЛУ –
ВІД РОЗРОБКИ ДО ГОТОВОГО ПРОДУКТУ

EUROCOM
COMPONENTS

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

• Обриси майбутнього ... стор. 12
• Інтерв'ю з фундатором ... стор. 14
• Вибір ЕК для кросоверів ... стор. 24
• Micros sp. j. пропонує ... стор. 26
• Розробка Li-Fi-пристроїв ... стор. 28
• ADI Precision Studio від AD ... стор. 32

MASTEK
VISSA GROUP

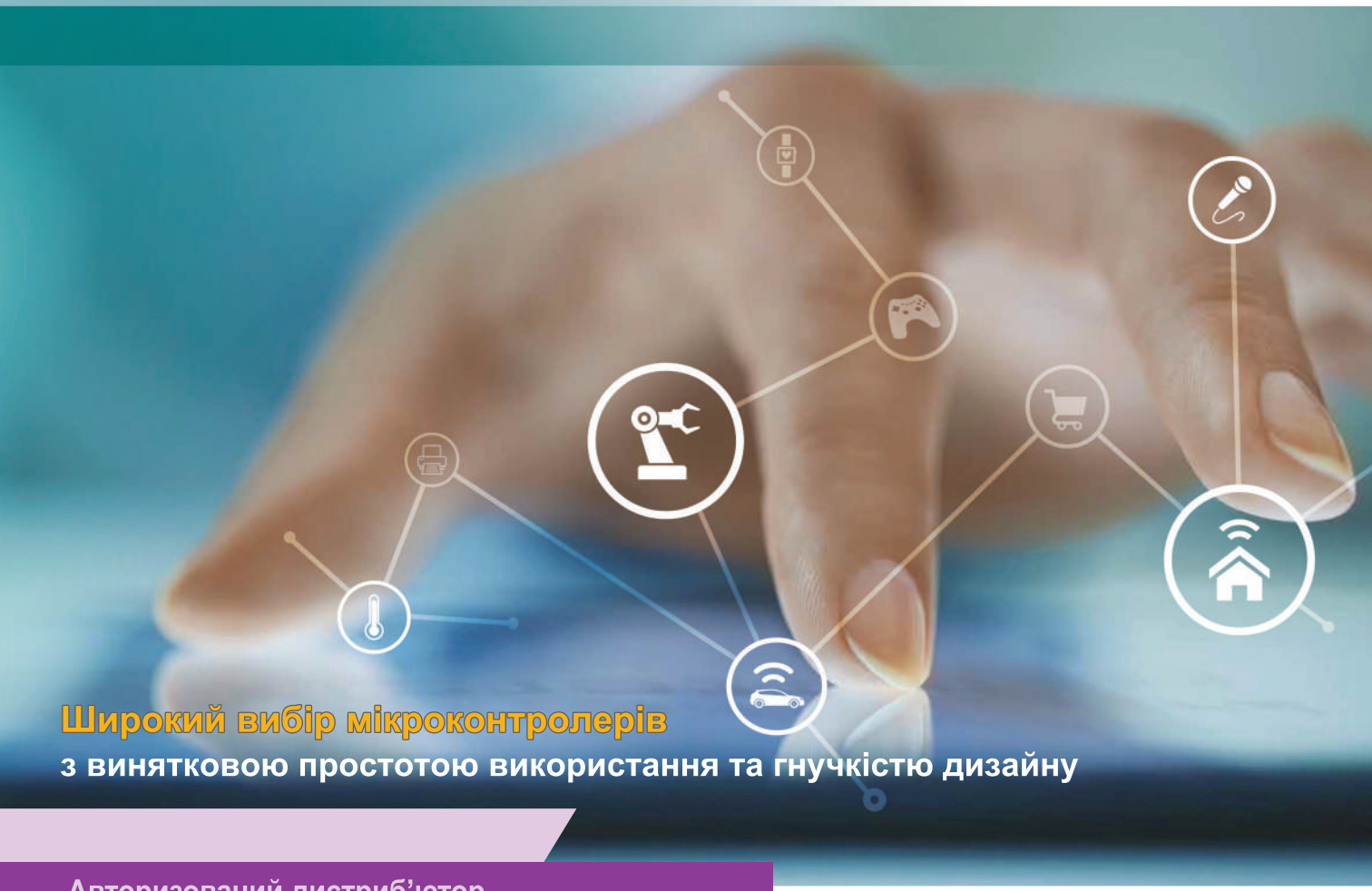
АВТОРИЗОВАНИЙ ДИСТРИБ'ЮТОР

NXP founded by Philips

Мікроконтролери LPC

В УКРАЇНІ

ІННОВАЦІЇ



Широкий вибір мікроконтролерів
з винятковою простотою використання та гнучкістю дизайну

Авторизований дистриб'ютор
NXP, STMicroelectronics, Ampleon, WeEn в Україні

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

info@mastek.com.ua
www.mastek.com.ua

ЕЛЕКТРОНІКА • ЕЛЕКТРОТЕХНІКА • АВТОМАТИКА
CHIP NEWS

№ 01 (211), 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., Кабанов О. В.,
Крючатов С. Д., Макаренко В. В.,
Мисак Т. В., Олещенко Н. І.,
Правосудов П. В., Рентюк В. К.,
Стецюк Л. В., Чорний В. М.,
Шаріпова Т. В., Шевченко В. Л.

Розповсюдження, передплата
Руднєва О. Ю.
E-mail: peredplata@chipnews.com.ua

Адреса редакції:
03061, Київ,
просп. Відрадний, 10
тел./факс: (044) 490-74-99,
(044) 490-74-30
E-mail: info@chipnews.com.ua
http://www.chipnews.com.ua

Друк:
ТОВ «Типографія «Літера»»
тел./факс: (044) 502-68-08

Тираж — 1500 прим.

Передплатний індекс за каталогом
ДП «Преса» (Укрпошта) — 21934

Передплата і доставка по Україні
за каталогами провідних
передплатних агенцій

© «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

ІНЖЕНЕРНА ПРАКТИКА

Маріо Клуг (Mario Klug)
Роздрібна торгівля в цифрову епоху. Обриси майбутнього 12

ІНТЕРВ'Ю

Після смерті тигр залишає шкуру, а людина — ім'я 14

РИНОК ЕЛЕКТРОНІКИ

Олексій Трошин, Максим Піскайкін
Інжиніринг та «Індустрія 4.0». Розбір термінології 18

ПАСИВНІ КОМПОНЕНТИ

Олексій Панфьоров
Особливості вибору компонентів для кросоверів акустичних систем 24

Реле: Micros sp. j. пропонує 26

НА ДОПОМОГУ РОЗРОБНИКУ

Муса Унмехопа (Musa Unmehopa)
Вибір стандартів Li-Fi під час розробки Li-Fi-пристроїв 28

Володимир Макаренко
ADI Precision Studio від компанії Analog Devices. Частина 4 32

Ілля Тарасов
Системи на модулі Kria компанії Xilinx 38

Йєн Сатерлей (Ian Saturley)
Контролери EtherCAT з погляду Microchip Technology 43

ШВИДКА КУПІВЛЯ КОМПОНЕНТІВ ОНЛАЙН

VD MAIS
ДИСТРИБ'ЮЦІЯ + КОНТРАКТНЕ ВИРОБНИЦТВО

CATALOG.VDMAIS.UA

- миттєве оформлення рахунка
- оплата карткою онлайн
- система знижок та бонусів

Powered by Digi-Key ELECTRONICS

VD MAIS - офіційний партнер Digi-Key Electronics в Україні

РАДІОМАГ

МЕРЕЖА МАГАЗИНІВ РАДІОДЕТАЛЕЙ

www.radiomag.com.ua

Модулі SOM-6883 та SOM-7583: відмінна допомога у тестуванні 46

ДЖЕРЕЛА ЖИВЛЕННЯ

Володимир Рентюк
Модуль компанії RECOM спрощує рішення збору та використання вільної енергії 47

Володимир Рентюк
Імпульсні блоки живлення універсального застосування серій LM/LMF та LI/LIF компанії MORNSUN 54

МІКРОКОНТРОЛЕРИ

Ігор Гук
Високоефективні мікроконтролери компанії Renesas Electronics Corporation 60

Сергій Долгушин
Новий модуль Wiznet W5100S-EVB-Pico — Raspberry Pi Pico з апаратною підтримкою Ethernet 64

СИЛОВА ЕЛЕКТРОНІКА

Бернард Айчлер (Bernhard Eichler)
Андреас Гісман (Andreas Giessmann)
Переклад та коментарі: Андрій Колпаков
IGBT Gen. 7 у трирівневих перетворювачах 69

АЦП І ЦАП

Вонг Чі Хенг (Wong Chee Heng),
Лім Чіун Пін (Lim Shiun Pin)
Швидке виявлення перевантаження струмом за допомогою сигма-дельта модуляторів з оптичною ізоляцією 76

СИСТЕМИ ЗВ'ЯЗКУ

Дмитро Новинський
Нові LTE Cat.1 рішення SIMCom Wireless Solutions 81

АНТЕНИ

Віктор Алексєєв
Нова маркетингова політика Quectel: бездротові модулі в комплекті з антенами. Частина 2 86

ВІЗИТКИ 96

ВИСТАВКИ 102

ІНФОРМАЦІЙНА СТОРІНКА 104

Committed to excellence

CONSULT | COMPONENTS | LOGISTICS | QUALITY

RUTRONIK
ELECTRONICS WORLDWIDE

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
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

www.rutronik.com

Новини світу електронних компонентів

НОВЕ СІМЕЙСТВО ETHERNET-КОМУТАТОРІВ

Автоматизація виробництва значно підвищує його ефективність, починаючи зі скорочення часу обробки та зберігання та закінчуючи підвищенням пропускної спроможності. Основу роботи сховищ даних та інших промислових екосистем з конвергентними інфраструктурами інформаційних (IT) та операційних технологій (ВІД) становить стандарт передачі даних у реальному масштабі часу в детермінованих мережах Ethernet (Time Sensitive Networking, TSN), що забезпечує точні часові співвідношення, синхронізацію та підключення пристроїв — камер, зчитувачів штрих-кодів, сканерів та конвеєрів. Цим екосистемам потрібна мережна технологія наступного покоління для зв'язку між пристроями, датчиками та обладнанням. Компанія **Microchip Technology** анонсує сімейство комутаційних TSN-пристроїв LAN9668 з функціями, що відповідають стандартам IEEE. Це перше в галузі комутаційне рішення, яке зменшує затримку потоків даних та підвищує точність синхронізації.

Нещодавно чотирипортовий Gigabit Ethernet PHY-трансивер LAN8814 від Microchip доповнює це нове сімейство LAN9668x. LAN9668-I/9MX і LAN9668-9MX від Microchip є 8-портові комутатори для промислових і комерційних додатків, відповідно. Пристрої мають центральні процесори Arm® Cortex®-A7, які підтримують стандарти зв'язку TSN IEEE промислових систем. До підтримуваних протоколів відносяться IEEE 1588v2 і IEEE 802.1AS-2020 для точного керування тимчасовим режимом, IEEE 802.1Qci для фільтрації потоків і визначення політики, IEEE 802.1Qav і IEEE 802.1Qbv для формування трафіку, IEEE 8 передачі даних IEC-62439-2, ODVA-DLR та IEC-61158-6-10 для резервування. API-інтерфейси Ethernet Switch (MESA) та PHY (MEPA) від компанії Microchip надають можливість гнучкого проєктування повноцінної та зручної для користувача бібліотеки функцій, яка не залежить від операційної системи (ОС).

LAN9668 і LAN8814, які підтримуються в масштабованих TSN-чипсетах інтегрованим програмним середовищем Microchip, забезпечують найменшу затримку та наскрізний обмін даними. LAN8814 — чотирипортова мікросхема Gigabit Ethernet PHY нового покоління, яка повністю підтримує найновіші вимоги стандарту TSN, включаючи IEEE 1588 v2 та пріоритетне переривання кадрів. При використанні технологій LAN9668 та LAN8814 можна задіяти TSN-чипсет, який забезпечує погодження за часом, резервування потоків, захист та управління, скорочуючи час та витрати на розробку. На додаток до сімейства Ethernet PHY-мікросхем LAN9668 та LAN8814 компанія Microchip надає відповідні мережеві операційні системи IstaX/SMBstaX та WebStaX, завдяки чому прискорюється час виходу виробів на ринок. До апаратного програмного забезпечення, що пропонується, відносяться вихідний проєкт у вигляді плати або комплекту компонентів Microchip, до якого входять TSN-комутатори, мікросхеми Ethernet PHY, пристрої синхронізації та генератори. Це інтегроване рішення, сумісне з усіма мережними стандартами, полегшує розробку на ранніх етапах.

www.microchip.com

16-РОЗРЯДНИЙ ЧОТИРИКАНАЛЬНИЙ АЦП

Компанія **Analog Devices** випустила 16-розрядний чотириканальний ЦАП AD7389-4 з частотою дискретизації 2 МГц з одночасною вибіркою у всіх каналах, що працює від джерела живлення напругою 3.0 ...3.6 В.

AD7389-4 має вбудовані блоки передискретизації для збільшення динамічного діапазону і зниження рівня шуму при більш вузькій смузі пропускання. В режимі передискретизації можна збільшити дозвіл АЦП на 2 біти.

В процесі перетворення і збору даних використовуються стандартні керуючі входи, що дозволяють легко взаємодіяти з мікропроцесорами або цифровими сигнальними перетворювачами.

Результат перетворення може виводитися одночасно по 4-провідному інтерфейсу в режимі високої пропускної здатності або по 1-провідному послідовному при більш низькій пропускній здатності. Пристрій сумісний з інтерфейсами 1.8/2.5/3.3 В, що використовують окреме джерело живлення.

www.analog.com

DC/DC-ПЕРЕТВОРЮВАЧІ ДЛЯ SMD-МОНТАЖУ

Компанія **RECOM** додала до лінійки DC/DC-перетворювачів серію RSH2 — повністю стабілізованих ізольованих 2-Вт перетворювачів з одним виходом в корпусі для SMD-монтажу.

Номінальні значення вихідної напруги для різних моделей 3.3, 5, 12, 15 і 24 В.

Модулі мають захист від короткого замикання і перевантаження, а також задовольняють нормам EN 55032 клас A або B за рівнем електромагнітних завад при використанні найпростішого зовнішнього фільтра.

Перетворювачі можуть працювати без навантаження і мають вхід вмикання/вимикання.

Діапазон робочих температур становить –40...85 °C без деградації характеристик, що відмінно підходить для використання в системах промислової автоматизації, контрольному та вимірювальному обладнанні, а також на транспорті.

Міцність ізоляції становить 2 кВ напруги постійного струму протягом 60 секунд (опціонально 3 кВ) і підтверджена сертифікацією UL/IEC/EN 62368-1. Модуль задовольняє нормам RoHS-2.

www.recom-power.com

СІМЕЙСТВО XLG

Сімейство XLG від **MEAN WELL** існує на ринку вже три роки, і обсяги їх продажів продовжують зростати. Вони широко відомі клієнтам завдяки своїй високій якості та помірній ціні. Щоб надати клієнтам ще ширший спектр драйверів, MEAN WELL доповнив лінійку продуктів XLG, додавши серії XLG-20 і XLG-320 потужністю 20 та 320 Вт відповідно. Дизайн цих серій наслідує дизайн всього сімейства XLG. Вони виконані в металевому корпусі зі ступенем захисту IP67 і підходять як для внутрішнього, так і для зовнішнього застосування.

Серія XLG-20 має 3 моделі з вихідним стабілізованим струмом 350/500/700 мА, які можна використовувати безпосередньо зі світлодіодами SMD або COB. Завдяки компактним розмірам 95×63×30 мм вони підійдуть для широкого спектру внутрішніх і зовнішніх світильників. XLG-320 продовжують дизайн драйверів з «постійною потужністю» і мають 3 моделі зі струмом, що регулюється в діапазонах 1 050...1 400 мА, 2 100... 2 800 мА та 5 500... 7 400 мА. Клієнти можуть регулювати вихідний струм відповідно до своїх потреб. Перевага такої конструкції полягає в тому, що вона забезпечує широкий діапазон струму для різних конфігурацій світлодіодів, що робить їх чудовим вибором для широкого спектру світильників. Серія XLG також включає моделі з «3-в-1» дімінгом, що відповідає останнім нормам IEC61347/UL8750 і GB7000.1.

www.meanwell.com

ДЖЕРЕЛА ЖИВЛЕННЯ

Компанія **MEAN WELL** випустила серію джерел живлення з піковою потужністю 350% від номінальної, призначені для роботи на індуктивне або ємнісне навантаження. У серію входять джерела живлення з номінальною потужністю 150, 300 і 600 Вт, з вихідною напругою 12, 24, 36 або 48 В.

Оскільки кількість застосувань, пов'язаних з двигунами і батареями, зростає з кожним днем, пошук джерела живлення, здатного задовольнити вимоги до пікового навантаження при керуванні індуктивними навантаженнями (двигунами) і ємнісними навантаженнями в момент пуску,

може бути утруднений. Користувачі звикли купувати кілька джерел живлення або збільшувати потужність джерела живлення, щоб подолати вимоги до пікового навантаження, але ці способи призводять як до збільшення габаритів, так і вартості таких джерел.

Щоб задовольнити високі вимоги ринку до технічних характеристик, компанія MEAN WELL випустила серію HRP-N3 в якості альтернативного рішення для користувачів.

Нова серія HRP-N3 успадкувала конструкцію з високою щільністю потужності і забезпечує наступні ключові переваги:

- габаритні розміри відповідають розмірам джерел HRPN, і трохи менше, ніж серія HRP;
- низькопрофільний дизайн 1U (за винятком моделі 600 Вт);
- пікове навантаження до 350% (пікова потужність HRP-150N3 становить 300% від номінальної) для виконання пускових вимог до навантажень на індуктивність і ємність;
- серія N3 має можливість регулювання вихідної напруги в діапазоні ±15% від номінального значення;
- вібростійкість 5 g для роботи в жорстких умовах;
- висота над рівнем моря до 5000 м;
- діапазон робочих температур −40 ... 70 °C;
- напрацювання на відмову не менше 452 тисячі годин;
- гарантія 5 років.

www.meanwell.com

ЗАРЯДНИЙ ПРИСТРІЙ І БЛОК ЖИВЛЕННЯ В ОДНОМУ ВИРОБІ

Невдовзі після старту виробництва універсальних зарядних пристроїв серій NPP-450 та NPP-750 Вт, компанія **MEAN WELL** випустила більш потужну серію — NPP-1200. Найважливіша особливість цієї новинки — це можливість швидко перемикати робочий режим (за замовчуванням встановлено режим зарядного пристрою).

Крім триступінчастої кривої зарядки для свинцево-кислотних акумуляторів, блок живлення можна перемикати в режим забезпечення постійною напругою живлення. Перемикання режиму роботи здійснюється підключенням або вимкненням перемички на передній панелі.

Ключовими особливостями NPP-1200 є широкий діапазон вихідної напруги, який регулюється потенціометром на передній панелі (від 10.5 до 21 В, від 21 до 42 В, від 42 до 80 В), регулювання вихідного струму від 50 до 100%, вбудований вентилятор з терморегулятором для зниження шуму, робоча температура від −30 до +70 °C, функція дистанційного ввімкнення/вимкнення, відповідність вимогам ITE IEC/EN/UL62368-1 та EN60335-1/-2-29, декілька функцій захисту та трирічна гарантія.

NPP-1200 — це безпечні, надійні та економічно вигідні пристрої подвійного призначення, що підходять для заряджання електромотоциклів, електровелосипедів, електросамокатів, гіробордів, гіроскутерів, кемпінгів, БПЛА, ручних електроінструментів, в режимі джерела живлення для систем керування виробництвом, сфер інформаційних технологій, зв'язку, систем безпеки та багато інших галузей.

www.meanwell.com

DC/DC-ПЕРЕТВОРЮВАЧІ

Компанія **Gaia Converter** оголосила про випуск серії DC/DC-перетворювачів MGM-500 потужністю 500 Вт. Ці перетворювачі з абсолютно нової серії перетворювачів високої надійності для критично важливих додатків. Перетворювачі потужністю 500 Вт випускаються у корпусі з габаритними розмірами 64 × 54.5 × 12.9 мм.

Випускається 5 модифікацій перетворювачів з різною вихідною напругою. Вироби призначені для високонадійних додатків і відрізняються розширеним діапазоном робочих температур (−40...105 °C), меншими пульсаціями вихідної напруги і кращою стабільністю вихідних параметрів, у порівнянні з попередніми серіями. MGDM-500 особливо підходить для складних застосувань. Він поставляється в повністю закритому металевому корпусі.

Перетворювачі цієї серії оснащені засобами захисту, такими як плавний пуск для обмеження пускового струму, захист від перевантаження і короткого замикання, а також відключення

при перегріванні. Коефіцієнт корисної дії до 91%.

Перетворювачі MGM-500 призначені для використання у системах цивільної та військової авіації, наземної та морської військової техніки, а також промислового обладнання, у медичній техніці та системах зв'язку.

www.gaia-converter.com

ОСЦИЛОГРАФ ЗМІШАНИХ СИГНАЛІВ

Компанія **Tektronix** модифікувала знаменитий осцилограф змішаних сигналів серії 5 — MSO5B. Новий осцилограф забезпечує розширену підтримку аналізу якості електроживлення, а також додаткові можливості налагодження та перевірки.

Маючи продуктивність, а також надійність осцилографа серії MSO5, прилад версії B пропонує орієнтовані на замовника удосконалення, починаючи з нового допоміжного входу зовнішньої синхронізації, не займаючи жодного з чотирьох, шести або восьми повнофункціональних вхідних каналів.

Максимальна вихідна частота вбудованого генератора сигналів довільної форми і стандартних функцій виросла з 50 МГц до кращих у своєму класі 100 МГц, що дозволяє формувати більш високочастотні випробувальні сигнали.

Для задоволення потреб інженерів, що працюють віддалено поза лабораторією, новий осцилограф змішаних сигналів серії 5B працює з новими програмними інструментами для автономного аналізу і хмарного зберігання даних. Програмне забезпечення TekScope™ для ПК дозволяє аналізувати дані осцилограм в будь-якому місці без прив'язки до самого приладу. Вбудовані елементи управління приладом дозволяють зберігати дані в хмарному сховищі TekDrive натисненням однієї кнопки. Користувачі можуть зберігати осцилограми в хмарі, що сприяє успішній спільній роботі фахівців, розкиданих по всьому світі. Більш швидкий процесор робить елементи управління ще більш чутливими і буде підтримувати більш складний аналіз вимірювань в майбутньому.

Додаткові функціональні можливості мають:

- новий, більш яскравий дисплей, який забезпечує більшу чіткість, показуючи дрібні деталі сигналів, отриманих з 12-розрядних АЦП приладу;
- архівний режим, який використовує розширену пам'ять осцилографа серії 5B, дозволяючи зберігати тисячі подій і потім легко їх переглядати, щоб знайти цікаві події;
- зйомний твердотільний накопичувач, на якому зберігаються всі призначені для користувача дані (необхідний для режимних лабораторій, де важливо забезпечити секретність результатів вимірювань).

Великий дисплей і продумана інтеграція користувальницького інтерфейсу з сенсорним екраном, що підтримує жести стягування і розтягування, перетягування і змахування, підвищує зручність користування осцилографом.

Прилади оригінальної серії 5 і серії 5B поставляються з високоімпедансними пасивними пробниками зі смугою пропускання до 1 ГГц, а також підтримують широку гаму пробників, таких як пробники шин живлення і пробники з оптичною роз'язкою IsoVu™, які не чутливі до синфазних завад.

www.tek.com

НОВІ ЧЕРВОНІ СВІТЛОДІОДИ

Нові світлодіоди компанії **Cree** серії XLamp XP-E2 Photo Red і Far Red, що призначені для використання в сільському господарстві, забезпечують ефективність на 68 відсотків вище, ніж у їхніх конкурентів.

Світлодіоди наступного покоління XLamp® XP-E2 Photo Red (660 нм) і Far Red (730 нм) забезпечують високу ефективність при вирощуванні рослин. Ці високоефективні світлодіоди підвищують ефективність світлодіодних світильників і скорочують терміни їх окупності, роблячи вирощування продуктів харчування при оптимальному освітленні більш доступним.

Світильники Hyperion™, які виконані на основі світлодіодів Cree, замінюють натрієві лампи потужністю 1 000 Вт і дозволяють економити до 40 відсотків електроенергії і широко використовуються фермерами, які вирощують салат і помідори у Великобританії, Нідерландах і Бельгії.

Нові світлодіоди XP-E2 є удосконаленням існуючих конструкцій для садівництва на базі XP з тими ж механічними і оптичними харак-

JANTZEN AUDIO
www.jantzen-audio.com

ФІЛУР ЕЛЕКТРИК
• Конденсатори
• Індуктивності
• Резистори
• Аудіороз'єми та акустичні термінали
• Звукоізоляційні матеріали
• Кабелі
www.filur.net

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

теристиками, що і у попередніх поколінь. Це нове покоління світлодіодів XP-E2 забезпечує кращі в галузі рівні потужності і ефективності в своєму класі продуктивності, покращуючи ефективність випромінювання далекого червоного світла на 57 відсотків.

www.cree-led.com

ГРАФІЧНИЙ OLED-ДИСПЛЕЙ

Компанія **Raystar Optronics** розпочала випуск графічних дисплеїв OLED з роздільною здатністю 256 × 64 пікселів із встановленим ємнісним сенсорним екраном. Монтаж кристалів драйверів, пасивних компонентів та допоміжних схем здійснюється на фольгованій гнучкій плівці (технологія COF — Chip on Flex). Ця технологія дозволяє отримувати компактнішу конструкцію модулів з меншою вагою. В даному випадку носій є перехідним кабелем між дисплеєм OLED і процесорним модулем.

Робоча площа екрана (площа зображення на екрані) 135.65 × 33.89 мм (розмір діагоналі 5.5"). Ємнісний сенсорний екран управляється вбудованою мікросхемою GT911, що розпізнає одну точку торкання. Додаткова друкована плата у конструкції дисплея допомагає користувачам заощаджувати час на розробці плати. До того ж є додаткова рамка з чотирма отворами для швидкого монтажу дисплея. Дисплейний модуль керується мікросхемою контролера SSD1322, яка підтримує стандартні паралельні інтерфейси 8080/6800, а також чотирита трипровідний послідовний повнодуплексний інтерфейс SPI (Serial Peripheral Interface), в якому закладена концепція обміну даними «ведучий/відомий».

Дисплеї характеризуються високою контрастністю 10000:1, що виділяє оптичні характеристики в порівнянні з традиційними дисплеями. Діапазон напруги живлення логічної частини 2.8–3.3 В, типове значення 3.3 В. Діапазон робочої температури –20...+70 °C, температурний діапазон зберігання –30...+80 °C. Пропонуються моделі із двома кольорами світіння екрану: зелений та жовтий. І нарешті, у конструкції підтримується формування напівтонового зображення на екрані способом широтно-імпульсної модуляції (ШІМ). Підтримка методу забезпечується апаратно у структурі драйвера стовпців. По шині даних кожного пікселя передається 4-бітовий код, якому відповідає 16 градацій шкали сірого. Дисплеї серії REN025664D-CTP оптимальні для застосування у промисловому, медичному обладнанні, в пристроях інтелектуального будинку, інструментальних панелях тощо.

www.raystar-optronics.com

НОВІ СИСТЕМИ ВВОДУ-ВИВОДУ

Новим поколінням системи вводу-виводу AXIOLINE компанія **Phoenix Contact** розширює свій асортимент систем вводу-виводу для автоматизації без використання шаф керування. Пристрої враховують особливості сучасних та майбутніх вимог у галузі польової установки. Завдяки високому ступеню захисту IP65/67 та повністю герметичному литому корпусу з цинкового сплаву модулі вводу-виводу підходять для використання безпосередньо в машині у найскладніших умовах довкілля.

До початкового асортименту входять цифрові пристрої вводу-виводу та провідні пристрої IO-Link у вигляді приладів PROFINET. Усі модулі оснащені штекерними з'єднувачами M12 з L-подібним кодуванням для джерела живлення з 2 лініями 16 А.

На додаток до провідних пристроїв PROFINET IO-Link в початковий асортимент входить новий блок вводу-виводу IO-Link з вісьмома цифровими входами та виходами.

Всі пристрої нового покоління дозволяють створювати гнучке польове розведення на базі перевірених гвинтових штекерних з'єднувачів M12 або нової технології швидкого з'єднання M12 push-pull.

www.phoenixcontact.com

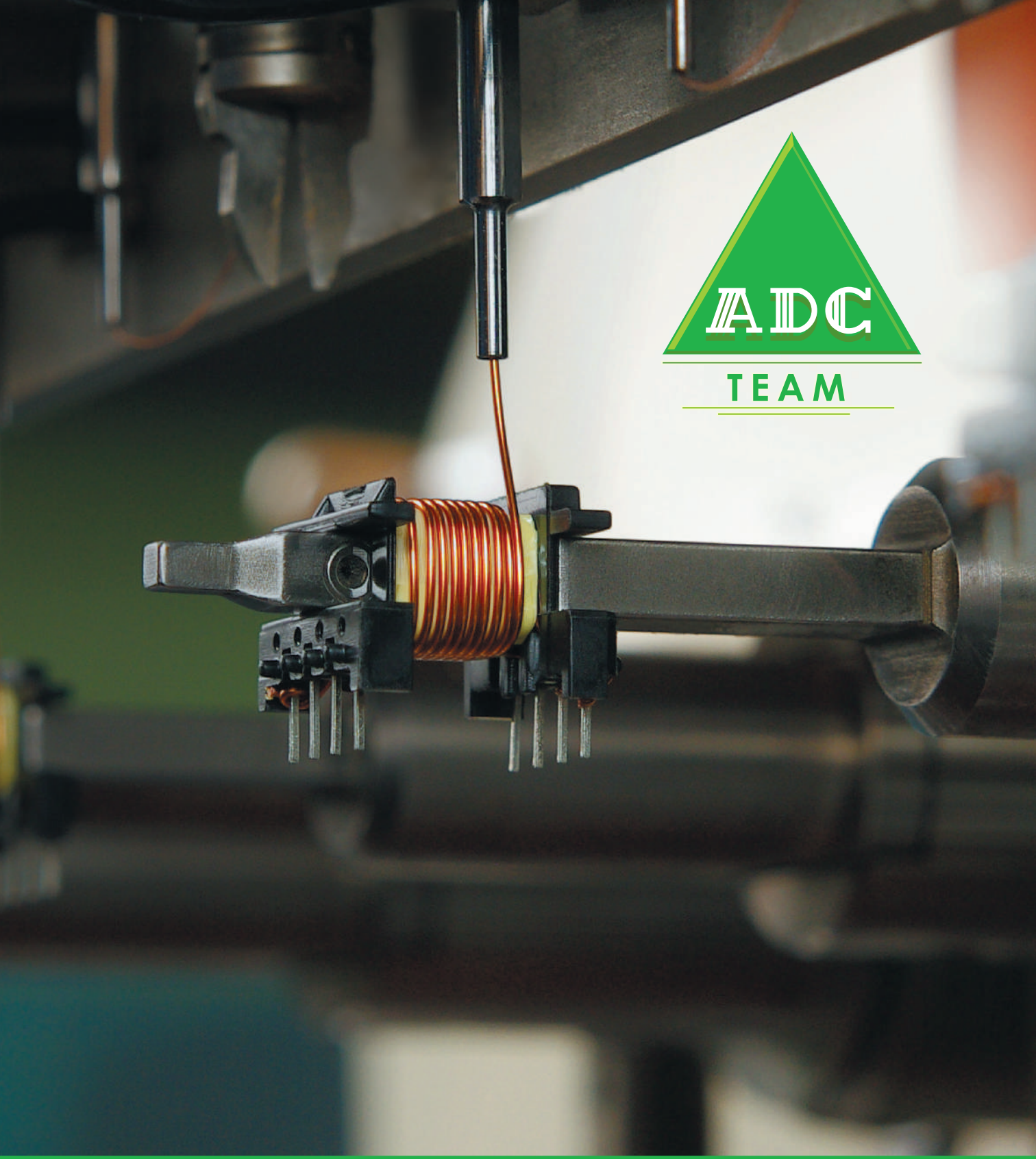
ПІДКЛЮЧЕННЯ ДРУКОВАНИХ ПЛАТ

Компанія **Phoenix Contact** пропонує повний асортимент клем і штекерних з'єднувачів для друкованих плат для однопарних мереж Ethernet, за допомогою яких можна інтегрувати інтелек-

Виготовлення моточних виробів згідно документації або за технічним завданням

Ми випускаємо різні трансформатори, датчики струму, синфазні фільтри, дроселі на сталевих і феритових магнітопроводах, а саме: кільцевих, стрижневих, броньових, типорозмірів E, EF, PQ, RM і т.п.
У виробництві використовуємо провід німецької компанії Elektrisola.

ТОВ «АДС ТІМ»
Контакти: тел. +38 044 2062252 моб. +38 067 2497758; +38 050 4642252
Адреса: Україна, м. Київ, пров. Радищева 3, оф. 126
www.adc-team.com


ADC
TEAM

туальні польові пристрої в мережі Ethernet на базі комутаторів.

Технологія підключення друкованих плат відповідає вимогам APL Port Profile Specification (проєкт 0.3) і тому особливо добре підходить для додатків автоматизації процесів. Крім цього доступні варіанти класу іскробезпеки Ex e за MEK 60079-7 для використання у вибухонебезпечних зонах. Клеми та штекерні з'єднувачі для друкованих плат сумісні з різними конструкціями корпусів завдяки горизонтальному, вертикальному та похилому підключенню проводів. Колірне кодування та позначення виключають ризик неправильного підключення та забезпечують спрощення кабельного розведення.

www.phoenixcontact.com

ПРОЦЕСОРНА ПЛАТА

Компанія **Aaeon** випустила процесорну плату GENEEHL5, призначену для збирання панельних та безвентиляторних комп'ютерів. Плата виконана у форм-факторі 3.5 дюйма, оснащується процесорами сімейства Elkhart Lake, 16-канальним інтерфейсом дискретного вводу-виводу та трьома слотами M.2 для додаткових контролерів. Ряд модифікацій плати також мають контролер шини CAN та порт для підключення екранного сенсора.

Залежно від модифікації, на платі можуть бути встановлені двоядерні процесори Celeron N6210/Atom x6211E та чотириядерні Pentium J6426/Atom x6425E. Теплопакет найпотужнішого з цих процесорів становить 12 Вт, що не віщує труднощів з організацією охолодження системи. Всі модифікації плати поставляються з уже встановленим на процесор радіатором, а для повітряного охолодження готової системи плата має стандартний 4-контактний роз'єм живлення вентилятора. Процесору для роботи буде потрібна оперативна пам'ять DDR4-3200 максимальним об'ємом 32 Гб. Операційну систему та дані плата може зберігати на SATA-пристрої та на M.2 SSD. Для установки додаткових контролерів служать три слоти M.2 (2242 B-key, 2230 E-key, 3052 B-key).

На зовнішні конектори плати виведено два гнізда шини USB 3.2, два мідні порти Gigabit Ethernet, відеоінтерфейси HDMI та DisplayPort. До внутрішніх конекторів плати підключаються: дискретний інтерфейс, 4 порти шини USB 2.0, 4 універсальні COM-порти RS-232/422/485, відеоінтерфейс LVDS, аудіоколодка, порти шини CAN, SATA-пристрій, введення живлення. Слоти для модуля пам'яті та плат розширення розташовані з нижньої сторони плати. Живлення плати здійснюється від зовнішнього джерела постійного струму. Ряд модифікацій підтримують напругу живлення 9~36, а всі моделі з VGA-відеовиходом працюють тільки від 12 В.

www.aaeon.com

УНІВЕРСАЛЬНІ ЛІНЗИ

LINDA-40 — це поповнення сімейства лінз LINDA з вільним кроком виробництва компанії **Ledil**, виготовлених методом екструзії, доступних тепер у варіанті шириною 40 мм. Лінзи виготовлені з ПММА та доступні у варіантах стандартної довжини 1140 та 3010 мм. За запитом можуть бути лінзи необхідної довжини. Лінзи LINDA-40 мають п'ять кутів світлорозподілу та забезпечують точне формування діаграми світлорозподілу, будучи ідеальним варіантом для освітлення підприємств роздрібної торгівлі, а також промислових підприємств. Усі варіанти мають однакову ширину та сумісні з однорядними світлодіодними платами Zhaga середньої потужності шириною до 24 мм.

Завдяки високій ефективності лінзи LINDA-40 дозволяють створювати ефективні безшовні світильники без видимих зазорів. Лінзи LINDA-40 пропонують інноваційну технологію установки з використанням тих же гвинтів, що використовуються для світлодіодних плат, що забезпечує широку сумісність із різними конструкціями світильників.

www.ledil.com

НАДІЙНІ ТА НЕДОРОГІ ДЖЕРЕЛА ЖИВЛЕННЯ

Компанія **Mornsun** випустила три серії джерел живлення з кріпленням на DIN-рейку у форм-факторі Home Automation на популярні значення вихідної потужності 30, 60 та 100 Вт (серії

RADIODETALI
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
RADIODETALI.COM.UA

LI30-20/PR2, LI60-20/PR2, LI100-20/PR2). Ці джерела живлення відносяться до другого покоління продукції (R2) і характеризуються високою надійністю та гарною вартістю.

Виготовляються у пластиковому корпусі (про це говорить символ «P» у позначенні), за висотою та глибиною відповідають аналогічним розмірам звичайних автоматичних вимикачів і призначені для встановлення в щитки з невеликою глибиною. Вироби відносяться до II класу з електробезпеки і не вимагають захисного заземлення (напруга ізоляції «вхід-вихід» становить 4000 В), мають широкий робочий температурний діапазон −40...70 °C, високий ККД (89% тип.) та працездатні при вхідній напрузі від 85 до 264 В. Є можливість ручного підстроювання вихідної напруги. У джерелах живлення реалізований захист від КЗ, перевантаження та від перевищення вихідної напруги.

ДЖ призначені для побутової та промислової автоматизації, можуть застосовуватися в системі розумного будинку та в інших додатках.

www.mornsun-power.com

КЛЕМНІ КОЛОДКИ

Компанія **Wago** нещодавно випустила клемні колодки для підключення без інструментів проводів з площею поперечного перерізу до 10 мм^2.

Клемні колодки TOPJOB®S WAGO для монтажу на рейку з інтуїтивно зрозумілою технологією підключення з важільним приводом спеціально розроблені для підключення машин і систем до мережі. Асортимент клемних колодок для монтажу на рейку з важелями (2.5 мм^2/14 AWG, 6 мм^2/10 AWG і 16 мм^2/8 AWG) розширився за рахунок включення клемної колодки 10 мм^2 (8 AWG), яка доступна в 2- і 3-дротових версіях.

Для зовнішньої проводки клемні колодки WAGO на рейці оснащені важелями для відкривання затискних пристроїв. Для внутрішньої — кнопки або робочі гнізда.

Вирішальна перевага важільної технології: важіль має тільки два різних положення, що означає, що точка затиску або повністю відкрита, або закрита. Управління клемної колодкою інтуїтивно зрозуміло і не вимагає інструментів — просто натисніть на важіль рукою. Важіль входить в зачеплення і утримує точку затиску відкритою, звільняючи руки для підключення проводів. Це величезна перевага, особливо при з'єднанні провідників з великими поперечними перерізами, що важко згинаються. В якості альтернативи, суцільні і багатожильні провідники, а також тонкопровідні провідники з наконечниками можуть бути з'єднані простим натисканням на них за допомогою технології з'єднання Push-in cage CLAMP® .

www.wago.com

ПАЯЛЬНА СТАНЦІЯ

ADS200 від **PACE** — це недорога професійна паяльна станція високої потужності (до 120 Вт), призначена для серйозних ремонтників мобільних телефонів, фахівців з електроніки, інженерів, виробників і фахівців з виробництва припою. Вона оснащена новаторським паяльником з патронним нагрівачем TD-200 з гладкою і ергономічною алюмінієвою ручкою, призначеної для збереження прохолоди і комфорту під час безперервної виробничої пайки. Картриджі з наконечниками-нагрівачами серії Blue об'єднують високоточний датчик з надійним нагрівачем, що забезпечує потужність до 120 Вт.

В основі ADS200 лежить нова технологія контролю температури AccuDrive® від PACE, яка забезпечує неперевершені теплові характеристики і високу точність вимірювання температури без необхідності заміни картриджів з наконечниками або калібрування. Її Електроніка забезпечує миттєве вимірювання навантаження і живлення, яке необхідне для швидкого оплавлення паяних з'єднань при найнижчій і безпечній необхідній температурі, незалежно від маси паяного з'єднання.

Паяльна станція призначена для екстремального багатозмінного виробничого використання. ADS200 має міцну суцільнометалеву конструкцію, включаючи корпус, паяльник і підставку для інструментів. Система інтуїтивно зрозуміла і проста в управлінні — просто включіть її, встановіть температуру за допомогою клавіш зі стрілками і почніть пайку.

https://paceworldwide.com

Роздрібна торгівля в цифрову епоху. Обриси майбутнього

Маріо Клуг (Mario Klug), старший менеджер відділу маркетингу продуктів,
Rutronik Elektronische Bauelemente GmbH
E-mail: rutronik_ua@rutronik.com

Завдяки технології, яка робить щоденні процеси простішими та приємнішими, повсякденне життя стає легшим для кінцевого споживача. Однак зміна концепції розумної роздрібної торгівлі також має деякі переваги і для самих продавців: дуже швидко можна заощадити витрати в ланцюжку поставок. Краще планування використання ресурсів і швидша реакція на підвищений або знижений попит за допомогою точного аналізу поведінки клієнтів у магазині дозволяють отримати більш значну економію. Це, серед іншого, означає і економію енергії за рахунок оптимізації ланцюгів поставок і складських приміщень, і, можливо, менше простору, необхідного в магазинах і складах, і відповідальний підхід до харчових відходів, і більшу лояльність клієнтів.

Увійшовши в мій улюблений супермаркет за рогом, мені більше не доводиться шукати жетон на заміну євро для візка для покупок, оскільки він приходить до мене прямо й автономно зі смуги для бездротової зарядки біля входу. Він вітається зі мною по імені і говорить мені, як йому приємно бачити мене. Роблячи це, він демонструє привітне обличчя на дисплеї з простою графікою. Я залишив своє ім'я для картки постійного клієнта, і під час цього мене ще й сфотографували. Мені тоді сказали, що це рівень 1 у програмі постійного клієнта. Багато побоювань було у клієнтів, які вважали, що їхня конфіденційність піддана атаці, і вважали за краще робити покупки анонімно. Однак для покупок в Інтернеті потрібно набагато більше особистої інформації, як-от повна поштова адреса та номер телефону, а також — при покупці за акаунтом — дата народження.

ІНТЕРАКТИВНИЙ БАГАТОКАНАЛЬНИЙ ДОСВІД

Тим часом мій розумний кошик для покупок, якого я називаю Боб, проаналізував тару, яку я йому довірив, і зарахував кредит на мій обліковий запис клієнта. Тепер мені залишається лише поставити пляшки в зону збору. Боб усе ще посміхається мені і запитує, чи варто завантажувати список покупок з минулого разу та чи варто йому покласти на нього леза бритви, які я додав у додатку вдома. Я дякую йому за це, і ми йдемо далі своєю дорогою. Приємно і те, що з такою автономною системою більше не доведеться користуватися ручкою.

Я кладу свої покупки в візок. Коли я це роблю, невеликі рекламні оголошення на не яскравих екранах на полицях пропонують мені спробувати щось нове. Боб каже мені, що до асортименту щойно додали чудовий сир і що є цікава цінова пропозиція. Слідуючи його рекомендації, я кладу сир до візка. Я беру копченого лосося з рибного прилавка і кладу його в коробку для риби. Інтелектуальна система за камерою над прилавком повідомляє моєму візку, яку рибу я запакував, і візок зважує її, коли я кладу її до нього, щоб визначити ціну. Потім він зараховує ціну безпосередньо в мій чек.

РОЗУМНИЙ ЛАНЦЮГ ПОСТАВОК ДЛЯ ЕФЕКТИВНОГО УПРАВЛІННЯ МАГАЗИНОМ

Помічаю, що полиці завжди повні. Я коментую це своєму помічникові і він каже мені, що про кожну річ, яку я беру з полиці і передаю йому, звітує безпосередньо на центральний комп'ютер, який контролює запаси. Таким чином, працівники магазину завжди знають, які полиці потрібно вчасно заповнити, щоб полегшити собі роботу. По дорозі до каси мій супутник нагадує мені, що я забув леза бритви. Тому робимо об'їзд до аптечної секції. Боб запитує, чи достатньо у мене вдома засобу після гоління. Я не впевнений, тому він рекомендує ще одну пляшку тієї торгової марки, яку я купив два місяці тому, оскільки вона повинна бути майже спожита при щоденному використанні. Стільки турботи мені імпонує — я б сам про це навіть і не згадав.

ДЛЯ БІЛЬШОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ ПРОЙДІТЬ САМОСТІЙНУ РЕЄСТРАЦІЮ

Пройшли часи черг на касі. Боб точно знає, що він транспортує. Він більше не задає мені питання про готівку чи картку; він не хоче, щоб більше монет було розблоковано. Він запитує, чи придумав я щось інше, чи хотів би я ще щось додати до покупок, чи він може завершити купівлю. Я дозволяю розраховатися, і покупки зараховуються на рахунок мого кредиту. Усі розрахунки здійснюються щомісячно після попередньої авторизації.

Ми виходимо з ринку, і Боб їде поруч зі мною до моєї машини. Я дістаю коробку з покупкою з тримача й кладу її в багажник. Відсік холодильника в

коробці, куди я поклав рибу, охолоджувався акумулятором візка, коли я ходив по магазину, щоб можна було оптимально транспортувати делікатні продукти, наприклад свіжу рибу. «Дякуємо за покупку та гарного вечора!» — каже мені розумний Боб, перш ніж автономно повертатися до магазину на свою вантажну смугу.

ШЛЯХ ВІД ОКРЕМИХ КОМПОНЕНТІВ ДО ДОСВІДУ SMART RETAIL

Першим, але важливим кроком є послідовна оцінка поточної IT-інфраструктури торгового залу, складів і попереднього ланцюга поставок. Після цього відбувається погодження з системою хмарних обчислень, щоб мати можливість обробляти велику кількість даних, які будуть створені та оцінені в майбутньому, майже в реальному часі. При цьому також важливо забезпечити стабільну мережу передачі, для якої встановлені бездротові протоколи, такі як Bluetooth, Zigbee, Wi-Fi, Thread, Z-Wave тощо. Такі виробники, як Nordic Semiconductor або iVativ, постачають відповідні компоненти.

Завдяки інтеграції спеціалізованих систем штучного інтелекту (AI) та машинного навчання (ML) деякі проблеми Smart Retail можна ефективно вирішити. Системи безпеки з підтримкою штучного інтелекту є важливим компонентом, особливо в захисті від кіберзлочинності. Тим не менш, AI та ML також користуються попитом, коли мова йде про оптимізацію взаємодії з користувачем, планування складу та використання автентичних чат-ботів. Такі виробники, як ASUS або Gowin Semiconductor, пропонують спеціалізовані рішення або компоненти та комплекти для розробки програмного забезпечення для індивідуальних вимог.

Якщо смартфон клієнта має бути інтегрований в концепцію розумної роздрібної торгівлі, необхідно враховувати точку безпеки на периферії: кінцеві користувачі та кінцеві пристрої на межі мережі часто генерують величезні обсяги даних, включаючи конфіденційні дані, такі як дані про місцезнаходження, записи про стан здоров'я або діяльність чи інформацію про виробництво. Якщо ці дані аналізуються в хмарі або на периферійних серверах, ризик порушення конфіденційності високий, навіть якщо дотримуються юридичні вимоги, такі як Загальний регламент захисту даних (GDPR). З цією метою з продуктами серії OPTIGA™ і SECORA™ Infineon пропонує рішення для мобільних платежів NFC, управління доступом, мобільної безпеки та додатків eSIM IoT аж до хмари (рис. 1).

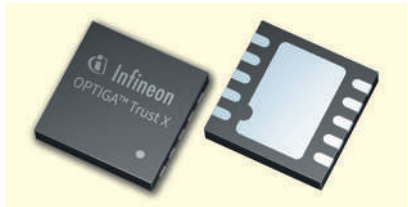


Рис. 1. З продуктами серії OPTIGA™ і SECORA™ Infineon пропонує рішення для мобільних платежів NFC, керування доступом та мобільної безпеки

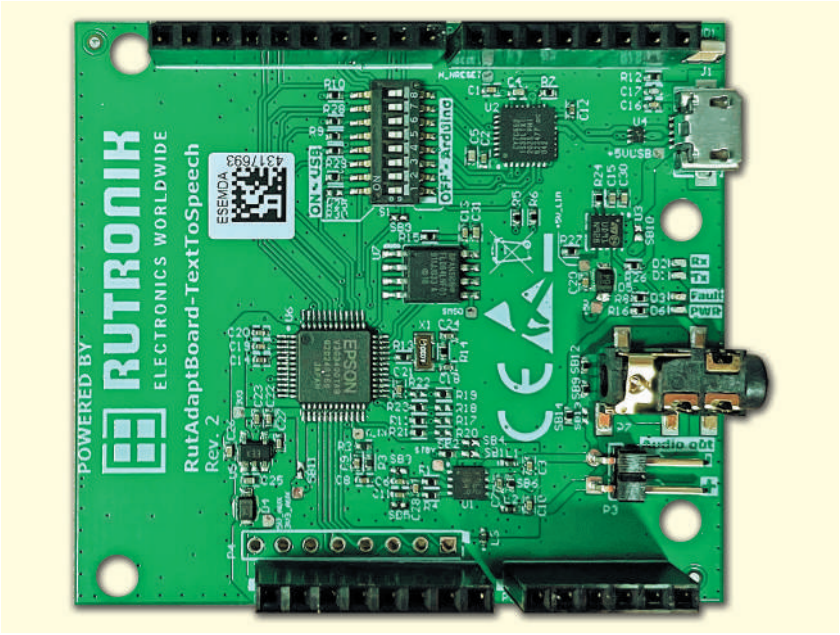


Рис. 2. RutAdaptBoard-TextToSpeech може стати основою для голосового виведення в системах розумної роздрібної торгівлі

Дисплеї з електронного паперу або дисплеї Shelf Edge Stretch від Mimo Monitors ідеально підходять як електронні цінники. Будучи елегантним і сучасним рішенням, вони заощаджують витрати, оскільки зменшують навантаження на постійне оновлення цін до мінімуму.

Панельні ПК з інтелектуальним розпізнаванням облич і визначеною сенсорною технологією, якою є Holitech у своєму портфоліо, є рішенням «все в одному» для створення інформативних точок дотику чи то у зоні входу, чи як індивідуальний блок HMI, наприклад, на самому торговому візку. У поєднанні з інтелектуальним голосовим супроводженням клієнти відчувають, що звернулися саме до них — тим більше, якщо голос звучить максимально природно.

До цього часу для якісного звучання голосу потрібні були індивідуальні студійні записи з професійними дикторами, що було надзвичайно затратною та тривалою процедурою. Epson пропонує економічно цікаве рішення, використовуючи спеціалізоване програмне забезпечення для синтезу мовлення з тексту для генерації фраз і чип ASIC S1V3G340. Rutronik інтегрував цей чип в RutAdaptBoard-TextToSpeech (рис. 2). Це дає можливість, серед іншого, спілкуватися через інтерфейс SPI з контролерами PSoC від Cypress.

Рішення для реконструкції приміщення магазину, тривимірного машинного навчання та комп'ютерного зору для використання робототехніки, наприклад для наповнення полиць або сортування порожньої тари, пропонується Intel® з технологією RealSense™.

Ясно одне: технології для смарт-ритейлу вже існують. Потрібно просто набратись сміливості, щоб поєднати їх і розумно використовувати. Міждисциплінарні експерти Rutronik надають необхідний поштовх і консультують щодо вибору всіх компонентів у спосіб, який є незалежним від виробника та орієнтованим на майбутнє — від A для AI до M для моніторів і S для датчиків до Z для Zigbee.

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

Після смерті тигр залишає шкуру, а людина – ім'я

Пропонуємо нашим читачам інтерв'ю з паном Чан Хун Лі, засновником і генеральним директором компанії Seoul Semiconductor. Його сила мотивації, що стала основою інноваційної глобальної компанії у галузі освітлення, просто вражає.

Чан Хун Лі (Chung-Hoon LEE — засновник та генеральний директор Seoul Semiconductor, син фермера, спеціалізувався в галузі фізики, отримав ступінь магістра ділового адміністрування і, коли йому було 40 років, заснував компанію Seoul Semiconductor — провідного світового виробника світлодіодів

Для нас велика честь взяти у Вас інтерв'ю, пане Лі. Ми дуже вдячні, що Ви дали на це свою згоду і знайшли для цього час.

І Вам дякую.

Буде цікаво почути Вашу розповідь щодо Вашої кар'єри та про те, яку місію Ви визначили для компанії Seoul Semiconductor?

По-перше, я вдячний за Ваш інтерес до компанії Seoul Semiconductor [1]. У коледжі я вивчав фізику. Під час служби першим лейтенантом в армії одного разу я прочитав у газеті статтю про Джиммі Картера (39-й президент США, 1977–1981 рр.) — сина фермера, якого обирали президентом Сполучених Штатів Америки. Я також, як і президент Джиммі Картер, син фермера. Бачачи, як Джиммі Картер став президентом США, я на мить озирнувся і подивився на своє життя. І поставив собі запитання, а що я роблю — щодня я п'ю та спілкуюся з друзями. Цей момент став поворотним у моєму житті, і я поставив собі за мету на майбутнє — побудувати свою компанію. Тому я став співробітником не дуже великої, швидше середньої, компанії і пропрацював у ній п'ять років, вивчаючи менеджмент. Крім того, щоб отримати більш глибокі знання про управління, я, коли мені було 30, поїхав до Сполучених Штатів та отримав там ступінь MBA, працюючи неповний робочий день. Я вирішив продовжити роботу в компанії ще на сім років, щоб отримати більше коштів для заснування вже своєї корпорації. У рік, коли мені виповнилося 40 років, я, нарешті, зміг заснувати Seoul Semiconductor, вклавши в неї додаткові кошти разом зі своїм будинком як заставу. Ще одним стимулом для мене стало старе корейське прислів'я, яке говорить: «Тигр після смерті залишає свою шкуру, а людина — залишає своє ім'я».

Перш ніж перейти до окремих тем, хотілось би попросити Вас дати стислий огляд корпоративної структури компанії Seoul Semiconductor. Як влаштовано Ваше підприємство та які основні ринки воно обслуговує?

Компанія Seoul Semiconductor — це виробник та глобальний постачальник напівпровідникових приладів, що спеціалізується на таких продуктах, як світлодіоди та напівпровідникові лазери поверхневого випромінювання з вертикальним резонатором (VCSEL) для чотирьох областей застосування, що включають внутрішнє та зовнішнє освітлення, автомобілебудування, IT-продукти для дисплеїв і світлодіоди Violeds, що використовують ультрафіолетові промені (рис. 1). У нас також є чотири виробничі підприємства в Кореї, Китаї, В'єтнамі та США та шість науково-дослідних центрів. Ми маємо великий портфель продуктів з усіма довжинами хвиль 200–1400 нм, включаючи ультрафіолетові (УФ) світлодіоди, світлодіоди видимого спектру синього, зеленого та червоного світла, а також інфрачервоні світлодіоди як джерела збудження для лазерних (VCSEL) діодів. І це на додаток до оптоелектронних виробів. Маючи диференційований портфель продуктів, компанія Seoul Semiconductor пропонує оптимальні джерела світла і рішення для найширшого кола галузей.

Якщо подивитись на ланцюжок створення вартості, то виробники світлодіодів дотримуються різних підходів. Якою є стратегія SSC щодо компонентів, модулів та повністю готової продукції?

Я думаю, що відповідно до принципу управління «Немає конкуренції з нашими клієнтами» для клієнтів дуже важливі довіра та орієнтація на їхні потреби. Як я вже згадував, компанія Seoul Semiconductor зосередилася на повному замкнутому циклі виробництва компонентів. Тобто ми самі здійснюємо епітаксійне вирощування кристалів,

Рис. 1. Ринок складних напівпровідникових приладів зростає із середньорічним темпом зростання понад 10%. Чотири провідні програми Seoul Semiconductor на ринку напівпровідникових з'єднань. Джерела: SU2020, Yole2020, прогноз компанії Seoul Semiconductor

різання, збирання, корпусування та випуск модулів для чотирьох напрямків, які не включають повністю завершених продуктів. Ми спеціалізуємося виключно на виробництві компонентів та категорично заперечуємо можливість входу на ринок готових освітлювальних приладів.

Яким Ви бачите розвиток основних ринків? Де є області зростання і чи є стагнуючі ринки?

«Можна жити без даху над головою, але не можна жити без світла». Світло народилося разом із Землею 4.6 млрд років тому, перші рослини з'явилися 450 млн років тому, перші комахи — 340 млн років тому, і люди протягом семи мільйонів років також еволюціонували разом із природним сонячним світлом. Це означає, що рослини, риби, тварини та люди на Землі для здоров'я та безпечного та ефективного життя потребують природного світла. Наприклад, організм людини має внутрішній 24.2 біологічний годинник. Сонячний цикл становить 24 години, і люди підтримують своє гарне самопочуття відповідно до цього сонячного циклу, оскільки, прокидаючись, вони щоранку завдяки світлу і перезапускали свій біологічний годинник. Коли почали використовувати штучне освітлення, спектр світла став відрізнятися від сонячного, і період часу для відновлення нашого біологічного годинника змінився. Таким чином, порушується циркадний ритм, збільшується частота міопії та зростає кількість хворих на безсоння.

Крім того, на відміну від сонячного світла, зазвичай світлодіоди, що використовуються, та штучне освітлення заважають рибам, тваринам та рослинам, що живуть в акваріумах та зоопарках, природним чином виробляти вітамін D, і, як наслідок, вони можуть страждати від різних захворювань. Ще одна проблема — бактерії. Вони благотворно впливають на людей і планету, але шкідливі бактерії стають причиною хвороб. УФ-технологія необхідна для знищення шкідливих бактерій та ведення збалансованого життя. Так, технологія Violeds може швидко і ефективно вбити до 99.437% вірусів SARS-CoV-2 за одну секунду. Тестування проводилося у грудні 2020 року в Південнокорейському науково-дослідному інституті KR Biotech, що спеціалізується на тестуванні та проблемах стерилізації нового коронавірусу. У співпраці з SETi (Sensor Electronic Technology) протягом останніх 15 років компанія Seoul Viosys, дочірня компанія Seoul Semiconductor, розробила технологію Violeds, на яку поширюється дія ITAR (Міжнародні правила торгівлі зброєю).

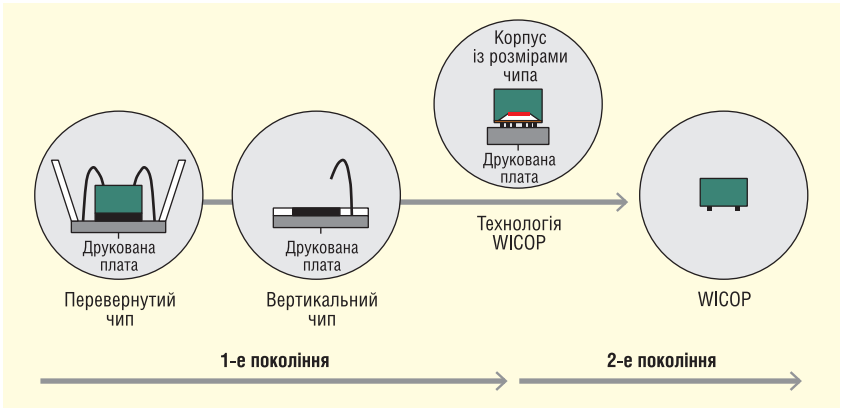


Рис. 2. Зменшення розміру світлодіода за допомогою технології WICOP, що базується на процесі монтажу некорпусованого кристала (чипа)

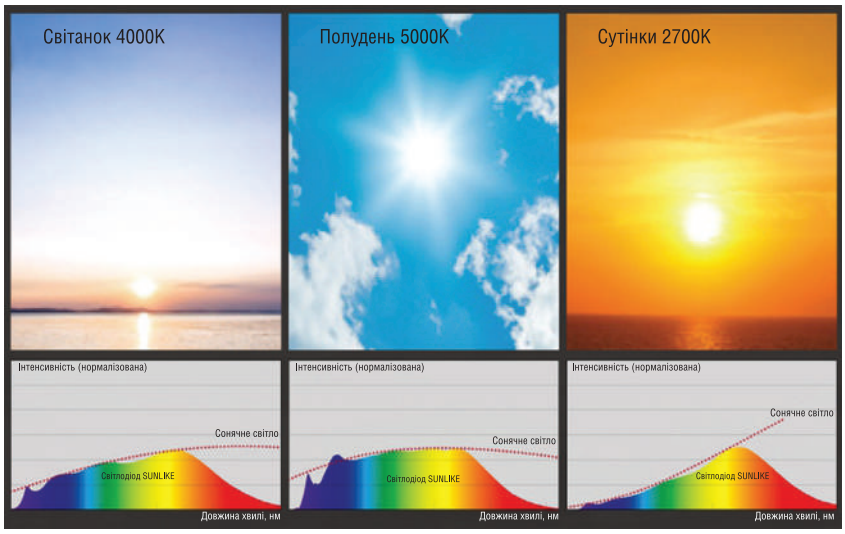


Рис. 3. Спектри природного сонячного світла для ранку, полудня та вечора

Природно, компанія Seoul Semiconductor має інноваційні технології, які будуть лідирувати на ринку (рис. 2). Це світлодіоди сонячного спектру SunLike [2], що відповідають циркадному ритму людини з урахуванням його ДНК (рис. 3), ультрафіолетові світлодіоди Violeds для дезінфекції води, повітря та поверхонь, компактне пакування світлодіодів WICOP [3][1] для автомобілів та дисплеїв, а також технологія VCSEL[2] для систем автономного керування та підключеного транспорту.

Як, на Ваш погляд, останнім часом змінився бізнес світлодіодів і які Ваші очікування від галузі, конструкції, додатка чи користувача?

Оскільки масове виробництво світлодіодів RGB (червоний, зелений, синій) із трьома основними кольорами було досягнуто вже три десятиліття тому, то зараз усі «світлодіодні» компанії на ринку почали зосереджуватися на виробництві яскравіших світлодіодів. Потім компанії для того, щоб розширити свої частки на ринках, почали приділяти більше уваги цінам, як долар за люмен, та економії електроенергії, як долар за ват. Але з кінця 2010-х років компанії почали приділяти більше уваги якості кольору, а не тільки конкурентоспроможності цін. Крім того, все більша увага приділяється потребам у джерелі світла, подібному до природного,

[1] WICOP — Wafer Level Integrated Chip on PCB — інтегрований чип рівня пластини на друкованій платі, є абсолютно новою концепцією світлодіодного продукту, яка долає обмеження, створювані існуючими рішеннями CSP (Chip Scale Package).

[2] Вертикально-випромінюючі лазери (VCSEL) — це «Поверхнево-випромінюючий лазер з вертикальним резонатором», різновид діодного напівпровідникового лазера, що випромінює світло в напрямку, перпендикулярному поверхні кристала, на відміну від звичайних лазерних діодів, що випромінюють у площині, паралельній поверхні.

Таблиця 1. Світлодіодні технології світового рівня першого та другого покоління компанії Seoul Semiconductor

Wicop	Легкий, тонкий, короткий та маленький чип/Основна технологія Mini та Micro LED
SunLike	Джерело світла для здорового циркадного ритму відповідно до 24-годинних циклів людського організму
violeds	Для дезінфекції, знищує віруси та бактерії
Filament	Світлодіодна «нитка», філаментна лампа на її основі за конструкцією аналогічна звичайним лампам розжарювання
AcrichMJT	Для систем домашнього освітлення з меншою кількістю світлодіодів легко підключається до електромережі 220 В
Acrich Driver	Драйвер Acrich, що підключається до мережі 220 В для домашнього використання, знижує витрати на 20%
UCD Phosphor	Біле світлодіодне джерело світла з кольоропередачею, близькою до сонячної
Over 10K hour	Висока надійність (можна використовувати 5 років по 5 годин на день). Термін служби до 10 разів більше, ніж у ламп розжарювання
Over 150 lm/W	Вартість електроенергії менше однієї десятої в порівнянні зі звичайними лампами розжарювання та однією третиною від люмінесцентних ламп

що сприяє здоровому способу життя флори і фауни. Кажуть, що природа вчить людей багатьом великим речам. Я впевнений, що технологія створення світла, максимально наближеного до природного, найважливіша. У цьому напрямку Seoul Semiconductor у співпраці з дослідницькими групами з найвидатніших лікарень та університетів США, Європи та Азії проводить різноманітні дослідження на людях, рослинах та тваринах. Це дозволило нам досягти інноваційних результатів. Хіба не було б дивовижно дізнатися, що світло допомагає у навчанні учням, або дізнатися, що світло сприятливо впливає на покращення пам'яті (табл. 1)?

Компанія Seoul Semiconductor неодноразово вигадувала захоплюючі інновації, чи то світлодіоди та напівпровідникові лазери для системи автономних (без водія) автомобілів, чи світлодіоди з оптимізованим світловим спектром. Оптимізовані за спектром світлодіодні системні рішення зараз мають великий попит у секторах ринку загального освітлення, сільському господарстві та автомобілебудуванні. Якими Ви бачите ці розробки та які рішення у цьому напрямку пропонує компанія Seoul Semiconductor?

Мені було приємно дізнатися, що Ви знайомі з нашими компонентами для автомобільної системи без водія. З цією метою компанія Seoul Semiconductor, для того щоб надати нашим клієнтам більш екологічні та ефективніші світлодіоди, на додаток до світлодіодів з високими напругами 12 і 24 В розробила світлодіоди для «розумного світлодіодного освітлення» Acrich з живленням від напруги електромережі змінного струму. Світлодіод високої напруги змінного струму — це технологія, яка сприяє зниженню вартості кінцевого продукту або габаритів драйвера на понад 30%. Отже, високовольтні світлодіоди та високовольтні драйвери, а також SunLike (світлодіоди з природним сонячним спектром) мають велике значення у сфері освітлення.

Попит на технологію WICOP для забезпечення більш тонких та легких рішень у сфері дисплеїв зростає. Згідно з рекламною статтею, опублікованою Wall Street Journal, 20% світових телевізійних дисплеїв використовують WICOP для більш тонких та легких телевізорів. Крім того, RGB-чипи в мікросвітлодіодах почали масово вироблятися у вигляді мікропіксельних світлодіодів, в яких RGB застосовувався до одного чипа, а не для генерації та передачі світла від червоного, зеленого та синього чипів окремо. Цей продукт поставляється на ринок дисплеїв обсягом 100 млрд доларів США, що охоплює ринки РК- та OLED-дисплеїв. Як згадувалося в рекламній статті, опублікованій The Financial Times, приблизно 10% усіх автомобілів, що виробляються автомобільною промисловістю, використовують технологію WICOP. Передбачається, що мікропікселі, що використовуються для внутрішнього та зовнішнього відображення та зв'язку, у майбутньому займуть значну частину ринку. Крім того, компанія Seoul Semiconductor у співпраці з дослідницькою групою UCSB, членом якої вже близько 20 років є лауреат Нобелівської премії професор Сюдзі Накамура (Shuji Nakamura)[3], розробила технологію у вигляді ламп розжарювання класичного дизайну.

Як відомо, компанія Seoul Semiconductor має довгу історію співпраці щодо люмінофорів повного спектру з компанією Toshiba Materia. Як зараз розвивається ця співпраця?

Компанія Seoul Semiconductor брала участь у спільній розробці SunLike, світлодіодної технології, що забезпечує світло, найбільш близьке до сонячного спектру, у співпраці з колишнім генеральним директором компанії Toshiba Materials паном Кобаясі (Kobayashi). Проте різні культури та інтереси Toshiba Materials та Seoul Semiconductor ускладнювали розширення просування. Тим не менш, нам вдалося досягти угоди з Toshiba і вже оголошено про нову стратегічну бізнес-модель. Це дає можливість створити середовище, в якому бізнесом може керувати одна компанія.

Чи є якийсь захоплюючий новий продукт, чи планується запуск такого продукту в області спектрально налаштованих світлодіодів, інформацією про який Ви хочете поділитися з нашими читачами?

Є нові продукти для освітлення, дисплеїв, автомобілів та УФ-випромінювання, але випустити їх на ринок стає дедалі складніше, бо це питання, яке потребує обговорення з керівниками чотирьох підрозділів. Однак я можу сказати, що компанія Seoul Semiconductor очолює розробку інноваційних технологій, інвестуючи щорічно понад 100 млн доларів США у НДДКР протягом останніх 10 років і має 15000 патентів та більше тисячі патентів на програми, які можуть створювати нові цінні технології. Але якщо я додатково згадаю наші майбутні продукти та технології, то це революційна технологія WICOP, яка широко використовується для дисплеїв, освітлення та автомобілів

[3] Сюдзі Накамура — японський та американський фізик, винахідник синього світлодіода, лауреат Нобелівської премії з фізики, зараз працює в Каліфорнійському університеті в Санта-Барбарі.

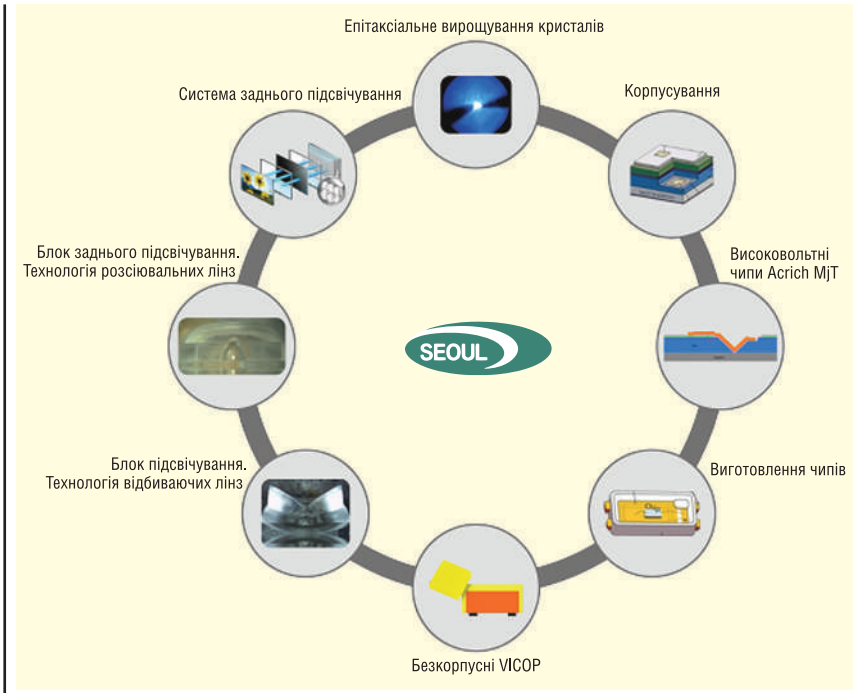


Рис. 4. Огляд технологій компанії Seoul Semiconductor

з потужними світлодіодами. Ми також пропонуємо автомобільні світлодіодні рішення, оптимізовані для адаптивного далекого світла (ADB) на основі мікропікселів. Світлодіоди SunLike з природним сонячним спектром для освітлення, орієнтованого на людину, та Violed для дезінфекції повітря та поверхонь протягом 10 хвилин, які також будуть лідерами на ринку світлодіодів та загалом у галузі (рис. 4).

Стійкість, екодизайн та економіка з багатооборотним використанням продукції дуже важливі для нашого світу загалом. Чи можна запитати Вас про Ваші думки та позиції в цих областях?

Екологічність та ще раз екологічність — ось основні правила для компанії. Два моїх кредо, як сина фермера: «Збанкрутіти для компанії — це гріх» і «Ми завжди повинні дбати про навколишнє середовище». У 1994 році — майже через три роки після заснування компанії у 1992 році — я вибрав зелений колір як фірмовий стиль, і незабаром на цій основі був розроблений наш корпоративний логотип, який використовується і досі. Світлодіодний продукт є екологічно чистим, оскільки він розрахований на більш тривалий термін служби та не використовує у своєму складі шкідливі хімічні речовини, такі як ртуть, а наша технологія Violeds, зокрема, забезпечує чисте повітря, чисту воду та чисті поверхні за рахунок дезінфекції та знищення навіть таких шкідливих вірусів, як SARS-CoV-2.

Компанія Seoul Semiconductor завжди поруч із природою, яка надихає на створення екологічно чистих продуктів і технологій.

Хотілось би поставити Вам питання про адаптацію світлодіодних програм. На Вашу думку, чи є фактори, які можуть прискорити перехід на світлодіодні рішення? Чи може галузь зробити тут свій внесок чи потрібно більше стимулів у галузі планування?

Як я вже згадував раніше, я хотів би розповісти іншу історію. Деякі кажуть, що компанія Seoul Semiconductor має багато патентних позовів і здається жадібною. Проте інтелектуальна власність дає надію молодим підприємцям та малому бізнесу. Але дуже прикро, що навіть глобальні, солідні компанії свідомо використовують продукти, що порушують чужі патенти. А інтелектуальна власність — це неймовірний інструмент, який дозволяє людям долати класові бар'єри, надаючи малому бізнесу та молодим підприємцям можливість конкурувати з будь-ким. З часу нашої промислової революції рівень дитячої смертності знизився з 43 до 3%, у той час як доступ до електрики збільшився і досяг 85% від населення світу, рівень неграмотності також значно знизився. Таким чином, інтелектуальна власність дозволяє зробити життя прозорішим і безпечнішим. Я вірю, що, коли сформується ринок світлодіодів, який поважає патенти, він принесе безперервні революційні інновації та нові світлодіодні рішення.

Який рецепт успіху у Вас та компанії Seoul Semiconductors? Що рухає Вами та допомагає виводити на ринок відмінні рішення?

Я думаю і відчуваю, що для людини важливо залишити по собі шедевр, маленький, але цінний слід, який принесе користь світові. Якщо я зможу написати нову історію за допомогою світла, якщо син фермера зможе стояти на вершині світу, то я впевнений, що історія успіху Seoul Semiconductors вселяє надію у численних синів фермерів, у незліченну кількість бізнесменів з малих та середніх компаній, у молодь, яка тільки починає конкурентну боротьбу з гігантськими конгломератами, але все ще зберігає надію на підприємництво у своїх серцях. Щоб створити таку історію, я не шкодую зусиль для формування найпрозорішої та найсправедливішої компанії у світі. Я сподіваюся, що багато хто з тих, хто працює зі мною, якщо не всі, скажуть: «Чан Хун Лі був гарною людиною, а його Seoul Semiconductor була гарною компанією». Тому я прагнутиму до того, щоб люди визнавали нашу компанію як компанію хороших людей, а не ту, що ставила в основу лише гонитву за прибутком.

Пане Лі, було дуже приємно поговорити з Вами і почути Вашу думку з питань, що цікавлять наших читачів! Ще раз дякуємо за Ваш час і будемо з нетерпінням чекати від Вас подальших інновацій.

Дякую і Вам.

Література:

1. *www.seoulsemicon.com/en*
2. *SunLike — Technology that returns natural light to humans. www.seoulsemicon.com/en/technology*
3. *WICOP. www.seoulviosys.com/en/technology/wicop/*

CN

За додатковою інформацією, а також з питань придбання продукції Seoul Semiconductor звертайтесь до офіційного дистриб'ютора Seoul Semiconductor на території України — Компанії СЕА:
02094, м. Київ, вул. Краківська, 13б,
тел.: (044) 330-00-88,
e-mail: info@sea.com.ua

Інжиніринг та «Індустрія 4.0»

Розбір термінології

Олексій Трошин, к. ф-м. н.
Максим Піскайкін

Стимулом для написання цієї статті стало спілкування з учасниками ринку і журналістами. Якщо для першої категорії характерна деяка плутанина в термінології, то для ділової преси типовим явищем виявилося нерозуміння цілісної системи — звідси поява безлічі помилок і нестикувань, включення в концепцію «Індустрії 4.0» технологічних і цифрових рішень, які або не є складовою частиною самої концепції, або вже застаріли. Тому стаття ділиться на дві частини: в першій максимально просто описані основи інжинірингової діяльності з прив'язкою до галузевої специфіки, в другій запропоновано тлумачення термінів, що часто змішуються навіть в професійному середовищі.

ВВЕДЕННЯ В ІНЖИНІРИНГ

Що мається на увазі під поняттям «інжиніринг»? Як правило, розробка нового продукту. Візьмемо усім знайомий айфон, багато хто вважає його технологічним проривом, але це не зовсім так. Більшість закладених технологій вже існували: Інтернет і протоколи TCP/IP, DNS, GPS, сенсорний екран, служби розпізнавання голосу, пошукові алгоритми на стадії фундаментальних розробок — усі вони фінансувалися державою, найчастіше військовими і розвідувальними відомствами. Більшість знає, що Інтернет з'явився завдяки DARPA — дослідницькому підрозділу Міноборони США, але мало кому відомо, що розробку всім звичного сенсорного екрану фінансувало в основному ЦРУ. Зменшує це заслуги Стіва Джобса? Ні в якому разі. Об'єднати усі компоненти і запропонувати ринку продукт, який став необхідним елементом сучасного життя, — це і є мистецтво інжинірингу, це розуміння потреб, іноді навіть ще не визначених самим споживачем, і, звичайно, це вже комерційний продукт з високою доданою вартістю. Оскільки тільки принципово новий продукт фактично не має обмежень в конкурентному ціноутворенні. З технологічної точки зору Джобс не зробив майже нічого, з інжинірингової — він геній.

Наскільки досвід Джобса унікальний? За оцінками 2014 року, в Інтернеті були доступні 114 млн наукових публікацій англійською мовою (хоча лише близько чверті з них мають відкритий доступ), до 2018-го одна платформа Web of Science за два роки свого існування об'єднала більше 100 млн публікацій з 33 000 науково-технічних видань. Сьогодні нам доступний такий об'єм інформації, який і не снився Джобсу. У нас з'явилися цифрові середовища для розробки і контрактні виробники: нам не потрібно більше паяти в гаражі власні плати, як це робив Джобс. У нас є адитивні технології, ті самі 3D-принтери, які дозволяють зробити прототип або надрукувати деталь. Усе це дорого і недоступно? Ні, у нас є центри колективного користування, де можна отримати доступ до дорогого устаткування, у нас працюють хмарні платформи, які дозволяють не купувати дорогі ліцензії на спеціалізований софт. Тому з повною впевненістю можна сказати, що зараз існують набагато кращі умови для інжинірингової творчості, ніж у Джобса.

Ми розібралися в продуктовій гілці інжинірингу, але вона далеко не єдина. Наступний, складніший рівень — промисловий інжиніринг, в загальному випадку він має на увазі проєктування і створення заводів, виробничих цехів, усієї промислової інфраструктури. Здавалося б, що складного: стіни вигнав, устаткування підключив — і все ОК, випускай свій айфон. Але, на жаль, так заводи будувалися в XIX столітті, зараз все ускладнилося. Чим складніше продукція, тим складніше технології її виготовлення, і, як правило, це корелюється і з організацією виробництва.

Період кризи радянської школи промислового будівництва, що почався в 1970-х, співпав з напівпровідниковою революцією, що йшла у всьому світі, точніше з одним з її ефектів, відомих як емпіричний закон Мура: «Кількість транзисторів, що розміщуються на кристалі мікросхеми, подвоюється кожні 24 місяці». Мініатюризація призвела до появи специфічних вимог до організації виробництв мікроелектроніки, але орієнтована на типові проєкти система радянського промбудівництва занадто довго відповідала на нові технологічні виклики. Втім, вони і викликом не здавалися, бо для націленої на військове виробництво промисловості розмір компонентів не мав особливого значення.

Катастрофічною помилкою галузевого керівництва виявився і курс на реверсивний інжиніринг західних аналогів з подальшою відмовою від власних НДДКР з критично важливих напрямів розвитку напівпровідникових елементів. Підсумком стала криза виробництва вітчизняної мікроелектроніки: не освоївши передові техпроцеси, вона не змогла конкурувати з іноземними виробниками.

Напівпровідникове виробництво — найскладніше щодо організації. Чому? Чим менше нанометрів в процесорі, тим у більш рафінованих умовах він виробляється. Серед цих умов: відсутність статичної електрики, магнітних полів, стабільна температура і воло-

гість на всіх виробничих ділянках, чисті приміщення, де створюється атмосфера, в якій фактично відсутні сторонні домішки. Найвищий клас чистоти, що допускає концентрацію в 1 м^3 повітря до 10 часток розміром 0.1 мкм (товщина людської волосини 40–120 мкм), характерний саме для напівпровідникового виробництва. Для порівняння: в найвимогливіших до чистоти хірургічних приміщеннях її рівень не перевищує середнього класу чистоти, притаманного мікроелектроніці. Усе напівпровідникове виробництво будується на фізичних процесах і хімічних реакціях: щоб вони проходили коректно, треба до устаткування підводити процесні гази і рідкі середовища, іноді декілька десятків до однієї установки. При цьому кількість реагентів найчастіше має бути точно дозованим, варіант «просто підключити умовний шланг до установки і заповнити його по самі вінця необхідною хімією» тут і близько не розглядається. Багато з реагентів отруйні і вибухонебезпечні, і їх треба утилізувати. В результаті інженерна інфраструктура на таких виробництвах найчастіше кратно перевищує саме виробництво. Сюди ще треба додати найвищий рівень автоматизації та роботизації.

Вище ми розглянули відмінності між продуктовим і промисловим інжинірингом: перший відповідає за розробку нового продукту, другий — за появу заводів і цілих галузей, які ці продукти випускатимуть. Розвиток технологій призвів до збільшення складності промислових об'єктів, що у свою чергу стало стимулом для розвитку світового промінжинірингу у бік охоплення все більших видів робіт і реалізації вимог промисловості не лише виконувати частину проєктних робіт, але й управляти всім ходом реалізації інвестиційного проєкту. Підсумком навантаження на інжиніринг, що все більше збільшується, став розвиток його комплексних форматів, що об'єднують декілька видів робіт (EPC-контрактинг закріплює схему роботи, де один підрядник здійснює проєктні роботи, постачання устаткування і будівництво) або зобов'язують підрядника здійснювати управлінські функції (EPCM-контрактинг). Чому так сталося? Чим складніше проєкт, тим більше в ньому учасників, чим вище рівень його технологічності, тим більше вірогідність дрібних помилок, що призводять у підсумку до досить великих проблем. У загальному випадку, запускаючи технологічно складний проєкт, його ініціатор повинен враховувати, що серед учасників будуть власник технології і технологічний брокер, проєктна організація (їх може бути дві-три з різних розділів проєктної документації, тоді додається генпроєктувальник), постачальники устаткування, постачальники будматеріалів, генпідрядник, ряд будівельних підрядників із специфічних видів робіт (будівництво чистих приміщень, організація інженерної інфраструктури тощо), ряд постачальників ПЗ, системний інтегратор.

Розширення компетенцій — основне джерело для розвитку комплексних форматів, але особливу роль для інжинірингових компаній грає технологічна складова.

Як відомо, далеко не всі технології доступні, не лише з політичних, але і з суто комерційних причин. У R&D, тобто в дослідження і розробки, зараз інвестують величезні кошти, і в компанії повинні окупитись результати її дослідницької роботи, тому новітні технології рідко доступні ринку. Сьогодні витрати тільки на один техпроцес серед декількох десятків інших, що намагаються розв'язати одну і ту ж проблему збільшення продуктивності мікроелектроніки, можуть перекривати бюджети на НДДКР досить розвинених в технологічному плані країн. Причому технологічна модернізація виробництва, окрім прямих витрат на реалізацію трансферу як такого, це ще три взаємопов'язаних, досить витратних і довгострокових процеса: закупівля і установка устаткування, модернізація інженерної інфраструктури і реконструкція виробничих майданчиків. Що робити, якщо ми хочемо випускати продукцію, але не маємо технології її виготовлення? Тут ми потрапляємо в дуже складну область, яка називається «Трансфер технологій». На перший погляд все просто: трансфер — це перенесення, нам треба з одного місця перенести технологію на наш завод. Не акцентуючись на самому процесі, ми повинні спочатку провести технологічний аудит на заводі, визначити найбільш перспективну технологію, врахувати логістику і вартість сировини і комплектуючих по всіх ланцюжках постачань, знайти найбільш актуальні техпроцеси і спробувати домовитися з розробниками або як мінімум з виробниками устаткування. Далі, враховуючи вартість устаткування, треба підраховувати, у що обійдеться модернізація підприємства, оскільки нове устаткування майже напевно припускає зміни щонайменше в інженерних комунікаціях. Після цих операцій ми нерідко приходимо до того, з чого розпочинали, але вже з повною впевненістю, що кращу технологію нам отримати не вдасться. Що робити, опустити руки? На щастя, немає такого терміну в інжинірингу. Починається пошук форсайтів і дорожніх карт з розвитку технології, тих наукових колективів і вчених, які працювали в потрібному нам технологічному напрямі і здатні запропонувати доступну альтернативу. Наприклад, спускаємося на ступінь нижче тієї технології, яка сьогодні найбільш актуальна, тобто беремо за основу не її, а попереднє покоління. Будуємо новітній дослідницький центр і потім запускаємо завод на тому ж устаткуванні, що і R&D центр: завод виготовляє продукцію, учені удосконалюють техпроцеси. Чому на тому ж устаткуванні? Це забезпечить повторюваність техпроцесу і швидке перенастроювання технологічних ліній на виробництві. На цих принципах з'явилося виробництво сонячних панелей, повний цикл випуску оптоволокна і ряд суто технологічних напрямів, компетенцій в яких до цього не було.

Тепер ми впритул підійшли до сучасності. Звичайно, в усіх на слуху цифровізація. І це невипадково, саме вона підштовхнула нову промислову революцію, в центрі якої ми зараз знаходимося. Чому в центрі? Тому що у світовій промисловості повним ходом йдуть перетворення, що пов'язані з цілим пластом вже всім доступних цифрових рішень, але ми ще не підійшли до граничної точки цих змін, яка має назву концепції «Індустрія 4.0». Думаю, всі ці рішення на слуху, хоча іноді виникає певна плутанина, оскільки розвиваються вони просто неймовірними темпами: промисловий «Інтернет речей», хмарне зберігання даних — сегмент обміну даними, іноді і 5G сюди відносять, але ця технологія більшою мірою орієнтована на людину; проблема інтерфейсів розв'язана за допомогою штучного інтелекту, якщо точніше, то нейромереж. Наступний ешелон: сенсорні системи — це система датчиків, які знімають потрібні для машини показники довкілля, грубо кажучи, через неї машина «відчуває». Цифрові двійники в сукупності з автоматизованими і роботизованими комплексами забезпечують виробничу цифрову інфраструктуру. Обробку та аналіз даних реалізує штучний інтелект, предиктивна аналітика, Big Data, яка вже трансформувалася в цілий клас аналітичних систем, наприклад Data Mining, здатний здійснити пошук неврахованої інформації і контекстів. Усі ці компоненти вже впроваджуються і по-

казують чудові результати, але все-таки вони ще далекі від того образу промисловості, який будує «Індустрія 4.0».

Декілька прикладів: один з нідерландських заводів Philips працює в неосвітленому приміщенні, де встановлені 128 роботів. Увесь персонал заводу складається з дев'яти працівників. Класичним прикладом стала цифровізація виробничих майданчиків Harley Davidson, проведена ще в 2009-11 рр. Основною проблемою, з якою зіткнулася компанія, було збільшення конкуренції при обмеженій можливості кастомізації дилерами п'яти моделей, що випускалися. В результаті був створений єдиний складальний майданчик, що випускає мотоцикли усіх п'яти моделей з можливістю їх кастомізації, замовникові пропонується вибір більш ніж із 1300 варіантів. Протягом усього виробничого процесу використовуються датчики, що керуються MES-системою. Кожен верстат, кожна деталь має RFID-мітку, що однозначно ідентифікує виріб і його місце у виробничому циклі. Інформація від датчиків передається на платформу обробки даних, що виконує роль інтеграційної шини для збору даних з датчиків і різних інформаційних систем, як внутрішніх виробничих і бізнес-систем компанії Harley Davidson, так і інформаційних систем контрагентів компанії. В результаті виробничий цикл скорочений з 21 дня до 6 год (кожні 89 секунд з конвеєра сходить мотоцикл, повністю налагоджений під майбутнього власника); реалізовано наскрізне управління виробом на всьому його життєвому циклі; вартість акцій компанії виросла більш ніж в 7 разів. В цілому вигляд майбутнього промислового виробництва вже визначений «Індустрією 4.0». І хоча це ще гнучка концепція, ми знаємо, до чого рухатися, але наскільки успішно і безболісно ми пройдемо цю промислову революцію, залежить виключно від інжинірингу, здатного об'єднати вже існуючі технологічні і цифрові рішення в єдиний комплекс, в те, що називається «кіберфізичні системи». «Індустрія 4.0» — це виклик передусім для компаній, що діють у сфері промислового інжинірингу. Так, розробка та інтеграція компонентів і систем грає величезну роль, але ефект цілісної самодостатньої системи можна отримати, тільки об'єднавши розрізнені елементи в єдиний виробничий комплекс.

Термінологія «Індустрії 4.0» завжди була переобтяжена величезною кількістю інтерпретацій та альтернативних «сутностей». Справа тут не в тому, що хтось чогось недостатньо зрозумів або свідомо вводить в оману, просто концепція не є остаточною, її елементи знаходяться в постійному розвитку і часто перекриваються перспективнішими рішеннями, що змінюють як загальний тренд, так і значущість окремих напрямів. Крім того, намагання описати етапність переходу від поточного рівня розвитку промисловості до «Індустрії 4.0» також не додала ясності, а швидше ще більше заплутала загальне розуміння концепції. Тому наступна частина статті розглядатиме категорії, найбільш близькі до розкриття логіки «Індустрії 4.0», перші дві з них описують базові поняття, наступні, — намагаються запропонувати бачення перехідних етапів промислової цифровізації.

«ІНДУСТРІЯ 4.0»

Так що ж таке «Індустрія 4.0»? Це концептуальна основа четвертої промислової революції, що об'єднала в понятті кіберфізичної системи декілька існуючих і таких, що розробляються технологічних і цифрових напрямів, здатних кардинально змінити структуру промисловості і виробничих відношень. Поняття виникло в 2011 році в Німеччині та еволюціонує паралельно з розвитком включених в нього технічних рішень, галузевої специфіки та специфіки окремих країн, що частенько вносить плутанину в розуміння терміну. У зв'язку з цим краще визначити «Індустрію 4.0» не через перелік тих технологій, що постійно змінюються, поглинаються новими і технологій, що непропорційно розвиваються, а з використанням функціонального підходу. При цьому основна мета усіх планованих змін — вищий рівень конкурентоспроможності виробництва на макрорівні. Конкурентні переваги визначають і людський чинник як найбільш слабку ланку у виробничому процесі та встановлюють функціонал системи:

- Висока якість продукції за рахунок автоматизації і роботизації виробництва, відсутності відбракованих виробів, у разі нерентабельності робототехнічних рішень в перехідний період — превентивне усунення браку за допомогою цифровізації виробничих процесів.
- Висока ефективність виробництва за рахунок прискореного автоматизованого впровадження нових технологічних і виробничих рішень.
- Висока плановість майбутнього завантаження підприємств, зниження витрат за рахунок оптимізації ресурсоємних процесів і планування експлуатаційних витрат. Предиктивна аналітика дає можливість отримання багаторівневого прогнозного ресурсу, від планування завантаження технологічних ліній до управління процесом впровадження нових продуктів.
- Збільшення конкурентних переваг в межах виробничого циклу. Перехід від вертикальної інтеграції виробничих процесів до горизонтальної, при якій виробничий цикл не концентрується у рамках однієї великовагової і слабо керованої компанії, а розподіляється між декількома компаніями, що виробляють близькі товари/послуги в одній виробничій ніші.
- Висока гнучкість виробничих процесів, швидке автоматизоване перенастроювання веде до кастомізації продуктової лінійки, промисловий продукт, виготовлений за індивідуальним дизайном, стає стандартом.
- Повне виробниче завантаження за рахунок мінімізації простоїв устаткування і виробничих аварій.
- Пряма взаємодія «продукт — споживач», смерть традиційного маркетингу і заміна на автоматичний збір і машинну обробку даних. Оптимізація виробництва як під випуск нестандартної продукції із заданими технічними характеристиками (персоналізоване виробництво), так і для виконання типових операцій.

Базовим для «Індустрії 4.0» є граничний рівень автоматизації та цифровізації: ручна механічна праця унеможливлюється за рахунок роботизації, інструменти штучного інтелекту забезпечують ухвалення рішень, широкі можливості передачі даних і їх інтерпретації на рівні людина-машина надають можливість сприйняття машиною споживчих якостей продукції. Підсумок — «безлюдне виробництво» і повне виключення людини з виробничих відносин, автоматизація логістики і традиційних маркетингових інструментів. Проте з психологічної точки зору людині, тим більше зайнятій на керівних постах, украй складно уявити собі систему, з якої в осяжному майбутньому він сам себе усуває; з практичної — подібна організація промисловості (тут не йде мова про окреме виробництво) ще далека від існуючих технологічних і інжинірингових можливостей.

Тому в дорожніх картах і програмах розвитку виділялися два варіанти фабрик майбутнього («цифрова» і «ро-

зумна», розглянуті далі), що описують проміжні структурні одиниці тих виробництв, що трансформуються в ході цифровізації. У свою чергу віртуальна фабрика в такій системі є підсумком цієї трансформації і одночасно системотворним елементом «Індустрії 4.0». Кожна з фабрик майбутнього визначається через перелік програмних і технологічних змін і цільових показників. Проте з точки зору практичного інжинірингу розмежування між ними штучне і не враховує послідовності і зв'язку між програмними продуктами, що перетинаються, технологічними і цифровими рішеннями.

Іншими словами, «Індустрія 4.0» — це гнучка концепція майбутньої промисловості, що розвивається, технічні засоби і проміжні етапи якої схильні до занадто частих змін, щоб на сучасному етапі з'явився консенсус з оптимальної реалізації концепції «Індустрії 4.0».

Проте базовий набір технологічних напрямів вже зараз прозорий. Основні, можна сказати критичні, компоненти «Індустрії 4.0», що безпосередньо впливають на її становлення, часто плутають із самою ідеологією, що об'єднує «суму технологій», які вже були перелічені вище по декількох сегментах: накопичення даних в кіберфізичних системах, обмін даними, інтерфейси взаємодії, цифрова і виробнича інфраструктура, обробка та аналіз даних. Це базовий перелік для фабрики майбутнього, хоча далеко не вичерпний і такий, що не виключає заміщень. Той же блокчейн, як механізм контрактингу із забезпечення матеріально-технічної бази виробництва, потрібний в системі «Індустрії 4.0», але на нинішньому етапі ще не критичний.

Розглянемо стадії розвитку компонентів «Індустрії 4.0». Екстраполяція існуючих технологічних трендів:

1. Стан компонентів «Індустрії 4.0» сьогодні:
   - Хмарне зберігання, штучний інтелект і нейронні мережі, АСУТП і роботизовані комплекси, сенсорні системи та інфраструктурні рішення доступні вже сьогодні, їх втілення в концепції «Індустрії 4.0» — питання інтеграції програмного забезпечення з іншими елементами системи.
   - Цифрове моделювання вже використовується для створення цифрових двійників, сервісного обслуговування устаткування і систем. Крім того, це базова технологія для проєктування нової продукції і вихідного контролю продукції «з конвеєра», скорочення періоду тестування дослідних зразків при розробці нових продуктів. Результат: повна автоматизація управління виробничими процесами.
2. Поточні напрями розвитку компонентів «Індустрії 4.0»:
   - Системи промислової безпеки стандартизуються на національному і регіональному рівнях.
   - Промислове устаткування і системи забезпечуються достатнім числом і рівнем сумісності датчиків для самодіагностики і взаємодії на рівні нейромереж.
   - Системи обробки великих об'ємів інформації Big Data (термін вже застарів, тут наводиться для характеристики класу технологій, що отримують практичний сенс із розрізнених даних) в змозі систематизувати і запропонувати масиви даних, які отримуються від машин та легко інтерпретуються людиною. У розвиненому стані інтерпретація даних відбувається за допомогою машинного навчання, зокрема нейромереж і глибокого навчання, хоча залишається актуальною проблема «чорної скриньки» — нерозуміння людиною, як навчена машина дійшла тих або інших висновків. У сучасному стані спочатку суто програмний характер обчислень розширюється на рівень програмованих інтегральних схем під завдання штучного інтелекту, периферійних обчислень тощо.
   - Системи машинного навчання ML забезпечать автоматизоване налаштування устаткування і цілих виробничих ліній без участі людини.
   - Промисловий «Інтернет речей» (IIoT) починає працювати на рівні промислових підприємств, IoT — на рівні логістичних мереж і мегаполісів, що забезпечить один зі значимих аспектів «Індустрії 4.0» — зворотний зв'язок «користувач — виробник продукції».
3. В майбутньому — автоматизоване управління інтелектуальними системами в режимі реального часу при постійній взаємодії із зовнішнім середовищем, що виходить за межі одного підприємства, з перспективою об'єднання в регіональні промислові мережі.

КІБЕРФІЗИЧНА СИСТЕМА

Кіберфізична система (cyberphysical system, CPS) — інформаційно-технологічна концепція, що об'єднує кібернетику, механотроніку, теорію і практику управління процесами і що має на увазі інтеграцію обчислювальних ресурсів у фізичні об'єкти і процеси, їх взаємодію за допомогою протоколів IoT та IIoT для прогнозування, самоналаштування та адаптації до змін в реальному часі. У такій системі датчики, устаткування та інформаційні системи об'єднані вздовж усього ланцюжка створення вартості в єдину структуру, вплив якої виходить за рамки одного підприємства. CPS сприяє ухваленню більш точніших і своєчасніших рішень, що грунтуються на реальних подіях, а не на їх людській інтерпретації.

Часто між «Індустрією 4.0» і CPS не роблять відмінності, оскільки клас використовуваних технологій фактично співпадає, але «Індустрія 4.0» — це сценарій розвитку майбутнього виробництва, а CPS, по суті, той інфраструктурний фундамент, який повинен стати основою для реалізації цього сценарію. Сьогодні людство функціонує в двох паралельних світах: фізичному і цифровому, вони взаємодіють за допомогою людини і (принаймні в промисловому сегменті) для людини. Спрощено суть «Індустрії 4.0» можна охарактеризувати як процес виведення людини з виробничих відносин, оскільки роботи, інтелектуальні машини та ШІ справляються з виробничими завданнями набагато ефективніше. Проте для цього треба, щоб фізичний і цифровий світ стали єдиною системою, існуючою незалежно від нинішньої антропоцентричної моделі промисловості і здатною, подібно до людини, сприймати та аналізувати інформацію про себе і навколишній світ, робити висновки і приймати рішення, що транслюються до зовнішнього світу і виконуються іншими пристроями, без втручання людини. Тому головним завданням розвитку кіберфізичних систем можна назвати глибоку взаємодію між фізичними та цифровими елементами системи.

Виходячи з такої інтерпретації стають зрозумілими і технологічні напрями, що критично впливають на становлення CPS. За аналогією з нервовою системою людини, нервові клітини системи — це сенсори, що охоплюють увесь фізичний комплекс, що бере участь в її роботі. Нервовий імпульс забезпечує передачу інформації від рецепторів до

нервових центрів — у випадку з CPS ці функції забезпечуються технологіями обміну даних IoT/IIoT. Нервові центри, обробивши інформацію, передають імпульс до виконавчих органів — відповідно, обробку інформації забезпечує цілий комплекс інструментів від аналізу на основі Big Data і складніших інструментів предиктивної аналітики і Data Mining, орієнтованих вже на недоступні для людини логічні послідовності, до штучного інтелекту з властивими йому методами самонавчання (штучні нейронні мережі, глибинне/тіньове навчання).

Питання включення перерахованих технологій аналізу в CPS спірне, для реалізації типового техпроцесу вони надлишкові, але, з іншого боку, управління змінами в цих процесах без них неможливе. Виконавчим органом в системі може бути людина або машина: машина — це робот або верстат, тут взаємодія будується на базі технологій M2M, зараз такі завдання ефективно вирішуються машинним навчанням. Людина в CPS надлишкова, хоча взаємодія з цифровим світом на цьому рівні і не є утрудненою і будується на основі традиційних інтерфейсів або рішень VR, AR, MR (віртуальна, доповнена, змішана реальність), проте цей рівень в техносферу CPS вже не входить.

ФАБРИКА МАЙБУТНЬОГО

Фабрика майбутнього (factory of the future) — узагальнений опис організації виробничих підприємств у майбутньому. Пошук оптимального набору постійно еволюціонуючих технологічних і цифрових рішень визначає склад і супідрядність існуючих і перспективних технологій, що робить саму концепцію досить розмитою. Навіть основні формації, що виникли в різні періоди еволюції загальної концепції, — цифрові, віртуальні, «розумні» фабрики — не мають чітких меж і представляються або як масиви взаємоув'язаних технологій (у запропонованому нижче варіанті), або як етапи розвитку, або визначаються по охопленню виробничо-управлінських функцій.

Цифрова фабрика (digital factory) представлена першим етапом трансформації виробництв у фабрику майбутнього, що охоплює стадії проєктування і планування виробів і виробництва з пріоритетом технологій цифрового моделювання. «Розумна» фабрика (smart factory) — другий етап, що приймає технології попереднього періоду, але концентрується на організації гнучкого серійного виробництва, технологіях автоматизації і роботизації та побудови сенсорної інфраструктури. Віртуальна фабрика — сумарна система, що включає технології і «розумних», і цифрових заводів, але робить акцент на створенні розподіленої мережі виробництв, що використовують у вигляді єдиного об'єкту віртуальну модель усіх організаційних, технологічних, логістичних та інших процесів на рівні глобальних ланцюжків постачань.

При цьому в якості базових визначаються не технології «Інтернету речей» або цифрових двійників, підходи Agile або PLM-системи, а інформаційні системи ERP (планування ресурсів підприємства), CRM (управління взаємовідносинами із замовниками) і SCM (управління ланцюжками постачань), що має сенс для етапів експлуатації і обслуговування, виділених в якості основних, але з технічної точки зору згадані системи повинні вже функціонувати.

У запропонованій нижче інтерпретації цифровий завод — це наскрізна цифровізація окремого підприємства; «розумна» фабрика — побудова кіберфізичної виробничої системи на цьому окремому підприємстві; віртуальна фабрика — масштабування цієї системи вже на рівень декількох підприємств, в іншій термінології — «Індустрія 4.0».

ЦИФРОВА ФАБРИКА/ЗАВОД

Цифрова фабрика/завод (digital factory) — одне з видінь концепції «Фабрики майбутнього», пріоритет в яких відводиться операціям, що грунтуються на цифровому проєктуванні, дизайні та моделюванні продуктів і виробничих процесів протягом всього їх життєвого циклу. Система грунтується на автоматизованому проєктуванні (САПР) і програмних продуктах групи CAx (CAD, CAE, CAM), цифровому BIM-моделюванні продуктів, процесів, виробничої та інженерної інфраструктури підприємства. Апаратна частина системи тут підкоряється завданням цифровізації виробничих і технологічних процесів, тому націлена на побудову сенсорної інфраструктури і цифрових двійників на рівні всього підприємства, його процесів і продукції.

З точки зору еволюції виробничих систем цифровий завод є перехідним станом між традиційним заводом і «розумною» фабрикою. Проте якщо взяти до уваги існуючу в сучасній напівпровідниковій галузі модель Fabless, де проєктування і серійне виробництво інтегральних схем розділене між самостійними компаніями, то в подібній системі цифрові фабрики можуть виступати в ролі самодостатньої виробничої одиниці, орієнтованої на проєктування і випуск дрібносерійної продукції. У даному контексті обгрунтовано поширене визначення цифрового заводу як самодостатньої системи, доповненої такими компонентами, як верстати з ЧПУ і 3D-принтери на апаратному рівні. У свою чергу на програмному рівні — це функціонуючі системи PDM (забезпечують управління усією інформацією про виріб) і PLM (підтримують колективну розробку, управління, поширення і використання інформації про виріб упродовж всього його життєвого циклу).

«РОЗУМНА» ФАБРИКА

Під «розумною» фабрикою (smart factory) мається на увазі організація виробничої системи на базі цифрових засобів наскрізного управління автоматизованими технологічними, інженерними та виробничими процесами, включаючи робототехнічні комплекси на апаратному рівні, а на рівні програмного забезпечення — системи керування класу PLM, ERP, MES (системи автоматизації оперативного керування виробничими замовленнями, якістю продукції, контролю продуктивності устаткування) або BPMS (системи управління бізнес-процесами для автоматизації виробничих операцій, обслуговування устаткування, контролю якості, інжинірингу, складських операцій тощо). Якщо цифровий завод орієнтовано на створення цифрової або кіберсистеми, то «розумна» фабрика — це вже організація кіберфізичної системи, тобто системи, що об'єднує в єдиному середовищі програмний і апаратний комплекс. Залежно від рівня автоматизації функціонал «розумної» фабрики може варіюватися від гнучкого виробництва з пріоритетом швидкого перенастроювання виробничих систем на випуск іншої продукції або дрібносерійних кастомізованих продуктів до «безлюдного» виробництва, що виключає людську працю у виробничому циклі (людина займається тільки моніторингом і обслуговуванням системи).

Можна розглядати «розумну» фабрику як продовження цифрової на рівні налагодження технологічних ліній та організації серійного виробництва, але з точки зору проєктування таких

об'єктів обидва процеси настільки взаємозв'язані, що їх розділення приводить тільки до плутанини. Наприклад, впровадження аналітичних ресурсів системи — Big Data, предиктивна аналітика, штучний інтелект — повинно бути передбачено ще на рівні організації цифрової фабрики, хоча їх повноцінне використання характерне для «розумної» фабрики. Навпаки, без урахування апаратного рівня автоматизації і роботизації підприємства, складу технологічних ліній, які в класичному розумінні не актуальні для цифрової фабрики, побудова необхідних для цієї системи цифрових двійників на рівні технологічних процесів або інженерної інфраструктури неможливо.

ВІРТУАЛЬНА ФАБРИКА

Віртуальна фабрика (virtual factory) — імітаційна модель мережі цифрових і «розумних» фабрик, в яку також включені постачальники послуг/компонентів на вході і автоматизовані процеси дистриб'юції і логістики, збуту і обслуговування продукції, організації потоків зворотної інформації на виході. Збільшення доданої вартості через управління ланцюжками постачань і розподіленими виробничими активами, а також за допомогою оптимізації каналів поширення продукції тут є визначальною характеристикою. Модель віртуальної фабрики акцентує питання мережного планування і управління виробничими процесами за допомогою корпоративних програмних продуктів ERP, PLM, MES, але не на рівні підприємства, а на рівні мережі підприємств, постачальників і інших контрагентів. З практичної точки зору усі позначені програмні рішення, необхідні для функціонування віртуальної фабрики, повинні працювати ще на рівні цифрового заводу. Тоді ж забезпечується і робота сегментів обміну даними за допомогою IIoT, хмарного зберігання даних; інтерфейсів взаємодії між машинами і людиною. По суті, віртуальна фабрика — це мережне масштабування фабрики майбутнього.

ВИСНОВОК

Можна помітити деяку невідповідність між спрямованістю «Індустрії 4.0» і кіберфізичних систем на повне усунення людського чинника з виробництва і масою суто антропоцентричних програмних засобів автоматизації (ERP, PLM, MES...), використовуваних в перехідних структурних одиницях, від цифрових до віртуальних фабрик. Ймовірно, це обумовлено спробою практичного впровадження концепції на базі існуючих рішень, що вже досить добре зарекомендували себе, але у будь-якому випадку доля штучного інтелекту постійно ростиме, поступово витісняючи актуальні для нашого часу засоби автоматизації. Проте, щоб прийти до повністю автоматизованої промисловості вже сьогодні, необхідно впроваджувати доступні рішення, проєктувати свої «розумні» і «темні» фабрики (lights out/dark factory — повністю автономні заводи, які у відсутність людей не вимагають освітлення), приклади яких вже досить давно є присутніми у світовій індустрії і дають відмінні показники конкурентоздатності.

Просимо вибачення за відсутність посилань і джерел, число яких наблизилося до 400, включаючи англомовні ресурси, але тезаурус спочатку розроблявся суто для внутрішнього користування. CN

Особливості вибору компонентів для кросоверів акустичних систем

Олексій Панфьоров, інженер, «Філур Електрик, лтд»
E-mail: panfiorov@filur.net

Стаття висвітлює аспекти, які мають важливе значення в дизайні кросовера, а також даються практичні рекомендації щодо використання компонентів від компанії Jantzen при створенні кросовера.

Якщо ви хочете отримати найкращий звук, але у вас обмежений бюджет, вам потрібно вибрати належні якісні компоненти та розумно витрачати гроші. Я захоплююся створенням доступного звуку і справді вірю, що вибір якісних компонентів надзвичайно важливий, коли ви намагаєтеся отримати максимальну віддачу за свої гроші. У цій статті розповідається про те, на що витрачати гроші, коли ви вибираєте компоненти кросовера, і які аспекти мають значення в дизайні кросовера.

Якщо ви вирішили зупинитися на широкосмуговій (односмуговій) системі, тоді, використовуючи спеціальний динамік та правильне акустичне оформлення, можна досягти непоганих результатів без будь-яких додаткових зусиль. Двох- трьох- і більш смугові системи вимагають, крім динаміків та акустичного оформлення, ще розділовий фільтр, або кросовер, оскільки будь-який динамік відтворює досить широкий звуковий діапазон, який найчастіше значно ширший, ніж той , який планується на нього подавати.

У пасивному кросовері використовуються три основні компоненти: резистори, конденсатори та індуктивності. Якість цих компонентів має сенс, і цей сенс більш важливий в одних місцях та незначний в інших. Далі поговоримо саме про це.

Розглянемо 3-смуговий кросовер другого порядку (див. рис. 1).

Дві найважливіші речі, про які треба пам'ятати: перша — це високі частоти та якість компонентів для фільтру ВЧ. Друга — компоненти, включені послідовно з динаміком, більш важливі ніж компоненти, що включені паралельно. В кінцевому підсумку це означає, що конденсатор твіттера є надважливим компонентом (у нашому кросовері конденсатор C1). Я не бачив винятків із цього правила, і якщо у вас є різні типи конденсаторів (компонентів), вибирайте той, який за ціною та якістю був би у тій самій категорії, що і твіттер, який ви вибрали для вашої системи. Наскільки гарний твіттер ви вибрали, настільки ж гарний конденсатор повинен бути для цього твіттера.

Який мінімум при виборі конденсатора твіттера? Принаймні це не повинен бути електролітичний конденсатор, це обов'язково має бути плівковий конденсатор MKP.

Також конденсатор C2, включений послідовно, та C3, включений паралельно, можуть бути різної якості. Для C2 це плівка MKP, для C3 це може бути електолітичний конденсатор, або якщо обидва плівкові конденсатори, то для C2 я б порадив вбрати якість трохи вищу, ніж у C3. Наприклад, C3 — Cross Cap Jantzen, а C2 — SUPERIOR Z-CAP Jantzen.

Конденсатор C4 у фільтрі НЧ може бути електролітичним, та й ємність цього

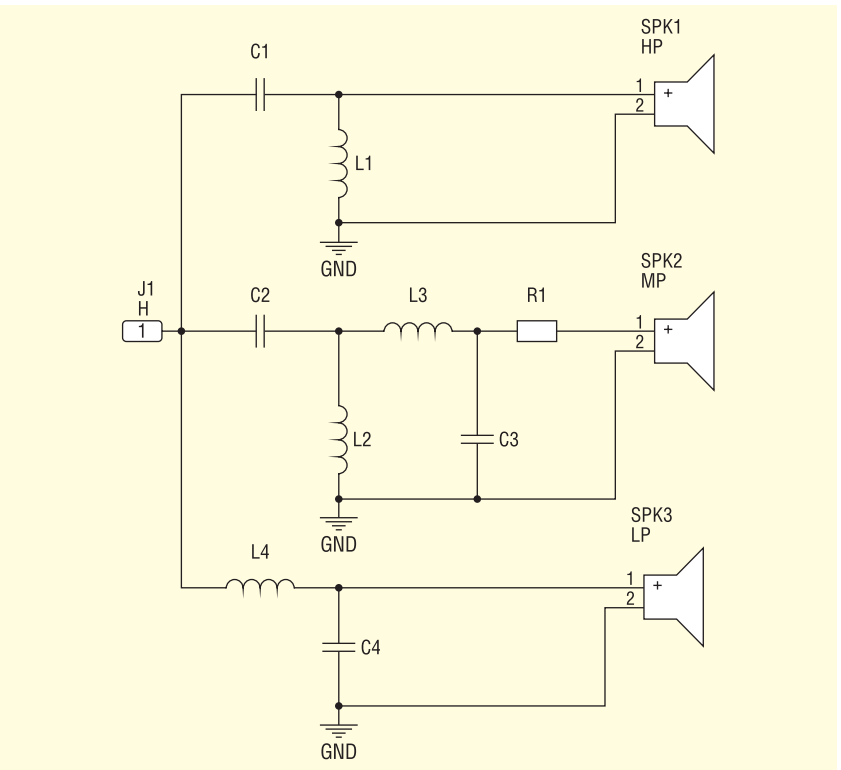


Рис. 1. 3-смуговий кросовер другого порядку

Рис. 2. Повітряний індуктор Air Core Wire Coil від Jantzen

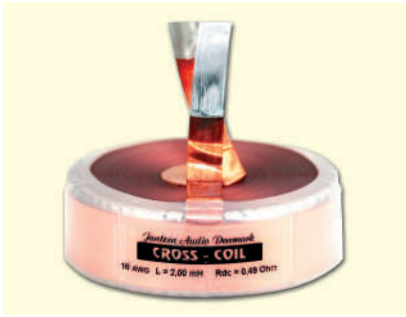


Рис. 3. Фольгований індуктор Cross Coil від Jantzen

Рис. 4. Фольгований індуктор Wax Coil від Jantzen

конденсатора зазвичай завелика для плівкового конденсатора.

Індуктивність в секції високих частот L1 не повинна бути намотана на осерді чи то металевому, чи то феритовому. Зазвичай це повітряна намотка (Air-core), тому що втрати на гістерезис на високих частотах більші у котушок на осерді, тому наш мінімум — це повітряний індуктор, наприклад Air Core Wire Coil від Jantzen (рис. 2). Дорожчим, але в результаті кращим, буде фольгований індуктор за рахунок ще меншої паразитної ємності та незначних втрат на гістерезис — це може бути Cross Coil від Jantzen (рис. 3). Ще кращий результат буде у фольгованого індуктора з нанесеним на нього воском або якимось механічно-стабілізуючим матеріалом, наприклад Wax Coil від Jantzen (рис. 4).

Вплив та якість L3 так само важливі, як і L1, можливо, навіть трохи більш важливі, але тут, де частоти нижче, ви

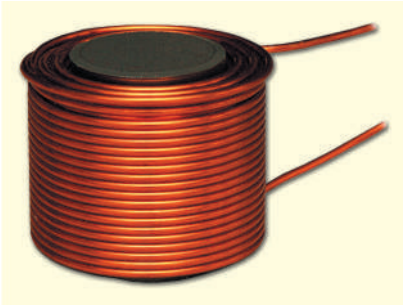


Рис. 5. Індуктивність Iron Core від Jantzen

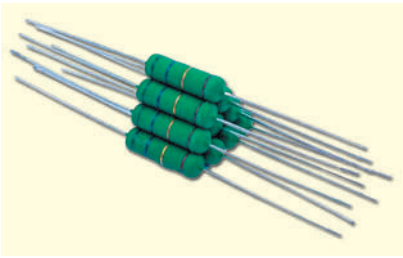


Рис. 6. Аудіорезистор SUPERES від Jantzen

можете застосувати індуктивність з феритовим або металевим осердям, або намотану на тороїді, наприклад Iron Core Coil від Jantzen (рис. 5).

Для індуктивності L2, якщо номінал її занадто великий, теж можете застосувати індуктивність з феритовим або металевим осердям, або намотану на тороїді. Так само і L4.

Резистор (у нашому прикладі тільки один резистор, але зазвичай їх може буди декілька) — це найдешевший компонент, різниця в ціні між ними не дуже велика. Я знаю, що є дуже дорогі резистори, але скажу, що, використовуючи безіндукційні резистори стандартних типів або недорогі спеціалізовані аудіорезистори, наприклад SUPERES від Jantzen (рис. 6), можна досягти дуже гарних результатів.

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

Література:

1. *http://www.jantzen-audio.com/*
2. *http://www.humblehomemadehifi.com/Cap.html*
3. *http://www.troelsgravesen.dk/*

CN

URETHANE 71 ВІД КОМПАНІЇ ECS

ECS *— піонер у галузі очищення технологічного обладнання та компонентів. З 1982 року компанія розробляє засоби для очистки автоматичних систем обробки готівкових та кредитних карток, у тому числі високоякісні картки для очистки АТМ (банкоматів). Продукти компанії актуальні для наступних сфер застосування:*

- *електроніка та друковані плати;*
- *банківська справа (банкомати, BNA);*
- *роздрібна торгівля;*
- *POS-термінали;*
- *автоматичне паркування, пункти оплати;*
- *громадський транспорт, автомати з продажу квитків;*
- *автозаправні станції, пункти прийому платежів.*

Продукція компанії ESC постачається у більш ніж 30 країн: від Австралії до Сполучених Штатів Америки. У компанії є офіси по всій Європі, щоб бути ближче до клієнтів.

ECS AG сертифікована відповідно до ISO 9001.

Як прямий приклад якості продукції компанії ECS Філур Електрик пропонує URETHANE 71 (УРЕТАН 71). Це високоякісний однокомпонентний поліуретановий лак, особливо актуальний для електронної промисловості.

URETHANE 71 (УРЕТАН 71) відмінно захищає електронне обладнання та компоненти, якісно ізолює:

- *плати персональних комп'ютерів;*
- *електродвигуни;*
- *трансформатори;*
- *друковані плати.*

Він забезпечує захист від:

- *вологості;*
- *солоних агресивних парів;*
- *грибків;*
- *термічних і механічних пошкоджень;*
- *корозії;*
- *хімічних речовин.*

URETHANE 71 (УРЕТАН 71) утворює тверду, стабільну, гнучку, непровідну і зносостійку плівку з відмінною адгезією.

Протягом десятиріч кількість скарг клієнтів практично дорівнює нулю, що надало ECS дуже хорошу репутацію на ринку. Приходьте до ECS і дозвольте собі надихнутися досвідом компанії, виробничим ноу-хау та гарною атмосферою!

https://www.ecsag.com,
www.filur.net

Реле: Micros sp. j. пропонує

В статті розглянуто деякі реле Hongfa. Надаються їхні технічні характеристики та розглядаються області використання.

Електромагнітні реле є одними з найстаріших та уживаніших електронних компонентів, завдяки їх здатності пропускати сигнали високої потужності (як високої напруги, так і великого струму), стійкості до стрибків напруги та забезпечення гальванічної розв'язки. При цьому їх дуже важко замінити на якісь інші (альтернативні) компоненти.

Компанія Micros пропонує широкий асортимент реле Hongfa. Вони доступні в різних конфігураціях контактів, значень напруги та струму. Ці реле в основному спеціалізовані та спрямовані на конкретні використання.

СИЛОВІ РЕЛЕ

Реле **HF3FF** є мініатюрними силовими реле розмірами 19×15.5×15 мм та призначені для монтажу на друкованій платі (рис. 1). Доступні дві версії — комутаційні та контактні реле, обидві з високим струмовим навантаженням (до 15 А за напруги 277 В змінного струму та 30 В постійного струму). Ізоляція між котушкою та контактами розрахована максимум на 1.5 кВ. Максимальна потужність, що розсіюється котушкою, досягає 360 мВт для версій, що керуються 5, 9, 12 і 24 В постійного струму. Діапазон робочих температур становить від −40 до +70 °С. Завдяки контактному покриттю $AgSnO_2$ вони здатні витримувати високі пускові струми. Ці реле розраховані на 10 млн циклів.

Реле **HF32F** також є мініатюрними силовими реле (18.5×10×15.5 мм), що призначені для монтажу на друкованій платі (рис. 2). Здебільшого вони бувають у контактному виконанні (навантаження по струму 5...10 А за напруги 250 В змінного струму і 30 В постійного струму). Комутаційні версії мають менше навантаження по струму — до 3 А з цією ж напругою. Характерною особливістю даної моделі є покращена ізоляція між котушкою і контактами (2.5 кВ). Потужність, що поглинається котушкою, номінально досягає 450 мВт, але є версії з більшим діапазоном чутливості (Sensitive), що працюють із 200 мВт при 5, 9, 12 і 24 В постійного струму. Діапазон робочих температур становить від −40 до +70 °С. Найпоширенішими серед них є версії з контактним покриттям AgNi, що є перевіреним матеріалом для покриття. Відносно низький вміст нікелю (10%) сприяє механічному зміцненню срібла і забезпечує стійкість до ерозії контактних ділянок (при більших навантаженнях вони стають більш міцними).

Це ідеальне рішення для резистивних навантажень та застосувань, що працюють на повну номінальну потужність, а також для інших типів навантажень, де пусковий струм не такий високий. Такі переваги, як низька вартість і хороші загальні характеристики, роблять контактне покриття AgNi хорошим вибором для багатьох силових реле.

Реле **HF46F** — мініатюрні силові реле розмірами 20.5×7×15.5 мм, призначені для монтажу на друкованій платі (рис. 3). Вони доступні лише в контактному виконанні (сила струму до 5...10 А з напругою 250 В змінного струму та 30 В постійного струму). Крім форми корпусу вони відрізняються підвищеною ізоляцією між котушкою і контактами (розраховані на стрибки напруги від 4 до 10 кВ). Потужність розсіювання котушкою досягає 200 мВт (при 5, 9, 12 і 24 В постійного струму). Існують версії з покриттям контактів AgNi та $AgSnO_2$. Розширений діапазон робочих температур становить від −40 до +85 °С. Унікальна невелика вага (близько 3 г) і маленькі розміри на друкованій платі дозволяють їх незвичне використання.

Деякі застосування потребують реле з іще більшою надійністю. Системи, які виконують швидку зарядку або керують потужними двигунами, повинні мати можливість підключати високі струми, але цього не завжди можна досягти за допомогою напівпровідникових компонентів. Саме тому було створено **HF1105F**. Це елементи високої потужності з розмірами корпусу 32×27×20 мм, призначені для монтажу на друкованій платі (рис. 4). HF1105F випускається в трьох варіантах: контактний, розмикаючий контакт або комутаційний. Усі вони розраховані на високі навантаження до 40 А (277 В змінного струму та 28 В постійного струму). Ізоляція між котушкою і контактами розрахована на 2.5 кВ або 4 кВ (залежно від версії). Потужність, що розсіюється котушкою, досягає 900 мВт (для версій з керуванням 5, 9, 12 і 24 В постійного струму). Можна також знайти моделі зі

Рис. 1. Реле серії HF3FF

Рис. 2. Реле серії HF32F

Рис. 3. Реле серії HF46F

Рис. 4. Реле серії HF105F

Рис. 5. Реле серії HF115F

Рис. 6. Реле серії HF118F

змінним струмом (AC) на вході (зазвичай — 12, 24, 220 В змінного струму). Діапазон робочих температур становить від −55 до +85 °C. Завдяки контактному покриттю $AgSnO_2$ вони мають високу зносостійкість і здатні витримувати великі пускові струми.

Одними з найпопулярніших є реле серії **HF115F**. Доступні десятки різних моделей для універсального та спеціалізованого застосування, а також безліч аксесуарів, таких як релейні розетки. HF115F — мініатюрні силові реле розмірами 29×13×16 мм, призначені для монтажу на друкованій платі (рис. 5). Вони бувають у таких конфігураціях: комутаційні реле та контактні реле. Номінальна потужність становить від 8 до 16 А (при 440 В змінного струму і навіть 300 В постійного струму). Ізоляція між котушкою і контактами становить від 2 до 4 кВ. Потужність, що розсіюється котушкою, досягає 400 мВт (у версіях на 5, 9, 12 і 24 В постійного струму). Діапазон робочих температур становить від −40 до +85 °C. Контактні покриття в основному складаються з $AgSnO_2$.

Ще одне реле від Hongfa — модель **HF118F** для потужних ланцюгів керування (рис. 6). Ці реле також доступні в комутаційному та контактному варіантах (навантаження по струму для цього конкретного варіанту становить 10 А при 250 В змінного струму). При такому навантаженні споживана котушкою потужність невелика — всього 220...290 мВт (це залежить від номінальної напруги). Реле працює в діапазоні температур від −40 до +85 С. HF118F має невеликі розміри (28.5×10×12.5 мм) порівняно з його масою (8 г). Електрична ізоляція напругою 5 кВ між контактами та стороною керування досягнута за допомогою ізоляційного зазору 8 мм. Завдяки цьому це реле відповідає стандартам VDE 0700 та 0631 щодо якості ізоляції.

РЕЛЕ В АВТОМОБІЛЕБУДУВАННІ

Одним з найбільш спеціалізованих типів реле є автомобільні реле. Їх конструкція, а особливо контакти, оптимізовані для роботи з постійною напругою 14... 28 В. Типовими моделями є реле серії HFKx, наприклад **HFKW** або **HFKD** (рис. 7 і 8). Незважаючи на високі допустимі струми навантаження (20... 40 А), вони закриті в компактних корпусах (див. рис. 5). Реле серії HF118F, наприклад HFKW, мають розміри 16×15.5×14 мм, а HFKD — 17.5×9×13 мм. Споживана потужність котушки становить близько 600 мВт а напруга, що керує, в основному 12 і 24 В. Деякі моделі випускаються в подвійному виконанні, що містить два комплекти контактів і котушок керування (рис. 8). Вони призначені, наприклад, для керування двонаправленими двигунами постійного струму.

СИГНАЛЬНІ РЕЛЕ

Реле зазвичай пов'язано з приводними ланцюгами, оскільки вони дозволяють керувати високими навантаженнями з низькою потужністю, необхідною для керування котушкою електромагніту. Однак конструкція реле надає їм ще одну дуже важливу особливість — гальванічне розділення ланцюгів керування і тими, що керуються. Така функція може мати вирішальне значення для вимірювальних або медичних застосувань. З одного боку, це гарантує, що жодним чином не буде впливу на комутований контур, а з іншого — є відповідність стандартам безпеки. Типовими «сигнальними» реле, які також називають «телекомунікаційними», є реле типу **HFD23** і **HFD27** (рис. 9 і 10).

Це компоненти невеликих розмірів, пристосовані для комутації малих навантажень, максимально 2 А. Комутаційна потужність котушки становить близько 200 мВт. Є версії з підвищеною чутливістю. У цих реле споживана потужність зменшена до 150 мВт. Номінальна напруга котушки може бути від 1.5 до 48 В. Важливою конструктивною особливістю сигнальних реле є покриття AgNi + Au. Це означає, що використовується додатково позолочений контакт на основі срібла. Таке рішення гарантує безпечну та надійну роботу елемента.

Рис. 7. Реле серії HFKW

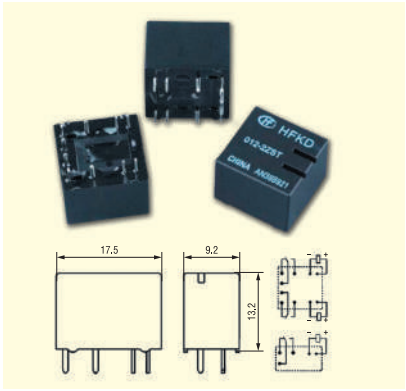


Рис. 8. Реле серії HFKD з описом проводів

Рис. 9. Реле серії HFD23

Рис. 10. Реле серії HFD27

При виборі сигнального реле необхідно звернути увагу на мінімальне навантаження на контакти. Для HFD23 воно становить 1 мА при 5 В, тоді як для HFD27 досягнуто значення 10 мА і напруги 10 мВ, що дозволяє використовувати його в вимірювальних приладах (доріжках вимірювальних приладів).

Матеріал надано Micros sp. j., www.micros.com.pl, pdykovytskyi@micros.com.pl CN

Вибір стандартів Li-Fi під час розробки Li-Fi-пристроїв

Муса Унмехопа (Musa Unmehopa), Signify

У цій статті ми обговоримо питання розробки комерційних пристроїв Li-Fi. У світі, де наше жадання даних та можливості залишатися на зв'язку здається невгамовною, технологія Li-Fi грає все більшу роль як засіб швидкої, надійної та безпечної передачі інформації. Ми визначаємо Li-Fi як технологію оптичного бездротового зв'язку, що забезпечує бездротовий широкосмуговий доступ за рахунок використання модульованого світла. Незважаючи на те, що сьогодні домінують бездротові системи на основі радіочастот (такі як Wi-Fi та 4G/5G), у деяких випадках радіочастотний зв'язок створює проблеми.

На сьогодні для Li-Fi перспективними є стандарти IEEE 802.11bb [2] та ITU-T G.vlc [3]. У кожного з них є свої переваги, і обидва можуть співіснувати та охоплювати різні, взаємодоповнюючі варіанти використання та області застосування. У цій статті ми зосередимося на тому, як конкретні особливості протоколу зв'язку поєднуються з унікальними властивостями світла. Сподіваємося, що ці міркування допоможуть вам у прийнятті правильних рішень при розробці пристроїв або систем Li-Fi.

ПРОБЛЕМИ, ПОВ'ЯЗАНІ З РАДІОЧАСТОТНИМ БЕЗДРОТОВИМ ЗВ'ЯЗКОМ

Перш ніж ми обговоримо технічні аспекти, давайте згадаємо, чому Li-Fi викликає такий великий інтерес як бездротова технологія, здатна доповнювати локальні мережі Wi-Fi і мобільні системи 4G/5G всередині приміщень. Загалом ми виділяємо три категорії проблем, з якими стикається радіочастотний зв'язок, і коротко розповімо про кожну з них.

ПЕРЕВАНТАЖЕНІСТЬ

Радіочастотний діапазон електромагнітного спектра не безмежний, в даний час цей дефіцитний ресурс користується все більшим попитом через кількість споживчих пристроїв і IoT-датчиків, які необхідно підключати до мережі. Перевантаженість ефіру і навантаження на радіоканали, що виникають в результаті, призводять до погіршення параметрів мережі. Частина електромагнітного спектра, що відповідає оптичному випромінюванню (як видимому, так і невидимому), хоч і кінцева, на кілька порядків більше. І тому передача даних за допомогою світла може виявитися довгоочікуваним вирішенням проблеми нестачі радіочастотного спектра.

ЕЛЕКТРОМАГНІТНІ ЗАВАДИ

Іншим ключовим аспектом є електромагнітні завади. І хоча це потенційна проблема в будь-якому середовищі, при використанні бездротового радіочастотного зв'язку в промислових умовах електромагнітні завади особливо сильно впливають на якість зв'язку. Інструменти та компоненти, які зазвичай застосовуються в промислових умовах, такі як імпульсні джерела живлення, апарати для дугового зварювання та щітки двигуна, можуть генерувати значні електричні завади в радіочастотному діапазоні. Іноді настільки, що використання Wi-Fi стає взагалі неможливим. Світлова частина електромагнітного спектра набагато менш сприйнятлива до електромагнітних завад, і це робить системи зв'язку Li-Fi набагато більш відповідними для застосування у складних промислових умовах.

ФІЗИЧНИЙ ЗАХИСТ

Оскільки радіосигнали розповсюджуються у всіх напрямках і проходять через конструктивні елементи будівлі, такі як стіни та стелі, ви ніколи не можете бути впевнені, що ніхто не підслуховує вашу розмову чи листування. Світло ж, навпаки, не проникає крізь стіни, стелі або шибки з покриттям. Ви можете надіслати комунікаційний сигнал адресату і при цьому бути впевнені, що ваше повідомлення буквально не вийде за межі кімнати. Ця властивість спрямованого світла в межах прямої видимості надає додатковий рівень фізичного захисту, поверх якого можна запустити стандартне шифрування зв'язку.

Ми переконалися, що існують певні проблеми з бездротовим радіочастотним зв'язком — перевантаження радіочастотного діапазону, електромагнітні завади та фізичний захист. Li-Fi допоможе успішно подолати ці проблеми, але важливе значення має вибір стандарту зв'язку. У наступному розділі йтиметься про те, як ключові особливості стандартів зв'язку співвідносяться з різними властивостями світла (рис. 1).

ЯК ОБИДВА СТАНДАРТИ LI-FI ПОТОВАРИШУВАЛИ ЗІ СВІТЛОМ?

Ні IEEE 802.11bb, ні ITU-T G.vlc не були створені з нуля як спеціальний стандарт Li-Fi. IEEE 802.11 є набором протоколів для популярних систем Wi-Fi, у той час як ITU-T G.vlc бере свій початок у проводових домашніх мережах

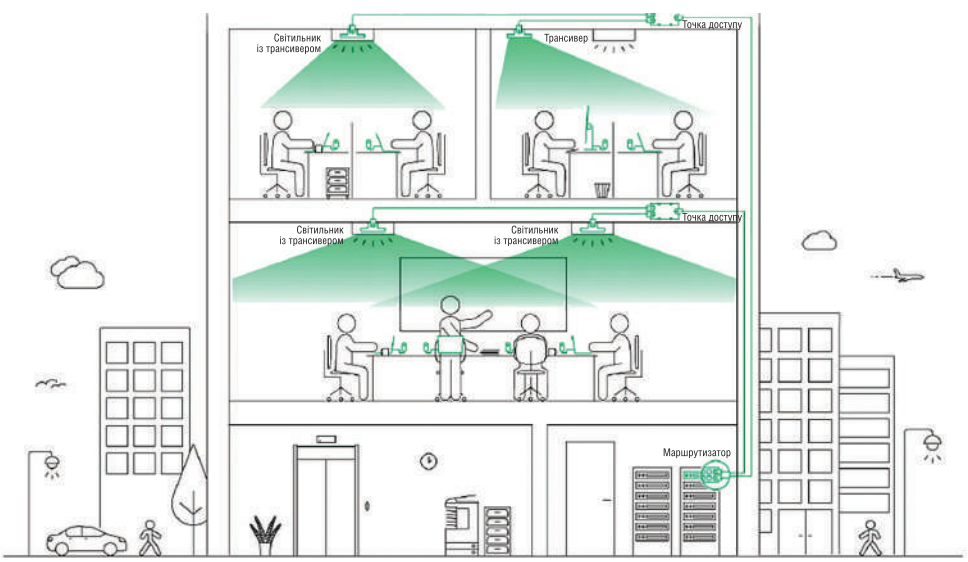


Рис. 1. Типова система Li-Fi в офісному середовищі

для коаксіальних кабелів, кручених пар і ліній електропередачі. Перевага перегляду вже існуючого стандарту полягає в тому, що багато випробуваних та перевірених функцій зв'язку можна повторно використовувати та застосовувати в області оптичного бездротового зв'язку. Це однаково відноситься як до стандарту IEEE 802.11bb, так і до ITU-T G.vlc. Але оскільки жоден із цих стандартів спочатку не розроблявся з урахуванням Li-Fi, то одні їх особливості краще відповідають унікальним властивостям світла, ніж інші. Далі ми розглянемо деякі з цих особливостей.

ЯК СИГНАЛ ПЕРЕДАЄ ДАНІ?

Системи зв'язку мають важливу відмінність — це модуляція, що є процесом кодування інформації таким чином, щоб її можна було передавати фізичним носієм (наприклад, радіочастотним або оптичним каналом). Мультиплексування з ортогональним частотним поділом каналів (OFDM) — популярний метод модуляції для Li-Fi, оскільки воно ділить смугу пропускання каналу на більш дрібні піднесучі частоти, і згодом окремо модулює дані на кожній з них. Це відкриває для систем Li-Fi можливість оптимального використання специфічних властивостей світлових каналів, а саме — передбачуваності частотної характеристики. Так, за більш високих частот характеристики світлодіода погіршуються. Через цю особливість світлодіодів застосування однієї схеми модуляції по всьому каналу призводить до неоптимальної пропускної здатності передачі даних. Це пов'язано з тим, що піднесучі частоти з високим співвідношенням сигнал/шум (SNR) можуть недостатньо використовуватися, у той час як піднесучі частоти з низьким співвідношенням сигнал/шум можуть виявитися повністю непридатними до застосування. За допомогою OFDM реалізується механізм, відомий як адаптивне завантаження бітів, яке дозволяє системі Li-Fi завантажувати більше даних у канали з високою якістю зв'язку (з високим SNR) та обмежувати передачу даних у канали з поганою пропускною здатністю (з низьким SNR). Залежно від якості каналу, в одному підканалі OFDM може бути закодовано 2–10 біт даних.

Оскільки стандарт ITU-T спочатку створювався для проводових домашніх мереж, він повинен був забезпечувати роботу в різних умовах на різних частотах в різних проводових мережах. В результаті невід'ємною особливістю ITU-T G.vlc є адаптивне завантаження різних піднесучих на основі їх індивідуальних характеристик (рис. 2).

Радіочастотні канали, навпаки, не мають передбачуваної частотної характеристики, тому структурований профіль для завантаження бітів недоцільний. Через безліч випадкових відбиттів, що називаються багатопроменевим поширенням, співвідношення сигнал/шум, що отримується, сильно змінюється в залежності від частоти. Використання адаптивного завантаження бітів не підтримується стандартами Wi-Fi, оскільки це створило б величезне навантаження в радіочастотному діапазоні: узгодження кількості бітів було б надмірним і його доводилося б повторювати дуже часто.

Стандарт IEEE 802.11bb заснований на тих же принципах роботи, що і Wi-Fi, тому системи Li-Fi на базі

Рис. 2. Li-Fi гарантує, що ваші дані залишаться у кімнаті

IEEE 802.11bb не можуть використовувати будь-який механізм завантаження бітів, необхідний для ефективного застосування специфічних характеристик оптичних каналів зв'язку, що може призвести до неоптимальної пропускної спроможності даних.

IEEE 802.11bb найменше придатний для Li-Fi на основі світлодіодів, де великі ділянки спектру істотно ослаблені, але все ще досить хороші, щоб зробити значний внесок у пропускну спроможність системи.

ЯК ГЕНЕРУЄТЬСЯ ТА ПЕРЕДАЄТЬСЯ СИГНАЛ?

У своїй базовій формі архітектура будь-якої цифрової системи зв'язку складається з основної смуги частот (яка генерує цифрову форму сигналу, що кодує дані) і аналогового інтерфейсу (який передає сигнал за допомогою певного носія в аналоговій формі). Результуюча несуча хвиля має більш високу частоту, ніж сигнал основної смуги частот, тому дані можуть поширюватися на великі відстані. Наприклад, у пристроях Wi-Fi є блок формування модулюючих сигналів IEEE 802.11 та радіочастотний інтерфейс, а модуляція несучої зсуває модулюючий сигнал до радіочастотного діапазону.

Пристрій Li-Fi повинен в ідеалі мати блок формування модулюючих сигналів та оптичний інтерфейс (замість радіочастотного), де модулюючий сигнал використовується для управління оптичним випромінювачем, таким як світлодіод або лазер. Пристрої Li-Fi на базі ITU-T G.vlc працюють саме таким чином, коли комерційно доступний чип модуляції G.hn об'єднаний із оптичним інтерфейсом для бездротової передачі даних оптичним каналом. Пристрої Li-Fi на основі стандарту IEEE 802.11bb теоретично можуть використовувати одну й ту саму базову архітектуру, що складається з модулятора частот IEEE 802.11 і оптичного інтерфейсу. Однак проблема полягає у відсутності доступних на ринку автономних рішень модулятора частот IEEE 802.11. Причина в тому, що ринок Wi-Fi відрізняється високою ціновою конкуренцією. В результаті всі основні виробники мікросхем Wi-Fi пропонують рішення, виконані за принципом «система на кристалі» (SoC), в яких модулятор частоти і радіочастотний інтерфейс інтегровані в одному пристрої та реалізовані як єдиний кремнієвий чип. Це означає, що доступу до внутрішніх сигналів між окремими компонентами системи немає. Натомість на виході такого пристрою ми отримуємо лише радіочастотний сигнал. Іншими словами, сигнал модулюючої частоти вже зміщений у радіочастотний діапазон. І для передачі оптичним каналом радіочастотний сигнал, що керує оптичним випромінювачем, повинен бути зміщений назад у смугу частот, що модулює. Для приймача правильно зворотне: вихід модулюючої смуги оптичного приймача повинен бути зміщений до радіочастотної смуги. Цей, по суті зайвий, зсув частоти неефективний (з погляду енергоспоживання, розсіювання тепла, часу обробки та інших показників) і потребує додаткових компонентів, що збільшує розмір та вартість кінцевого пристрою. Компоненти, необхідні для додаткового підвищуючого та знижуючого перетворення частот, включають радіочастотний мікшер, контур фазового автопідстроювання частоти, гетеродин, фільтри, підсилювачі тощо. А оскільки спеціалізовані інтегральні схеми для цього етапу мікшування ще не надійшли у продаж, доведеться використовувати набір з окремих компонентів. Все це ускладнює завдання широкого застосування комерційно життєздатних пристроїв Li-Fi IEEE 802.11bb.

Однією з можливих альтернатив використання SoC для Wi-Fi може стати ПКВМ (програмована користувачем вентильна матриця), яка програмується та реконфігурується після виготовлення. Розробники можуть запрограмувати або налаштувати ПКВМ для виконання функцій у смузі модулюючих частот та надання сигналу, що модулює безпосередньо на виході з мікросхеми. Такий підхід дозволив би відмовитись від додаткового етапу мікшування, неминучого при використанні SoC для Wi-Fi у пристроях Li-Fi. Однак, оскільки ПКВМ є багатоцільовим рішенням, яке може бути налаштовано для виконання широкого спектра функцій, воно не оптимізоване за вартістю, енергоспоживанням та іншими показниками. І тому завдання створення комерційно життєздатного пристрою Li-Fi, який працює за стандартом IEEE 802.11bb, залишається невирішеним.

ЯК КІЛЬКА ПРИСТРОЇВ МОЖУТЬ НАДСИЛАТИ ДАНІ В ОДНІЙ МЕРЕЖІ?

Інша ключова частина будь-якого розрахованого на багато користувачів протоколу зв'язку — механізм, за допомогою якого пристрої отримують доступ до мережі для передачі даних. Коли кілька пристроїв хочуть передавати дані спільним носієм, можуть виникати колізії. Для запобігання таким ситуаціям існує механізм, що називається контролем носія, і це означає, що пристрій відстежує (перевіряє) загальний носій, щоб перевірити, чи він доступний, перш ніж передавати дані. Якщо пристрій виявляє, що мережа зайнята, вона вимикається та очікує протягом випадково вибраного проміжку часу. Після закінчення цього часу пристрій знову перевіряє, чи вільна мережа, і процес повторюється. Оскільки радіочастотні сигнали поширюються у всіх напрямках, кожен пристрій здатний виявляти передачі всіх інших пристроїв, і тому контроль носія є ефективним методом запобігання колізії.

Як і Wi-Fi, протокол IEEE 802.11bb використовує контроль носія (зокрема, МДВН — множинний доступ з визначенням несучої) як механізм отримання доступу до мережі із загальним середовищем. Для Wi-Fi це працює, оскільки пристрій може прослуховувати трафік із сусідніх пристроїв. Через направленість, властиву оптичним системам бездротового зв'язку, пристрої Li-Fi кінцевого користувача в загальному випадку не можуть сприймати («бачити») один одного, і, отже, пристрій одного користувача не «розуміє», чи точка доступу приймає передачу від пристрою іншого користувача, який знаходиться поза його полем зору. Це відомо як проблема прихованого вузла. З моменту того як все більше пристроїв підключається до однієї і тієї ж мережі і спільно використовують її, колізії частішають, а пропускна здатність знижується наприкінці настільки, що система стає непридатною для експлуатації. Тому контроль носія хоча і підходить для радіочастотної області, в оптичній області працює не так добре.

Контроль носія — це механізм розподіленого доступу до середовища, при якому пристрої борються за доступ до мережі. Альтернативним механізмом централізованого доступу до середовища є планування часу, при якому точка доступу виділяє пристроям тимчасові інтервали, що не перетинаються. Протокол ITU-T G.vlc використовує планування часу (зокрема, множинний доступ із поділом за часом). Тепер при плануванні часу пристроям потрібно не боротися за доступ, щоб запобігти колізії, а по черзі підключатися до мережі. Ми бачили, що через проблеми із при-

хованим вузлом розподілені механізми доступу на основі конкуренції схильні до колізій і, як наслідок, зниження продуктивності мережі.

Навіть якщо в системі IEEE 802.11bb використовуються механізми, що допомагають пристроям кінцевих користувачів бачити один одного, заснований на конкуренції характер МДВН може призвести до того, що окремі користувачі стикаються з непередбачуваними затримками та змінною пропускною здатністю даних. Використовуючи механізм скоординованого доступу, Li-Fi на базі ITU-T G.vlc здатний забезпечити надійний доступ для всіх користувачів. Це гарантує низьку затримку, що робить такий механізм оптимальним навіть для забезпечення стабільного зв'язку під час проведення відеоконференцій або сеансів віртуальної реальності.

Таким чином, Li-Fi, реалізований на базі стандарту ITU-T G.vlc, забезпечить краще обслуговування ніж системи на базі стандарту IEEE 802.11bb.

ВИСНОВОК

Ми розглянули застосовність стандартів IEEE 802.11bb та ITU-T G.vlc до бездротового зв'язку Li-Fi. Ми пояснили, чому адаптивне завантаження бітів, доступ до основної смуги частот та доступ до середовища є ключовими для розробки та впровадження комерційних пристроїв Li-Fi. Ми стверджуємо, що по кожному з цих аспектів стандарт зв'язку ITU-T G.vlc є найкращим вибором.

З причин, викладених у цій статті, Signify вирішили створити свою лінійку продукції Trulifi [4], що складається з точок доступу Li-Fi і кінцевих пристроїв Li-Fi, що діють за протоколом ITU-T G.vlc. Декілька інших компаній наслідували цей приклад. Звичайно, при розробці продуктів Li-Fi необхідно враховувати безліч аспектів, включаючи комерційні та технічні питання, ланцюжки поставок тощо. Для вашого проєкту можуть бути важливішими або значущими різні міркування залежно від положення в ланцюжку створення цінності чи галузевої приналежності. Для компаній, які мають досвід роботи в галузі радіочастотного зв'язку, важливо враховувати унікальні властивості світла. А світлотехнічним компаніям слід звертати увагу на особливості роботи конкретних протоколів обміну даними. У цій статті ми постаралися вказати на деякі найважливіші аспекти розробки та побудови систем. Сподіваємось, що це допоможе вам розробити продукт Li-Fi, що підходить для вашого ринку та ваших клієнтів.

Література:

1. Публікація у LpR. www.led-professional.com/lpr-magazine
2. Статус IEEE 802.11 Light Communication TG. www.ieee802.org/11/Reports/tgbb_update.htm
3. ITU-T G.vlc. news.itu.int/new-standard-visible-light-communication/
4. Trulify від Signify. www.signify.com/global/innovation/truLi-Fi

CN

ADI Precision Studio від компанії Analog Devices

Частина 4

Володимир Макаренко, к. т. н.
E-mail: v.makarenko@vdmais.ua

В статті наведена коротка інформація про дві програми з набору веб-інструментів ADI Precision Studio — Precision DAC Error Budget Calculator і Precision ADC Driver Tool. Детально розглянуто роботу з цими програмами. Перша з них дозволяє за декілька хвилин дослідити похибки обраного цифро-аналогового перетворювача, а друга — отримати схему підключення АЦП і отримати детальну інформацію про параметри аналого-цифрового перетворювача. Окрім аналізу за допомогою WEB-інструменту наприкінці користувачу надається можливість детально дослідити поведінку АЦП за допомогою моделювання в програмі LTspice.

До складу веб-інструментів ADI Precision Studio [1] входить програма **DDS (Direct Digital Synthesis)**, що дозволяє оцінити характеристики синтезаторів прямого цифрового синтезу при різних значеннях тактової частоти, коефіцієнта множення та вихідної частоти. З роботою перших з п'яти програм цього набору інструментів (рис. 1) можна ознайомитись у публікаціях [2-4].

Перш ніж розглянути основні функції програми, нагадаємо спрощену схему синтезатора прямого цифрового синтезу, що наведена на рисунку 2.

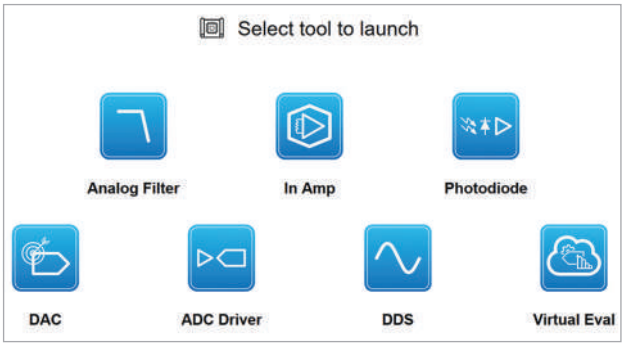


Рис. 1. Набір веб-інструментів ADI Precision Studio

Вихідний квазігармонічний сигнал синтезатора формується за допомогою ЦАП, на вхід якого надходить цифровий код, зчитуваний з постійного запам'ятовуючого пристрою (ПЗП). У комірках ПЗП записані значення коефіцієнтів синусоїдального сигналу (втім, можуть бути записані й коефіцієнти сигналу довільної форми). Точність встановлення коефіцієнтів (розрядність записаних чисел) визначає кількість щаблів апроксимуючої синусоїду функції й, отже, коефіцієнт гармонік вихідного сигналу. Адреси комірок, з яких здійснюється зчитування, формуються регістром RG2.

На кожному такті роботи синтезатора в регістр RG2 записується сума кодів: попереднього, сформованого на його виході, і коду частоти, що подається на вхід управління синтезатора (вхід RG1). Код на виході регістра RG2 лінійно

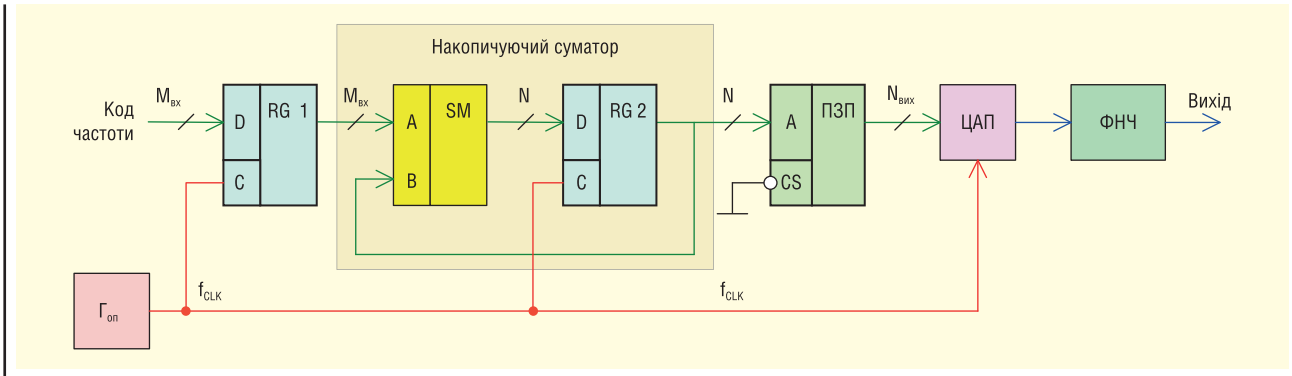


Рис. 2. Передавальна функція

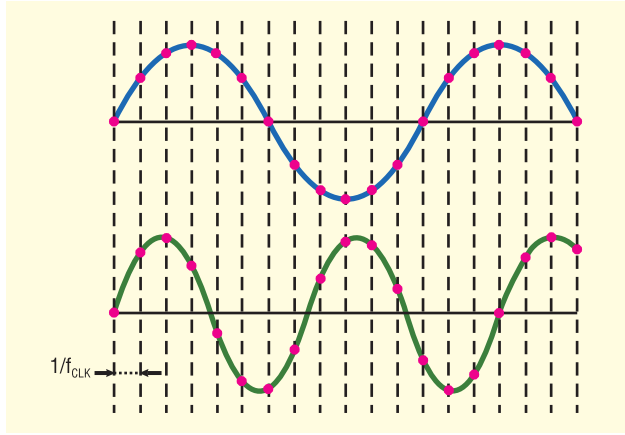


Рис. 3. Зміна частоти сигналів при зміні коду додавання фази

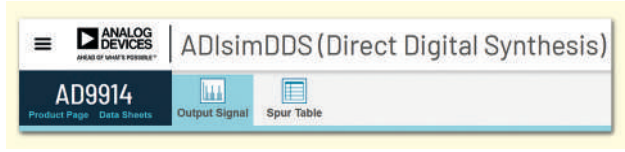


Рис. 4. Меню програми ADIsimDDS

наростає в часі. Причому крок збільшення коду залежить від величини постійної добавки — коду частоти. Коли накопичуючий суматор використовується для формування коду фази, його ще називають акумулятором фази.

Вихідний код акумулятора фази являє собою код миттєвої фази вихідного сигналу. Постійна добавка, яка використовується при роботі акумулятора фази, являє собою збільшення фази за один такт роботи обладнання. Чим швидше змінюється фаза в часі, тим більше частота генеруємого сигналу. Тому значення збільшення фази фактично є кодом вихідної частоти. Якщо код збільшення фази дорівнює, наприклад, двом, то код на виході акумулятора буде змінюватися вдвічі швидше, ніж при значенні коду збільшення, рівному одиниці. При цьому на входи ЦАП коди надходять із тією ж частотою, але являють собою не сусідні, а взяті через один відліки функції sin (рис. 3). Частота генеруємого сигналу при цьому буде вдвічі більшою, а частота дискретизації залишиться незмінною. На виході ЦАП формується квазігармонічний сигнал, що складається зі «сходинок». Аналоговий ФНЧ згладжує сходинки і на його виході формується гармонійний сигнал.

Акумулятор фази працює з періодичними переповненнями, відповідними до періоду синусоїдальної функції. Частота вихідного сигналу розраховується за формулою

$$f_{вих} = M_{вх} f_{CLK} / 2^N,$$

де $f_{вих}$ — частота вихідного сигналу; f_{CLK} — тактова частота; $M_{вх}$ — код частоти; N — розрядність акумулятора фази.

Крок перебудови частоти дорівнює $\Delta f_{вих} = f_{CLK}/2N$. Наприклад, якщо тактова частота дорівнює 25 МГц, а розрядність $N = 28$, то крок перебудови частоти складе 0.0931 Гц. Збільшуючи розрядність нагромаджуючого суматора, можна зменшити крок перебудови частоти.

Розглянута вище структурна схема застосовується у більшості сучасних синтезаторів DDS. Крім вбудованого ЦАП до кладу синтезатора DDS можуть входити додаткові цифрові блоки:

- помножувач опорної частоти;
- додатковий цифровий суматор для програмування фази;
- інверсний sinc-фільтр для компенсації нерівномірності АЧХ;
- додатковий цифровий помножувач для формування амплітудно-модульованого сигналу;
- додатковий ЦАП для одержання квадратурних сигналів I й Q;
- додатковий компаратор з малим тремтінням («джитером») для формування цифрового тактового сигналу;
- додаткові регістри частоти й фази, які можуть бути заздалегідь запрограмовані для частотної або фазової маніпуляції.

Рис. 5. Вікно Output Signal програми ADIsimDDS

Розглянемо роботу з програмою **ADIsimDDS** [6]. У вікні програми доступні всього два вікна — **Output Signal** та **Spur Table** (рис. 4).

Основне вікно **Output Signal** з параметрами синтезатора та характеристиками вихідного сигналу наведено на рисунку 5.

За замовчуванням на екран виводяться параметри синтезатора AD9914. Окрім цього синтезатора для аналізу доступна ще велика кількість синтезаторів з діапазонами вихідної частоти від 25 МГц до 12 ГГц (рис. 6).

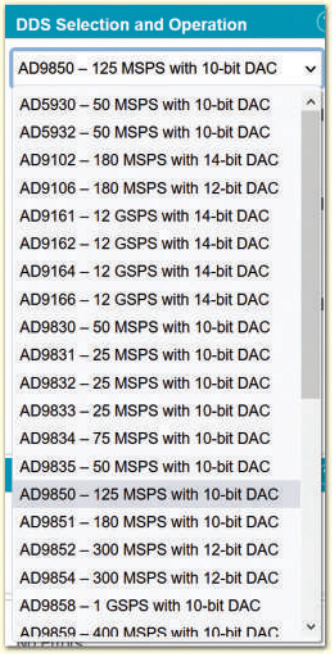


Рис. 6. Вікно вибору синтезатора

Окрім вибору синтезатора потрібно задати тактову частоту на вході синтезатора у вікні **Clock Input**, вписавши її вручну. Також можна задати коефіцієнт множення **Multiplier** (за замовчуванням дорівнює 1). Доступні значення коефіцієнтів від 1 до 256 для заданого за замовчуванням синтезатора AD9914 (рис. 7). Для інших синтезаторів діапазон зміни коефіцієнта множення може бути набагато меншим.

Для синтезатора AD9914 при максимальній вхідній частоті 3.5 ГГц і коефіцієнті множення, рівному 1, максимальна частота **Clock Input** дорівнює внутрішній тактовій частоті **System Clock** — 3.5 ГГц, а при коефіцієнті множення 8 — 437.5 МГц. Тобто значення частоти сигналу **Clock Input** знаходиться як $f_{\text{Clock Input}} = f_{\text{System Clock}}/K$, де K — коефіцієнт множення **Multiplier**. Допустимі значення частоти вхідного тактового сигналу та внутрішнього тактового сигналу виводяться в основному вікні (рис. 8).

Значення вихідної частоти задається у вікні **Target Output Frequency**. Треба пам'ятати, що частота вихідного сигналу не повинна перевищувати значення частоти Найквіста, тобто не більше ніж $f_{\text{System Clock}}/2$. У випадку невірного встановлення значення **Output Frequency** на екран виводиться попередження про невірно встановлене значення (рис. 9).

Select Multiplier

1x	8x	9x	10x	11x	12x	13x	14x	15x
16x	17x	18x	19x	20x	21x	22x	23x	24x
25x	26x	27x	28x	29x	30x	31x	32x	33x
34x	35x	36x	37x	38x	39x	40x	41x	42x
43x	44x	45x	46x	47x	48x	49x	50x	51x
52x	53x	54x	55x	56x	57x	58x	59x	60x
61x	62x	63x	64x	65x	66x	67x	68x	69x
70x	71x	72x	73x	74x	75x	76x	77x	78x
79x	80x	81x	82x	83x	84x	85x	86x	87x
88x	89x	90x	91x	92x	93x	94x	95x	96x
97x	98x	99x	100x	101x	102x	103x	104x	105x
106x	107x	108x	109x	110x	111x	112x	113x	114x
115x	116x	117x	118x	119x	120x	121x	122x	123x
124x	125x	126x	127x	128x	129x	130x	131x	132x
133x	134x	135x	136x	137x	138x	139x	140x	141x
142x	143x	144x	145x	146x	147x	148x	149x	150x
151x	152x	153x	154x	155x	156x	157x	158x	159x
160x	161x	162x	163x	164x	165x	166x	167x	168x
169x	170x	171x	172x	173x	174x	175x	176x	177x
178x	179x	180x	181x	182x	183x	184x	185x	186x
187x	188x	189x	190x	191x	192x	193x	194x	195x
196x	197x	198x	199x	200x	201x	202x	203x	204x
205x	206x	207x	208x	209x	210x	211x	212x	213x
214x	215x	216x	217x	218x	219x	220x	221x	222x
223x	224x	225x	226x	227x	228x	229x	230x	231x
232x	233x	234x	235x	236x	237x	238x	239x	240x
241x	242x	243x	244x	245x	246x	247x	248x	249x
250x	251x	252x	253x	254x	255x			

Рис. 7. Діапазон зміни коефіцієнтів множення синтезатора AD9914

Форма сигналу на виході синтезатора і його спектральний склад наведені на рисунку 5 у правій частині вікна. З цього рисунку випливає, що форма сигналу далека від синусоїдальної і спектр насичений великою кількістю складових з різними частотами.

У вікні **Frequency Tuning Word (FTW)** виводиться значення коду налаштування частоти при заданих значеннях вхідної тактової частоти, коефіцієнта множення та вихідної частоти.

Оскільки при заданих за замовчуванням параметрах форма вихідного сигналу значно спотворена, то для її покращення можна використати зовнішній фільтр. Для цього потрібно поставити

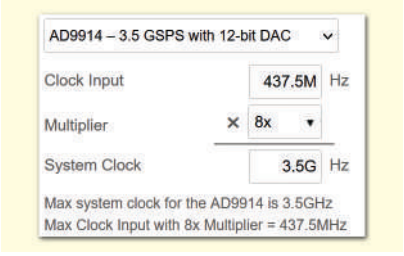


Рис. 8. Відображення значень частоти вхідного тактового сигналу та сигналу внутрішньої тактової частоти при значенні коефіцієнта множення 8

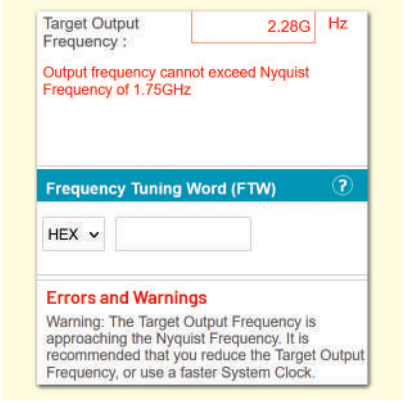


Рис. 9. Попередження про невірно задане значення вихідної частоти

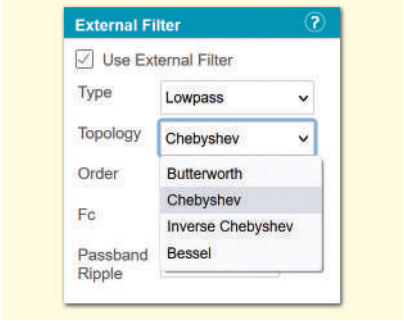


Рис. 10. Вікно вибору апроксимації ЧХ ФНЧ

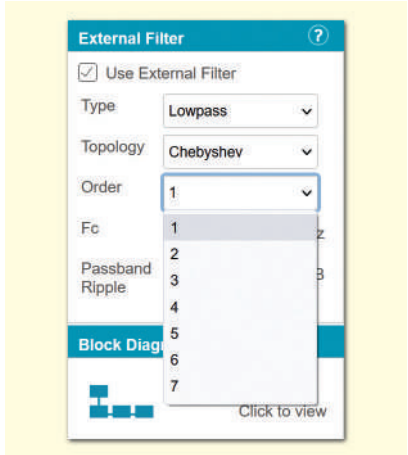


Рис. 11. Вікно вибору порядку ФНЧ

пташку у вікні **Use External Filter** і після цього задати параметри ФНЧ (рис. 10).

Для апроксимації можна скористатись апроксимаціями Батерворта, Чебишева, інверсною Чебишева та Бесселя, як показано на рисунку 10.

Після цього необхідно задати порядок фільтра від 1 до 7 (рис. 11). Частота зрізу Fc за замовчуванням задається рівною значенню частоті вихідного сигналу. Нерівномірність АЧХ у смузі пропускання фільтру за замовчуванням дорівнює 0.5 дБ. І частоту зрізу, і нерівномірність АЧХ користувач може змінити, вписавши потрібні значення у відповідні вікна — **Fc** та **Passband Ripple.**

Наприклад, при виборі апроксимації Батерворта і порядку ФНЧ, рівному 3, форма вихідного сигналу згладжується і змінюється співвідношення між амплітудами спектральних складових вихідного сигналу. Окрім того, синьою лінією у вікні відображення спектру показана АЧХ ФНЧ (рис. 12).

З рисунку 12 випливає, що використання фільтра Батерворта 3-го порядку недоцільне. Тому можна одразу задати фільтр з найбільшою крутизною спаду і найбільшим порядком — тобто ФНЧ 7-го порядку, апроксимований по Чебишеву. Результат використання такого фільтру проілюстровано на рисунку 13.

Натиснувши на напис **Click to view** у вікні **Block Diagram**, можна переглянути структурну схему синтезатора (рис. 14).

Оскільки отримати задовільні характеристики синусоїдального сигналу при максимально можливому значенні вихідної частоти неможливо, то можна зменшити частоту вихідного сигналу. Розглянемо форму та спектр сигналу з частотою 100 МГц без використання зовнішнього ФНЧ.

На рисунку 15 наведено вікно програми при використанні синтезатора

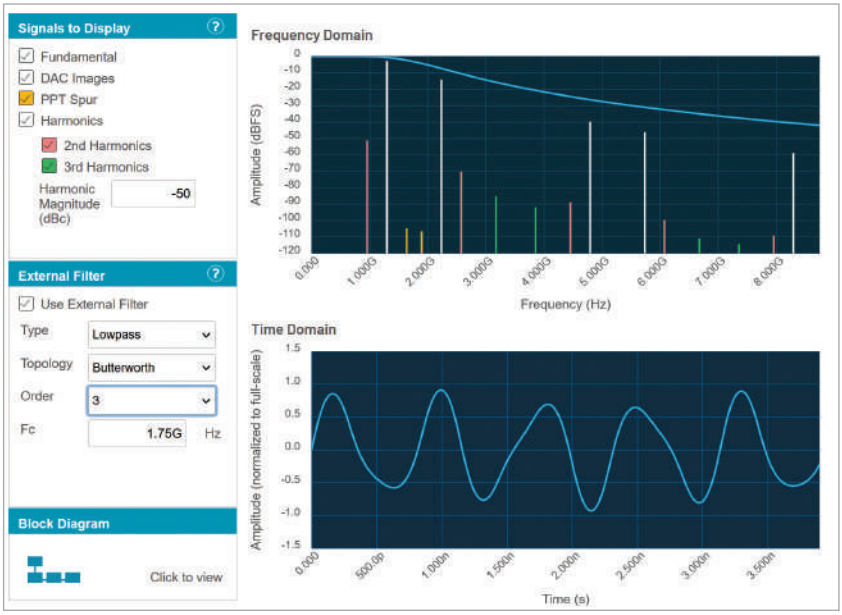


Рис. 12. Форма та спектр вихідного сигналу синтезатора при використанні зовнішнього ФНЧ 3-го порядку, апроксимованого по Батерворту

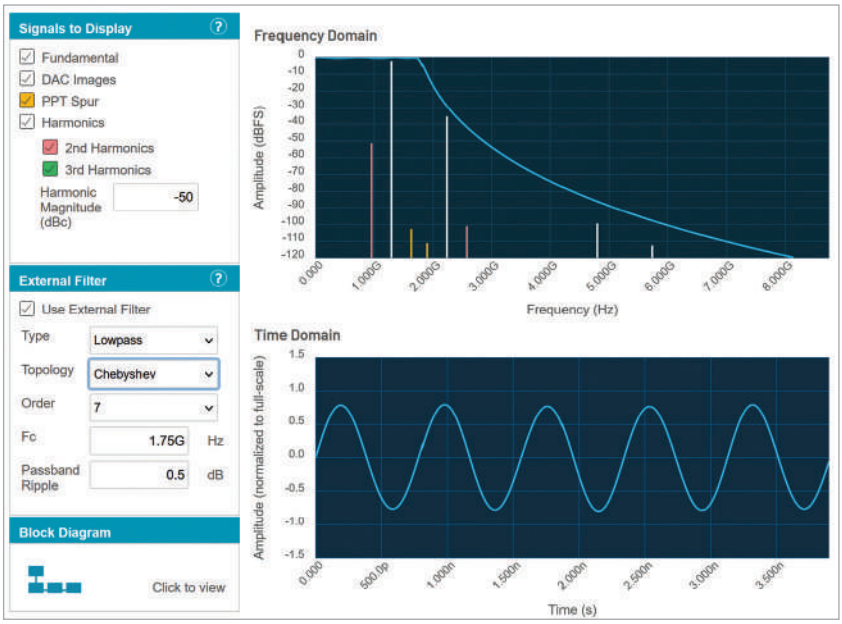


Рис. 13. Форма та спектр вихідного сигналу синтезатора при використанні зовнішнього ФНЧ 7-го порядку, апроксимованого по Чебишеву

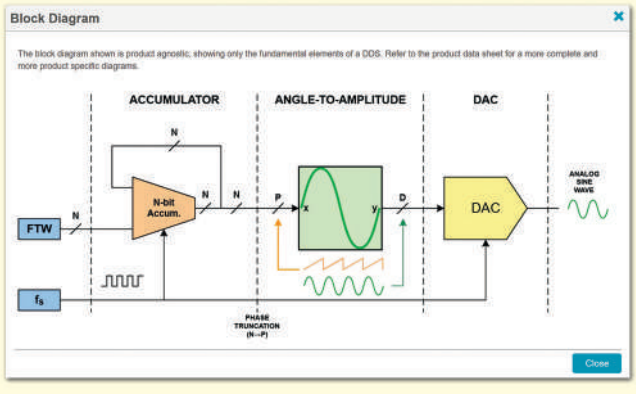


Рис. 14. Структурна схема синтезатора AD9914

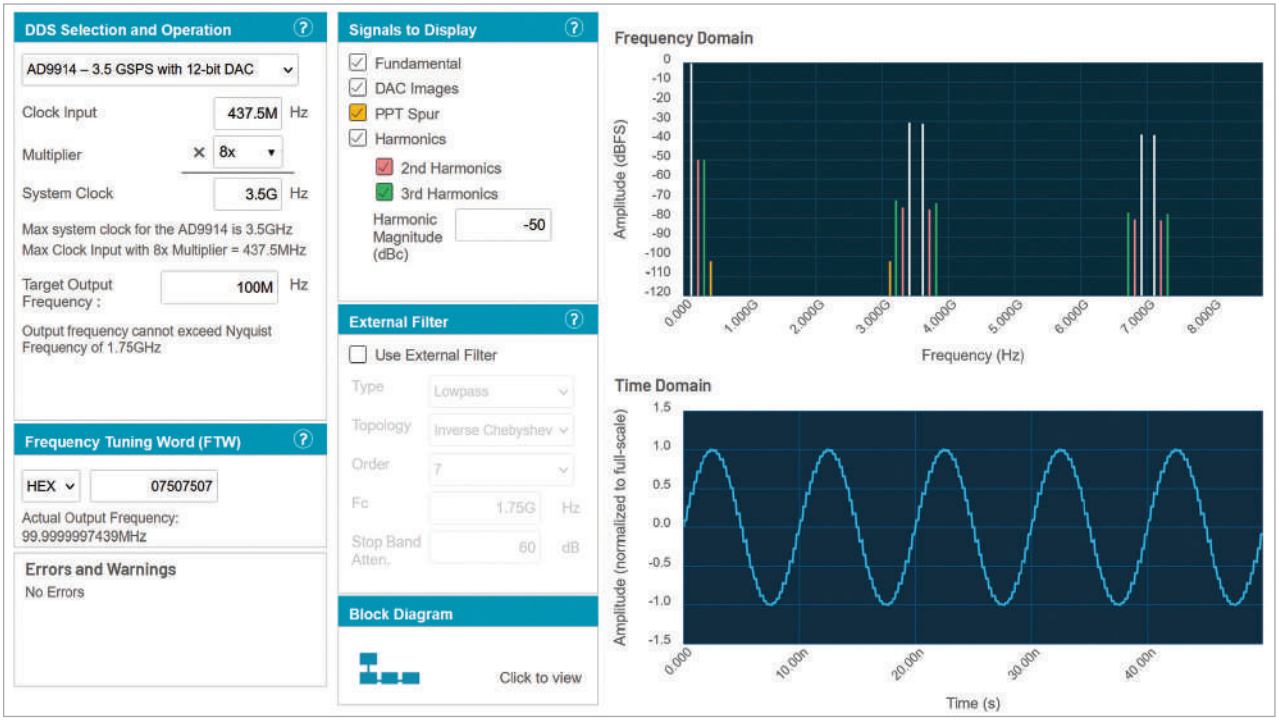


Рис. 15. Форма та спектр вихідного сигналу синтезатора AD9914 з частотою 100 МГц без використання зовнішнього ФНЧ

AD9914 і частоті вихідного сигналу 100 МГц без використання ФНЧ.

Як випливає з рисунку 15, вихідний сигнал складається зі сходинок, що формуються на виході ЦАП, і його спектр періодично повторюється в широкому діапазоні частот. При такій частоті вихідного сигналу використання ФНЧ може дати відчутний ефект. На рисунку 16 наведені форма сигналу та спектр сигналу частотою 100 МГц при використанні фільтра Чебишева 7-го порядку з частотою зрізу 110 МГц. Як випливає з рисунку, форма сигналу практично ідеальна, а рівень другої гармоніки складає 110 дБ.

Переглянути всі параметри синтезатора та його вихідного сигналу можна у вікні **Spur Table** (рис. 17).

У таблиці можна знайти як параметри сигналу і рівень його гармонік, так і рівень складових спектру на частотах $Fs \pm Nf_{OUT}$, де Fs — внутрішня тактова частота, f_{OUT} — частота вихідного сигналу.

Для порівняння на рисунку 18 наведена форма сигналу та його спектр при використанні синтезатора AD9910 з 14-розрядним ЦАП. Частота вихідного сигналу встановлена у 33 рази меншою ніж тактова частота. У порівнянні з синтезатором AD9914 (за приблизно такого ж відношення між частотами тактового та вихідного сигналів) рівень другої та третьої гармонік вихідного сигналу нижче приблизно на 30 дБ.

Використання програми **ADI Precision Studio** дозволяє швидко оцінити характеристики вихідного сигналу і з'ясувати необхідність вихідного фільтру.

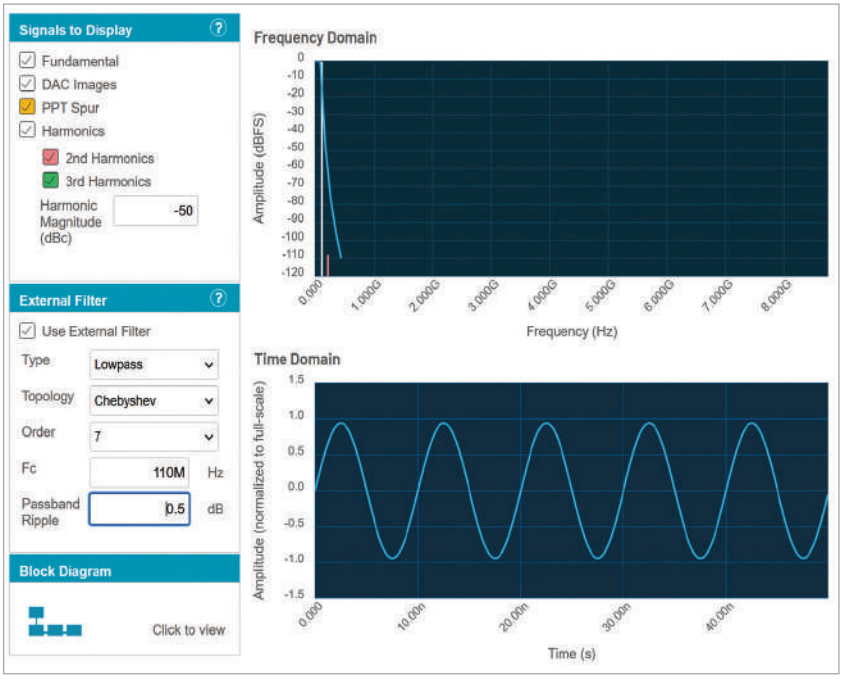


Рис. 16. Форма та спектр вихідного сигналу синтезатора з частотою 100 МГц при використанні зовнішнього ФНЧ з частотою зрізу 110 МГц 7-го порядку, апроксимованого по Чебишеву

Додаткову інформацію можна отримати у офіційного дистриб'ютора компанії Analog Devices в Україні — НВФ VD MAIS:
03061, м. Київ,
вул. Михайла Донця, 6,
тел./факс: (044) 201-02-02 (багатоканальний),
e-mail: info@vdmais.ua,
www.vdmais.ua

Література:

1. https://tools.analog.com/en/precisionstudio/

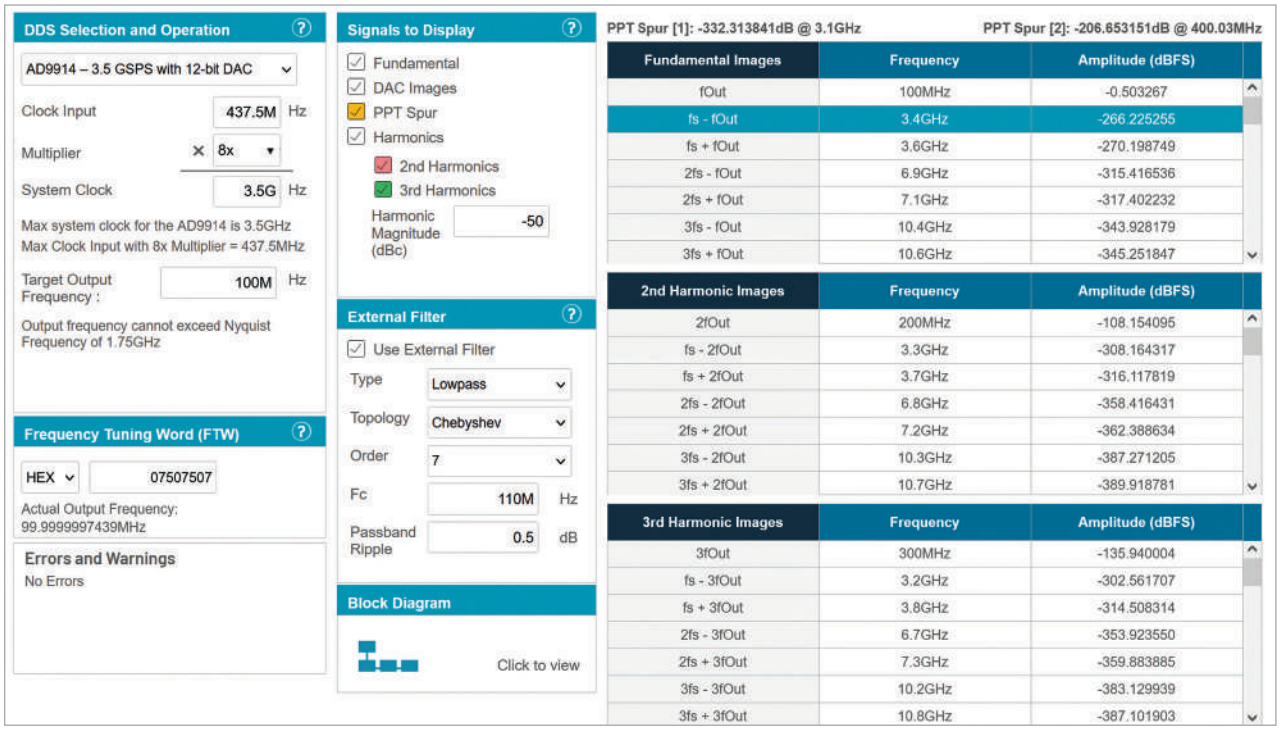


Рис. 17. Відображення параметрів синтезатора AD9914 у вікні Spur Table при частоті вихідного сигналу 100 МГц

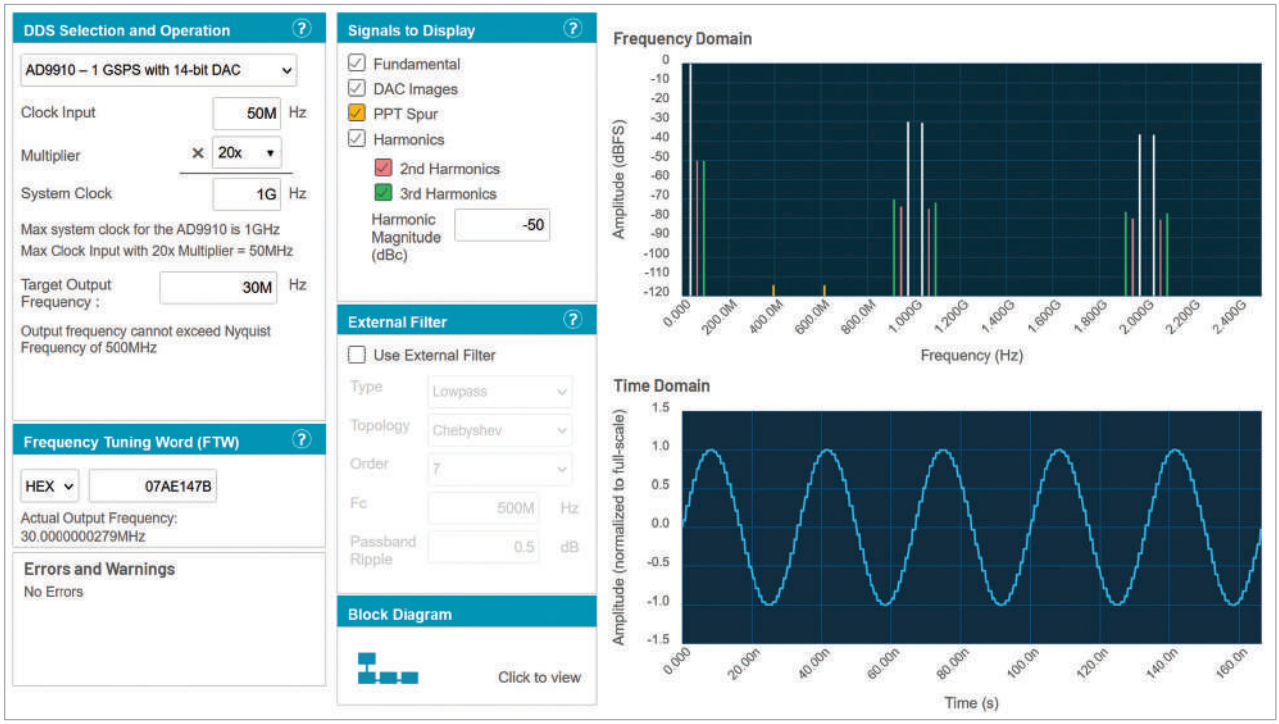


Рис. 18. Форма та спектр вихідного сигналу синтезатора AD9910 з частотою 30 МГц без використання зовнішнього ФНЧ

2. В. Макаренко ADI Precision Studio від компанії Analog Devices, частина 1 // Chip NEWS Украина, 2021, № 8, с. 82–88.

3. В. Макаренко ADI Precision Studio від компанії Analog Devices, частина 2 // Chip NEWS Украина, 2021, № 9, с. 82–88.

4. В. Макаренко ADI Precision Studio від компанії Analog Devices, частина 3 // Chip NEWS Украина, 2021, № 10, с. 17–25.

5. В. Макаренко Компоненты для построения беспроводных устройств связи. Часть 7. Синтезаторы частоты прямого цифрового синтеза / Электронные компоненты и системы, 2010, № 3. с. 45–55. *http://www.ekis.kiev.ua/UserFiles/Image/pdfArticles/V.Makarenko_Synthesizers%20PLL_%20EKIS_03_2010.pdf*

6. https://tools.analog.com/en/simdds/?part=AD9850&fin=125M&mult=1&ftw=3D7F51F0&rso=111111&harmonicDB=-50&useFilters=1&fType=0&fTop=1&fOrder=3&fc=32.5M&fRipple=0.5 CN

Системи на модулі Kria компанії Xilinx

Ілля Тарасов, д. т. н.

У статті розглядається нова лінійка продукції компанії Xilinx, яка є системою на модулі (System-On-Module, SOM). Вихід прискорювачів сімейства Alveo, призначених для створення високопродуктивних обчислювальних комплексів, показав, що, крім власне ПЛІС, на ринку цілком потрібні закінчені рішення у вигляді обчислювальних вузлів, які не потребують тривалого процесу розробки власної друкованої плати для використання ПЛІС у проєкті. Дорогі прискорювачі Alveo доповнені сімейством недорогих та компактних систем на модулі сімейства Kria, що базуються на ППСНК Zynq Ultra Scale+. Розглянуті у статті модуль Xilinx Kria K26 та стартовий набір Kria KV260 Vision Starter Kit дозволяють швидко освоїти розробку пристроїв на базі ПЛІС, використовуючи в кінцевому виробі замість окремих мікросхем готові модулі з підключеною пам'яттю та живленням.

ВСТУП

Продукти класу System-on-Module (SOM) можуть бути досить привабливими для багатьох фахівців, які розробляють вироби з використанням ПЛІС. Збільшення логічної ємності ПЛІС та розширення їх функціональних можливостей є позитивними сторонами даної елементної бази. Високий ступінь інтеграції підсистем, особливо в ПЛІС класу ППСНК (наприклад, сімейства Xilinx Zynq), дозволяє випускати малогабаритні пристрої, що містять на одному кристалі процесорну підсистему, периферійні контролери та високопродуктивну матрицю FPGA, що реконфігурується. Все це, безумовно, підвищує привабливість ПЛІС, проте має і свій зворотний бік — у процесі розробки пристрою також необхідно вирішити ще цілу низку складних завдань проєктування схеми та друкованої плати.

Одним із найскладніших питань часто стає трасування друкованої плати для підключення мікросхем пам'яті DDR3/4. Повсюдне поширення пам'яті цього типу створює ілюзію простоти її застосування, і сучасні ПЛІС цілком дозволяють організувати підключення зовнішніх мікросхем пам'яті, проте друкована плата має відповідати цілому комплексу вимог. Важливо, що для динамічної пам'яті може бути неможливим просто знизити тактову частоту забезпечення працездатності інтерфейсу, оскільки між окремими сигналами повинні виконуватися регламентовані співвідношення тимчасових затримок. Наприклад, для шини даних використовуються сигнали стробування (DQS), які супроводжують відповідну байтову групу (DQ). Якщо сигнал DQS буде мати суттєву відмінність у затримці розповсюдження по друкованій платі, контролер пам'яті в ПЛІС буде здійснювати захоплення даних у неправильний момент часу.

Вимоги щодо трасування друкованої плати викладаються в довідкових посібниках [1], проте в цілому слід визнати, що ризик отримати непрацездатний виріб через неточності в трасуванні друкованої плати може спричиняти відмову від розробки власного пристрою на базі ПЛІС. Розуміючи, що ця елементна база надає багато можливостей, розробники усвідомлюють, що в процесі проєктування доведеться займатися перевіркою та налагодженням декількох складних вузлів (включаючи контролери пам'яті, високошвидкісні інтерфейси, підсистему живлення тощо). Помилка в будь-якому з цих вузлів вимагатиме виправлення у вигляді ще однієї ітерації проєктування, що змусить витратити додатковий час і набувати нових екземплярів ПЛІС (можливо, досить дорогих).

З іншого боку, налагоджувальні плати не цілком підходять для застосування в кінцевому виробі. Вони зазвичай містять компоненти, призначені для навчання та освоєння (наприклад, механічні перемикачі та набори світлодіодів), надмірні за площею і до того ж не передбачають швидке замовлення великої партії для серійного виробництва. Призначенням налагоджувальної плати є освоєння певного сімейства ПЛІС з метою подальшого проєктування власного пристрою, що повертає розробників до необхідності додати складний, дорогий та ризикований етап проєктування друкованої плати, замовлення компонентів, монтажу та налагодження, а потім адаптації проєкту, що спочатку був реалізований для налагоджувальної плати.

В даний час ціла низка компаній випускає модулі на базі ПЛІС. Такі модулі є компактними друкованими платами, що містять ПЛІС і деякі найбільш важливі компоненти — підсистему живлення, пам'ять DDRSDRAM і SPI-флеш, можливо, програматор та інші компоненти. Високий рівень інтеграції компонентів і функціональна завершеність таких плат дозволяють називати їх також «системи на модулі» (System-On-Module, SOM). Приклади таких пристроїв показано на рисунку 1.

З погляду розробника кінцевого виробу застосування таких модулів забезпечує прискорений старт в порівнянні з розробкою власної друкованої плати. Проєкт, запущений на модулі, не потребує подальшої адаптації до іншої ПЛІС та топології друкованої плати, як при використанні налагоджувальних плат на ранній стадії розробки.

Безумовно, придбання сторонніх модулів (виробника ПЛІС чи третіх фірм) має свої недоліки. Найбільш значущим можна вважати неможливість провести максимально повну адаптацію елементної бази для проєкту — у модулі встановлені цілком конкретні варіан-

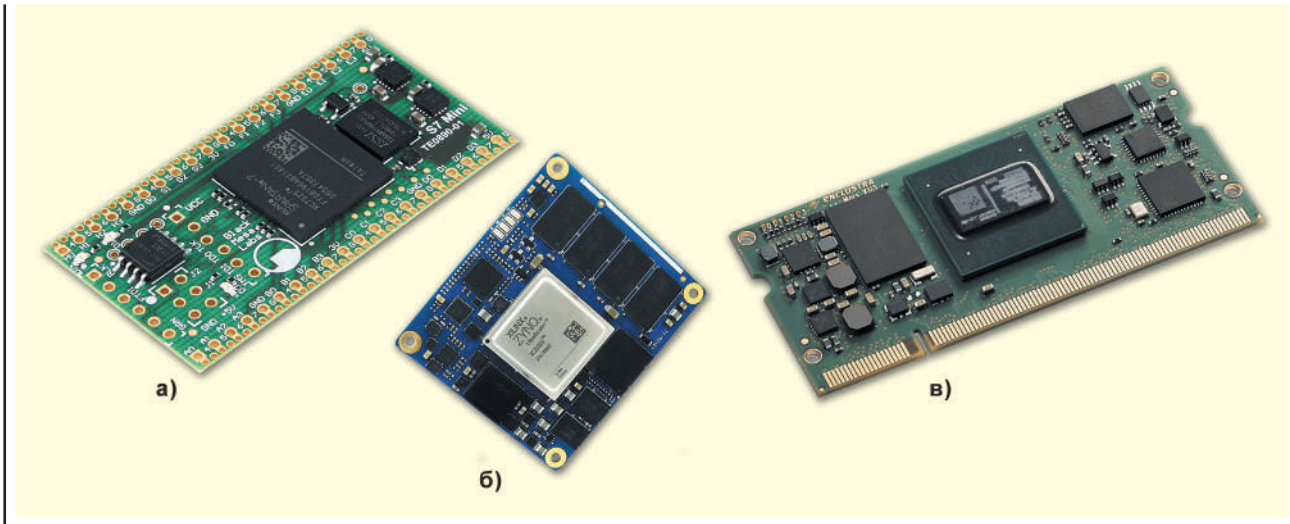


Рис. 1. Модулі: Trenz Electronic S7 Mini (а); MYIR MYC-CZU3EG/4EV/5EV (б); Enclustra Mars XU3 (в)

ти зовнішньої пам'яті та інтерфейсів, тому перерозподілити висновки ПЛІС належним чином вже не вийде. Як компенсацію модулі зазвичай мають найбільш уживаний набір зовнішніх мікросхем (насамперед пам'ять), інші виводи підключені до роз'ємів модуля. Обсяг пам'яті в цілому обраний відповідним для багатьох проєктів, тому можливість швидко продемонструвати працездатний виріб виглядає більш важливою порівняно з деякою імовірнісною неоптимальністю його характеристик.

Чи важливий недолік як залежність від виробника модуля з погляду поставок? У випадку, коли і ПЛІС, і модуль вироблені однією і тією ж компанією Xilinx, це набагато менш істотно в порівнянні з придбанням виробу третьої фірми, яка закуповує ПЛІС у виробника.

СИСТЕМИ НА МОДУЛІ СІМЕЙСТВА KRIA

Компанія Xilinx, яка раніше фокусувалася на випуску мікросхем ПЛІС і САПР для них, останніми роками додала до своїх продуктів новий напрямок — готові обчислювальні модулі сімейства Alveo. Такі модулі підтримані в САПР і забезпечені гарантією виробника як

завершеного виробу, тому з точки зору споживача відрізняються від налагоджувальних плат. Випуск модулів Alveo на базі високопродуктивних ПЛІС Virtex Ultra Scale+, по суті, відкрив новий напрямок продукції компанії Xilinx.

У той же час не можна не відзначити, що модулі Alveo, являючи собою дорогі вироби, що вимагають до того ж системного блоку серверного класу, мають спеціалізовану нішу застосування. Вартість такого рішення перевищує 13.5 тис. доларів (якщо розглядати придбання комплекту з рекомендованого системного блоку та прискорювача Alveo), тому його навряд чи варто розглядати як масову технологію навіть для невеликих дизайн-центрів, не кажучи вже про індивідуальних розробників та хобі-проєкти. У той же час налагоджувальні плати на базі ПЛІС цілком доступні для таких застосувань.

Анонсоване в 2021 році сімейство продуктів Xilinx Kria представляє неспідівано вигідне поєднання високої продуктивності ПЛІС, низької вартості та зручності застосування. Зовнішній вигляд модуля показано на рисунку 2.

З одного боку, модулі Kria за можливостями, порядком застосування у проєктах та вартості відповідають подібним модулям інших виробників. Однак той факт, що ці пристрої випускаються безпосередньо виробником самих ПЛІС, додає деякі штрихи.

Для сторонніх виробників, які випускають модулі, ПЛІС є компонентом, що купується, і визначає ціну всього виробу. До вартості ПЛІС додається вартість інших компонентів, а також витрати на виробництво та прибуток самої компанії, тому переваги від застосування таких модулів полягають насамперед у тому, що покупець звільняється від необхідності самостійно нести фінансові та тимчасові витрати на розробку, а також знижує ризики отримання непрацездатного виробу через помилки проєктування.

З точки зору Xilinx, ПЛІС у складі модуля є власним продуктом. Якщо за підсумками роботи з модулем фахівці ухвалять рішення спроєктувати власну друковану плату, це не позбавить Xilinx прибутку, оскільки ПЛІС все одно буде придбано. Тому всі заходи, що сприяють розширенню ринку, появі нових проєктів та прискоренню їхньої розробки, привабливі для Xilinx. Сторонні виробники модулів на базі ПЛІС Xilinx не отримають жодної вигоди, якщо їхній модуль буде згодом замінений на власну розробку, запущену в серійне виробництво.

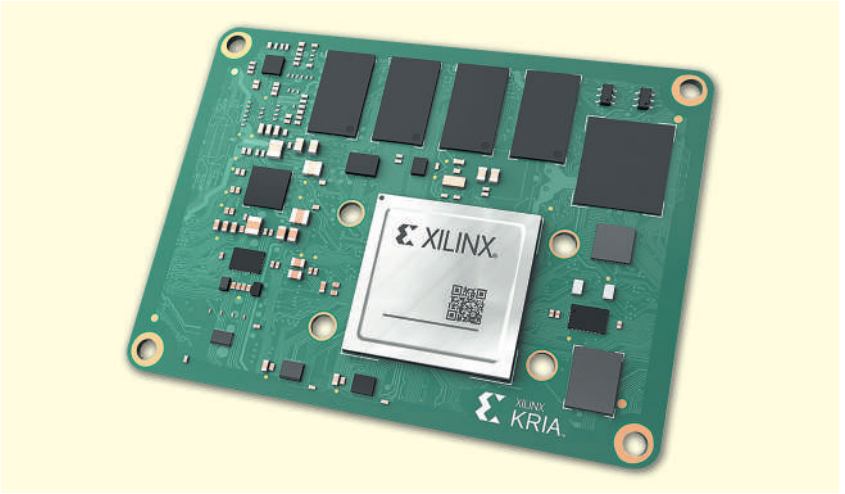


Рис. 2. Модуль Xilinx Kria

Таблиця 1. Характеристики модуля Kria K26

Група параметрів	Параметр	Значення
Модуль	Розміри (включно із системою охолодження)	77 × 60 × 11 мм
Процесор	Процесор додатків	4-ядерний ARM Cortex A53, до 1.5 ГГц
	Процесор реального часу	2-ядерний ARMCortex-R5F, до 600 МГц
	Графічний процесор	Mali-400 MP2
	Відеокодек	1–32 потоки (загальна роздільна здатність до 4K на частоті 60 кадрів/с)
Пам'ять	Накристальна	Статична 26.6 Мбайт
	На модулі	4 Гбайт 64-розрядна DDR4 512 Мбайт QSPI flash 64 кбайт EEPROM 16 Гбайт eMMC
Інтерфейси	Високошвидкісні інтерфейси процесорної підсистеми	PCIe Gen2 × 4, 2 × USB3.0, SATA 3.1, Display Port, 4 × Ethernet 10/100/1 000
	Низькошвидкісні інтерфейси процесорної підсистеми	2 × USB 2.0, 2 × SD/SDIO, 2 × UART, 2 × CAN 2.0B, 2 × I²C, 2 × SPI, 4 × 32b GPIO
Приймачі-передавачі	GTH 12.5 Гбіт/с	4 (PCIe Gen3 × 4, SLVS-EC, HDMI 2.0, Display Port 1.4)
	GTR 6 Гбіт/с	4
Ввід-вивід	Виводи процесорної підсистеми (PS MIO 1.8 В)	52
	Виводи програмованої логіки (PL High-density I/O 3.3 В)	69
	Виводи програмованої логіки (PL High-performance I/O 1.8 В)	116
Програмована логіка	Логічних ланок	256 000
	Блоків DSP	1 248
Споживана потужність	Типова	7.5 Вт
	Максимальна	15 Вт

В даний час ціни, вказані на сайті для модуля Kria K26, несподівано низькі з урахуванням можливостей встановленої ПЛІС. Ціна в $199 на модуль і $250/$350 (ціни, вказані на сайті виробника) для наборів у вигляді модуля та плати-носія (у комерційному та індустріальному виконанні відповідно) істотно нижча за ту, яку можна було б очікувати з урахуванням характеристик спеціально розробленої для цього продукту ППСНК Zynq Ultra Scale+. Технічні характеристики Kria K26 та встановленої ПЛІС наведені у таблиці 1.

Очевидним кроком є розміщення модуля на платі-носії. Компанія Xilinx пропонує стартовий набір Kria KV260 Vision Starter Kit, до складу якого, крім модуля K26, входить плата з підсистемою живлення, програмування та інтерфейсними роз'ємами. Зовнішній вигляд набору показано на рисунку 3. Він дозволяє швидко освоїти роботу з модулями, застосувавши плату-носій, що постачається в комплекті. За необхідності використовувати модуль у власному виробі розробка нової плати-носія виявиться істотно простіше в порівнянні з розробкою всього при-

Рис. 3. Набір Xilinx Kria KV260 Vision starter kit

строю, що включає складну друковану плату, яка об'єднує ПЛІС, пам'ять та інші компоненти, критичні для роботи.

На платі розміщені чотири роз'єми USB, роз'єми HDMI і DisplayPort, а також інтерфейс для підключення камери, сумісної з Raspberry Pi (на рис. 3 цей роз'єм закритий системою охолодження). Порт microUSB підключений до мікросхеми перетворювача FTDI, яка забезпечує завантаження проєктів з JTAG та віртуальний COM-порт.

СФЕРИ ЗАСТОСУВАННЯ МОДУЛІВ KRIA

Представлений модуль у поєднанні з платою-носієм призначений для застосування в системах обробки відео, однак його компонування та апаратний склад дають можливість розглядати його і як платформу загального призначення. На сторінці продукту є посилання на готові проєкти [2]. Ці приклади наочно демонструють можливості модуля, що використовує високу продуктивність матриці програмованих логічних ресурсів у паралельних обчисленнях, що поєднується з керуючим процесором ARM.

В даний час представлені на сторінці продукту проєкти в основному концентруються навколо задач обробки відео із застосуванням нейромереж. Вони об'єднані назвою Smart Camera.

На рисунку 4 показано структурну схему проєкту для виділення параметрів обличчя людини, що може бути використане для ідентифікації користувачів.

На рисунку 5 зображена структурна схема проєкту схожого призначення, що використовує кілька камер для виділення пішоходів на проїжджій частині та подальшого відстеження їх переміщення. Приклад результатів роботи системи показано на рисунку 6.

На рисунку 7 дається приклад роботи системи виділення дефектів на об'єк-

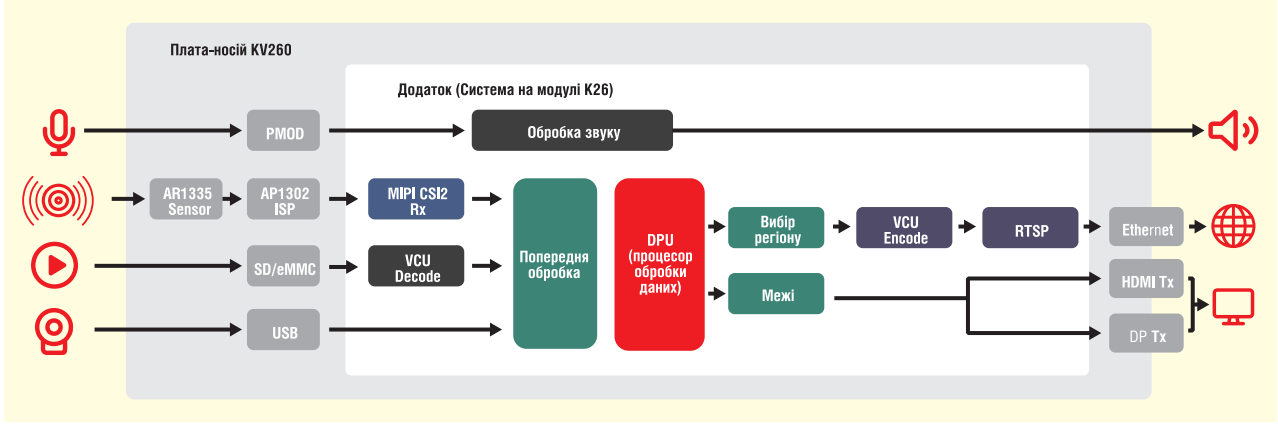


Рис. 4. Структурна схема проєкту обробки відеопотоку

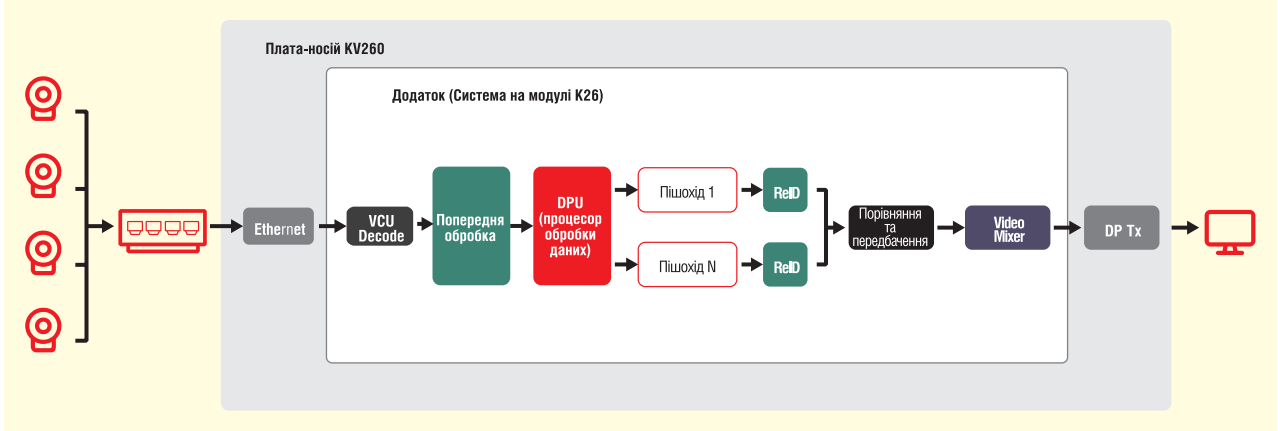


Рис. 5. Структурна схема проєкту ідентифікації та відстеження об'єктів

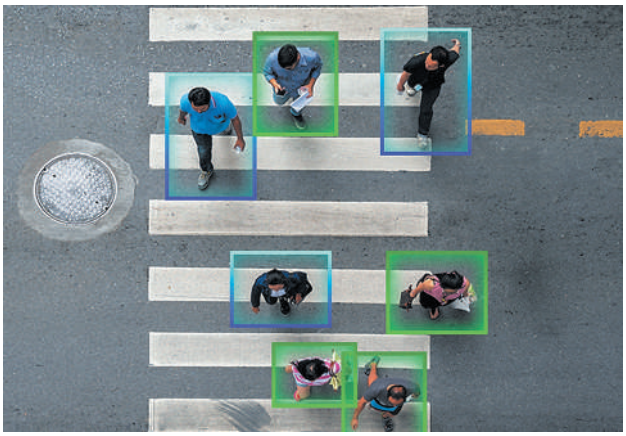


Рис. 6. Демонстрація результатів роботи системи

Рис. 7. Результати роботи системи виділення дефектів на об'єктах

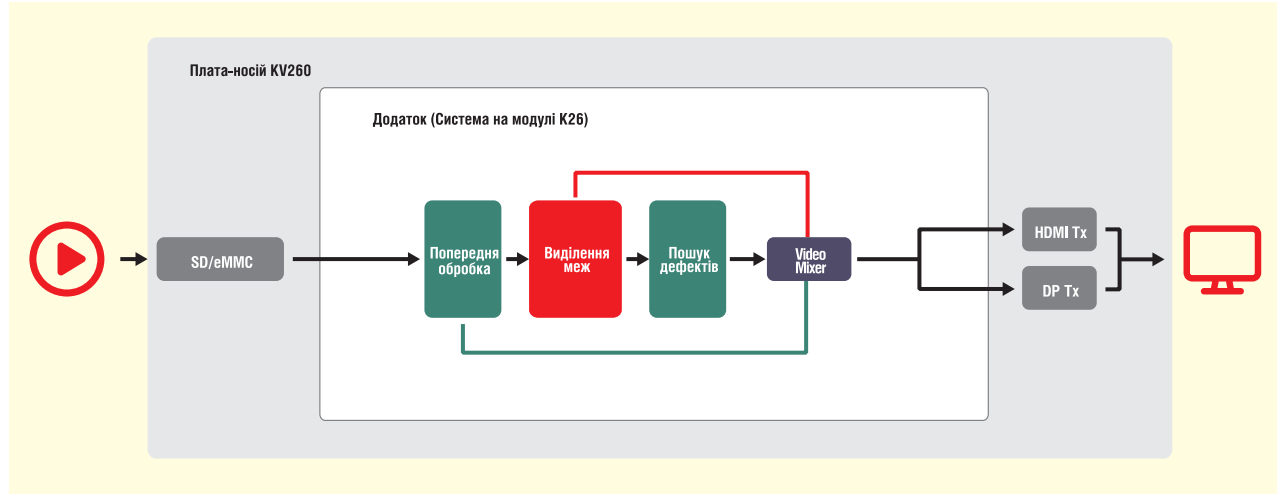


Рис. 8. Структурна схема проєкту щодо виділення дефектів

тах. Структурну схему проєкту наведено на рисунку 8.

У всіх прикладах можна простежити схожі риси. Використовується введення даних із відеокамери та їх попередня обробка, а потім реалізується той чи інший метод виявлення суттєвих ознак зображення. На даний момент обробка відеопотоку з сучасних камер передбачає досить високий трафік, оскільки, наприклад, для зображення формату HD кожен кадр містить 2 млн пікселів, а формат 4KHD передбачає вже 8 млн пікселів у кожному кадрі. Відеокамери, навіть масового поширення, мають від 5 млн пікселів у кожному кадрі. Це зумовлює постійне зростання продуктивності обчислювальних пристроїв, необхідних для їх обробки. Тут можна зазначити, що формальне підключення відеокамер доступне навіть для мікроконтролерів, проте чи забезпечить мікроконтролер необхідну продуктивність понад просту передачу прийнятого зображення в пристрій відображення даних? У такому разі можливість виконання операцій над масивом пікселів у режимі реального часу обумовлює застосування такої апаратної платформи, як FPGA. Можна ще раз відзначити, що 1248 блоків DSP, які активно використовуються в задачах обробки зображень, чи то накладання фільтрів або нейромережеві алгоритми, вигідно відрізняють платформу Kria від інших ПЛІС. Використана мікросхема порівняння за логічною ємністю із молодшими пристроями сімейства Kintex Ultra Scale+, проте модуль Kria істотно дешевше в порівнянні з аналогічною за продуктивністю окремої ПЛІС.

Обробка відео не є єдиним завданням, для якого застосовні модулі Kria (і взагалі ПЛІС), але в даному випадку показові проєкти привертають увагу до продукту та дозволяють оцінити перспективи реалізації власних проєктів.

ВИСНОВОК

Розглянуті вище матеріали відкривають цікавий напрямок продуктів компанії Xilinx — це недорогі плати класу «система на модулі» із встановленими ПЛІС середньої цінової категорії. Такі модулі спрощують старт у галузі розробки цифрових систем для широкого кола фахівців, для яких самостійне проєктування складної друкованої плати для ПЛІС не є обов'язковим кроком до створення власного виробу. У цьому випадку орієнтація на готові модулі замість окремих мікросхем може суттєво прискорити розробку, а від компанії Xilinx при цьому очікується своєчасне виведення на ринок модулів з характеристиками, що підходять для широкого кола проєктів. Освоєнню модулів Kria допомагають також онлайн-семінари, які проводяться дистриб'юторами компанії Xilinx.

Література:

1. www.xilinx.com/support/documentation/user_guides/ug933-Zynq-7000-PCB.pdf
2. www.xilinx.com/products/app-store/kria.html

CN

Контролери EtherCAT з погляду Microchip Technology

Йєн Сатерлей (Ian Saturley), Microchip Technology

У статті коротко розглядаються основні вимоги до промислових інтерфейсів, зокрема до технології промислового Ethernet. Показано переваги EtherCAT перед іншими інтерфейсами. На конкретному прикладі описано переваги трьох нових контролерів EtherCAT компанії Microchip Technology.

ВСТУП

За останніх 20 років у промислових системах зв'язку відбулися серйозні зміни. Багато виробників почали відмовлятися від інтерфейсів, що базуються на Fieldbus, на користь інтерфейсів, основою яких є Ethernet. Очікується, що деяке зростання Ethernet-інтерфейсів продовжиться і надалі. Аналітики компанії MarketsandMarkets прогнозують, що щорічні темпи зростання ринку цих інтерфейсів становитимуть 7.3% до 2026 року.

Таким чином, нікого не повинно дивувати, що промисловий Ethernet за відносно короткий період зайняв значну частку ринку. Зрозуміло, були вдосконалені і Fieldbus-інтерфейси, але слід мати на увазі, що технологія Fieldbus розроблялася для вирішення простих завдань з управління і не підходить для передачі великих обсягів інформації, які необхідні для реалізації стратегії Індустрії 4.0. Особливо явно виявляються недоліки Fieldbus у додатках, де потрібна швидкодія та точне управління, наприклад, у робототехніці.

Реалізація інтерфейсів на базі Ethernet вирішує зазначені проблеми за рахунок достатньої пропускної спроможності. Її, зазвичай, вистачає для найскладніших промислових систем Індустрії 4.0. В даний час технологія Ethernet використовується по всьому світу, вона добре відпрацьована і її застосування не викликає проблем.

Слід врахувати, що особливих труднощів із переходом від Fieldbus до Ethernet не виникне: ланцюги Fieldbus легко та без великих витрат підключаються до каналів Ethernet. Масовість використання Ethernet підтримується великою кількістю фахівців, здатних обслуговувати та впроваджувати промислові Ethernet-системи. Оскільки концепція Індустрії 4.0 має на увазі надійний зв'язок між промисловими процесами та інформаційними технологіями, доцільно використовувати в обох випадках той самий стандарт. На жаль, Ethernet, що застосовується в IT, не детермінований, а це неприпустимо в промислових додатках.

Цей недолік спонукав компанії розпочати розробку нового стандарту на основі Ethernet, придатного для використання в промислових додатках. В результаті з'явилося кілька стандартів, кожен із яких знайшов свою нішу. Найбільш уживаними стали Ethernet TSN, EtherNet/IP, PRO FIN ET та EtherCAT. Усі протоколи мають і переваги, і недоліки. Всі протоколи, крім EtherCAT, використовують фізичний рівень EtherNet з IT та адаптують його для роботи в режимі реального часу. Розробники EtherCAT (EtherNet для Control Automation Technology) пішли іншим шляхом. Вони повністю зберегли фізичний рівень стандартного EtherNet і на його основі (поверх нього) створили зовсім новий детермінований протокол.

Протокол використовує хост-контролер, і тільки він має дозвіл на створення кадру EtherCAT. Цей кадр завжди має фіксовану довжину, кожен вузол мережі має свою адресовану область кадру. У міру надходження кадру до пристроїв кожен вузол приймає свої дані та формує відповідь у виділеній для нього області.

Таким чином, передача кадру в мережі відбувається практично без затримки, якщо не брати до уваги затримку поширення та обробки сигналів на фізичному рівні вузла. Загалом всі операції виконуються не більше ніж за 125 мкс, тоді як в інших протоколах цей інтервал досягає сотень мікросекунд. Максимальна швидкість передачі даних EtherCAT досягає 100 Мбіт/с.

Оскільки в промислових додатках час реакції критичний, збільшення швидкості передачі даних збільшує ефективність та безпеку. До переваг EtherCAT перед рештою промислових Ethernet належить і простота використання — додатково потрібен лише покажчик коду стека (SSC), який можна реалізувати на найпростішому мікроконтролері.

Але все ж таки не слід думати, що застосування EtherCAT не потребує зусиль. Каменем спотикання може бути дотримання вимог щодо тривалості циклу. Наприклад, при керуванні електроприводом від EtherCAT може знадобитися швидкодія до 8 000 циклів в секунду; при цьому тривалість циклу становитиме 125 мкс. EtherCAT без особливих проблем забезпечує таку швидкість, але від розробника вимагається написання оптимального коду, що не вносить затримки. В інших випадках потрібний стандартний контролер EtherCAT, який встановлюється на DIN-рейку поруч із об'єктом керування.

РІШЕННЯ MICROCHIP

Компанія Microchip займається розробкою EtherCAT з 2012 р. У 2015 р. у виробничій лінійці з'явився перший EtherCAT-контролер LAN9252. Його дебют виявився успішним і дозволив здобути досвід роботи в цьому сегменті ринку. Зокрема, розробники компанії Microchip побачили, що користувачам потрібен простий спосіб дотримання тимчасових характеристик циклу та

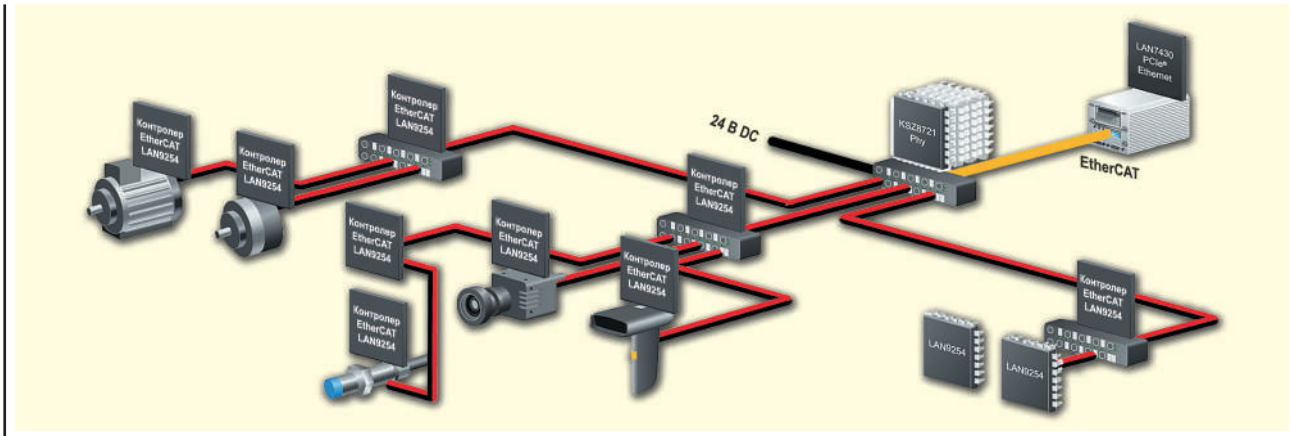


Рис. 1. Приклад використання контролерів LAN9253 та LAN9254 у промисловому додатку

функції, що дозволяють відстежувати фази виконання циклу.

Завдяки отриманим відгукам, компанія розробила ще дві мікросхеми контролерів LAN9253 і LAN9254, які випустила у вересні 2020 р. Це трипортові контролери з інтегрованими Ethernet PHY і повнодуплексним приймачем-передавачем 100BASE-TX з максимальною швидкістю передачі даних 100 Мбіт/с. Найважливішим удосконаленням у цих контролерах є рішення, що спрощує оптимізацію ПЗ для витримки часових показників циклу.

Крім того, використання нових контролерів помітно спрощує розробку апаратного забезпечення та скорочує кількість зовнішніх компонентів. Ще однією перевагою нових контролерів є відсутність пам'яті EEPROM із конфігурацією хоста. Нові контролери використовують виклик функції для зчитування інструкцій безпосередньо від мікроконтролера хоста, не впливаючи на його продуктивність. Використання контролерів LAN9253 і LAN9254 спрощує побудову схем, що задають час. Розглянемо приклад керування багатокоординатними роботами маніпуляторами. У цьому випадку може знадобитися до шести контролерів EtherCAT. Кожному контролеру раніше була потрібна своя мікросхема синхронізації. При використанні контролерів LAN9253 та LAN9254 завдання спрощується. Оскільки в них інтегровані атенюатори джиттера та повторювачі сигналів синхронізації, шести контролерам потрібна лише одна мікросхема синхронізації. Приклад характерного використання контролерів у промисловому додатку наведено на рисунку 1.

До описаних функціональних можливостей нових контролерів додамо ще запровадження діагностики фізичного рівня. Нагадаємо, що спочатку протокол EtherCAT не передбачав таку можливість і користувачі могли судити про несправності, що виникли, наприклад, про погіршення характеристик кабелю, тільки коли отримували помилки контрольної суми CRC. У нових контролерах передбачено діагностику стану кабелю, що дозволить усунути несправність ще до того, як вона стане серйозною проблемою.

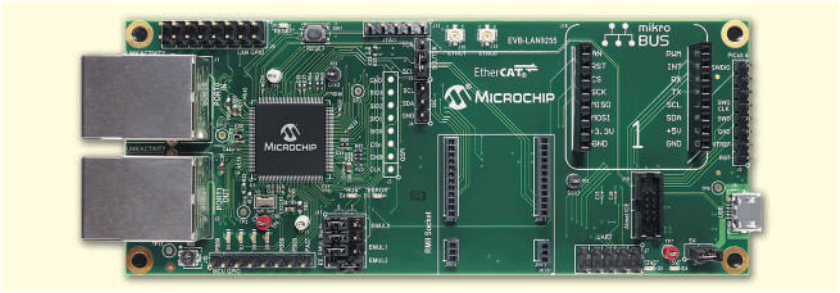


Рис. 2. Оцінювальна плата EVB-LAN9255

Мікросхема контролера LAN9253 випускається в корпусі QFN і сумісна по виводах з попереднім контролером першого покоління LAN9252. Таким чином, виконати заміну та тим самим покращити характеристики пристрою можна без доопрацювання друкованої плати. IC LAN9254 має 16 додаткових ліній вводу/виводу, що в ряді випадків дозволяє використ овувати тільки її та відмовитися від додаткового мікроконтролера. Оскільки область кадру та затримка розповсюдження для кожного мережевого пристрою відомі, 32 лінії вводу/виводу можна зіставити з бітами відповідної області, завдяки чому мережевий вузол зможе підключитися безпосередньо до мережі EtherCAT.

І, нарешті, кілька слів про останню новинку Microchip. У 2021 році компанія випустила контролер LAN9255 з інтегрованим процесорним ядром Cortex-M4F. Застосування такого контролера дозволить не тільки задовольнити всі вимоги стандарту EtherCAT та забезпечити максимальну швидкодію, але й використовувати LAN9255 як мікроконтролер додатків для керування промисловими об'єктами. У LAN9255 також додано підтримку протоколу SNMP версії 3, що помітно збільшує його функціональність, наприклад спрощує підключення до IT-систем.

ВИСНОВКИ

Контролери LAN9253 та LAN9254 суттєво полегшили впровадження та технічну підтримку вузлів EtherCAT. Вони скоротили витрати часу на обслуговування і вартість за рахунок меншої кількості використовуваних компонентів, спростили розробку ПЗ і додали можливість діагностики. Новий контролер LAN9255 усуває необхідність у хост-мікроконтролері, керуючи і EtherCAT, та прикладними завданнями. Використання програмних продуктів Microchip MPL AB X Harmony Framework помітно прискорює час виведення продукції на ринок, дозволяючи створювати та оптимізувати програмне забезпечення не тільки для EtherCAT, але і для вирішення прикладних завдань управління. Для розробки та налагодження рішення на базі LAN9255 компанія пропонує оцінювальну плату EVB-LAN9255 (див. рис. 2). CN

Екосистема хмарних інструментів MPLAB

Знаходьте, налаштовуйте і проєктуйте: екосистема на всі випадки життя

Екосистема хмарних інструментів MPLAB являє собою повноцінне онлайн-рішення для користувачів з будь-яким рівнем кваліфікації, що дозволяє знаходити, налаштовувати, розробляти і налагоджувати додатки, які вбудовуються, з мікроконтролерами PIC і AVR.

- Інтуїтивно зрозумілий початок розробки МК PIC і AVR за допомогою інтегрованих засобів MPLAB.
- Швидке створення прототипів з використанням МК PIC, AVR і плат Curiosity від Microchip.
- Не потребує установки ПЗ для початку розробки з використанням МК PIC і AVR.

У розробників, які використовують МК PIC і AVR, є можливість на сторінці MPLAB Cloud Tools продовжити проєктування на будь-якому етапі.

- Засіб MPLAB Discover дозволяє знайти повністю сконфігуровані та завершені проєкти вихідного коду.
- Легке налаштування програмних засобів за допомогою конфігуратора коду MPLAB.
- Для розробки, налагодження і впровадження додатків безпосередньо з веб-оглядача не потрібне встановлення ПЗ – досить інтегрального середовища проєктування MPLAB Xpress.

MPLAB® DISCOVER

MPLAB® CODE CONFIGURATOR

MPLAB® XPRESS IDE

MICROCHIP

microchip.com/MPLABcloudtools

Найменування компанії Microchip, її логотип, AVR, MPLAB і PIC є зареєстрованими торговими марками Microchip Technology Incorporated в США та інших країнах. Всі інші торгові марки, згадані в цій публікації, є власністю зареєстрованих власників.
© 2021 Microchip Technology Inc. Всі права захищені.
DS50003138A. MEC2381A-RUS-07-21

Модулі SOM-6883 та SOM-7583: відмінна допомога у тестуванні

В статті йде мова про використання модулів Advantech для тестування напівпровідникових приладів.

НАВІЩО ПОТРІБНА МОДЕРНІЗАЦІЯ КОНТРОЛЬНО-ВИПРОБУВАЛЬНОГО ОБЛАДНАННЯ НАПІВПРОВІДНИКІВ ТА ІНТЕГРАЛЬНИХ СХЕМ?

Узв'язку з постійно зростаючим попитом з боку багатьох нових додатків великої потужності, команда розробників «систем-на-модулях» (System-on-Module, надалі — SOM) компанії Advantech прагне ще краще обслуговувати клієнтів в області контрольно-випробувального обладнання для силових напівпровідників та інтегральних схем (IC). Обладнання для тестування напівпровідників та IC призначене для пакетного тестування сотень інтегральних схем та наборів мікросхем, таких як процесори, SoC, SSD та пам'ять, у різних лініях, на одній випробувальній машині, все в один і той же час.

Щоб тестувати партії виробів типу IC менш затратно та у більш ефективний спосіб, контрольно-випробувальні прилади, як правило, мають еквівалентну кількість функціональних плат, що відповідають кожному пристрою, який тестується, а функціональні плати тестують IC згідно попередньо завантажених тестових програм. Оскільки програми для тестування стають більш складними, ключовими вимогами для скорочення середнього циклу тестування стають більший об'єм пам'яті та більш швидка передача даних. Через те, що один тестер IC може містити сотні модулів, то для того, щоб зробити надійну систему меншого розміру більш актуальними є компактні плати з оптимізованими тепловими рішеннями.

ЩО Ж ТАКОГО ОСОБЛИВОГО В SOM-6883 ТА SOM-7583?

В модулях SOM-6883 та SOM-7583 компанії Advantech їх користувач отримує:

- Обчислювальну потужність Core-i — найбільш потужна SoC в компактному форм-факторі.
- Вбудований IBECC (In-band error correcting code): корекція даних за допомогою вбудованої пам'яті для стабільності роботи системи.
- Високошвидкісний ввод/вивід для передачі даних через:
  - PCIe Gen3/Gen4;
  - SATA3;
  - USB4/USB3.2 Gen2.
- TDP (з TDP), який налаштовується і дозволяє користувачу оптимізувати енергоспоживання системи відповідно до своїх потреб, в той час, як Advantech пропонує низькопрофільний безвентиляторний тепловий модуль, призначений для мінімізації розміру системи.
- Можливість масштабування кінцевої системи за допомогою несучих плат COM.

ЩО ЦІННОГО КОМАНДА ADVANTECH МОЖЕ НАДАТИ SOM?

Останні рішення COM Express (у вигляді модулів SOM-6883 та SOM-7583) компанії Advantech мають компактні розміри та допомагають клієнтам мінімізувати свої системи та приділити більше уваги розробці своїх унікальних кінцевих додатків. Обидва рішення і SOM-6883, і SOM-7583 побудовані на процесорах Intel® Core™ 11-го покоління. Максимальний TDP модуля SOM-7583 компанії Advantech складає 28 Вт. Цей модуль розроблений для забезпечення високої продуктивності із безвентиляторним охолодженням. Інтегровані мідні теплові трубки модуля забезпечують ефективну передачу тепла, а оптимізована конструкція з оптимальним кроком ребер створює максимальну площину теплообміну та конвекції. Маючи загальну висоту менше ніж 1U (4.4 см), уніфікований тепловий модуль ідеально підходить для клієнтів, які створюють власні рішення для охолодження системного рівня.

З увімкненим PCIe Gen.4 модуль SOM-6883 орієнтований на додатки з високою швидкістю передачі даних. Замовники можуть використовувати PCIe Gen.4, для розробки власних функцій, орієнтованих на предметну область, при збереженні конфіденційності своїх промислових ноу-хау, додавши на несучу плату FPGA. Модуль SOM-6883 має достатньо великий об'єм вбудованої пам'яті та забезпечує її розширення за допомогою додаткових сокетів SO-DIMM і дозволяє клієнтам мати більше можливостей для гнучкості при проєктуванні власної системи. Теплове рішення Quadro Flow Cooling System (QFCS) власної розробки Advantech дозволяє системі працювати на повній швидкості без дроселювання.

Модулі SOM-7583 та SOM-6883 компанії Advantech призначені для роботи в широкому діапазоні вхідної напруги та працюють в розширеному діапазоні робочих температур від −40 до +85 °C (від −40 до +185 °F). Крім того, за допомогою вбудованого твердотільного накопичувача NVMe компанія Advantech може допомогти клієнтам попередньо завантажити ОС за допомогою ліцензійних пакетів програмного забезпечення. Нарешті, за допомогою програмного забезпечення для управління пристроями WISE-DeviceOn від компанії Advantech користувачі можуть віддалено та зручно відстежувати стан пристрою.

Підбиваючи підсумки, відмітимо, що виробники контрольно-випробувального обладнання для IC більше за все цінують ефективність та стабільність. І модулі SOM-6883 та SOM-7583 від Advantech ідеально відповідають цим вимогам — гарантують і продуктивність тестування, і можливість розширення системи.

Матеріал надано ПРОКСИС™, www.proxis.ua CN

Модуль компанії RECOM спрощує рішення збору та використання вільної енергії

Володимир Рентюк

Світ навколо нас насичений умовно безкоштовною, так званою вільною енергією, і це не лише і не стільки звична нам енергія сонця та вітру. Деякі види вільної енергії недоцільно використовувати глобально, але можна успішно застосовувати для живлення пристроїв з малим енергоспоживанням — рішень «Інтернету речей», датчиків сенсорної мережі підприємства, інтелектуальних приладів обліку або деяких систем «розумного» будинку. Звучить привабливо, проте постає питання: з чого почати? А саме — яка з вільних енергій доступна для конкретного застосування, як її найефективніше зібрати та яке схемотехнічне рішення дозволить її оптимально використати.
Компанія RECOM вирішила допомогти розробникам, запропонувавши їм на основі високоефективної інтегральної схеми збору енергії AEM10941 — харвестера компанії e-peas — завершене рішення: модуль та оцінну плату на його основі.

ВСТУП

Заміна розряджених батарей — серйозна проблема не тільки для промисловості, а й для споживачів у найширшому розумінні, оскільки потребує додаткових витрат часу та коштів, яких можна уникнути. Для виробників це також питання ваги та місця у пристрої. Крім того, одноразові батареї (-йки) негативно впливають на навколишнє середовище. На щастя, вихід із подібної ситуації існує — це збір вільної енергії. Таке рішення в частині електроживлення вже використовується в багатьох інтелектуальних пристроях і дозволяє продовжити їхнє життя на роки, а часом і на десятиліття.

Що таке вільна енергія (harvest energy — «енергія, що збирається», від англ. harvest — «врожай»)? По суті, це енергія, що знаходиться в просторі, тобто у вільному доступі, яку можна зібрати і використовувати (в англійській термінології цей процес називається energy harvesting — буквально: «збирання врожаю»), а пристрій, що його видобуває, часто називають харвестер (harvester — буквально: «збирач врожаю»). У глобальному масштабі вільна енергія — це енергія сонця, вітру, геотермальна енергія, енергія морських хвиль і навіть солоної води [2]. Частина такої енергії доступна постійно, а частина — ні, частина доступна у великих обсягах, а частина, наприклад, енергія електромагнітних хвиль або вібрації, може бути доступна невеликими порціями. Так що використовувати її буває складно, і в будь-якому разі вільну енергію необхідно не тільки зібрати, а й перетворити на зручну для споживання форму — теплову, кінетичну, механічну, але найбільш прийнятною буде, безперечно, електрична.

З використанням вільної енергії можна навести випадок у Канаді. Енергетична компанія протягнула над ділянкою одного власника високовольтну лінію електропередачі (ЛЕП), зробивши це без його згоди. Спроба позиватися ні до чого не привела, тому що компанія формально нічого не порушила — опори були поза межами ділянки, небо не земля і власнику ділянки не належить (щоб літакам та супутникам не довелося ділянку облітати), а вплив на здоров'я, хоча лінія й гуділа, не було доведено. Тоді господар встановив на ділянці дротяну петлю з N витків і почав збирати випромінювану ЛЕП енергію, перетворювати її та використовувати як подарунок долі для господарських потреб. Тепер судитися за «крадіжку» електроенергії почала компанія, але суд програла — прямого підключення до ЛЕП не було й довести, що мала місце будь-яка значна шкода, фірма не змогла, щоправда, ЛЕП з ділянки все ж таки прибрали.

Випадок анекдотичний. Однак можна було брати енергію радіостанцій для роботи детекторних приймачів, або зараз використовувати випромінювання від вишок стільникового зв'язку, а від 5G і сам бог велів. 5G був розроблений для передачі великих обсягів даних із малою затримкою. Для цього були прийняті частоти міліметрового діапазону та вузько направлені антени, що дозволило досягти безпрецедентно високої щільності випромінюваної потужності. Таким чином, самі того не знаючи, архітектори 5G створили бездротову електромережу, здатну живити пристрої на відстанях, що набагато перевищують можливості будь-яких існуючих технологій [9].

Отже, спочатку визначимо коло нашого інтересу в отриманні безкоштовної енергії. Найбільш поширеними та легкодоступними джерелами вільної енергії для нас у навколишньому середовищі є:

- Фотоелектричний — сонячні панелі можуть виробляти достатньо енергії, поглинаючи фотони світла, навіть усередині приміщень. Вихідна напруга фотоелемента на холостому ходу, без навантаження, становить 500–800 мВ при 100 лк, а вищу напругу можна отримати послідовним з'єднанням елементів або в умовах більшого освітлення. При великій споживаній потужності спостерігається значне просідання напруги, тому необхідно постійно коригувати оптимальне навантаження (точка максимальної потужності) для компенсації змін умов освітленості.

- Термоелектричний — за наявності температурного градієнта між різнорідними провідниками виникає електричний струм (ефект Зеєбека). Термоелектричні генератори використовують цей ефект для перетворення різниці температур на корисну електричну енергію за допомогою напівпровідникових переходів. Потужність збільшується пропорційно різниці температур між гарячим та холодним спаєм та площі поверхні генератора.
- Вібраційний — найбільш поширені пристрої збору енергії вібрації побудовані на підпружиненому масивному об'єкті з магнітом, що здійснює поступальні рухи всередині зафіксованої котушки, тим самим виробляється змінний струм. Якщо резонанс системи маси об'єкта та жорсткість пружини підібрані відповідно до частоти коливань, можна отримати значну вихідну потужність.
- Потік (масова витрата) — рідина або газ, що рухаються, обертають турбіну для вироблення електроенергії. Дані мікротурбіни можуть бути розміщені в каналах кондиціонування, водопровідних трубах або на зовнішній поверхні транспортних засобів для вироблення електроенергії від потоку повітря або води, що генерується рухом транспортного засобу. Вихрове відведення є альтернативним методом збору енергії масової витрати, який не має частин, що обертаються (п'єзоелектрик).
- П'єзоелектричний — перетворює механічну деформацію на вихідний сигнал високої напруги малої потужності, яку можна використовувати для накопичення. Прикладом може бути система з п'єзоелектричною основою і вихровим стрижнем, що перетворює коливання в змінну напругу.
- Електромагнітний — пристрій збирає електромагнітне випромінювання (електричні поля, сигнал Wi-Fi, радіохвилі) за допомогою антени. Це джерело зазвичай видає потужність в діапазоні мкВт і використовується всередині приміщень. Однак при використанні спрямованого мікрохвильового випромінювання поза приміщеннями можна отримати значно більшу потужність.

Застосування джерел вільної енергії дає такі переваги:

- немає потреби замінювати батареї;
- не потрібно витрачати зайві гроші на нові батареї;
- усвідомлення того, що навколишнє середовище не забруднюється використаними батареями, оскільки не всі вони вирушають на переробку;
- загальне задоволення, що ви завдяки використанню екологічного інноваційного пристрою йдете в ногу з часом.

А виробникам пристроїв це допомагає отримати:

- конкурентну перевагу;
- більш екологічне виробництво та менший вуглецевий слід, до чого зараз прикута найпильніша увага;
- збільшення продажів;
- більше місця у пристрої для корисних технологій;
- задоволеність клієнтів завдяки використанню сучасних інноваційних рішень.

Саме накопичення і перетворення ось такої «непомітної», навколишньої енергії вже зараз успішно використовують, наприклад, для пристроїв «Інтернету речей» (Internet of Things, IoT), в тому числі й індустріального (Industrial Internet of Things, IIoT), живлення датчиків сенсорної мережі підприємства або «розумного» будинку, маючи можливість відмовитися від дротів, змінних та, як правило, дорогих літієвих батарей та акумуляторів (рис. 1).

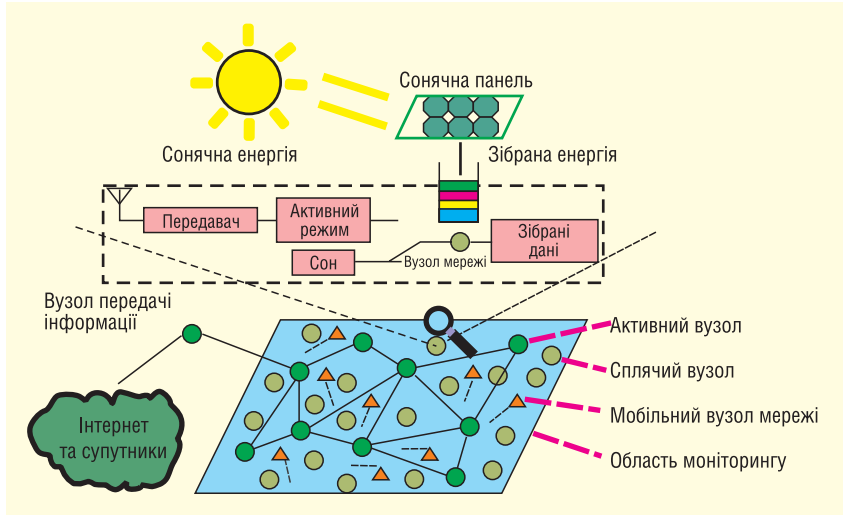


Рис. 1. Енергозберігаюча бездротова сенсорна мережа на основі технології збору вільної енергії [10]

З ЧОГО ПОЧАТИ?

Хоч як дивно прозвучить, але одна з основних проблем у розробці модуля збору енергії — розпочати саму розробку! Над цією проблемою замислилися спеціалісти компанії RECOM [1]. Справа в тому, що тут дуже багато невизначеностей і просто незрозуміло, за що братися. Типові питання — це:

- Яке із перелічених вище джерел енергії використовувати — фотоелектричний, термоелектричний, електромагнітне поле, потік рідини/газу або вібрацію?
- Як накопичити та зберегти енергію?
- Наскільки великою має бути ємність буферного пристрою накопичення та зберігання енергії та який її тип?
- Що краще: суперконденсатор чи акумулятор?
- Чи потрібна безперервність роботи — чи є потреба в резервній батареї/акумуляторі?
- Чи збере пристрій достатньо енергії, наприклад, з фотоелектричним перетворювачем протягом дня, щоб продовжувати працювати всю ніч? Чи буде достатньо енергії, що запасена в конденсаторі в черговому режимі або в режимі сну, та якої ємності має бути конденсатор?

І це лише верхівка айсбергу! Додаткові питання виникають у процесі підготовки виробництва — вибір та постачання електронних компонентів (конденсатори, індуктивності тощо), розробка схемотехнічного рішення в цілому, виготовлення прототипу та повнофункціональної системи.

Допомогти легко і впевнено перевести пристрій у «безбатарейне майбутнє» можуть такі технології, як Ambient Energy Managers від молодої бельгійської компанії e-peas [3], яка вже надає провідні в галузі рішення для збору та обробки вільної енергії в поєднанні з модулем збору енергії від компанії RECOM [4], широко відомої на ринку компонентів та модулів електроживлення.

ЯК ВТІЛИТИ В ЖИТТЯ ЗАДУМАНЕ

Загалом, якщо обрано джерело вільної енергії та прийнято рішення з питань, які були викладені раніше, то для приймання (збору) енергії необхідно вибрати відповідний харвестер. Далі все зводиться до простого на перший погляд рішення, наведеному на рисунку 2.

Підвищуючий DC/DC-перетворювач необхідний тому, що більшість джерел вільної енергії з навколишнього середовища здатне забезпечити надто низьку напругу для безпосереднього використання. Тому першою ланкою системи збору зведеної енергії є підвищуючий DC/DC-перетворювач. Він перетворює низьку вхідну напругу на більш високу, що використовується для заряду акумулятора або суперконденсатора. Наприклад, модуль збору серії REH компанії RECOM працює від вхідної напруги 0.05 В, збільшуючи її для заряду літій-іонного акумулятора — до 4.12 або до 4.5 В для двоелементного суперконденсатора (EDLC).

Буферний накопичувач енергії необхідний для її накопичення, зберігання та віддачі за необхідності. Як було зазначено, у цій ролі може виступати акумулятор чи суперконденсатор. Ще одне призначення буферного накопичувача — згладжувати пікові навантаження споживання енергії, що виникають, зокрема, при включенні передавача (рис. 3).

Контролер системи відстежує заряд та розряд елемента накопичення енергії для запобігання перезаряду та глибокого розряду. Також контролер виробляє сигнали, що попереджають про збій живлення, якщо навантаження повністю вибирає накопичену енергію та сигнали стану. Модуль REH може перемикати навантаження на альтернативне джерело енергії, якщо первинне джерело, наприклад, знаходиться в умовах недостатнього освітлення в нічний час і не може забезпечити достатньої потужності.

Понижувальний DC/DC-перетворювач необхідний, тому що напруга в акумуляторі та суперконденсаторі нестабільна, а сам елемент не захищений від короткого замикання. Цей перетворювач ефективно знижує та стабілізує вихідну напругу до необхідного рівня та виконує захист від короткого замикання. Так, для забезпечення 3.3- та 1.8-В живлення для конкретного застосування, наприклад бездротового датчика, модуль REH містить два незалежні стабілізовані понижуючі DC/DC-перетворювачі.

Виглядає все це просто і здорово, якби не одне але. Всі каскади цього пристрою повинні чимось живитися, а це «чимось» і є вільна енергія, що приймається. Тобто, вони повинні мати вкрай низьке власне енергоспоживання, а реалізувати таке рішення на окремих компонентах практично неможливо.

Проблему вирішує, наприклад, IC харвестера AEM10941, запропонована компанією e-peas. AEM10941 — це інтегрована схема управління енергією, яка відбирає енергію від фотоелектричного модуля з сімома елементами, одночасно накопичує її в буферному елементі накопичення енергії, що перезаряджається, і забезпечує систему двома незалежними регульованими напругами.

Використання рішень на основі даної IC сприяє збільшенню терміну служби батарей і в кінцевому підсумку усуває необхідність в одноразових батареях як елементах зберігання енергії у великому діапазоні бездротових застосунків, таких як промисловий моніторинг, геолокація, домашня автоматизація, моніторинг стану обладнання, вузли бездротової сенсорної мережі та такі важливі під час пандемії COVID 19 системи, як e-Health (електронна охорона здоров'я) — моніторинг здоров'я населення з використанням пристроїв та датчиків, що збирають дані.

Ця IC була обрана компанією RECOM за її конкурентоспроможні характеристики, наявність стеження за точкою максимальної потужності, універсальність функцій та простоту використання.

Основні технічні характеристики IC харвестера AEM10941:

- Запуск із наднизькою потужністю:
  - холодний старт за вхідної напруги 380 мВ та вхідної потужності 3 мкВт (типова).

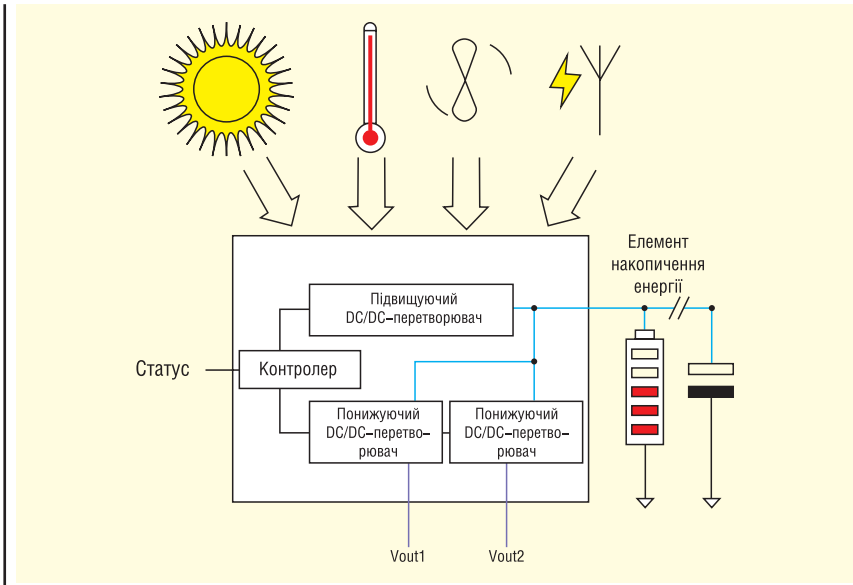


Рис. 2. Типова схема перетворення вільної енергії та пояснення необхідності буфера для її накопичення на прикладі використання суперконденсатора (EDLC)

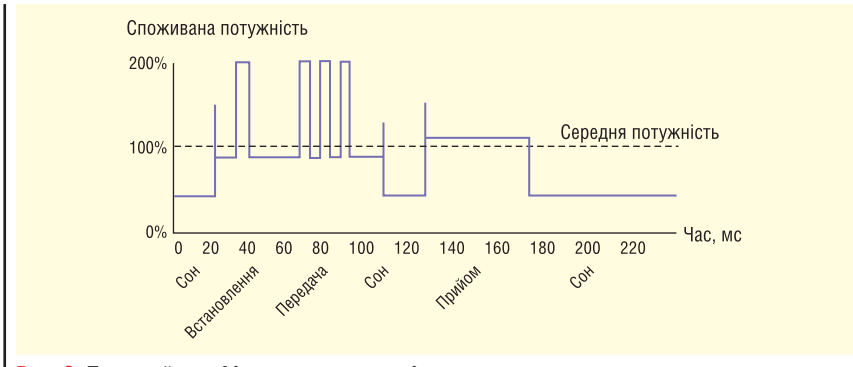


Рис. 3. Типовий профіль споживання під час живлення датчика з бездротовим підключенням до мережі

- Вихідні напруги:
  - 1.2/1.8 В, при струмі навантаження до 20 мА;
  - 1.8–4.1 В, при струмі навантаження до 80 мА.

Обидві напруги регульовані, потужність регулюється динамічно за допомогою зовнішнього керування.

Блок-схему IC харвестера AEM10941 наведено на рисунку 4, а зовнішній вигляд IB та типова схема її підключення — на рисунку 5.

Для того, щоб допомогти з проєктуванням та спростити відпрацювання рішення збору та використання вільної енергії, компанія RECOM розробила на основі IC харвестера AEM10941 та запропонувала попередньо зібраний та заздалегідь протестований модуль збору енергії REH-3.31.8 [6]. Зовнішній вигляд модуля та його підключення показано на рисунку 6.

REH-3.31.8 являє собою повноцінний модуль збору енергії з подвійним

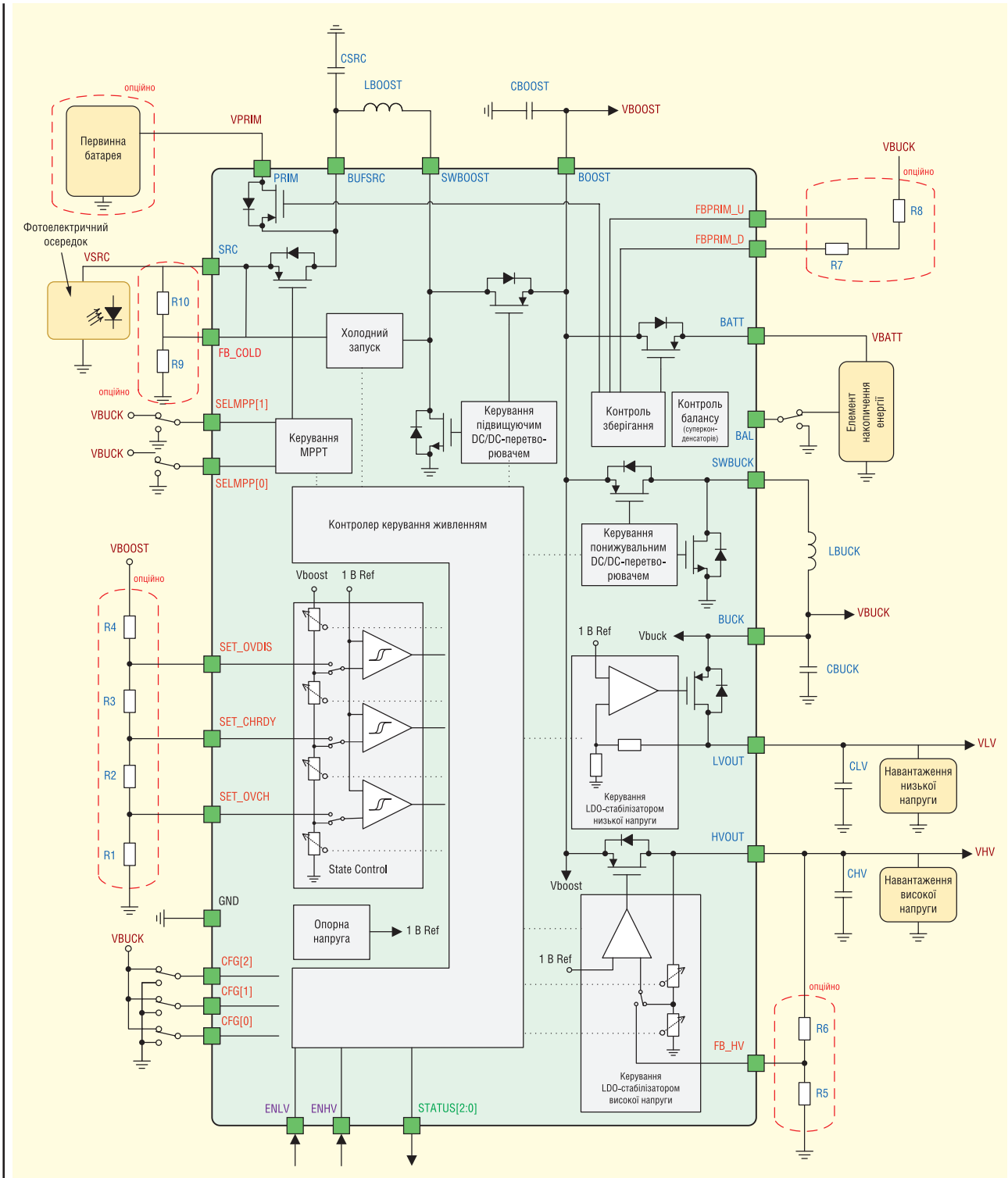


Рис. 4. Блок-схема підключення IC харвестера AEM10941 компанії e-peas

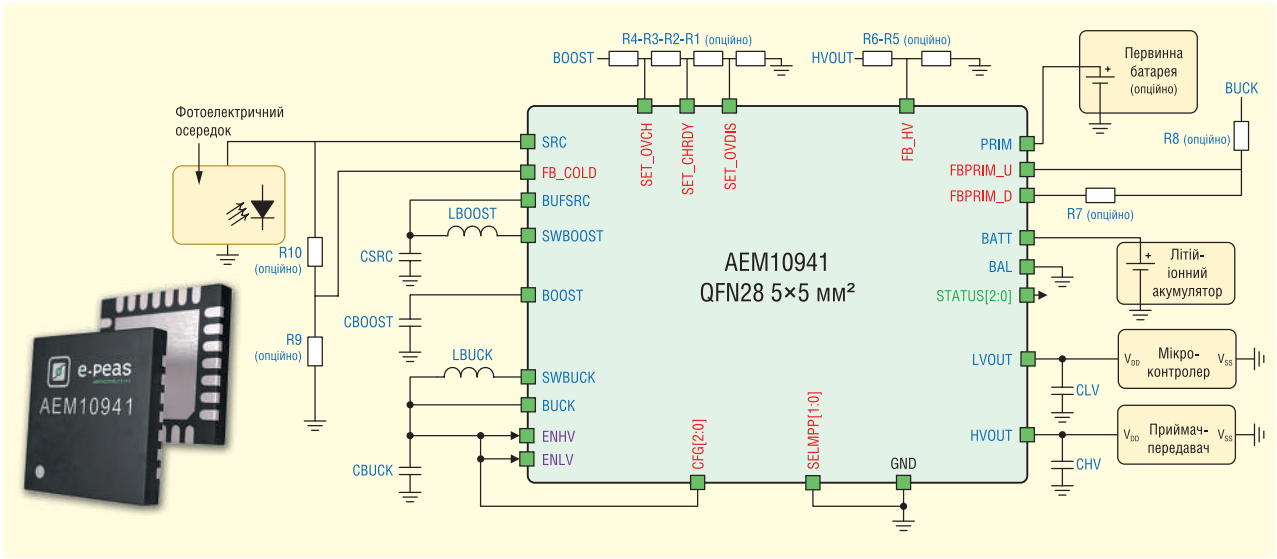


Рис. 5. **Зовнішній вигляд та типова схема підключення IC харвестера AEM10941**

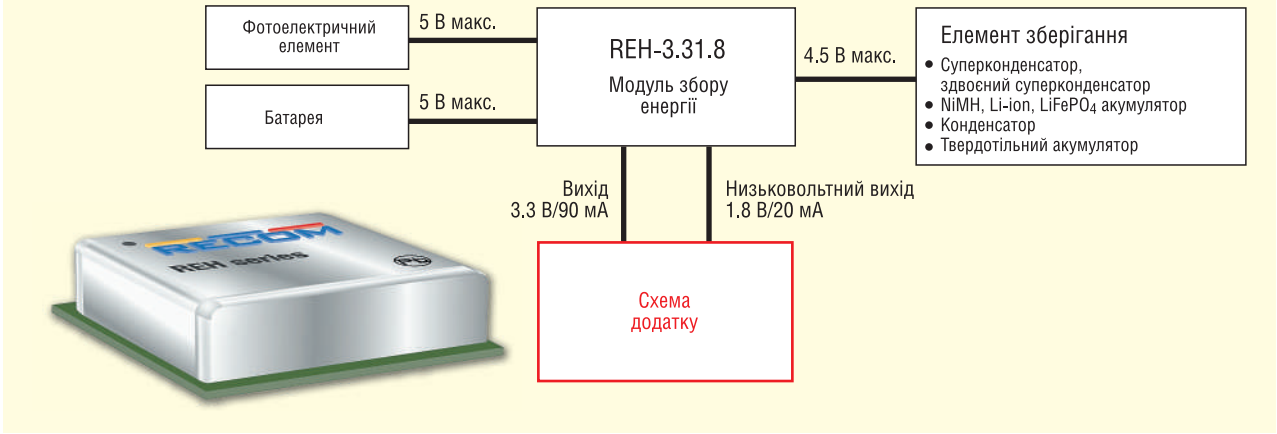


Рис. 6. **Зовнішній вигляд та схема підключення модуля збору енергії REH-3.31.8 компанії RECOM**

виходом, розроблений в основному для фотоелектричних елементів, але працює і від інших джерел, що забезпечують напругу не менше 50 мВ. Цей унікальний компактний модуль розміром 12.19 × 12.19 мм містить усі елементи, необхідні для роботи системи збирання енергії, а також включає функціонал відстеження точки максимальної потужності для фотоелемента. Для його практичного застосування потрібно додати лише елемент зберігання зібраної енергії — акумулятор або суперконденсатор (докладно про суперконденсатори та їх використання в [8]) і підключити відповідний до завдання елемент збору енергії, наприклад, фотоелектричний елемент. Два захищені від короткого замикання виходу (1.8 В/20 мА і 3.3 В/80 мА) можуть бути включені незалежно один від одного. Про те, що накопиченої енергії недостатньо для продовження роботи і модуль швидко відключиться, спеціально передбачений сигнал статусу інформує кінцевий застосунок.

REH-3.31.8 — це повноцінний модуль живлення зі збором енергії, для роботи якого потрібне лише саме джерело енергії та елемент зберігання. Вибір модуля вивільняє час розробника для вирішення інших нагальних завдань — наприклад, вибір оптимальної сонячної батареї для існуючих умов освітленості, підстроювання резонансної частоти для віброгенератора або для експериментів з ємністю суперконденсатора або акумулятора для

ПРО КОМПАНІЮ RECOM

*Штаб-квартира компанії **RECOM** розташована в самому серці Європи, у мальовничому місті Гмунден, в оточенні австрійських Альп. У цьому надихаючому місці інженери RECOM розробляють нові ідеї, щоб зробити стандартні та замовні перетворювачі, а також інноваційні архітектури для платформних рішень ще ефективнішими та надійнішими, просуваючи концепцію модульної розподіленої архітектури електроживлення. Продукція RECOM вже довела свою успішність у всіх галузях електроніки — від промислової автоматизації та енергетики до електротранспорту, від контрольно-вимірювальної апаратури та залізничних систем до медицини, «Інтернету речей» та автомобілебудування. Три стовпи успіху компанії — інноваційні продукти, підтримка замовників та велика глобальна дистриб'юторська мережа, що дозволяє отримати доступ до перетворювачів енергії від RECOM менш ніж за 48 годин по всьому світі. Компанія не тільки забезпечує своїх клієнтів першокласними рішеннями в галузі електроживлення, а й здійснює підтримку з питань використання та вибору найбільш відповідних рішень у цій галузі.*

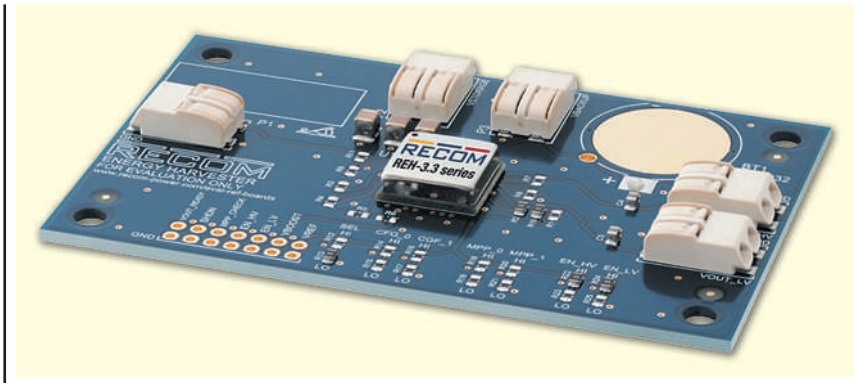


Рис. 7. Налагоджувальна плата REH-3.31.8-EVM-1 для оцінки модуля REH-3.31.8 компанії RECOM

забезпечення безперебійної роботи «24 × 7».

Основні технічні характеристики модуля REH-3.31.8:

- Вхідна напруга: 0.05–5 В.
- Запуск за напруги: від 380 мВ.
- Вихідні напруги:
  - 1.8 В, при струмі навантаження до 20 мА;
  - 3.3 В при струмі навантаження до 80 мА.

Для підтримки замовників компанія RECOM випустила налагоджувальну плату REH-3.31.8-EVM-1 [7] із вставними роз'ємами для підключення джерела енергії, елемента зберігання та приєднання навантаження до напруги 3.3 та 1.8 В. Зовнішній вигляд плати наведено на рисунку 7. На платі передбачені установчі майданчики утримувача батареї CR2032, якщо в системі потрібна резервна батарея. За допомогою REH-3.31.8-EVM-1 можна налаштувати та протестувати роботу всіх функцій модуля REH-3.31.8 — вибір елемента зберігання (акумулятор або суперконденсатор), встановлення порога переходу на резервну батарею та незалежне включення виходів 1.8 та 3.3 В. Усі вхідні та вихідні сигнали можна виміряти у тестових точках.

П'ять переваг використання модуля RECOM:

1. Готовність до використання. REH-3.31.8 є протестованим рішенням для SMD-монтажу розміром 12.2 × 12.2 × 3.75 мм у металевому корпусі. Для побудови закінченого рішення потрібні лише джерело енергії та елемент зберігання.
2. Простота збирання. Майданчики корпусу LGA забезпечують просте та надійне паяння навіть на бюджетну друковану плату, яка може бути як одно-, так і двосторонньою. Металевий корпус спрощує роботу автомата установки, а з необхідних компонентів потрібен лише один модуль.
3. Швидке виведення на ринок. Розпочати розробку протягом одного дня. Дистриб'юторська мережа компанії RECOM допоможе організувати постачання виробництва у найкоротші терміни.
4. Простота налагодження та експериментів. Налагоджувальна плата REH-3.31.8-EVM-1 дозволяє експериментувати з різними джерелами енергії та елементами зберігання для оптимального вибору для конкретних умов експлуатації.
5. Просте оновлення. Якщо потрібний ефективніший модуль збирання енергії, вставні роз'єми дозволяють зробити заміну за лічені секунди. Після тестування нову перевірену конфігурацію можна використовувати у серійному виробництві.

ВИСНОВОК

Враховуючи темпи розвитку технології «Інтернету речей», систем «розумного» будинку та сенсорних мереж підприємств, поширення бездротових датчиків відбувається у геометричній прогресії. Відповідно, нагальною проблемою вже на нинішньому етапі стає їхнє електроживлення. Радикально скоротити обсяги застосування хімічних джерел струму як основного елемента електроживлення таких датчиків може використовувати приймання та накопичення вільної енергії. У цьому напрямку головну роль відіграватимуть високоефективні завершені модулі з низьким власним енергоспоживанням та широкими функціональними можливостями. Прикладом таких модулів є спільна програма компаній e-peas і RECOM.

Література:

1. How to Make a Device Self-rechargeable With the RECOM Energy Harvesting Module. www.e-peas.com/news/how-to-make-a-device-self-rechargeablewith-the-recom-energy-harvesting-module/
2. Рентюк В. Новые технологии для выработки «голубой энергии» // Control Engineering Россия. 2020. Апрель.
3. www.e-peas.com/company/
4. www.recom-power.com
5. AEM10941 Solar Energy Harvesting. www.e-peas.com/product/aem10941/
6. REH Series. www.recom-power.com/ru/rec-s-REH.html?0
7. REH-3.31.8-EVM-1. www.recom-power.com/ru/rec-p-REH-3.31.8-EVM-1.html?0
8. Рентюк В. Конденсаторы и суперконденсаторы: базовые принципы, применение и преимущества // Компоненты и технологии. 2016. № 7.
9. Eid A., Hester J. G. D., Manos M. Tentzeris 5G як бездротовий Power Grid. www.nature.com/articles/s41598-020-79500-.pdf
10. Zheng J., Cai Y., Shen X., Zheng Z., Yang W. Green energy optimization in energy harvesting wireless sensor networks // IEEE Communications Magazine. 2015. Vol. 53. Iss. 11.

ПРО КОМПАНІЮ E-PEAS

*Компанія із смішною назвою **e-peas** (дослівно: «електронна горошина») зі штаб-квартирою в Мон-Сен-Гіберт, Бельгія, заснована у грудні 2014 року, розробляє та продає сучасні напівпровідникові технології із наднизьким енергоспоживанням. За допомогою цих рішень розробники промислових систем та бездротових пристроїв «Інтернету речей» можуть суттєво продовжити термін служби під час роботи від батарей та усунути витрати на їх заміну без шкоди надійності. Спираючись на 15-річні дослідження, у тому числі 10 років наукової роботи в Лувенському католицькому університеті (UCLouvain — Université catho liquede Louvain), та запатентовану інтелектуальну технологію, фахівці компанії створили продукти, що дозволяють значно знизити загальне енергоспоживання у вузлах бездротових датчиків. У 2018 році компанія була визнана стартапом року, а у 2019-му отримала нагороду «Найкраща революційна інновація року». В даний час компанія e-peas відкрила додаткові офіси в Швейцарії та США та випускає широкий спектр інтегральних схем управління живленням, мікроконтролерів та датчиків.*

CN

RECOM

www.recom-power.com

RPxx-RW – DC/DC-перетворювачі з вихідною потужністю 75…240 Вт для систем підвищеної надійності

Малі габаритні розміри, високий ККД, відповідність стандартам UL-60950, EN50155 и EN60950 – основні вимоги до обладнання залізничного транспорту, яким відповідають перетворювачі серій RPxx-RW.

Перетворювачі RPxx-RW розраховані на роботу **в діапазоні температур від -40 до 85° С без зниження вихідної потужності**

RPxxH-RW

RPxxQ-RW

Перетворювачі серій RP75H-RW, RP90Q-RW, RP100H-RW, RP120Q-RW, RP180H-RW и RP240H-RW мають базову основу з кріпильними отворами для застосування в обладнанні, що піддається впливу значних вібрацій

- ККД до 93%
- вхідна напруга 24 (9...36), 48 (18...75), 110 (43...160) В
- вихідна напруга 5, 12, 15, 24 або 48 В

VD MAIS ДИСТРИБ'ЮЦІЯ + КОНТРАКТНЕ ВИРОБНИЦТВО – офіційний дистриб'ютор компанії Recom в Україні

тел.: (044) 220-0101, (057) 719-6718, (0562) 319-128, (062) 385-4947, (032) 245-5478, (050) 423-8150 , (048) 734-1954, info@vdmais.ua, www.vdmais.ua

RPX: надкомпактні силові модулі у корпусі QFN

- Неізольовані понижуючі DC/DC-перетворювачі з інтегрованою котушкою індуктивності у SMD-корпусі
- Версії з виходом 1, 1.5 або 2.5 А
- Діапазон вхідних напруг 4 ... 36 В
- Вихідна напруга 0.8 ... 30 В, програмується вихідними резисторами
- Високий ККД у широкому діапазоні навантажень (5 ... 100% від номінального)
- Оптимізоване тепловідведення дозволяє працювати з 100% навантаженням за температури до +105 °С
- Повний спектр вбудованих захистів: від к.з., перевантаження, перегріву, просідання напруги
- Мінімальні вимоги до зовнішнього фільтру ЕМП для забезпечення вимог класу А або В

RECOM

VD MAIS ДИСТРИБ'ЮЦІЯ + КОНТРАКТНЕ ВИРОБНИЦТВО – офіційний дистриб'ютор в Україні продукції RECOM.

info@vdmais.ua, www.vdmais.ua

Київ • Львів • Одеса • Харків • Запоріжжя • Дніпро

Імпульсні блоки живлення універсального застосування серій LM/LMF та LI/LIF компанії MORNSUN

Володимир Рентюк

Що краще: розробити та виготовити або купити вже готовий, налаштований та випробуваний пристрій, з усіма необхідними сертифікатами та гарантіями? «Питання, звичайно цікаве ...», але для імпульсних AC/DC-блоків живлення, особливо з потужністю від 30 Вт і вище, практично завжди вирішується на користь останнього — купити. Але якщо купити, що саме? Не для всіх застосувань підходить «подешевше». У запропонованій статті автор намагатиметься дати відповідь, представивши продукцію одного з провідних виробників імпульсних блоків живлення компанії MORNSUN. Перевага цього виробника та постачальника в тому, що він не тільки пропонує широку гаму сучасних блоків живлення індустріального класу, але й гарантує відмінне співвідношення ціни та якості.

ВСТУП

Компанія з поетичною назвою MORNSUN (Morning Sun — «ранкове сонце») заснована в 1998 році. Її повна назва — «Науково-технологічна компанія MORNSUN» (MORNSUN Guangzhou Science & Technology Co., Ltd.) [1] — повністю себе виправдовує. Це один із небагатьох виробників блоків живлення, який завдяки наявності власної бази з чотирьох дослідницьких центрів має незалежні права інтелектуальної власності на інтегральні схеми, інноваційну конструкцію трансформаторів, систему збирання та дизайн своїх продуктів. За останні 23 роки компанія MORNSUN подала понад 900 патентних заявок на винаходи. Керуючись принципом обслуговування «гідні довіри», компанія відкрила свої філії у США та ФРН та розширила дистриб'юторську мережу на більш ніж 40 країн. Більшість вироблених компанією виробів знаходить застосування у промислових галузях, і навіть у транспортній, енергетичній сферах та медицині. Компанія націлена на випуск якісної, а не дешевої (у прямому та переносному сенсі) продукції.

Як виробник блоків живлення, китайська компанія MORNSUN, яка з 2008 року вже міцно закріпилася на нашому ринку, може запропонувати оптимальні рішення — від модулів потужністю 15 Вт до 1000-Вт блоків живлення. У цьому діапазоні компанія має великий вибір пристроїв з універсальним і розширеним діапазоном вхідної напруги, збільшеним індустріальним діапазоном робочих температур і виконанням вимог щодо безпеки та електромагнітної сумісності (EMC) (посібник з вибору [6]). Пропоновані компанією MORNSUN імпульсні блоки живлення минулих та нових поколінь (покоління позначаються індексом R у назві: наприклад, R2 — це друге покоління) оптимальні для найширшого спектру галузей, таких як промислова автоматизація, контрольно-вимірювальні прилади, зарядні станції, системи світлодіодного освітлення, електротехнічне обладнання, електропостачання систем «розумного» будинку, «Інтернет речей», медицина тощо. Більшість продуктів компанії MORNSUN отримали сертифікати категорій UL, PЄ, CSA, CB та DoE рівня V1.

Стаття знайомить читачів із двома пропонованими компанією MORNSUN серіями імпульсних блоків живлення індустріального класу — LM/LMF та LI/LIF. Особливість блоків живлення цих серій з індексом F — вбудований коректор коефіцієнта потужності (ККМ). При мінімальному збільшенні ціни cosφ блоку підвищується приблизно з 0.6 до 0.94, що скорочує втрати електроенергії та дає чимало переваг [3]. У ряді країн витрати на промислову електроенергію включають плату за коригування коефіцієнта потужності, крім того, нормативні вимоги щодо ККМ є в Європі та США.

Коригування коефіцієнта потужності підвищує ефективність витрати електроенергії, а сам коефіцієнт призначений для представлення ефективності електронних продуктів по відношенню до електрики. Чим більший коефіцієнт потужності, тим вища ефективність використання електроенергії. Окрім суто енергетичного виграшу, корекція ККМ забезпечує менший рівень перешкод для електричного обладнання та менше забруднення електромережі. В іншому випадку наявність високочастотних гармонік призводить до зростання втрат, погіршення ізоляції та її прискореної деградації. Також перешкоди можуть впливати чи навіть порушувати систему комунікації обладнання.

ІМПУЛЬСНІ БЛОКИ ЖИВЛЕННЯ СЕРІЙ LM/LMF УНІВЕРСАЛЬНОГО ЗАСТОСУВАННЯ

Імпульсні блоки живлення серій LM/LMF компанії MORNSUN у кожусі для монтажу на шасі потужністю 15–1 000 Вт — це високотехнологічні продукти, призначені для найрізноманітніших застосувань, але орієнтовані насамперед на індустріальний сектор. Блоки виконані у вигляді конструкції, закритої кожухом, з вентиляційними отворами у стандартних форм-факторах з гвинтовими терміналами (рис. 1).

Блоки живлення серій LM/LMF мають визнані міжнародні сертифікати з безпеки та EMC та відповідають вимогам стандартів, у тому числі:

- За вимогами безпеки:
  - IEC/EN/UL 62368 (обладнання аудіо-, відео-, інформаційних та комунікаційних технологій);
  - IEC/EN 60335 (побутові та аналогічні електричні прилади);
  - GB4943 (безпека електронного обладнання в галузі аудіо-, відеоапаратури, обладнання інформаційних та комунікаційних технологій, Китай);
  - IEC/EN 61558 (безпека силових трансформаторів, блоків живлення, реакторів та аналогічних виробів).
- За рівнем випромінюваних електромагнітних перешкод — CISPR32/EN 55032 (переважно клас B).
- Неприйнятність електростатичних розрядів (ESD) — IEC/EN 61000-4-2 (контактний розряд ±6 кВ, повітряний розряд ±8 кВ).
- За стійкістю до випромінюваного радіочастотного електромагнітного поля — IEC/EN 61000-4-3 (10 В/м).
- За стійкістю до електричних швидких перехідних процесів (пачок) — IEC/EN 61000-4-4 (±2 кВ).
- За стійкістю до викиду напруги — IEC/EN 61000-4-5 (між фазою та нейтраллю ±2 кВ/між фазою/нейтраллю на «землю» ±4 кВ).
- За несприйнятливістю до кондуктивних збурень, індукованих радіочастотними полями, — IEC/EN 61000-4-6 (10 В с. к. з.).
- За стійкістю до провалів напруги, короткочасних переривань та змін напруги — IEC/EN 61000-4-11 (0%, 70%).

Примітка. *Для уточнення наявності сертифікатів та відповідності на конкретний виріб, зверніться до їх специфікацій.*

Рис. 1. Серія імпульсних AC/DC-блоків живлення LM/LMF компанії MORNSUN

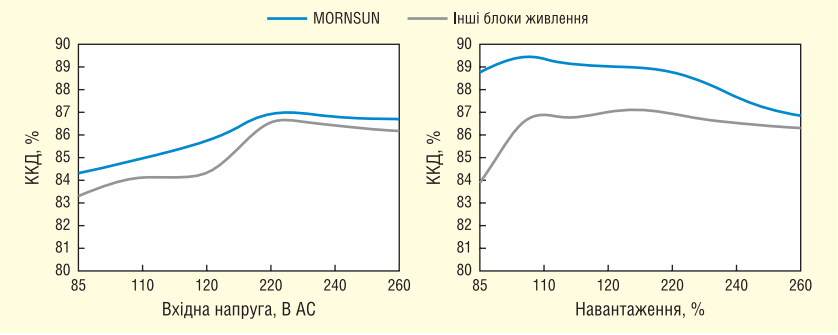


Рис. 2. Порівняння ККД блоків живлення компанії MORNSUN із типовими виробами, присутніми на ринку

Серія LM/LMF AC/DC імпульсних блоків живлення компанії MORNSUN представлена трьома групами:

- Для нестабільної електромережі: LM/LMF з вхідною напругою 85–305 В (AC)/120–430 В (DC), розрахованих на потужність 15–320 Вт.
- Для стабільної електромережі: LM/LMF з вхідною напругою 85–264 В (AC)/120–370 В (DC), розрахованих на потужність 35–1 000 Вт. Витримують вхідну напругу 300 В змінного струму протягом 5 с.
- З кількома вихідними напругами: LM/LMF на потужність 30–150 Вт.

Примітка. *Особливістю серій з індексом F є наявність вбудованого активного коректора коефіцієнта потужності (ККМ).*

Таблиця 1. Серія AC/DC імпульсних блоків живлення типу LM (V_{INmax} = 305 В) компанії MORNSUN

Найменування	Потужність, Вт*	Вихід	ККД, %
LM15-23Bxx	15	3.3 В/3 А; 5 В/3 А; 10 В/1 А; 12 В/1.3 А; 24 В/0.62 А; 48 В/0.32 А	83
LM25-23Bxx	25	3.3 В/6 А; 5 В/5 А; 12 В/2.1 А; 15 В/1.7 А; 24 В/1.1 А; 48 В/0.57 А	88
LM35-23Bxx	35	5 В/7 А; 12 В/3 А; 15 В/2.4 А; 24 В/1.5 А	87
LM50-23Bxx	50	5 В/10 А; 12 В/4.2 А; 15 В/3.4 А; 24 В/2.2 А; 36 В/1.45 А; 48 В/1.1 А	90
LM75-23Bxx	75	5 В/14 А; 12 В/6 А; 15 В/5 А; 24 В/3.2 А; 36 В/2.1 А; 48 В/1.6 А; 55 В/1.36 А	90.5
LM100-23Bxx	100	5 В/19 А; 12 В/8.5 А; 15 В/7 А; 24 В/4.5 А; 36 В/2.8 А; 48 В/2.3 А	91
LM150-23Bxx	150	12 В/12.5 А; 15 В/10 А; 24 В/6.5 А; 36 В/4.3 А; 48 В/3.3 А; 55 В/2.73 А	89

Примітка. * Точне значення перевіряйте у специфікації на конкретний виріб.

Таблиця 2. Серія AC/DC імпульсних блоків живлення типу LMF (V_{INmax} = 305 В) із ККМ компанії MORNSUN

Найменування	Потужність, Вт*	Вихід	ККД, %*
LMF75-23Bxx	75	5 В/14 А; 12 В/ 6 А; 15 В/5 А; 24 В/3.2 А; 48 В/1.6 А	88
LMF100-23Bxx	100	12 В/8.5 А; 15 В/6.7 А; 24 В/4.2 А; 48 В/2.1 А	87
LMF150-23Bxx	150	12 В/12.5 А; 15 В/10 А; 24 В/6.3 А; 48 В/3.2 А	85.5
LMF200-23Bxx	200	12 В/16.7 А; 15 В/13.4 А; 24 В/8.4 А; 36 В/5.6 А; 48 В/4.2 А	88
LMF200-23B05	200	5 В/40 А	85
LMF320-23Bxx	320	4 В/60 А; 5 В/60 А 12 В/27,6 А; 15 В/21,4 А; 24 В/13,4 А; 27 В/11,9 А; 48 В/6,7 А	84

Примітка. * Точне значення перевіряйте у специфікації на конкретний виріб.

Таблиця 3. Серія AC/DC імпульсних блоків живлення типу LM (V_{INmax} = 264 В) компанії MORNSUN

Найменування	Потужність, Вт*	Вихід	ККД, %*
LM35-20Bxx LM35-22Bxx	35	5 В/7 А; 12 В/3 А; 15 В/2.4 А; 24 В/1.5 А	88
LM35-22B12-DX	35	12 В/3 А	86
LM50-20Bxx LM50-22Bxx	50	5 В/10 А; 12 В/4.2 А; 15 В/3.4 А; 24 В/2.2 А; 36 В/1,45 А; 48 В/1.1 А	88
LM75-20Bxx LM75-22Bxx	75	5 В/15 А; 12 В/ 6.3 А; 15 В/5 А; 24 В/3.2 А; 48 В/1.6 А	91.5
LM100-20Bxx LM100-22Bxx	100	5 В/18 А; 12 В/8.5 А; 15 В/7 А; 24 В/4.5 А; 36 В/2.5 А; 48 В/2.3 А	91
LM150-20Bxx LM150-22Bxx	150	12 В/12.5 А; 15 В/10 А; 24 В/6.5 А; 36 В/4.3 А; 48 В/3.3 А	89
LM150-12M1224	150	Вихідну напругу можна перемикати між 12 В/12.5 А та 24 В/6.25 А	81/84
LM200-10Bxx LM200-12Bxx	200	5 В/30 А; 12 В/17 А; 15 В/14 А; 24 В/8.8 А; 36 В/5.9 А; 48 В/4.4 А	89.5
LM350-10Bxx LM350-12Bxx	350	5 В/60 А; 12 В/29 А; 15 В/23.2 А; 24 В/14.6 А; 36 В/9.7 А; 48 В/7.3 А	88 89
LM450-12Bxx	450	12 В/37.5 А; 15 В/30 А; 24 В/18.8 А; 27 В/16.7 А; 36 В/12.5 А; 48 В/9.4 А	88
LM600-12Bxx	600	12 В/50 А; 15 В/40 А; 24 В/25 А; 27 В/22.2 А; 36 В/16.6 А; 48 В/12.5 А	88

Примітка. * Точне значення перевіряйте у специфікації на конкретний виріб.

Таблиця 4. Серія AC/DC імпульсних блоків живлення типу LMF (V_{INmax} = 264 В) із ККМ компанії MORNSUN

Найменування	Потужність, Вт*	Вихід	ККД, %*
LMF75-20Bxx	75	5 В/15 А; 12 В/6.3 А; 15 В/5 А; 24 В/3.2 А; 48 В/1.6 А	88
LMF600-20Bxx	600	12 В/50 А; 15 В/40 А; 24 В/25 А; 27 В/22.3 А; 36 В/16.7 А; 48 В/12.6 А	94
LMF1000-20Bxx	1000	12 В/80 А; 15 В/64 А; 24 В/42 А; 27 В/37.3 А; 36 В/28.8 А; 48 В/21 А; 54 В/18.7 А + допоміжний вихід 5 В/2 А	94

Примітка. * Точне значення перевіряйте у специфікації на конкретний виріб.

Для імпульсних блоків живлення компанії MORNSUN, що розглядаються, гарантується висока надійність в діапазоні робочих температур –30... +70 °C (без зовнішнього підігріву). Всі блоки мають вбудований захист від перенапруги на виході з самовідновленням (технологія Hiccup; буквально: «гикавка», мається на увазі короткочасне періодичне включення блоку до зняття перевантаження) протягом не більше 2–5 с від короткого замикання на виході блоку, захист від стрибків струму перевантаження будь-якого з виходів та захист від перевищення вихідної напруги. Блоки можуть експлуатуватись на висотах до 5000 м над рівнем моря. Крім того, блоки живлення цих серій відрізняє низьке споживання струму в черговому режимі та високий ККД. Порівняння залежності ККД одного з імпульсних блоків живлення компанії MORNSUN (потужністю 75 Вт) з типовим виробом аналогічної потужності наявних на ринку показано на рисунку 2 [2].

У серії LM/LMF імпульсних блоків живлення з максимальною вхідною напругою 305 В (AC) представлено 67 позицій, які зведені в таблицях 1 і 2 відповідно. Для всіх блоків серії LM/LMF цього типу електрична міцність ізоляції між входом та виходом блоків живлення гарантується на рівні не нижче 4000 В змінного струму.

У серії LM/LMF імпульсних блоків живлення з максимальною вхідною напругою 264 В (AC) представлено 110 позицій, які зведені в таблицях 3 і 4

Таблиця 5. Серія AC/DC імпульсних блоків живлення LM компанії MORNSUN з кількома вихідними напругами

Найменування	Потужність, Вт[1]	Вхідна напруга		Вихід	ККД, %	Електрична міцність ізоляції, В
		V_{IN} (AC)	V_{IN} (DC)			
LM30-00J0512-03	30	85–264	100–370	+5 В/2 А; ±12 В/0.3 А; +24 В/0.5 А	83	2000
LM35-10Cxx[2]	35	85–264	100–370	5 В/3 А; ±12 В/1 А	81	3000
LM35-10Dxx[2]	35	85–264	100–370	+5 В/4 А; +12 В/1 А +5 В/2.2 А; +24 В/1 А	81 83	3000
LM50-10Cxx[2]	50	85–264	100–370	+5 В/4 А; +12 В/2 А; –12 В/0.5 А +5 В/4 А; +15 В/1.5 А; –15 В/0.5 А +5 В/3 А; +24 В/1 А; +12 В/1 А	81 83 85	3000
LM50-10Dxx[2]	50	85–264	100–370	+5 В/6 А; +12 В/2 А +5 В/4 А; +24 В/1.4 А	84	3000
LM50-10A122	50	85–264	100–370	±12 В/2.1 А	83	3000
LM60-12A15	60	165–264	180–370	±15 В/2 А	82	3000
LM65-10D0524-20[2]	65	90–264	120–370	+5 В/4 А; 24 В/2 А +5.1 В/4 А; 24 В/2 А	82	3000
LM75-10Cxx[2]	75	90–264	120–370	+5 В/6 А; +12 В/2.8 А; –12 В/0.5 А +5 В/6 А; +15 В/2.3 А; –15 В/0.5 А +5 В/5 А; +24 В/1.5 А; +12 В/1 А	82 82 84	3000
LM75-10Dxx[2]	75	90–264	120–373	+5 В/7 А; +12 В/3 А +5 В/5 А; +24 В/2 А	82 84	3000
LM90-12A15[3]	90	165–264	180–370	±15 В/3 А	82	3000
LM100-10Cxx[2]	100	90–264	120–370	+5 В/8 А; +12 В/3.5 А; –12 В/1 А +5 В/7 А; +15 В/3 А; –15 В/1 А +5 В/6 А; +24 В/2.2 А; +12 В/1.5 А	84 85 85	3000
LM100-10Dxx[2]	100	90–264	120–370	+5 В/5 А; +24 В/3 А +12 В/4 А; +24 В/2 А	85 87	3000
LM150-12A15[3]	100	165–264	180–370	±15 В/5 А	85	3000

Примітка. [1] Точне значення перевіряйте у специфікації на конкретний виріб.
[2] Витримує випробування на вібрацію 5g (49 м/с²).
[3] Знижений рівень пульсацій та шумів.

відповідно. Для всіх блоків серії LM/LMF цього типу електрична міцність ізоляції між входом та виходом блоків живлення гарантується на рівні не нижче 4000 В змінного струму. Блоки живлення серії LM з кількома вихідними напругами (26 позицій) зведені до таблиці 5.

Області застосування імпульсних блоків живлення LM/LMF компанії MORNSUN [4] (практичні приклади застосування доступні в [5]):

- Контроль та управління в промисловості, «розумне» виробництво:
  - інвертори;
  - розподілена система управління;
  - логічні контролери, що програмуються;
  - віддалені термінали;
  - робототехніка;
  - зварювальні апарати;
  - верстати з ЧПУ.
- Системи «розумної» будівлі:
  - турнікети;
  - автоматичні двері;
  - інформаційні екрани;
  - системи вентиляції, опалення та кондиціювання повітря.
- «Розумний» транспорт:
  - система електронного збору плати за проїзд;
  - турнікети;
  - світлодіодний індикатор трафіку.
- Захист навколишнього середовища:
  - системи моніторингу якості повітря/води/ґрунту;
  - устаткування для сортування сміття.
- Інше спеціальне обладнання:
  - поштові скриньки експрес-доставки;
  - торгові автомати;
  - точки зарядки напруги постійного струму;
  - різне медичне обладнання, в тому числі як один засіб захисту.

Для зручності споживачів при замовленні деяких типів імпульсних блоків живлення серії LM/LMF доступне конформне покриття друкованої плати (індекс Q), що оберігає її від вологи та забруднень, та наявність захисної кришки на терміналах (індекс C) для виключення випадкових коротких замикань по виходу. Креслення та повні технічні характеристики, включаючи графіки залежностей та допустиму ємність вихідного конденсатора, представлені у відповідних специфікаціях (datasheet), перехід до яких доступний через пошук на сайті компанії або через гіперпосилання у таблиці вибору продукту на сторінці [8].

ІМПУЛЬСНІ БЛОКИ ЖИВЛЕННЯ СЕРІЙ LI/LIF НА DIN-РЕЙКУ ДЛЯ ПРОМИСЛОВОЇ ТА ДОМАШНЬОЇ АВТОМАТИЗАЦІЇ

Серія LI/LIF AC/DC імпульсних блоків живлення від компанії MORNSUN потужністю 15–480 Вт є економічним та енергоефективним ультратонким рішенням для стандартної установки на DIN-рейку (рис. 3).

Серія LI/LIF AC/DC імпульсних блоків живлення компанії MORNSUN представлена трьома групами (посібник із застосування [7]):

- LI потужністю 75–100 Вт у металевому корпусі;
- LI потужністю 15–150 Вт у пластмасовому корпусі;
- LIF потужністю 120–480 Вт у металевому корпусі.

Примітка. *Особливістю серії з індексом F є наявність вбудованого активного коректора коефіцієнта потужності (ККМ).*

Для імпульсних блоків живлення з установкою на DIN-рейку компанії MORNSUN гарантується висока надійність в діапазоні робочих температур –30...+70 °C. Всі блоки мають вбудований захист із самовідновленням (технологія Hiccup), захист від перевищення струму, перевищення вихідної напруги та температури. Блоки можуть експлуатуватись на висотах до 5000 м над рівнем моря. Крім того, блоки живлення цих серій відрізняє низьке споживання струму в черговому режимі і високий ККД, допускається підключення на ті самі вхідні термінали вхідних напруг як змінного, так і постійного струму. У цих серіях є блоки живлення з розширеним діапазоном вхідної напруги, що дозволяють використовувати їх в умовах нестабільної електромережі. Усі блоки живлення серій LI/LIF мають вбудований світлодіодний індикатор увімкнення.

Імпульсні блоки живлення серій LI/LIF компанії MORNSUN мають визнані міжнародні сертифікати з безпеки та EMC та відповідають вимогам стандартів, у тому числі:

- За вимогами безпеки:
  - IEC/EN/UL 62368-1 (обладнання аудіо-, відео-, інформаційних та комунікаційних технологій);
  - IEC/EN 60335 (побутові та аналогічні електричні прилади);
  - UL 508 (прилади промислових систем управління та установок);
  - GB4943 (безпека електронного обладнання в галузі аудіо-, відеоапаратури, обладнання інформаційних та комунікаційних технологій, Китай);
  - IEC/EN 61558 (безпека силових трансформаторів, блоків живлення, реакторів та аналогічних виробів).
- За рівнем випромінюваних електромагнітних перешкод CISPR32/EN 55032 CLASS B.
- Неприйнятність електростатичних розрядів (ESD) — IEC/EN 61000-4-2 (контактний розряд ±6 кВ, повітряний розряд ±8 кВ).
- За стійкістю до випромінюваного радіочастотного електромагнітного поля — IEC/EN 61000-4-3 (10 В/м).
- За стійкістю до електричних швидких перехідних процесів (пачок) — IEC/EN 61000-4-4 (±2 кВ).
- За стійкістю до викиду напруги — IEC/EN 61000–4-5 (між фазою та нейтраллю ±2 кВ/між фазою/нейтраллю на «землю» ±4 кВ).
- За несприйнятливістю до кондуктивних збурень, індукованих радіо-

Рис. 3. Серія AC/DC імпульсних блоків живлення LI/LIF компанії MORNSUN

Таблиця 6. Серія AC/DC імпульсних блоків живлення типу LI потужністю 75–100 Вт компанії MORNSUN, виконаних у металевому корпусі на DIN-рейку

Найменування	Потужність, Вт[1]	Вхідна напруга		Вихід	ККД, %	Електрична міцність ізоляції, В
		V_{IN} (AC)	V_{IN} (DC)			
LI75-20Bxx LI75-20BxxR2S	75	90–264	120–370	12 В/6.3 А; 24 В/3.2 А; 48 В/1.6 А	86, 89, 90	4000
LI120-20BxxR2	120	90–264	127–370	12 В/10 А; 24 В/5 А; 8 В/2.5 А	85, 88, 89	4000
LI120-13Bxx	120	85–305	100–430	12 В/10 А; 24 В/5 А	89, 81	3000
LI120-20BxxR2S	120	90–264	127–370	12 В/10 А; 24 В/5 А; 48 В/2.5 А	85, 88, 89	4000
LI150-13B29[2]	150	85–305	100–430	29 В/5.2 А	85	3000

Примітка. [1] Точне значення перевіряйте у специфікації на конкретний виріб.
[2] Морське виконання, допускається застосування в електрифікованому газовому обладнанні, стійке до соляного туману

Таблиця 7. Серія AC/DC імпульсних блоків живлення типу LI потужністю 15–150 Вт компанії MORNSUN, виконаних у пластмасовому корпусі на DIN-рейку

Найменування	Потужність, Вт[1]	Вхідна напруга		Вихід	ККД, %[1]
		V_{IN} (AC)	V_{IN} (DC)		
LI15-20BxxPR2	15	85–264	120–370	5 В/2.4 А; 12 В/1.25 А; 15 В/1 А; 24 В/0.63 А; 48 В/0.32 А	87
LI30-20BxxPR2[2]	30	85–264	120–370	5 В/3 А; 12 В/2 А; 15 В/2 А; 24 В/1.5 А; 48 В/0.75 А	90
LI60-20BxxPR2[2]	60	85–264	120–370	5 В/6.5 А; 12 В/4.5 А; 15 В/4 А; 24 В/2.5 А; 48 В/1.25 А	91
LI100-20BxxPR2[2]	110	85–264	120–370	12 В/7.5 А; 15 В/6.5 А; 24 В/4.2 А; 48 В/2.1 А	90
LI150-20BxxPR2	150	85–264	120–370	12 В/11.3 А; 15 В/9.5 А; 24 В/6.25 А; 48 В/3.2 А	91.5

Примітка. [1] Точне значення перевіряйте у специфікації на конкретний виріб.
[2] Витримують вхідну напругу 300 В змінного струму протягом 5 с.

Таблиця 8. Серія AC/DC імпульсних блоків живлення компанії MORNSUN типу LIF з ККМ потужністю 120–480 Вт, виконаних у металевому корпусі на DIN-рейку

Найменування	Потужність, Вт[1]	Вхідна напруга		Вихід	ККД, %[1]
		V_{IN} (AC)	V_{IN} (DC)		
LIF120-10BxxR2	120	85–264	120–370	12 В/10 А; 24 В/5 А; 48 В/2.5 А	94
LIF120-10BxxR2S-EX	120	85–264	120–370	12 В/10 А; 24 В/5 А; 48 В/2.5 А	93,5
LIF240-10BxxR2[2]	240	85–264	120–370	12 В/16 А; 24 В/10 А; 48 В/5 А	94
LIF240-10BxxR2S[2]	240	85–264	120–370	12 В/16 А; 24 В/10 А; 48 В/5 А	94
LIF480-10BxxR2	480	85–264	120–370	24 В/20 А; 48 В/10 А	94

Примітка. [1] Точне значення перевіряйте у специфікації на конкретний виріб.
[2] 150% пікового навантаження на виході протягом 3 с.

частотними полями, — IEC/EN 61000-4-6 (10 В с. к. з.).

- За стійкістю до провалів напруги, короткочасних переривань та змін напруги — IEC/EN 61000-4-11 (0%, 70%).

Примітка. *Щоб дізнатися про наявність сертифікатів та відповідності на конкретний виріб, зверніться до їх специфікацій.*

У серії LI імпульсних блоків живлення потужністю 75–100 Вт із установкою на DIN-рейку, виконаних у металевому корпусі, представлено 15 позицій, які зведені до таблиці 6. У серії LI імпульсних блоків живлення потужністю 15–150 Вт з установкою на DIN-рейку, виконаних у пластмасовому корпусі, представлено 23 позиції, зведені в таблицю 7. Електрична міцність ізоляції всіх блоків живлення цього типу не нижче 4000 В змінного струму.

У серії LIF імпульсних блоків живлення потужністю 120–480 Вт з ККМ, виконаних у металевому корпусі під установку на DIN-рейку, представлено 14 позицій, які зведені в таблицю 8. Електрична міцність ізоляції всіх блоків живлення цього типу не нижче 3000 В змінного струму.

Області застосування імпульсних блоків живлення LI/LIF компанії MORNSUN [4] (практичні приклади доступні в [5, 9]) — це промислова автоматизація, машинобудування, шафи управління, енергетика, шафи управління автоматизації будівель та споруд тощо. Переваги використання блоків живлення LI/LIF:

- встановлення у стандартні шафи;
- є варіанти у металевих корпусах;
- установка без свердління;
- для підключення не використовується паяння;
- проста заміна;
- регульована вихідна напруга, компенсація втрат у лінії;
- звичне для індустріального середовища виконання та дизайн, що не потребують переробки наявного проєкту.

Креслення та повні технічні характеристики, включаючи графіки залежностей та допустиму ємність вихідного конденсатора, доступні у відповідних специфікаціях (datasheet), перехід до яких можливий через пошук на сайті компанії або через гіперпосилання у таблиці вибору продукту на сторінці [8]. Враховуючи характеристики розглянутих продуктів серії LI/LIF, найцікавішими для ринку можуть бути імпульсні блоки живлення наступних варіантів виконання: LI30, LI60, LI100, LI75, LIF120, LIF240, LIF480.

Далі буде

Література:

1. www.youtube.com/watch?v=aY32-kXf8QY
2. www.edgeelectronics.com/media/pdf/mornsun_enclosed_acdc_flyer.pdf
3. AC DC Enclosed Power Supply (з PFC) // MORNSUN. Overseas FAE Dep. 2020. No. 1.
4. www.mornsun-power.com/html/support-detail/516.html
5. Enclosed AC DC Convertor Introduction and Typical Application. MORNSUN Science & Technology Co., Ltd.
6. Enclosed Switching Power Supply Selection Guide (2021). www.mornsun-power.com/public/uploads/enfiles/mornsun_enclosed_switching_power_supply_selection_guide_(2021).pdf
7. MORNSUN Enclosed & DIN-rail AC DC Convertor Application Guide (2020). www.mornsun-power.com/public//uploads/enfiles/mornsun_enclosed_&_din-rail_acdc_converters_application_guide_(2020).pdf
8. AC/DC Enclosed SMPC. www.mornsun-power.com/html/products/19/enclosed-smps.html
9. MORNSUN LI AC-DC introduction AC DC-LI series // MORNSUN, 2020.
10. www.mornsun-power.com/html/products.html
11. www.mornsunpower.ru/html/products.html
12. AC DC Enclosed Power Supply (without PFC). MORNSUN, Overseas FAE Dep. 2021.
13. Рентюк В. Организация питания индустриальных компьютеров от шин напряжения постоянного тока // Компоненты и технологии. 2015. №2.

MORNSUN®

AC/DC Converter · DC/DC Converter · Transceiver Module · Isolation Amplifier

IGBT Driver · LED Driver · EMC Auxiliary Device

MORNSUN®

MORE THAN RELIABILITY

Офіційні поставки в Україні від компанії «НВП ЄВРОКОМ КОМПОНЕНТС»

EUROCOM COMPONENTS

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

Високоефективні мікроконтролери компанії Renesas Electronics Corporation

Ігор Гук

Історія Renesas Electronics Corporation, яка виготовляє напівпровідникові компоненти, бере відлік з 2003 р. зі створення компанії Renesas Technology. Згодом до неї були приєднані NEC, Intersil та IDT. Її головний офіс знаходиться в Токіо, а представництва та виробництво розосереджені більш ніж у 20 країнах [1]. Компанія — один із світових лідерів із випуску мікросхем різного типу. В даний час вона активно розробляє технологію SOTB (silicon-on-thin-buried-oxide — кремній на ізолюючому оксидному шарі), впроваджує та виробляє мікроконтролери на її основі. В статті розглянемо основні види продукції, яку виробляє компанія в даний час.

Компанія Renesas пропонує широкий асортимент напівпровідникових приладів та супутнього програмного забезпечення, у тому числі інтегрованих середовищ розробки мікроконтролерів.

Головний напрямок у виробничій діяльності — це мікроконтролери та мікропроцесори. Сімейства чипів, що випускаються, охоплюють широкий спектр застосувань, дозволяючи користувачам реалізовувати гнучкі рішення, які легко можна масштабувати під вимоги конкретного завдання.

Компанія не тільки виробляє процесори, але й забезпечує надійну систему підтримки, яка допомагає знизити витрати та скоротити час, необхідний для розробки. Renesas Electronics пропонує різноманітні програмні та апаратні інструменти, включаючи продукти інших компаній, а також велику технічну документацію та бібліотеки програмного коду. Крім цього, підтримуються різні форуми та користувальницькі спільноти, де можна отримати консультацію та допомогу активних розробників.

Технологічні процеси, освоєні компанією Renesas, по-перше, дозволяють інтегрувати в чіпи флеш-пам'ять великого обсягу та забезпечити високу надійність роботи під час експлуатації в екстремальних умовах. А флеш-пам'ять Renesas, вироблена за патентованою технологією MONOS, є найшвидшою у світі та передбачає роботу ядра мікроконтролера на частоті 120 МГц без циклів зупинки.

По-друге, компанія освоїла технологію виробництва напівпровідників SOTB (silicon-on-thin-buried-oxide — кремній на тонкому поглибленому оксидному шарі), яка дозволяє реалізувати мікроконтролери з дуже низьким енергоспоживанням. Цього вдалося досягти за рахунок поєднання двох технологій: КМОП та «кремній на діелектрику» [2]. На рисунку 1 показана структура польового транзистора, виготовленого за цією технологією. Тонкий шар оксиду кремнію знаходиться між транзисторними структурами та кремнієвою підкладкою. До цього шару, для додаткового зниження струмів витоку, прикладено негативний потенціал. Канали польового транзистора виготовляються із чистого кремнію, щоб мінімізувати розкид параметрів, при цьому він досить тонкий, що забезпечує мінімально можливу напругу живлення.

Пристрої, реалізовані на процесорах, виготовлених за технологією SOTB, демонструють значно більш низьке енергоспоживання як в активному режимі роботи, так і в режимі очікування порівняно з пристроями, що використовують традиційні мікроконтролери (якісна оцінка дана в табл. 1).

Технологія SOTB дозволяє розробляти надзвичайно малопотужні пристрої, оптимальні для безперервного контролю різних параметрів — наприклад, температури, швидкості транспортування та іншого. Такі пристрої поєднують високу продуктивність обробки даних та великі розміри пам'яті на кристалі для зберігання даних та коду додатків. При цьому для роботи достатньо енергії, зібраної з навколишнього середовища, без використання додаткової батареї.

Компанія Renesas випускає широкий спектр продукції, що призначена для застосування у різних галузях промислового виробництва. Наприклад, Renesas інвестує в такі ключові технології автомобільного ринку, як захист навколишнього середовища від автомобільних викидів, безпека водіння, відображення інформації, різні датчики тощо. Ці зусилля не пропали даремно та привели компанію до лідируючих позицій в області розробки та виготовлення потужності, сучасних прецизійних аналогових мікросхем, модулів балансування осередків акумуляторів, енергоефективних аудіопідсилювачів класу D та дуже гнучких контролерів TFT-дисплеїв.

Варто додати, що, незважаючи на звичайну закритість автомобільних продуктів для широкого ринку, сімейства RH850F1K та група RL78F1x доступні всім замовникам у

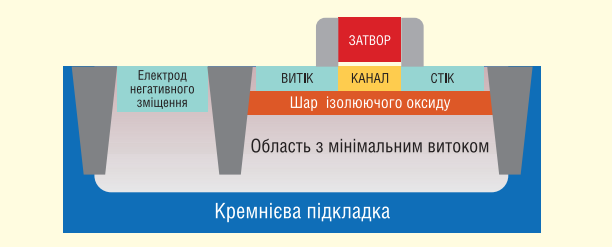


Рис. 1. Структура SOTB-транзистора

Таблиця 1. Порівняльна характеристика технології SOTB

Технологія		Максимальна частота		Струм в активному режимі		Струм у режимі очікування	
		Вище	Нижче	Великий	Малий	Великий	Малий
Звичайна	Великий розмір		+	+			+
	Малий розмір	+			+	+	
SOTB		+			+		+

світі. Пропоновані рішення забезпечують підтримку основних сучасних інтерфейсів, таких як CAN-FD та Ethernet AVB, та відповідають стандарту ISO26262 ASIL-B.

Ще один напрямок розвитку компанії Renesas — виробництво аналогових компонентів. Випускається широкий спектр прецизійних мікросхем нового покоління, призначених для побудови медичних приладів, комунікаційних та промислових систем керування технологічними процесами, де висока продуктивність та висока точність займають центральне місце поряд з інноваціями та надійністю.

Renesas пропонує широкий асортимент аналогових блоків загального призначення, на основі яких можна досить швидко та просто проєктувати пристрої обробки аналогових сигналів. На рисунку 2 показано умовну схему аналогового тракту, де кольором відзначені модулі, які можна побудувати на продукції Renesas.

У портфоліо компанії представлено велику номенклатуру інтерфейсних мікросхем. Renesas пропонує контролери, що забезпечують ефективне та надійне керування промисловими об'єктами, реалізацію мережевих рішень і збір даних для прикладних програм — це і приймачі-передавачі різних протоколів, перетворювачі рівнів напруги, буфери I^2C, приймачі-передавачі RS 232/485/422, що володіють високим захистом від різних перешкод.

Renesas випускає широкий асортимент малопотужних чипів SRAM, при цьому забезпечує їхню високу надійність, стабільну роботу та тривалий термін експлуатації, що робить їх відмінним вибором для промислового застосування. Також у портфелі компанії представлені мікросхеми SRAM QDR і LLDRAM, які оптимальні для високошвидкісних систем обробки даних, що вимагають пам'яті, здатної функціонувати на дуже високих робочих частотах та мають низькі затримки. Нещодавно Renesas почав виробляти енергонезалежну магніторезистивну пам'ять (MRAM) у двох виконаннях — Ultra Low Power (10 МГц, SPI) та High Performance (108/54 МГц, QSPI).

У каталозі продукції представлені вироби оптоелектроніки. Renesas пропонує широкий спектр оптико-електронних пристроїв, у тому числі вихідні фото-з'єднувачі (оптрони), що забезпечують швидкість передачі 1–15 Мбіт/с, а також вихідні транзисторні пристрої загального призначення з високою напругою ізоляції, здатні працювати в умовах високої температури при виконанні вимог міжнародних стандартів безпеки. Пропонуються рішення і для побудови моторних приводів, що забезпечують високу напругу пробою ізоляції, роботу за високих температур, великі вихідні струми та високошвидкісне перемикання.

Для комплексного вирішення поставлених перед розробником завдань компанія надає не тільки мікроконтролери та аналогові мікросхеми, а й мікросхеми для побудови систем живлення — від простих лінійних регуляторів та аналогових синхронних DC/DC-перетворювачів до мультифазних цифрових контролерів живлення на струми до 1000 А, які використовуються для живлення сучасних FPGA або ASIC мікросхем для додатків штучного інтелекту.

Нарешті, Renesas пропонує широкий вибір промислових кварцових та тактових генераторів, RC-генераторів, мікросхем синхронізації та чипів з годинником реального часу.

Слід зазначити, що Renesas має багату історію та позитивний досвід роботи в оборонній та космічній промисловості, починаючи з заснування компанії Radiation, Inc. в 1950 році.

Дещо докладніше розглянемо, які мікроконтролери випускає Renesas. У першому наближенні можна виділити дві продуктові лінійки: мікроконтролери та мікропроцесори на основі ядра ARM Core та на основі ядер Renesas.

Процесори, що використовують ARM ядро, включають такі сімейства:

- Renesas RZ — високопродуктивні 64/32-бітні мікроконтролери на базі ARM з максимальною тактовою частотою 1/5 ГГц;
- Renesas RA — універсальні 32-бітні мікропроцесори з ядром ARM Cortex-M33/23/4 з максимальною тактовою частотою 200 МГц;
- Renesas Synergy — масштабована програмно-апаратна мікроконтролерна платформа на базі ядер CortexM4/M0+ з максимальною тактовою частотою 240 МГц, в яку включено комерційне ПЗ від Express Logic (тепер належить Microsoft), що поставляється спільно з мікроконтролером (навіть від 1 шт.);
- RE — мікроконтролери з наднизьким енергоспоживанням на основі технології Silicon on Thin Buried Oxide (SOTB), здатні працювати на частотах до 64 МГц за напруги живлення 1.62 В і з максимальною тактовою частотою 64 МГц.

У лінійку на основі ядер Renesas включені сімейства:

- Renesas RX — це чотири серії продуктів на базі 32-розрядного ядра RX: флагманська серія RX700 з найшвидшою продуктивністю і найпередовішим функціоналом; стандартна серія RX600; серія RX200, що забезпечує оптимальний баланс енергоефективності та високої продуктивності; серія початкового рівня RX100 із надзвичайно низьким енергоспоживанням;
- Renesas RL78 — енергоефективні 16-розрядні мікроконтролери, що мають широкий набір вбудованих модулів, таких як високоточний генератор, Flash-пам'ять, датчик температури, інтерфейси для декількох джерел живлення тощо;

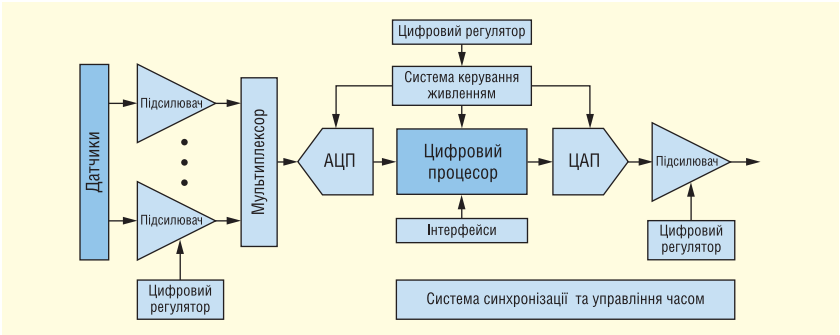


Рис. 2. Продукція Renesas в аналоговому тракті

Таблиця 2. Характеристики мікроконтролерів сімейства Renesas RE

Група	Flash, кбайт	RAM, байт	Кількість виводів	Напруга живлення, В	Максимальна частота, МГц	Особливості
RE01 1500KB	1536	256	100–156	1.62–3.6	64	Схема керування збором енергії, 14-бітове АЦП наднизького споживання (4 мкА), FLASH, підтримка Secure IP, MIP-LCD, 2D-прискорювач, драйвер керування годинником
RE01 256KB	256	128	56–100	1.62–3.6	64	Схема керування збором енергії, 14-бітове АЦП наднизького споживання (4 мкА), FLASH, підтримка Secure IP, RTC, 32-бітний таймер пробудження

- Renesas RH850 — найновіша родина автомобільних мікроконтролерів, що забезпечує високу продуктивність, низьке енергоспоживання, масштабованість.

Як бачите, компанія Renesas випускає величезний асортимент продуктів. Їхній опис, навіть короткий, займе не один десяток сторінок. Тому розглянемо щось одне, наприклад мікроконтролери сімейства Renesas RE, як найцікавіші з погляду використовуваної технології виробництва — SOTB.

Мікроконтролери сімейства RE мають наднизьке живлення, побудовані на основі ядра ARM CortexM0+ та підходять для пристроїв IoT. Дані мікроконтролери споживають струм приблизно 25–35 мкА/МГц (400–500 нА в режимі очікування) за напруги живлення 1.62 В та тактової частоти до 64 МГц. Вбудований функціонал включає схему керування збиранням енергії, 14-бітне АЦП наднизького споживання (не більше 4 мкА), Flash, підтримку протоколів безпеки Secure IP, інтерфейс MIPLCD та 2D графічний прискорювач. У таблиці 2 наведено основні характеристики даного сімейства.

Для роботи з цим сімейством компанія Renesas пропонує такі програмні та апаратні засоби:

- інтегроване середовище розробки e² studio або IAR Embedded Workbench [3];
- оцінні набори EKRE01 1500KB [4] та EKRE01 256KB [5.

E² studio — це інтегроване середовище розробки (IDE) на основі Eclipse для мікроконтролерів Renesas. Окрім потужного редактора коду Eclipse, e² studio пропонує широкий спектр розширених функцій, які охоплюють усі процеси розробки: від завантаження прикладу коду до налагодження. Це інтегроване середовище дозволяє створювати проєкти для мікроконтролерів Renesas за допомогою простих операцій. Спочатку розробник визначає, який чип і компілятор будуть використовуватись, а далі майстер створення проєктів автоматично згенерує шаблон, який включає приклад коду. Такий підхід значно полегшує та прискорює роботу інженера.

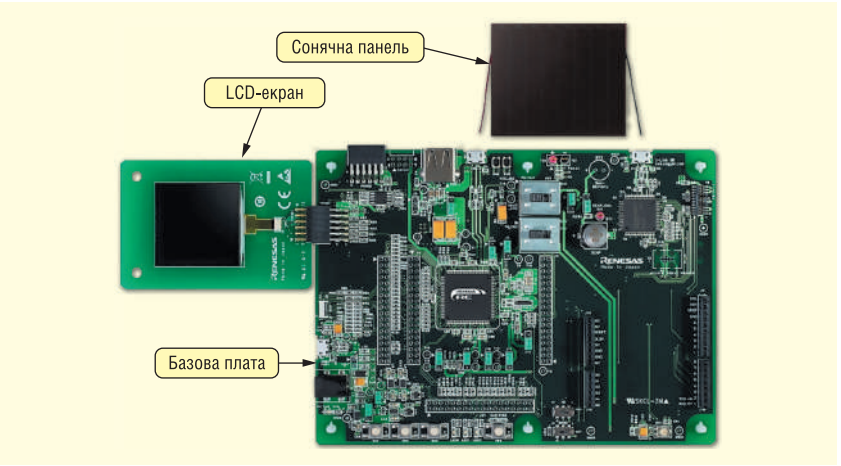


Рис. 3. Оцінний комплект RE01 1500KB

Крім цього, інтегральне середовище допомагає настроювати код під конкретну плату. Наприклад, за допомогою Smart Configurator можна легко налаштувати тактові частоти, контакти та переривання. При цьому автоматично створюється програмний код, який включає ці налаштування.

Вбудований у e² studio редактор коду пропонує надзвичайно потужні функції, спеціально призначені для розробників C/C++:

- автоматичне доповнення коду (імена змінних, імена функцій, елементи структури, перевірка орфографії тощо);
- колірне кодування ключових слів у вихідному коді;
- навігація за кодом (браузер проєкту, ієрархічні типи, перехід до визначення функцій або макросів тощо);
- згортання коментарів та коду;
- перевірка препроцесором під час редагування;
- рефакторинг коду (миттєва зміна імен змінних, спрощення кодів функцій тощо).

Оціночний комплект RE01 1500KB (див. рис. 3) дозволяє проводити моделювання та розробку додатків, які використовують для роботи сонячну енергію. Він містить:

- базову плату;
- ЖК-дисплей (MemoryInPixel LCD) на платі розширення (KYOCERA: TN0181ANVNANNAN00);
- кабель USB;
- сонячну панель (Panasonic — AM-1815CA).

Оцінний комплект RE01 256KB також дозволяє проводити розробку додатків, що використовують зовнішню енергію. Склад комплекту аналогічний RE01 1500KB.

Як бачите, комплекти відрізняються лише базовим модулем. На цьому оглядову статтю з продукції компанії Renesas Electronics Corporation закінчено. У наступних статтях передбачається більш докладний розгляд інструментів (програмного забезпечення та налагоджувальних плат), їх можливостей та прикладів використання.

Література:

1. Офіційний сайт Renesas Electronics Corporation. www.renesas.com
2. По ту сторону канала. www.energovector.com/energoznanie-po-tu-storonu-kanala.html
3. Інтегральне середовище розробки e² studio. www.renesas.com/eu/en/products/software-tools/tools/ide/e2studio.html
4. Оцінний набір EK-RE01 1500KB. www.renesas.com/in/en/products/software-tools/boards-and-kits/eval-kits/evaluation-kit-re01-1500kb.html
5. Оцінний набір EKRE01 256KB EK-RE01 256KB. www.renesas.com/eu/en/products/software-tools/boards-and-kits/eval-kits/ek-re01-256kb.html

MASTEK
VISSA GROUP

АВТОРИЗОВАНИЙ ДИСТРИБ'ЮТОР

В УКРАЇНІ

Авторизований дистриб'ютор
STMicroelectronics, NXP, Ampleon, WeEn в Україні

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

info@mastek.com.ua
www.mastek.com.ua

Новий модуль Wiznet W5100S-EVB-Pico – Raspberry Pi Pico з апаратною підтримкою Ethernet

Сергій Долгушин

На початку 2021 року компанія Raspberry PI анонсувала новий мікроконтролер RP2040 та модуль Raspberry Pi Pico. Цей мікроконтролер цікавий своїми характеристиками, зокрема наявністю двох ядер Arm Cortex-M0+ із тактовою частотою 133 МГц. На хвилі швидко зростаючого інтересу в усьому світі до нової продукції Raspberry компанія Wiznet представила два нові модулі: WIZnet Ethernet HAT та W5100S-EVB-Pico. Перший є платою розширення на основі Ethernet-мосту W5100S для базового модуля Raspberry Pi Pico. Другий модуль є повнофункціональним аналогом Raspberry Pi Pico з встановленими на платі Ethernet-мостом W5100S і мережним роз'ємом RJ-45. У статті ми пропонуємо познайомитися з Ethernet-мостом Wiznet W5100S та модулем W5100S-EVB-Pico.

Компанія Wiznet давно та успішно спеціалізується на розробці та виробництві мікросхем для Ethernet-додатків, а також комунікаційних модулів на їх базі. Основною особливістю мікросхем Wiznet є апаратна реалізація стека TCP/IP. У популярних конкурентних рішеннях, наприклад, у поширеній мікросхемі Microchip ENC28J60, апаратно реалізуються тільки MAC- і PHY-рівні, а стек TCP/IP реалізується програмно.

Загалом, всі Ethernet-мости Wiznet, що випускаються нині, мають спільну внутрішню структуру (рис. 1). Основою мосту служить апаратний блок Ethernet, до якого входять MAC-рівень та апаратний стек TCP/IP з підтримкою протоколів TCP, UDP, IPv4/IPv6 (тільки W6100), ICMP, IGMP та PPPoE (може бути відсутнім). Вбудований фізичний рівень PHY має всі сучасні мости Wiznet і забезпечує можливість роботи з мережами Ethernet 10BaseT/100BaseTX. Із загального списку виділяється лише мікросхема W5300, яка, крім вбудованого PHY, має додатковий зовнішній інтерфейс MII (media independent interface) для підключення зовнішньої мікросхеми фізичного рівня. Це може бути корисно, якщо необхідно підключення до мережі, наприклад, оптичної лінії.

Найбільш популярними Ethernet-мостами, які зараз застосовуються в серійних виробах, є W5500, W5100, W5300. Про мости W5500 та W5300 ми вже розповідали у [1]. Мікросхема W5100S, про яку йтиметься нижче, і W6100, яка сумісна з базовим функціоналом і корпусами з W5100S, але підтримує протокол IPv6, це нові мости Wiznet.

Ethernet-міст W5100S являє собою оновлену та здешевлену версію мікросхеми W5100. Принципова відмінність W5100 і W5100S — несумісність по виводах. W5100S випускається в менших за габаритами корпусах 48 LQFP та 48 QFN. Невеликий корпус — один із істотних факторів, що дозволили знизити вартість мікросхеми (W5100 виробляється в корпусі 80 LQFP). Принциповою відмінністю для розробника також може стати відсутність нової мікросхеми W5100S режиму PPPoE, в іншому виробник обіцяє повну сумісність програмного коду для W5100 і W5100S. У W5100S збережена можливість вибору типу зовнішнього інтерфейсу між послідовним SPI та 8-розрядним паралельним інтерфейсом. При використанні останнього очікується максимальна швидкість передачі даних в 25 Мбіт/с.

З нових функціональних можливостей мосту W5100S слід відзначити найцікавіші у прикладному плані функції Socketless, призначені для відправки ARP- та PING-запитів. Про ці функції ми поговоримо докладніше, коли розглядатимемо приклад програми для модуля W5100S-EVB-Pico наприкінці статті. Також додані регістри, що забезпечують доступ до рівня PHY. Наприклад, тепер доступний статус фізичного з'єднання Caboff (cable off), за який відповідає старший біт регістру PHYSR0. Разом зі статусом наявності мережі з'єднання Link (PHYSR [0]) він може бути використаний для тестування каналу зв'язку у разі несправностей. Варто зазначити, що виробник не передбачив можливості використання цих регістрів для примусового закриття сокету у разі зникнення з'єднання. Отже, істотної користі для типових режимів роботи дані нововведення не дають.

У нових модулях Ethernet HAT і W5100S-EVB-Pico як Ethernet-міст виробник застосовує саме нову мікросхему W5100S. Таким чином, передбачається популяризувати новий міст W5100S, використовуючи великий інтерес до нових мікроконтролерів Raspberry Pi RP2040 та модулів на їх базі.

W5100S-EVB-Pico (рис. 2) є платою, яка включає вузол на базі контролера RP2040 (аналог фірмового модуля Raspberry Pi Pico) і вузол, що відповідає за інтерфейс Ethernet на базі мосту W5100S і мережного роз'єму RJ-45. Модуль W5100S-EVB-Pico повністю сумісний з виводами оригінального модуля Raspberry Pi Pico. Винятком стали лише лінії GPIO з 16-ї до 21-ї, які служать для

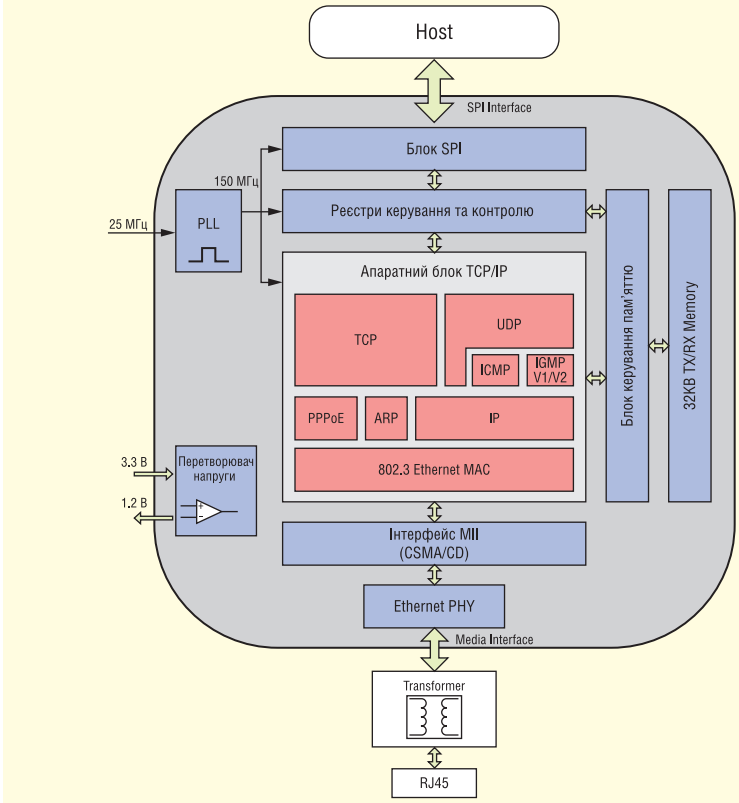


Рис. 1. Блок-схема Ethernet-мосту Wiznet

підключення мосту W5100S до RP2040. При використанні інтерфейсу Ethernet ці лінії недоступні розробнику для інших цілей. Також є відмінність у функції лінії GPIO 23: в оригінальному модулі Raspberry Pi Pico вона керує вибором режиму роботи регулятора напруги (ШІМ або ЧІМ), тоді як у модулі W5100S-EVB-Pico реалізовано лінійний регулятор, тому GPIO 23 не використовується.

WIZnet Ethernet HAT (Hardware Attached on Top) — це мезонінний модуль на базі Ethernet-мосту W5100S (рис. 3). Модуль сумісний з виводами Raspberry Pi Pico, інтерфейсом для підключення мосту W5100S до RP2040 служить SPI. WIZnet Ethernet HAT є простою платою розширення, яка додає інтерфейс Ethernet до базового модуля Raspberry Pi Pico. Апаратно він повністю повторює мезонінні модулі WIS810SMJ та WIZ810SIO (рис. 4) і відрізняється лише форм-фактором. Пристрій може отримувати живлення 5 В по лінії VBUS (вивід 40) або 3 В по лінії 3V3 (вивід 36). Одночасно подавати напругу на обидва виводи не можна. Загалом, цей модуль може бути цікавим тим, хто вже має у своєму арсеналі плату Raspberry Pi Pico і хотів би додати до неї підтримку інтерфейсу Ethernet.

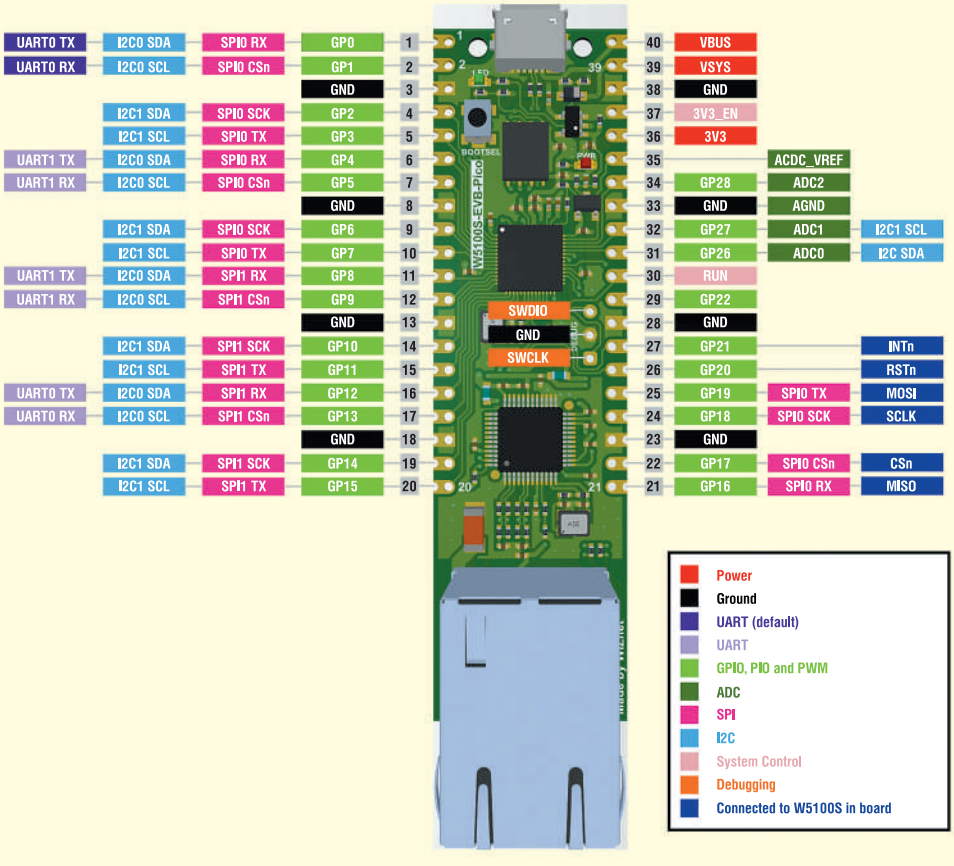


Рис. 2. Зовнішній вигляд та призначення виводів модуля W5100S-EVB-Pico

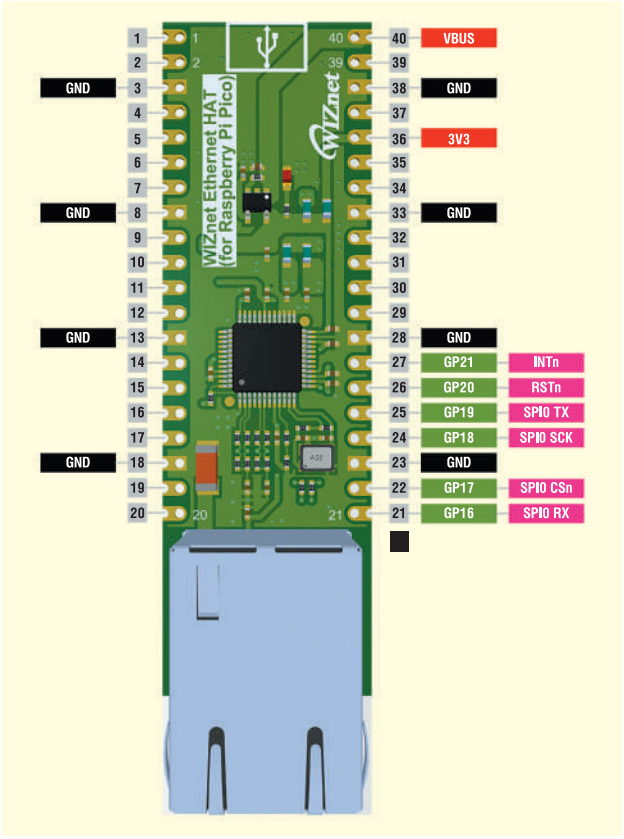


Рис. 3. Зовнішній вигляд та призначення виводів модуля WIZnet Ethernet HAT

Для підтримки розробників компанія Wiznet портувала стандартну бібліотеку для роботи зі своїми мостами на платформу RP2040. Бібліотека WIZnet та ряд готових прикладів для W5100S мовами C/C++ та CursuitPyton доступні за посиланнями [2, 3]. На даний момент компанія Wiznet

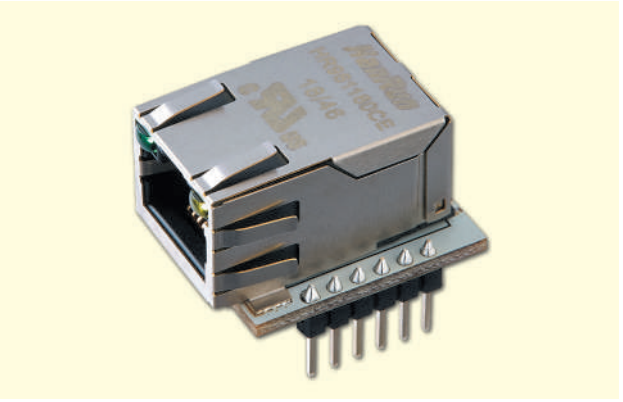


Рис. 4. Мезонінний модуль WIZ810SIO на базі мосту W5100S

пропонує готові приклади, що демонструють передачу через TCP/IP, використання DHCP/DNS, основні принципи реалізації HTTP-сервера, передачу за протоколом IoT MQTT (видавець/передплатник), роботу з SNTP та використання протоколу шифрування SSL при передачі через TCP.

Базові принципи роботи з бібліотекою на прикладі організації передачі даних за протоколом TCP/IP ми докладно описували в [1] на прикладі мосту W5500. У цій статті також було показано, як і що необхідно змінити на рівні HAL для забезпечення взаємодії мікроконтролера SAM D21 та мосту W5500. У версії бібліотеки для RP2040 виробник пропонує готовий для роботи HAL-рівень, що значно спрощує перше знайомство з модулем W5100S-EVB-Pico або зв'язкою з модулів Raspberry Pi Pico і WIZnet Ethernet HAT. Порядок додавання бібліотеки та прикладів Wiznet для RP2040 аналогічний описаному порядку встановлення фірмових прикладів Raspberry Pi у розділі 9.2. Building on MS Windows документа [4]. Відкрита папка з бібліотекою та прикладами у Visual Studio Code буде виглядати так (рис. 5).

Збірник всіх прикладів можна запустити, натиснувши іконку Build (рис. 6) на нижній панелі VS Code. Після цього

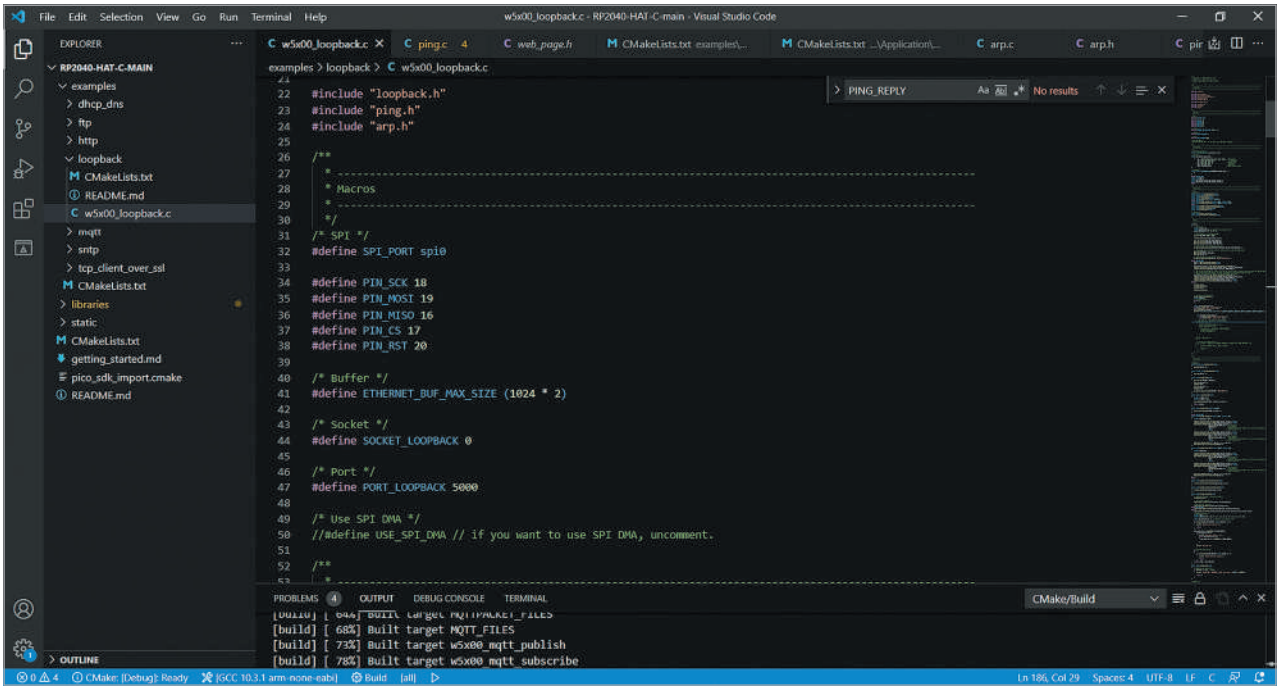


Рис. 5. Вікно MS Code з відкритими прикладами та бібліотекою Wiznet

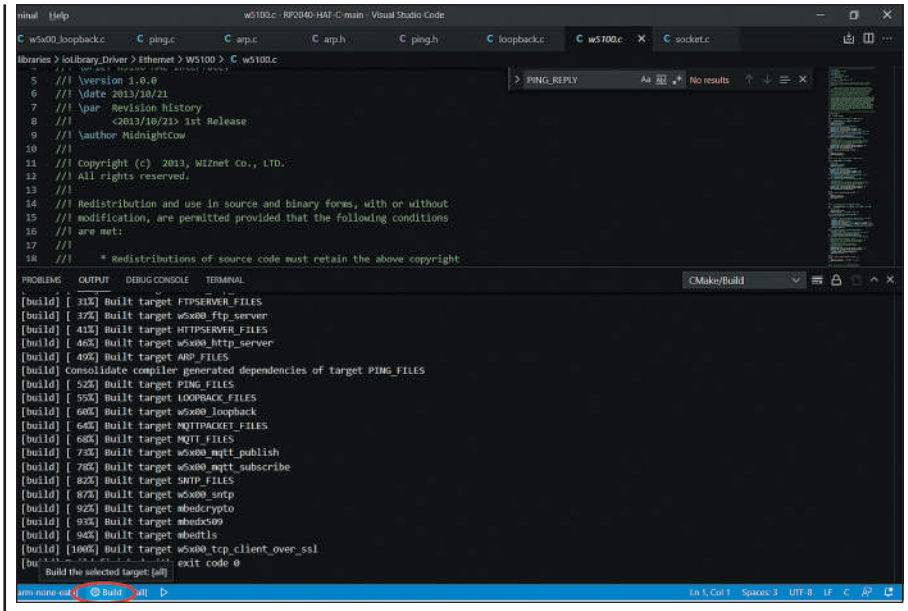


Рис. 6. Процес складання проєктів у MS Code

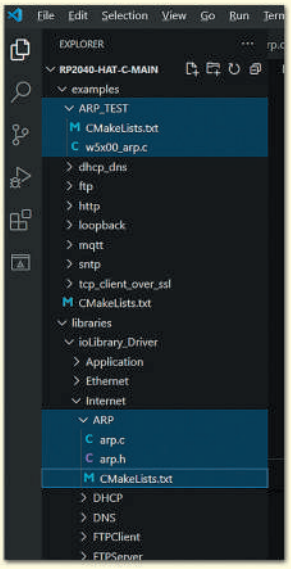


Рис. 7. Створені файли прикладу

для всіх прикладів буде згенеровано завантажувальні файли для RP2040.

Тепер створимо свій невеликий приклад роботи з модулем W5100S-EVB-Pico, який надсилатиме ARP-запити за допомогою мікросхеми W5100S. Надсилання ARP-запиту вибрано для першого прикладу невипадково. Функції відправки ARP- та PING-запитів на апаратному рівні та без відкриття сокетів вперше була додана виробником саме в мікросхемі W5100S. Сьогодні цю можливість апаратно підтримує тільки міст W6100. Для інших мостів така функція була доступна лише в режимі MACRAW, і вимагала самостійного формування пакета. PING-запити можуть бути корисні для тестування цілісності та швидкодії нашої мережі, а ARP-запити можна використовувати, якщо призначення IP-адрес в мережі виконується вручну. Для прикладу скористаємося готовим варіантом від Wiznet [6], у якому вже реалізовані необхідні нам функції.

Для початку роботи нам необхідно скопіювати файли ARP.c та ARP.h з цього прикладу в робочу директорію. Потім на базі будь-якого з прикладів Wiznet для RP2040 створимо свій основний робочий файл w5x00_arp.c (рис. 7). Базова структура всіх прикладів однакова і складається з ініціалізації блоків RP2040, необхідних для роботи з мостом W5100S та ініціалізації самого мосту W5100S. Всі дії, потрібні для ініціалізації Ethernet-мосту W5500, були докладно описані в [1]. Для мікросхем W5100S вони виконуються аналогічно.

У робочому циклі у файлі w5x00_arp.c реалізуємо відправку пакетів по ряду IP-адрес та виведемо результат на термінал (див. листинг 1):

У функції arp_auto(addr) послідовно викликаються такі функції:

```
configure_arp_request(void)
      setSLIR(SLIR_TIMEOUT | SLIR_ARP);
      setSLRCR(ArpRCR);
      setSLRTR(ArpRTR);
```

У цій функції здійснюється скидання регістру переривань для Socket-less команд SLIR, задаються значення періоду повторень для повторних передач у регістрі SLRTR та їх кількість у регістрі SLRCR. Відповідно до цих параметрів W5100S буде продовжувати відправляти ARP-запити за заданою адресою до тих пір, поки кількість передач не перевищить вказане значення в регістрі SLRCR, після чого у регістрі SLIR буде встановлено біт переривання Timeout.

Лістинг 1

```
while (dest_ip[3]<15)
      {
      printf("Send ARP to: %d.%d.%d.%d\n", dest_ip[0], dest_ip[1], dest_ip[2], dest_ip[3]);
      int8_t ret=arp_auto(dest_ip);      // Функція надсилання ARP-запиту за вказаною IP-адресою.
                                         // Повертає 1, якщо отримано відповідь.
                                         // Повертає 2, якщо за встановлений період часу відповідь не отримано.
                                         // Повертає 0 у всіх інших випадках.
      if(ret==1)
      {
      printf("ARP: successful\r\n");
      get_arp_MacAddress(addr0);
printf("%.2x:%.2x:%.2x:%.2x:%.2x:%.2x\r\n", addr0[0], addr0[1], addr0[2], addr0[3 ], addr0 [4], addr0 [5], addr0 [6]);
      }
      else printf("ARP: failure\r\n", ret);
      dest_ip[3] = dest_ip[3] +1;
      }
```

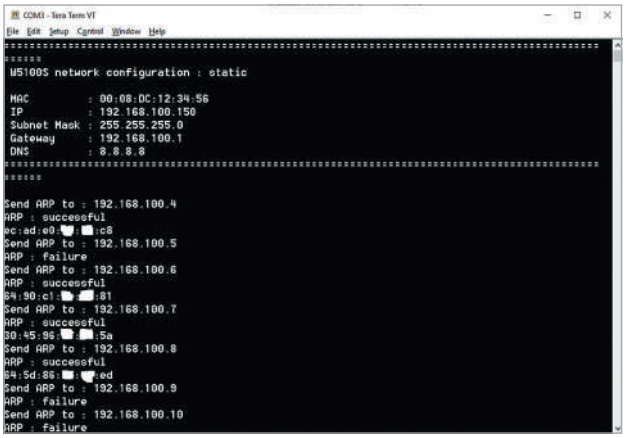


Рис. 8. Результат виконання прикладу надсилання ARP-запитів

Наступна функція відповідає за надсилання ARP-запиту:

```
send_arp_request(addr)
      setSLPIPR(addr);
      setSLCR(SLCMD_ARP);
```

Оскільки формування пакета здійснюється мікросхемою W5100S автоматично, від нас потрібно лише передати цільову IP-адресу та встановити біт ARP регістру SLCR в 1. В результаті міст сформує та відправить запит за вказаною нами адресою.

І залишається лише проконтролювати результат відправлення запиту, що виконується у функції:

```
recv_arp_reply()
   if(getSLIR()&SLIR_ARP)
        {
        setSLIR(SLIR_ARP);
        return 1;
        }
   else if(getSLIR()&SLIR_TIMEOUT)
        {
        setSLIR(SLIR_TIMEOUT);
        return 2;
        }
   else return 0;
```

У цій функції опитується регістр переривань SLIR. Біт ARP цього регістру, встановлений в 1, говорить про те, що отримано відповідь. Біт Timeout цього регістру, встановлений в 1, говорить про те, що відповідь не отримано та вичерпано кількість заданих повторів передачі запиту.

І якщо відповідь отримана, то виводимо MAC-адресу пристрою, що має вказаний нами IP:

```
void get_arp_MacAddress(uint8_t* addr)
      getSLPHAR(addr);
```

MAC-адреса з прийнятого пакета автоматично розміщається в регістр SLPHAR. Таким чином, досить просто формується ARP-запит за допомогою нового функціоналу в Ethernet-мості W5100S. Наша тестова програма надішле запити за декількома IP-адресами у своєму сегменті мережі та виведе на екран результати.

Завантаження скомпільованої програми в пам'ять W5100S-EVB-Pico здійснюється за інтерфейсом USB. Для переходу в режим завантаження необхідно вимкнути модуль, натиснути кнопку bootsel на модулі і подати живлення. Модуль визначиться у ОС ПК як зовнішній накопичувач. Файл прошивки копіюємо або переносимо мишкою цей носій. Після запису файлу відбудеться автоматичне перезавантаження мікроконтролера RP2040, і він розпочне виконання нашої програми. Результати опитування будуть виведені на екран терміналу у такому вигляді (рис. 8).

На цьому ми завершимо перше знайомство з новими модулями Wiznet W5100S-EVB-Pico та WIZnet Ethernet HAT, а також з мостом W5100S. Ще раз нагадаємо, що даний Ethernet-міст є переробленою версією популярної мікросхеми W5100, і на даний момент він найдешевший зі всієї лінійки апаратних Ethernet-мостів Wiznet. Новий модуль W5100S-EVB-Pico може стати зручною та самодостатньою налагоджувальною платою для знайомства з цим мостом, а також як готова платформа для вирішення широкого кола завдань, де потрібен Ethernet, завдяки більшим функціональним можливостям двоядерного мікроконтролера Raspberry Pi RP2040.

Література:

1. Долгушин С. Перспективные Ethernet-мосты компании Wiznet. www.mymcu.ru/articles/perspektivnie-ethernet-mosti-kompanii-wiznet.html
2. Примеры и библиотека Wiznet на C/C++. www.github.com/Wiznet/RP2040-HAT-C
3. Примеры и библиотека Wiznet на CircuitPyton. www.github.com/Wiznet/RP2040-HAT-CircuitPython
4. Getting started with Raspberry Pi Pico. www.datasheets.raspberrypi.com/pico/getting-started-with-pico.pdf
5. SOCKET-less Command Application Note. www.docs.wiznet.io/img/products/w5100s/application/w5100s_an_slc_v100e.pdf
6. Готовый пример от Wiznet. www.docs.wiznet.io/img/products/w5100s/application/w5100s_evb_an_coide_slc_v100.zip CN

НА МКС РОЗГОРНУТО НОВІ ОДНОПЛАТНІ КОМП'ЮТЕРИ

Астронавт Матіас Маурер (Matthias Maurer) розгорнув та запустив на МКС одноплатні комп'ютери в рамках проєкту AstroPi. Запущений шість років тому проєкт покликаний підвищити популярність програмування серед молоді: юні фахівці можуть надіслати свій код на ці машини, і він буде виконаний. Нові комп'ютери були створені у вересні минулого року і в грудні відправлені на МКС на борту вантажного корабля SpaceX Dragon 2. Вони прийшли на заміну Еду та Ізі, які морально застаріли. Новий комплект включає Raspberry Pi 4 Model B, 12.3-мегапіксельну камеру і набір різних сенсорів. Юні учасники програм Mission Space Lab та Mission Zero із Землі навчаться різних навичок: наприклад, зможуть написати програму, за допомогою якої машина виміряє вологість повітря та виведе її значення мешканцям МКС. «Майже через шість років після того, як Тім Пік (Tim Peake) встановив перші пристрої Astro Pi, у нас з'явилося нове льотне обладнання на станції. З Raspberry Pi 4 і високоякісною 12-мегапіксельною камерою (не кажучи вже про дуже дорогу оптику) це значно потужніші пристрої, ніж попередники. Чекаємо не дочекаємося, щоб побачити, що хлопці із програм Mission Space Lab та Mission Zero зможуть з ними зробити», — прокоментував подію глава компанії ***Raspberry Pi Foundation*** *Ебен Аптон (Eben Upton).*

www.theregister.com

IGBT Gen. 7 у трирівневих перетворювачах

Бернард Айчлер (Bernhard Eichler)
Андреас Гісман (Andreas Giessmann)
Переклад та коментарі: Андрій Колпаков
E-mail: Andrey.Kolpakov@semikron.com

Щоразу, коли якість сигналу та ефективність перетворення є основними вимогами, які пред'являються до силової електронної системи, розробники звертаються до трирівневих схем. Одним із таких прикладів небезпідставно вважають перетворювачі для відновлюваних джерел енергії, де використання найновішого, 7-го покоління IGBT [1, 2] у 3L-топології забезпечує кардинальне покращення характеристик.

У 2021 році почалося серійне виробництво модулів IGBT 7-го покоління SEMIKRON на базі кристалів 650, 950 і 1200 В від двох різних виробників [1, 2]. Нові силові ключі мають значно кращі характеристики провідності порівняно з попередніми версіями. Розмір чипів зменшено в середньому на 25%, підвищено номінальні струми у всіх стандартних типорозмірах модулів, що стало можливим завдяки зниженню напруги насичення V_{ce_sat} на 20%.

Ще одна важлива особливість модулів IGBT 7 — заявлена виробниками чипів можливість роботи за вищих температур без шкоди для надійності (в номінальному режимі до $T_{j,op}$ = +150 °C, в режимі навантаження — $T_{j,max}$ = +175 °C). Новим є те, що для IGBT 7 допускається короткочасна експлуатація за температури +150...+175 °C протягом 1 хв при робочому циклі до 20%. Таким чином, короткочасне навантаження інвертора (наприклад, 110%, 60 с) може бути забезпечене без додаткового запасу потужності.

Застосування модулів 7-го покоління дозволяє створювати компактні інвертори із безпрецедентною щільністю потужності. Для використання в трирівневих інверторах з напругою DC-шини до 1500 В особливо цікаві IGBT 950 В, які мають оптимальне поєднання динамічних параметрів і низької напруги насичення V_{CE_sat}.

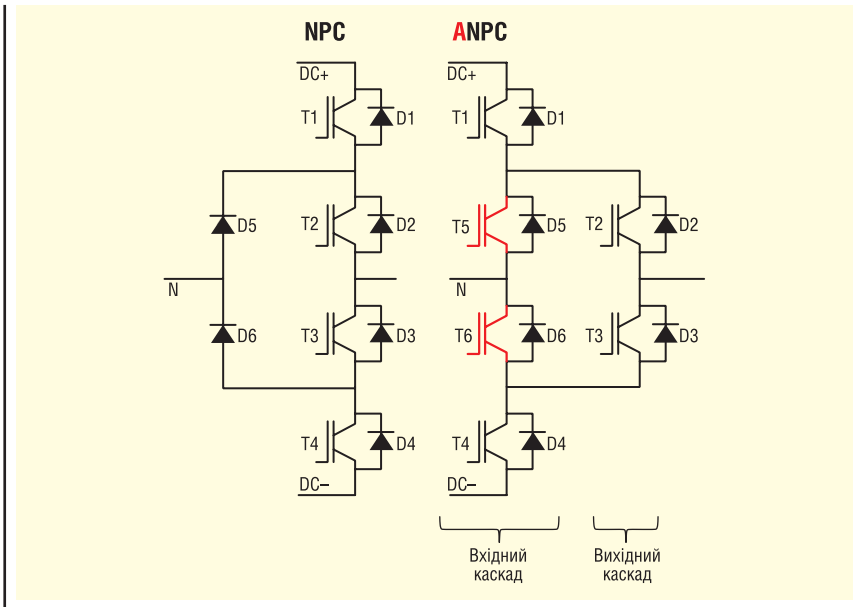


Рис. 1. Топології 3L-інверторів: NPC та ANPC

ТРИРІВНЕВІ ІНВЕРТОРИ ДЛЯ СОНЯЧНОЇ ЕНЕРГЕТИКИ

Найбільш поширеними топологіями 3L-інверторів з напругою DC-шини 1500 є NPC (схема з фіксованою нейтраллю) і ANPC (схема з активною фіксованою нейтраллю). На відміну від NPC ANPC має два додаткові ключі, що дає велику міру свободи, але вимагає двох додаткових драйверів для управління T5 та T6 (рис. 1). Інвертор ANPC має кілька варіантів режимів комутації, два основних з яких показані на рисунку 2:

- режим перемикання ВЧ/НЧ (HF/LF);
- режим перемикання НЧ/ВЧ (LF/HF).

Відмінності полягають у режимах роботи вхідного та вихідного каскадів: у режимі LF/HF вхідний каскад перемикається на низькій частоті, у загальному випадку це частота мережі (50/60 Гц), причому вихідний каскад комутується у кілогерцевому діапазоні. У режимі HF/LF все відбувається у зворотному напрямку. Відповідно, розрізняються і ланцюги комутації: струмові контури та його особливості в межах фазової стійки показані і зіставлені на рисунках 3 та 4.

КОНТУРИ КОМУТАЦІЇ ANPC LF/HF

Вхід: НЧ-комутація відбувається в межах половини вхідного каскаду («малий контур»). Вихід: ВЧ-комутація відбувається між вхідним та вихідним каскадами («великий контур»). Для мінімі-

Режим	Вхідний каскад	Вихідний каскад
LF/HF	Низька частота (50/60 Гц)	Висока частота (~кГц)

Режим	Вхідний каскад	Вихідний каскад
HF/LF	Висока частота (~кГц)	Низька частота (50/60 Гц)

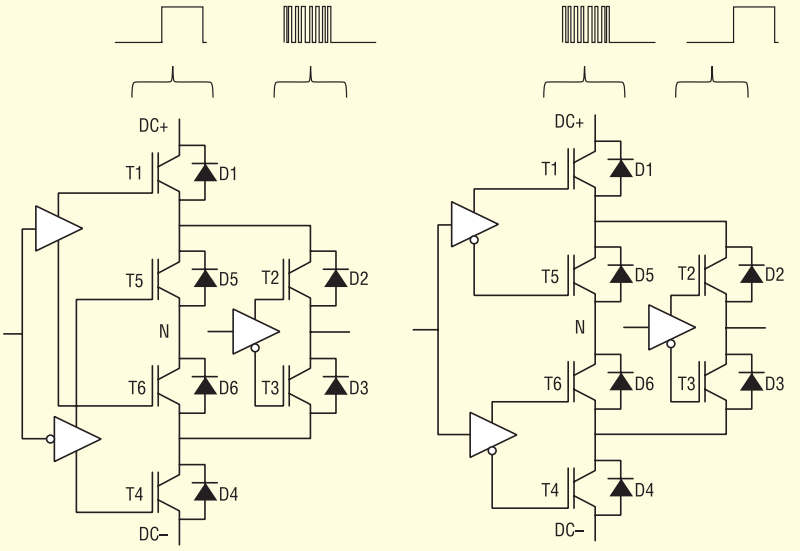


Рис. 2. Режими комутації ANPC: HF/LF та LF/HF

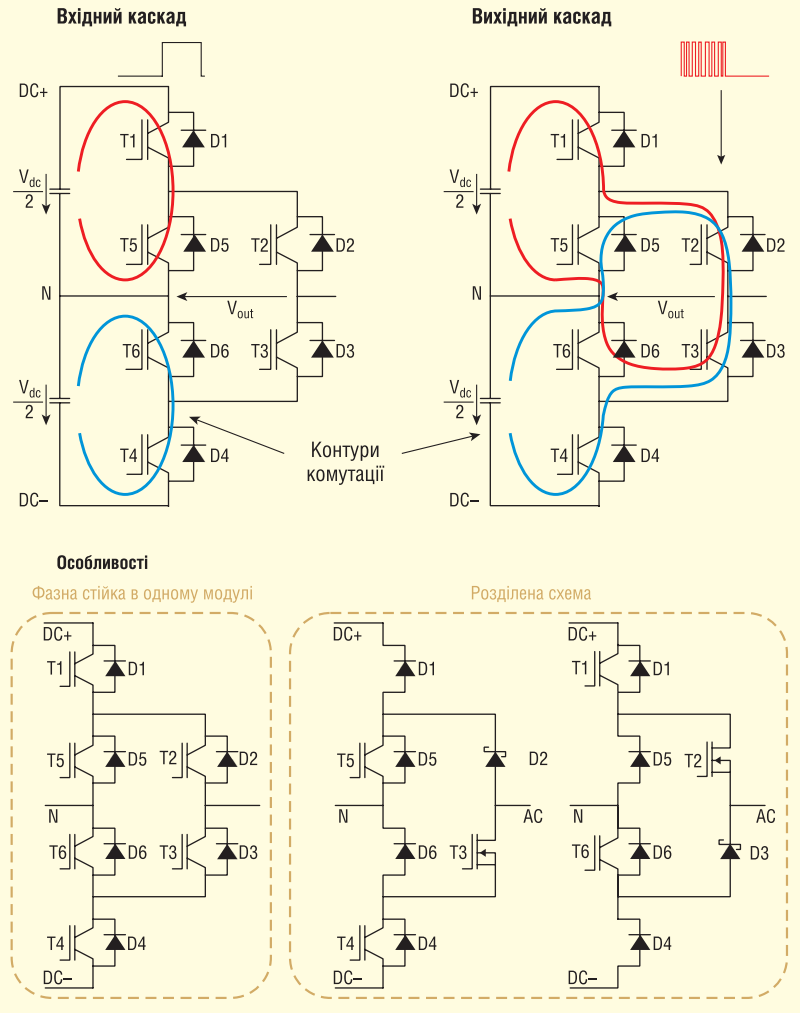


Рис. 3. Контури комутації ANPC: LF/HF

зації рівня перенапруги необхідно збільшення величини опору затвора (рис. 3).

Особливості: для скорочення довгого контуру комутації фазна стійка має розміщуватися в одному силовому модулі. Інше рішення: фазну стійку можна розділити на два силові модулі таким чином, щоб усі ключі одного комутаційного контуру знаходилися в одному корпусі.

КОНТУРИ КОМУТАЦІЇ ANPC HF/LF

Вхід: ВЧ-комутація відбувається в межах половини вхідного каскаду (малий контур). Можливе використання низькоомного опору затвора.

Вихід: НЧ-комутація відбувається між вхідним та вихідним ланцюгами («великий контур»). Підвищення величини опору затвора для зниження рівня перенапруги є допустимим, оскільки частота перемикання низька (рис. 4).

Особливості: фазна стійка може розміщуватися в одному, двох («розділена» схема) або трьох напівмостових модулях.

Рішення про те, яка з топологій (NPC, ANPC HF/LF або ANPC LF/HF) краща для конкретної програми, залежить насамперед від технології чипів, діапазону коефіцієнта потужності та частоти перемикання. Наприклад, поєднання IGBT 7/950 і SiC оптимально для роботи на високих частотах у фотоелектричних перетворювачах (PV) і накопичувачах енергії (ESS).

IGBT 7 (950 В)

SEMIKRON використовує чипи 7-го покоління IGBT у різних варіантах топологій схем та корпусів. Доступно два види кристалів з блокуючою напругою 950 В: версія L7, з низькими втратами провідності (мінімальна напруга насичення V_{CE_sat}), використовується при тривалих проміжках часу протікання струму та низьких частотах перемикання, наприклад в режимі LF-топології ANPC. Версія S7 з низькими комутаційними втратами є оптимальною для компонентів, що працюють у режимі HF.

Очевидно, що IGBT з блокуючою напругою 950 В забезпечують більш високу ефективність перетворення, ніж ключі на 1 200 В. Як правило, транзистори з меншою робочою напругою мають й менші комутаційні втрати. При цьому IGBT з V_{CE} = 950 В можуть використо-

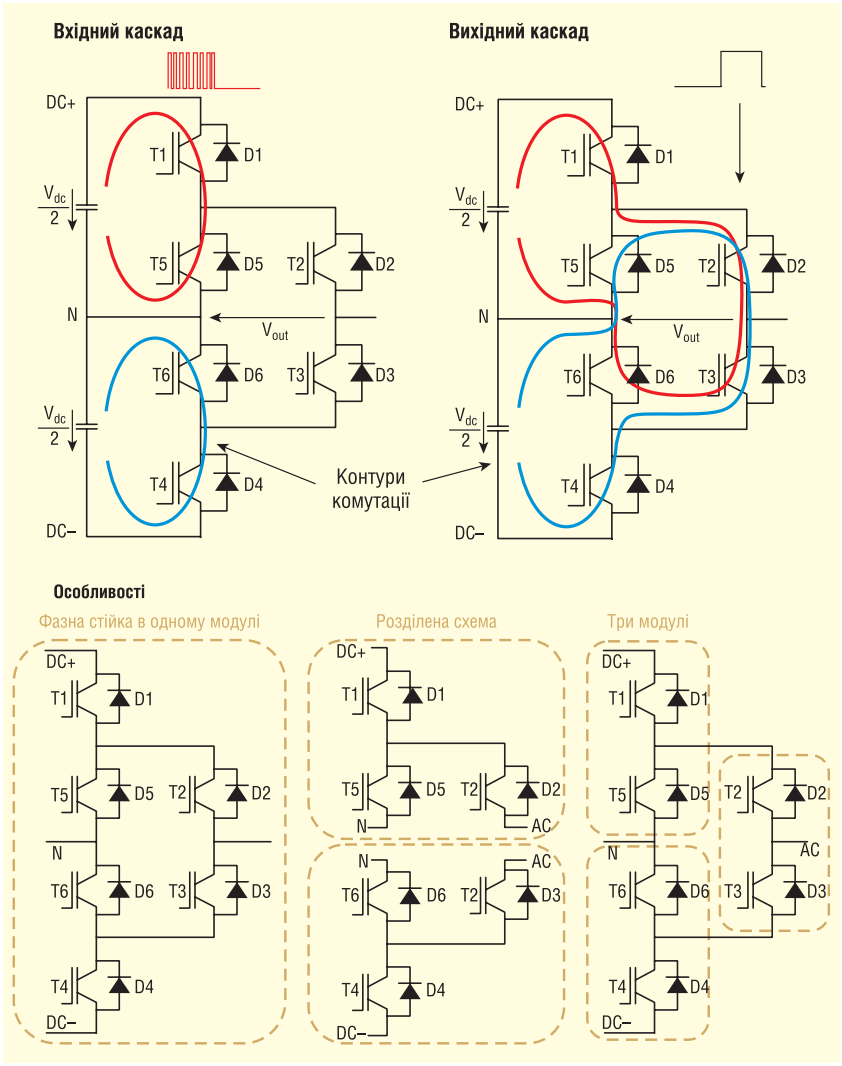


Рис. 4. **Контури комутації ANPC: HF/LF**

вуватися в 3L-інверторах з напругою на шині постійного струму до 1 500 В.

«РОЗДІЛЕНА» ТОПОЛОГІЯ ANPC ІЗ SIC MOSFET ТА IGBT 7 (950 В)

На рисунку 5 показаний модуль у конструктиві SEMITOP E2 з розділеною топологією ANPC, характеристики якого оптимізовані для режиму перемикання LF/HF. Кожна фазна стійка розділена на «верхню» та «нижню» половини. Компоненти, що утворюють один контур комутації, розташовані в одному корпусі, що дозволяє мінімізувати розподілену індуктивність.

Кристали IGBT L7 950 (з низькою напругою насичення V_{CE_sat}) використовуються у вхідному каскаді LF/HF ANPC, що працює на частоті мережі. Вихідний каскад складається із надшвидких SiC MOSFET та діодів SiC Шоттки, здатних перемикатися з частотою понад 40 кГц. За номінального струму 200 А така комбінація чипів забезпечує вихідну потужність до 200 кВт з ефективністю понад 99%. Це дозволяє розмістити весь перетворювач на друкованій платі та обійтися без паралельного з'єднання силових ключів.

Ще один модуль SEMIKRON, створений із застосуванням нової технології, — MiniSKiiP 3 MLI (рис. 6) із номінальним струмом 400 А, виконаний за схемою 3L NPC. Як і у випадку з SEMITOP E2, кристали IGBT L7 (950 В) з низькою напругою насичення V_{CE_sat}

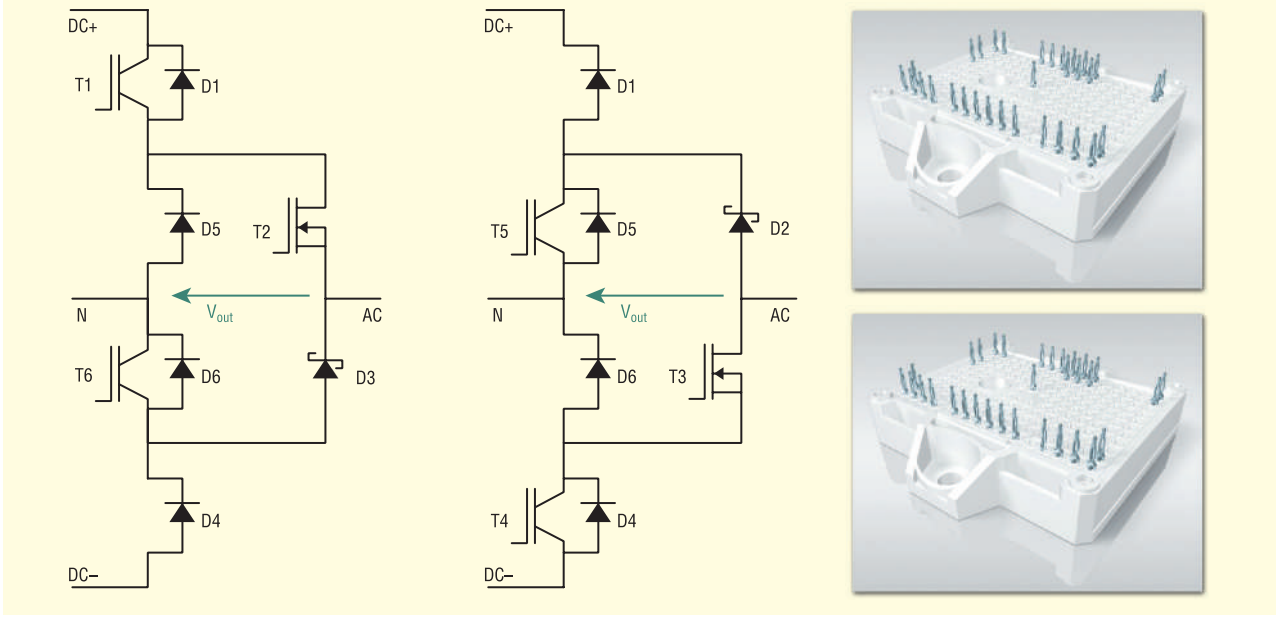


Рис. 5. **«Розділена» топологія ANPC та конструктив SEMITOP E2. Компоненти, що утворюють контур комутації, розташовані в одному корпусі**

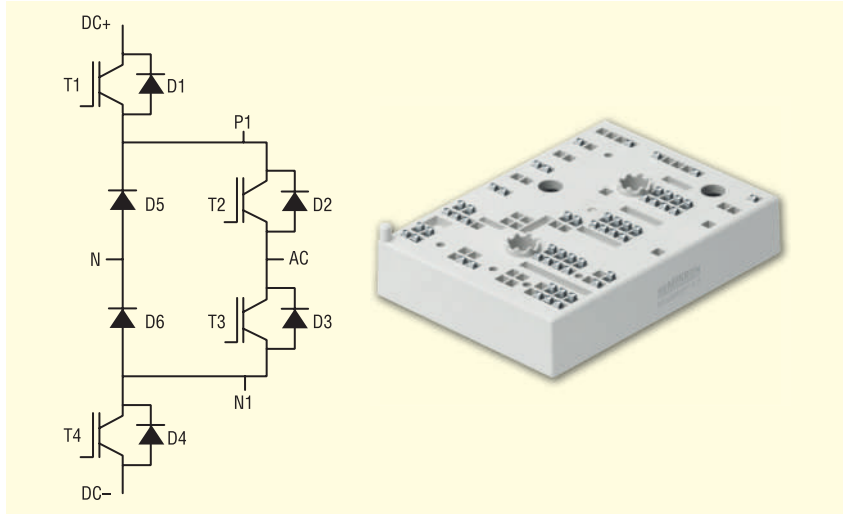


Рис. 6. Фазна стійка NPC у модулі 400 А MiniSKiiP MLI

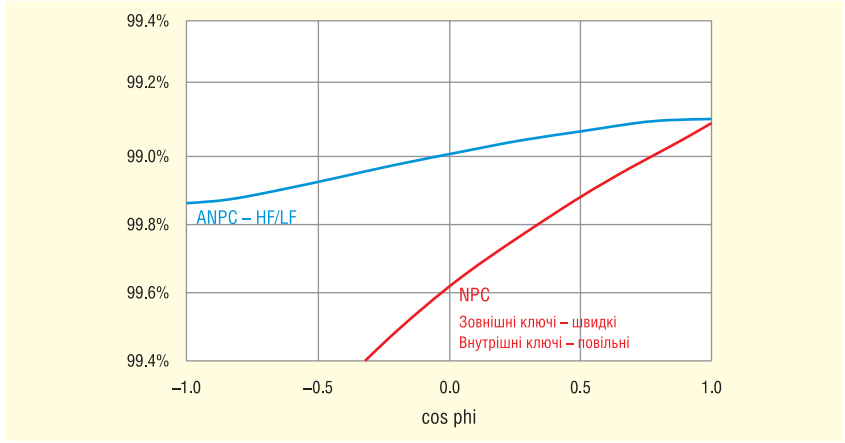


Рис. 7. Залежність ККД від коефіцієнта потужності у схемах NPC та ANPC HF/LF

використані у «повільних» ключах, а високошвидкісні IGBT S7 — у «швидких».

ПОРІВНЯННЯ ТОПОЛОГІЙ NPC ТА ANPC

Фотоелектричні перетворювачі зазвичай працюють при коефіцієнтах потужності (cos φ) 0.8–1.0. Це означає, що потік енергії у них проходить в одному напрямку (від сонячних панелей через інвертор до мережі). У перетворювачах з топологією NPC зовнішні ключі T1 і T4 (S7 IGBT), що комутуються на більш високих частотах, генерують переважно втрати перемикання, а внутрішні T2 і T3 (L7 IGBT) — втрати провідності.

Для додатків з двонаправленим потоком енергії, таких як системи зберігання енергії (ESS), потрібні чипи, оптимізовані у всьому діапазоні коефіцієнтів потужності для обох напрямків. Під час заряджання акумулятора енергія надходить від мережі до інвертора (PF = –1), при розряді батареї енергія йде від інвертора до мережі (PF = 1). На відміну від NPC в топології ANPC, шлях комутації струму не змінюється, тому інвертори ANPC можуть обслуговувати весь діапазон коефіцієнтів потужності. Для реалізації схеми ANPC SEMIKRON пропонує модулі MiniSKiiP 3 із номінальним струмом 400 А.

На рисунку 7 порівнюється ефективність топологій NPC та HF/LF ANPC, оптимізованих для застосування у фотоелектричних системах, залежно від коефіцієнта потужності. При PF = 1 схема NPC має такий самий ККД, як і ANPC-HF/LF, оскільки в цьому випадку контури комутації та розташування активних чипів ідентичні. Як тільки PF стає менше 1, ефективність NPC знижується через зростання динамічних втрат на «внутрішніх» ключах T2/T3. Топологія ANPC-HF/LF демонструє найвищі показники ККД за будь-яких cos φ, але для цього доводиться використовувати два додаткові IGBT та драйвери. Тому, якщо взяти до уваги діапазон коефіцієнтів потужності 0.8–1, а також простіше управління, інвертор NPC у фотоелектричних системах може бути гарною альтернативою ANPC-HF/LF.

Обидва варіанти схем забезпечують потужність до 200 кВт при використанні тільки кремнієвих ключів або до 250 кВт у гібридній версії з діодами SiC Шоттки (елементи D5/D6 у топології NPC). Для збільшення вихідної потужності силові модулі можуть з'єднуватися в паралель, що дозволяє в режимі інтерлівінгу (чергування фаз) отримати еквівалентну робочу частоту понад 30 кГц без дорогих SiC-транзисторів.

ТРИРІВНЕВА ТОПОЛОГІЯ У СИСТЕМАХ ВИСОКОЇ ПОТУЖНОСТІ

Трирівневі схеми мають явні переваги і в перетворювачах високої потужності (від 500 кВт до одиниць МВт), які використовуються у вітряних та сонячних електростанціях. З одного боку, ефективність значно підвищується за рахунок застосування нових чипів IGBT Gen. 7 з малим падінням напруги. У вітроенергетичній установці це дозволяє знизити втрати у напівпровідниках приблизно на 38%. З іншого боку, застосування трирівневих інверторів дозволяє працювати у повному діапазоні напруг, зазначених у «Низковольтній директиві»

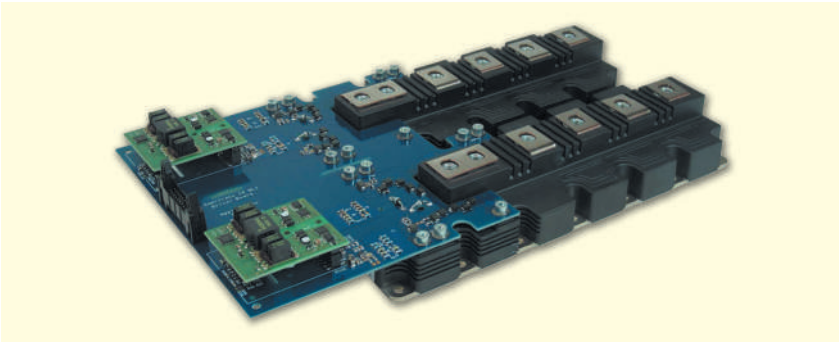


Рис. 8. Плата адаптера SEMITRANS 10 MLI Driver Board із модулями SEMITRANS 10 MLI

(Low Voltage Directive), що поширюється на пристрої з робочою напругою до 1 000 В (AC) та 1 500 В (DC). Це дозволяє покращити економічні показники системи, оскільки зменшення струму дозволяє знизити втрати в силових кабелях до 40% або перейти на дешевші кабелі меншого перерізу.

У подібних застосуваннях потрібні ключі 12 класу для забезпечення запасу по комутаційній напрузі. Поява у 2017 році трирівневих модулів SEMITRANS 10 MLI (1 200 А) дозволила створити потужні компактні інвертори з низькою розподіленою індуктивністю, а використання чипів IGBT Gen. 7 підвищило номінальний струм SEMITRANS 10 MLI до 1 400 А. Завдяки оптимізованим фіксуючим діодам ці модулі можуть використовуватись у повному діапазоні коефіцієнтів потужності –1...+1. Це необхідно, наприклад, у вітроенергетиці, де інвертор генератора завжди працює з негативним cos φ.

КОНСТРУКЦІЇ NPC-ІНВЕРТОРІВ ДЛЯ ЗАСТОСУВАННЯ ВИСОКОЇ ПОТУЖНОСТІ

Існують різні варіанти реалізації трирівневих схем. Очевидно, що для розробки NPC-інверторів зручніше використовувати спеціалізовані модулі MLI, однак такі пристрої можна створювати і на основі стандартних напівмостових модулів. На прикладі системи потужністю 1 МВт розглянемо основні переваги та недоліки різних рішень (рис. 9).

SEMITRANS 10 MLI (спеціалізований, два модулі на фазну стійку)

Це єдиний варіант побудови топології NPC за допомогою двох модулів, який забезпечує максимальну щільність потужності. Для управління IGBT тут потрібно відповідно лише дві плати драйверів, конструкція тришарової DC-шини також помітно спрощується. Ще одна перевага полягає у можливості використання інвертора при коефіцієнтах потужності нижче 1. Оскільки контур комутації розподілено між двома модулями з паразитною індуктивністю LS близько 60 нГн, ця концепція дозволяє підвищити швидкість перемикання. Зниження розподіленої індуктивності забезпечується завдяки перекриттю ламінованих AC- та DC-шарів силової шини. Ще одна перевага такого рішення — розподіл струму по AC-терміналах обох модулів у фазній стійці, що значно знижує теплове навантаження на них.

Для управління SEMITRANS 10 MLI розроблено адаптер, який називається SEMITRANS 10 MLI Driver Board (рис. 8). Він призначений для використання у складі 3L NPC-інвертора з розділеною схемою при напрузі DC-шини до 1 500 В на частоті до 30 кГц. На платі управління встановлено два стандартні драйвери SKYPER42 LJ, один з яких керує ключами верхньої частини фазної стійки (T1 і T4), інший — нижньої (T3 і T4). Схема захисту аналізує напругу насичення всіх чотирьох IGBT та сигнали із вбудованих у модулі термодатчиків. Вихід із насичення призводить до миттєвого відключення відповідного IGBT та формування сигналу помилки, що блокує інші транзистори. Наявність ланцюга активного обмеження дозволяє безпечно вимикати IGBT у будь-який час без використання спеціальних алгоритмів відключення.

SEMiX 3 Press-Fit (напівміст, шість модулів на фазну стійку)

Таку ж потужність, як і в попередньому випадку, можна отримати, побудувавши 3L-інвертор на основі шести стандартних модулів напівмістових SEMiX 3 (1 200 В/600 А). Очевидно, що при цьому потрібна набагато більша кількість не тільки силових ключів, а й драйверів затворів. Фізична реалізація пристрою із застосуванням звичайних напівмостів виключає можливість виготовлення планарної шини з перекриттям DC- та AC-шарів, що не дозволяє мінімізувати паразитну індуктивність силових ланцюгів. Це негативно впливає на роботу в генераторному режимі та створює досить високе значення LS (більше 200 нГн) при комутації трьох модулів із негативним cos φ. У таких програмах, як вітроенергетика або ESS, використання такого рішення означає, що для надійної роботи системи потрібен високий запас вихідної потужності. Крім того, при паралельному з'єднанні модулів може знадобитися їх відбір за параметрами або застосування AC-дроссельів для балансування струмів.

SEMITRANS 10 GB (напівміст, три модулі на фазну стійку)

Як і в попередньому випадку, трирівнева схема NPC може бути спроєк-

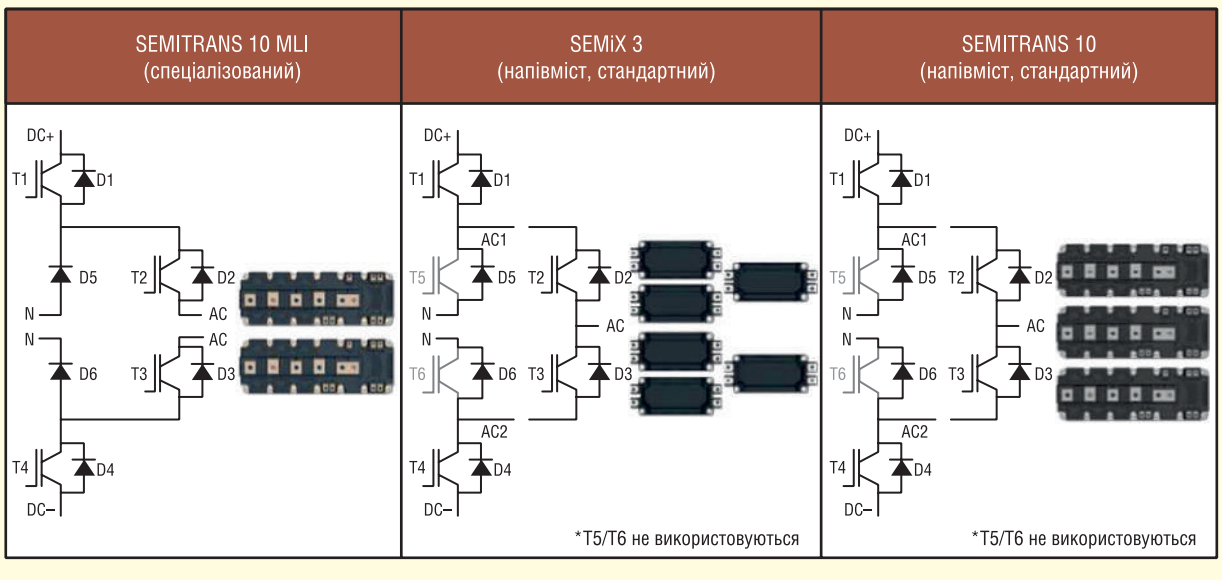


Рис. 9. Порівняння реалізацій NPC-інвертора: SEMITRANS 10 MLI (спеціалізований), SEMiX 3 (напівміст, стандартний), SEMITRANS 10 (напівміст, стандартний)

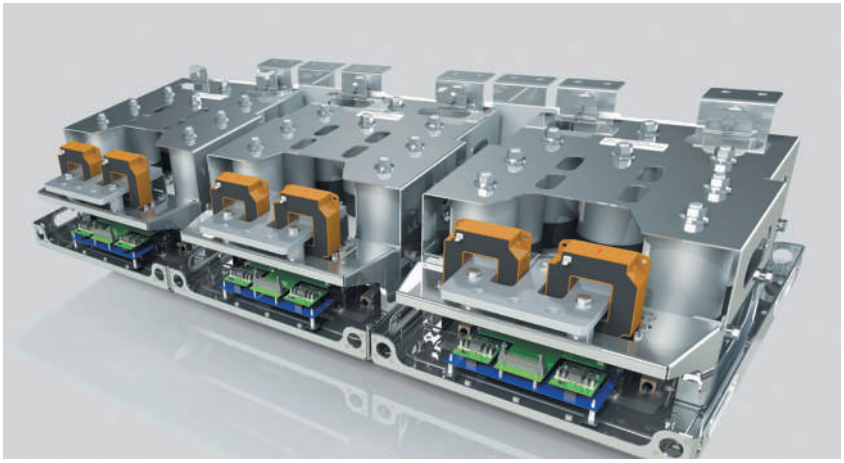


Рис. 10. Готова збірка 3L NPC-інвертора на базі модулів SEMITRANS 10 MLI

тована з використанням стандартних напівмостових модулів SEMITRANS 10. У цьому випадку також комутуються три модулі, але розташування DC- і AC-виводів дозволяє спроєктувати планарну шину з шарами, що перекриваються. Результуюча розподілена індуктивність становить близько 100 нГн для довгого ланцюга комутації.

Крім інверторів NPC, показаних вище, стандартні напівмостові модулі можуть використовуватися і в топології HF/LF ANPC. Як згадувалося раніше, перевага цієї схеми полягає в незалежності шляху комутації від коефіцієнта потужності. У версії HF/LF швидка комутація відбувається всередині одного модуля, що дає низьку індуктивність ланцюга комутації — всього 24 нГн для конструктиву SEMITRANS 10. Недоліком такого рішення є потреба у більшому монтажному просторі для розміщення трьох модулів у порівнянні з двома SEMITRANS 10 MLI, а також велика складність схеми керування затворами та підключення DC-шини.

ВИСНОВОК

Розробка технології IGBT 7 дозволила помітно знизити рівень втрат силових ключів та, відповідно, підвищити ККД перетворення, що еквівалентно зниженню габаритів без шкоди для ефективності та надійності. Можливість роботи за більш високої температури кристалів забезпечує додаткове збільшення щільності потужності в короткочасних режимах. Насамперед, це потрібно для застосувань з чітко визначеним профілем навантаження, зокрема транспортних приводів. Для таких систем також дуже корисна підвищена стійкість нового покоління чипів до дії вологи. Характеристики перемикання та dv_{CE}/dt модулів IGBT 7 добре контролюються ланцюгом керування затвором. Нові ключі відрізняються підвищеною стійкістю до перевантаження — у багатьох випадках струм КЗ може бути блокований через номінальний резистор затвора без використання ланцюга м'якого відключення (STO, SSD).

Випуск модулів IGBT 7-го покоління забезпечив подальше підвищення щільності потужності силових перетворювачів у всіх топологіях, включаючи тирівневі. Це відноситься як до малопотужних пристроїв, які розміщуються на друкованих платах, в яких використовуються IGBT 7 з робочою напругою 600–950 В, так і до додатків високої потужності, для яких потрібні ключі на 1200 В. Оскільки всі 3L-топології мають свої переваги та недоліки, вибір відповідних чипів повинен проводитись з урахуванням конкретної схеми та робочих режимів.

Для застосування мегаватного діапазону оптимальну продуктивність та мінімальні системні витрати забезпечує рішення на основі спеціалізованих модулів SEMITRANS 10 MLI, що дозволяє успішно застосовувати їх у перетворювачах для вітрової та сонячної енергетики. Збірка інвертора SEMIKUBE MLI потужністю 1.2 МВт з напругою до 1500 В на DC-шині показана на рисунку 10.

Далі буде

Література:

1. *Матеріали сайту www.semikron.com*
2. *Винтрих А. (Wintrich A.), перевод и коментарии Колпаков А. IGBT Gen.7 — революционная эволюция // CHIP NEWS Украина, 2020. № 3.* CN

ДО 2029 РОКУ СВІТОВИЙ РИНОК СВИНЦЕВО-КИСЛОТНИХ АКУМУЛЯТОРІВ ЗРОСТЕ У ГЕОМЕТРИЧНІЙ ПРОГРЕСІЇ

*Згідно з новим дослідженням **Fortune Business Insights** найближчими роками прогнозується значне зростання світового ринку свинцево-кислотних акумуляторів завдяки їх характеристикам надійності. Дослідження називається «Розмір ринку свинцево-кислотних акумуляторів, частка та глобальні тенденції за типами (залиті свинцево-кислотні акумулятори, герметичні свинцево-кислотні акумулятори), за кінцевими користувачами (автомобілебудування, нафта та газ, комунальні послуги, щодо застосування (переносно-акумуляторне, стаціонарне, двигун/тяга) та прогноз географії до 2022–2029 рр.». Згідно з дослідженням, схильність до використання електромобілів є основним фактором, що стимулює зростання цього ринку.*

У звіті зазначається, що зростання цін на пальне у всьому світі та посилення обмежень на викиди вуглецю в атмосферу підживлюють попит на автомобілі з високою економічністю палива. Це призводить до попиту на електромобілі зі свинцево-кислотними батареями, які не тільки працюватимуть ефективно, а й не завдаватимуть шкоди навколишньому середовищу. Це основний фактор, що стимулює світовий ринок свинцево-кислотних акумуляторів.

Свинцево-кислотні батареї порівняно економічніші, ніж батареї літій-іонного типу та нікель-металеві батареї, і це сприяє збільшенню їхнього попиту на світовому ринку. Основною тенденцією, визнаною на ринку свинцево-кислотних акумуляторів, є розвиток технологій в акумуляторних системах. Це супроводжується переходом на стаціонарні свинцево-кислотні акумулятори у телекомунікаційній галузі від звичайних генераторів. Ще одним важливим фактором, що стимулює ринок свинцево-кислотних акумуляторів, є попит на системи ДБЖ (IPPON Smart Power Pro II 1200) і транспортні засоби. Крім забезпечення енергією транспортних засобів, свинцево-кислотні акумулятори також забезпечують живленням автомобільні аксесуари, а саме: радіо, кондиціонери, склоочисники а також зарядні штекери.

www.fortunebusinessinsights.com

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*

SKKL
SKMT
SKMD
SKNH
SKKE
SKET
SKKD
SKKH
SKKT

03057, Київ-57, пр. Перемоги 56, оф. 335
тел/факс (044) 458 4766
E-mail: sales@semikron.com.ua
www.semikron.com.ua

Швидке виявлення перевантаження струмом за допомогою сигма-дельта модуляторів з оптичною ізоляцією

Вонг Чі Хенг (Wong Chee Heng), інженер-проєктувальник мікросхем
Лім Чіун Пін (Lim Shiun Pin), інженер з технічного маркетингу

ВСТУП

Побудова сучасної системи керування двигуном вимагає наявності засобів вимірювання та контролю таких параметрів як струм фази, крутний момент, напрям і швидкість обертання, значення струму та напруги на шині тощо. У міру вдосконалення двигунів, збільшення потужності, швидкості обертання, появи багатоосьових і різноспрямованих систем точність виміру цих параметрів стає критично важливою. За вимірювання крутного моменту, швидкості і напрямків обертання в системах вимірювання відповідає енкодер, а сигма-дельта (Σ-Δ) модулятор забезпечує високу точність і лінійність вимірювання струму і напруги на шині в широкому динамічному діапазоні. Для вимірювання струму використовуються трансформатори або датчики Холла, але ці рішення занадто громіздкі для сучасних систем, а результати та точність їх вимірювань значною мірою залежить від робочої температури двигуна.

Куди більш компактний та економічний спосіб вимірювання полягає у підключенні шунтового резистора безпосередньо до сигма-дельта модулятора. При цьому опір резистора вибирається таким чином, щоб максимальне значення струму у діапазоні, що вимірюється, відповідало напрузі ±50 мВ (для модуляторів ACPL–C799) або ±200 мВ для інших сигма-дельта модуляторів. При такій напрузі втрати потужності через розсіювання на резисторі зводяться до мінімуму. На рисунку 1 представлена схема, що ілюструє принцип вимірювання струму фази двигуна, а також значення струму та напруги на шині.

СИГМА-ДЕЛЬТА МОДУЛЯТОРИ З ОПТИЧНОЮ ІЗОЛЯЦІЄЮ

Одними з найдорожчих компонентів у системі керування двигуном є силові

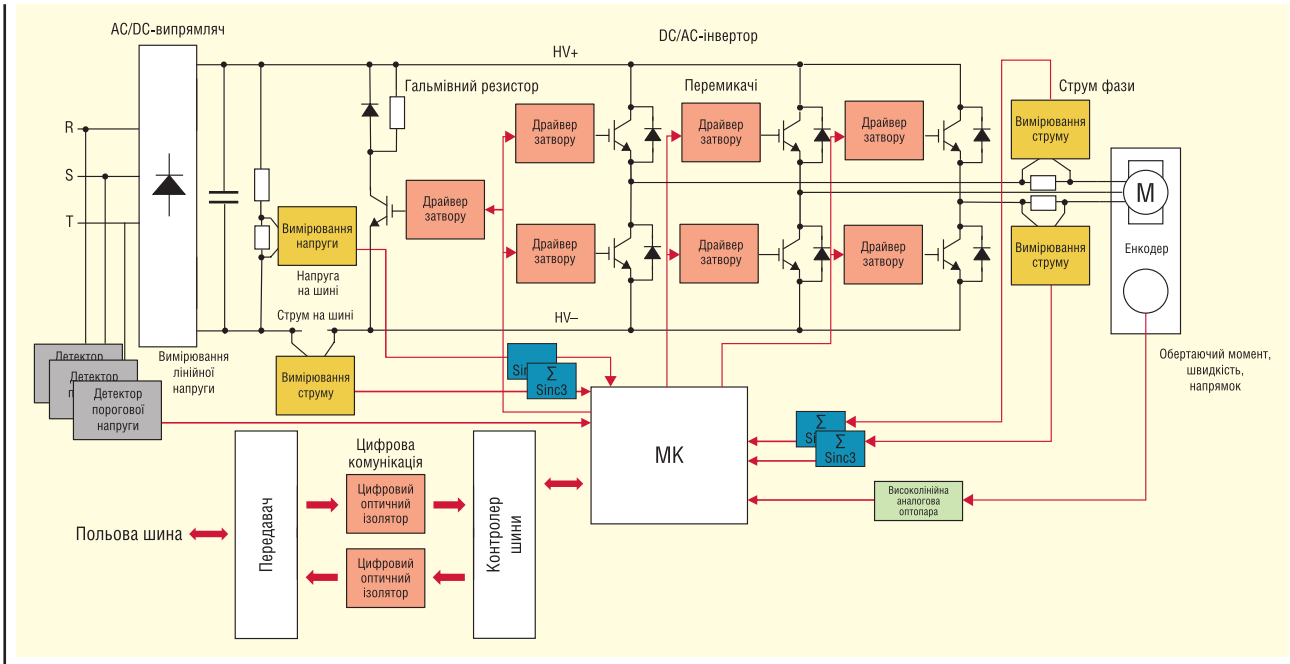


Рис. 1. Сигма-дельта модулятор для вимірювання струму та напруги на шині в системі керування двигуном

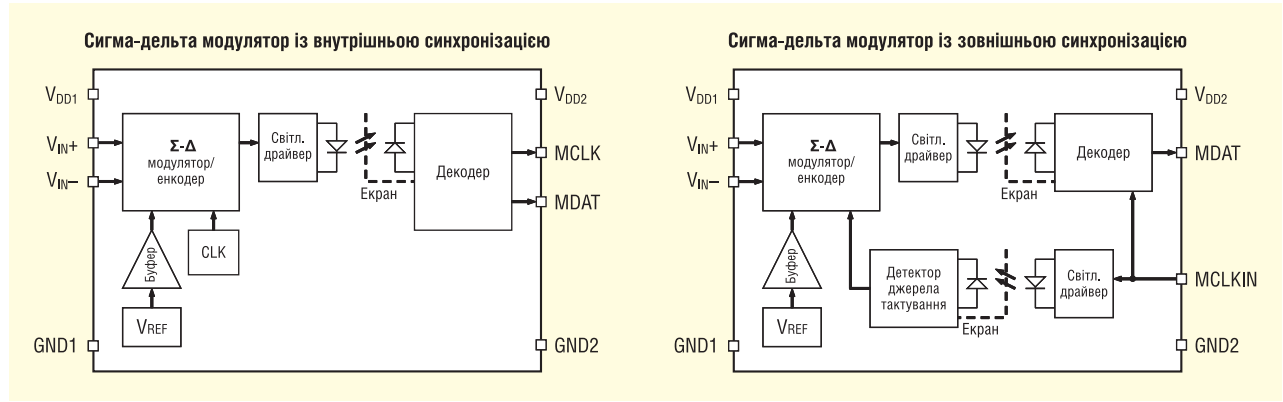


Рис. 2. Спрощені структурні схеми сигма-дельта модуляторів із внутрішньою та зовнішньою синхронізацією

перемикачі — IGBT- або MOSFET-транзистори. Ці компоненти мають високу частоту перемикання і можуть бути джерелом небажаних сплесків напруги і шуму, які, в свою чергу, негативно впливають на роботу мікроконтролера (МК). Використання сигма-дельта модуляторів з оптичною ізоляцією дозволить уникнути негативного впливу на мікроконтролер та підвищити точність вимірювання.

Мінімальне значення шляху струму витоку модулятора дорівнює 0.5 мм. Ці пристрої забезпечують відмінний захист від перенапруги і чудово підходять для програм з високою відмовостійкістю. Величина шляху струму витоку оптичних ізоляторів перевершує аналогічний параметр індуктивних або ємнісних ізоляторів, у яких значення становить приблизно 0.033 мм.

Сигма-дельта модулятори ACPL-C799, ACPL-C797, ACPL-796J та ACPL-798J компанії Broadcom перетворять аналоговий вхідний сигнал на цифровий потік даних за допомогою сигма-дельта модулятора 2-го порядку з надмірною дискретизацією [1–3]. Середній час обробки та передачі даних у модулятора пропорційний величині напруги вхідного сигналу. Ми розглянемо сигма-дельта модулятори ACPL-796J та ACLP-C799 з оптичною ізоляцією.

ТИПИ СИГМА-ДЕЛЬТА МОДУЛЯТОРІВ

Сигма-дельта модулятори поділяються на два типи залежно від того, де розташоване їхнє джерело тактування: модулятори з внутрішньою синхронізацією та зовнішньою синхронізацією. Джерело тактування модуляторів з внутрішньою синхронізацією розташовується на первинній стороні ізоляційного бар'єру, де і чип модулятора/енкодера. Робоча частота джерела становить 10 або 20 МГц. Тактовий сигнал кодується разом із вхідним сигналом і передається через ізоляційний бар'єр на декодер, де відбувається їх поділ. Джерело тактування для сигма-дельта модулятора із зовнішньою синхронізацією підключається до входу, розташованого на вторинному боці ізоляційного бар'єру, після чого тактовий сигнал передається на декодер та чип модулятора через окрему оптопару. Діапазон частоти роботи зовнішнього джерела тактування становить 5–25 МГц. У модуляторах обох типів після передачі вхідного сигналу через ізоляційний бар'єр відбувається його перетворення на цифрову форму (нулі та одиниці) на декодері. На рисунку 2 представлені спрощені структурні схеми сигма-дельта модуляторів із внутрішньою та зовнішньою синхронізацією.

Таким чином, сигнал, представлений в аналоговому форматі на вході, перетворюється на цифровий сигнал на виході.

У таблиці 1 наведені дані щодо напруги вхідного сигналу з ідеальними значеннями щільності нулів та одиниць на виході та з кодом АЦП. Дані, отримані з виходу модулятора в бітовому форматі, відправляються в мікроконтролер для подальшої обробки. Для усереднення або проріджування масиву дискретизованих бітів використовуються спеціальні фільтри Sinc3, що проріджують, у форматі ПЛІС або мікропроцесора. Регулювання дозволу та затримки фільтра налаштовується шляхом зміни коефіцієнта проріджування (чим більша тривалість затримки, тим вища роздільна здатність).

ШВИДКЕ ВИЯВЛЕННЯ ПЕРЕВАНТАЖЕННЯ СТРУМОМ

Перевантаження струмом або коротке замикання в транзисторах IGBT може виникнути внаслідок міжфазного замикання або замикання на землю. Зазвичай IGBT-транзистори зберігають працездатність при замиканні тривалістю до 10 мкс [5]. Як наслідок, для збереження працездатності системи та відключення живлення за цей проміжок часу на мікроконтролер повинен надійти відповідний сигнал про помилку. Щоб згенерувати сигнал про помилку, спочатку необхідно виявити перевантаження струмом. Одним із методів виявлення є вимірювання фазного струму з використанням сигма-дельта модулятора. Ключовим моментом в даному випадку є підбір розділення вимірювань, тому що при занадто високому розді-

Таблиця 1. Вхідна напруга сигма-дельта модулятора та відповідне значення щільності одиниць та нулів на виході модулятора

Аналоговий вхід	ACPL-796J, напруга на вході (±50 мВ)	ACPL-C799, напруга на вході (±200 мВ)	Щільність одиниць	Щільність нулів	Код АЦП (16b, децимація)
Повний діапазон вимірювань	640 мВ	160 мВ	–	–	–
+Повний діапазон	+320 мВ	+80 мВ	100%	0%	65.535
+Рекомендований діапазон	+200 мВ	+50 мВ	81.25%	18.75%	53.248
Нуль	0	0	50%	50%	32.768
–Рекомендований діапазон	–200 мВ	–50 мВ	18.75%	81.25%	12.288
–Повний діапазон	–320 мВ	–80 мВ	0%	100%	0

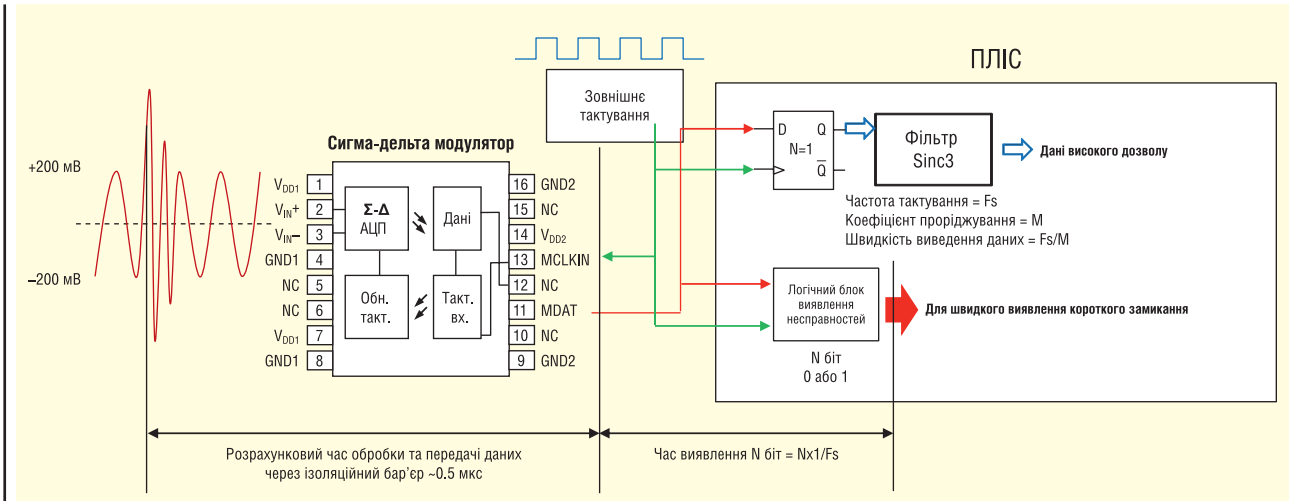


Рис. 3. Обробка даних із сигма-дельта модулятора із зовнішньою синхронізацією ACPL-796J (обробка з високою роздільною здатністю через фільтр ПЛІС та швидкого відгуку через її логічний блок)

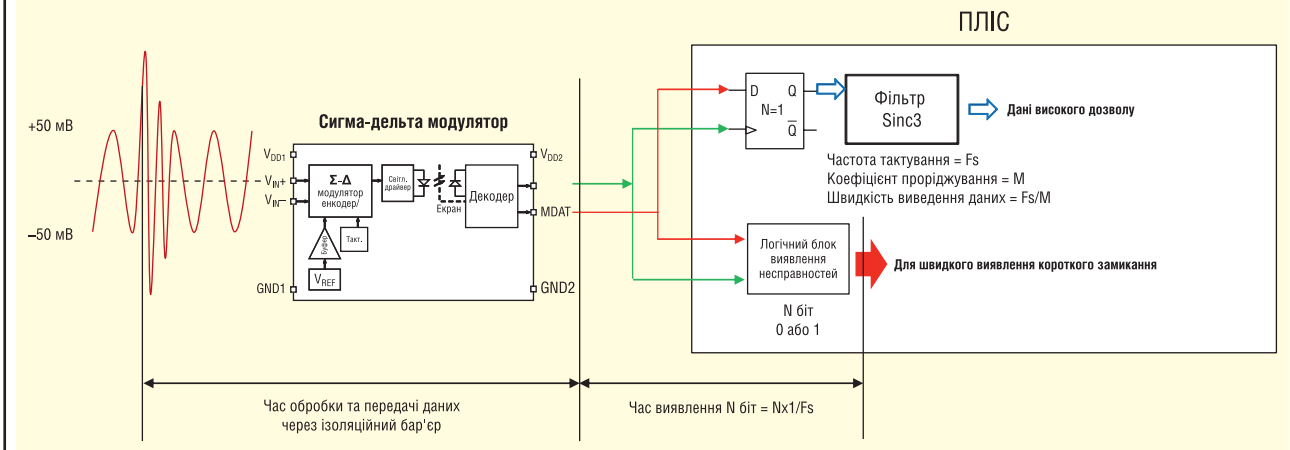


Рис. 4. Обробка даних із сигма-дельта модулятора з внутрішньою синхронізацією ACPL-C799 (обробка з високою роздільною здатністю через фільтр ПЛІС та швидкого відгуку через її логічний блок)

ленні час обробки вихідних даних може перевищити доступні 10 мкс, що, у свою чергу, призводить до незворотного руйнування дорогих компонентів і виходу з експлуатації всієї системи керування.

Прикладом того, як реалізовано виявлення перевантаження струмом за допомогою сигма-дельта модулятора, є використання фільтрів Sinc3 з коефіцієнтом проріджування 256 для вимірювань з високою роздільною здатністю і коефіцієнтом проріджування 32 для швидкого виявлення перевантаження струмом [6]. При частоті тактування 20 МГц час затримки складе 12.8 та 1.6 мкс для фільтрів з коефіцієнтом проріджування 256 та 32 відповідно. Однак, крім затримки фільтра, слід враховувати додаткові 0.5 мкс, необхідні для подолання сигналом ізоляційного бар'єру модулятора. Щоб ще більше скоротити час відгуку, замість фільтра Sinc3 з низьким коефіцієнтом проріджування можна використовувати логічний блок виявлення несправностей. Він являє собою сукупність логічних елементів і тригерів і дозволяє виявити цифровий сигнал несправності, що видається модулятором, що складається з N-біт масиву зі станом 1 або 0. Приклади схем, що реалізують ці рішення на базі модуляторів з внутрішньою та зовнішньою синхронізацією, представлені на рисунках 3–4.

Логічний блок виявлення несправностей можна реалізувати з урахуванням ПЛІС чи мікроконтролера. Як приклад можна навести масив N тригерів D-типу. Їхні виходи підключені до логічного елемента AND (І) для виявлення бітів з високим логічним рівнем (1) та до логічного елемента NOR (НЕ-АБО) для виявлення бітів з низьким логічним рівнем (0). Коли перший біт масиву досягає останнього тригера (n = N), вихід логічного елемента AND перемикається на високий рівень. Аналогічно, сигнал на виході елемента NOR набуває високого рівня при досягненні останнього біта з низьким рівнем останнього тригера. Ця схема дозволяє організувати зворотний зв'язок з мікроконтролером для своєчасного виявлення помилки в передачі та перевантаження струмом. На рисунку 5 показана логіка блоку виявлення несправностей для масиву з 20 біт з високим рівнем, а на рисунку 6 — для масиву з 20 біт з низьким рівнем. Робота блоку була протестована з урахуванням плати ACPL–C799 Xilinx FPGA (див. рис. 7); результати тестування, у т. ч. виміряний час відгуку, показано на рисунку 8.

З таблиці 1 випливає, що щільність бітів високого та низького рівня (нулів та одиниць) пропорційна рівню напруги на вході сигма-дельта модулятора. Ма-

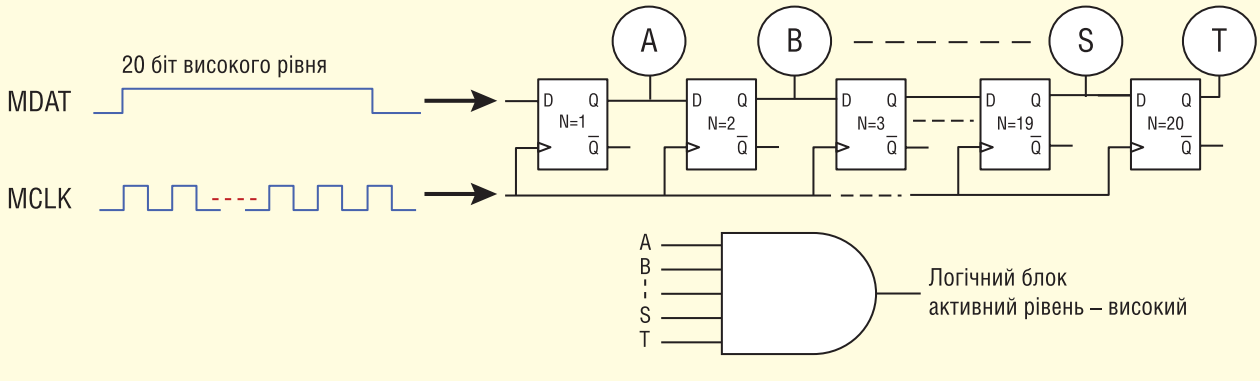


Рис. 5. **Логіка блоку виявлення несправності для 20-біт масиву з високим рівнем**

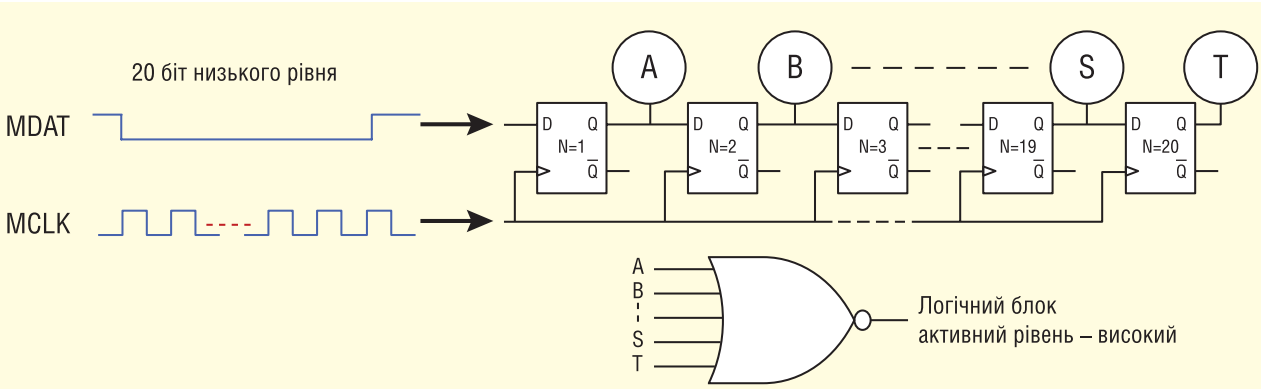
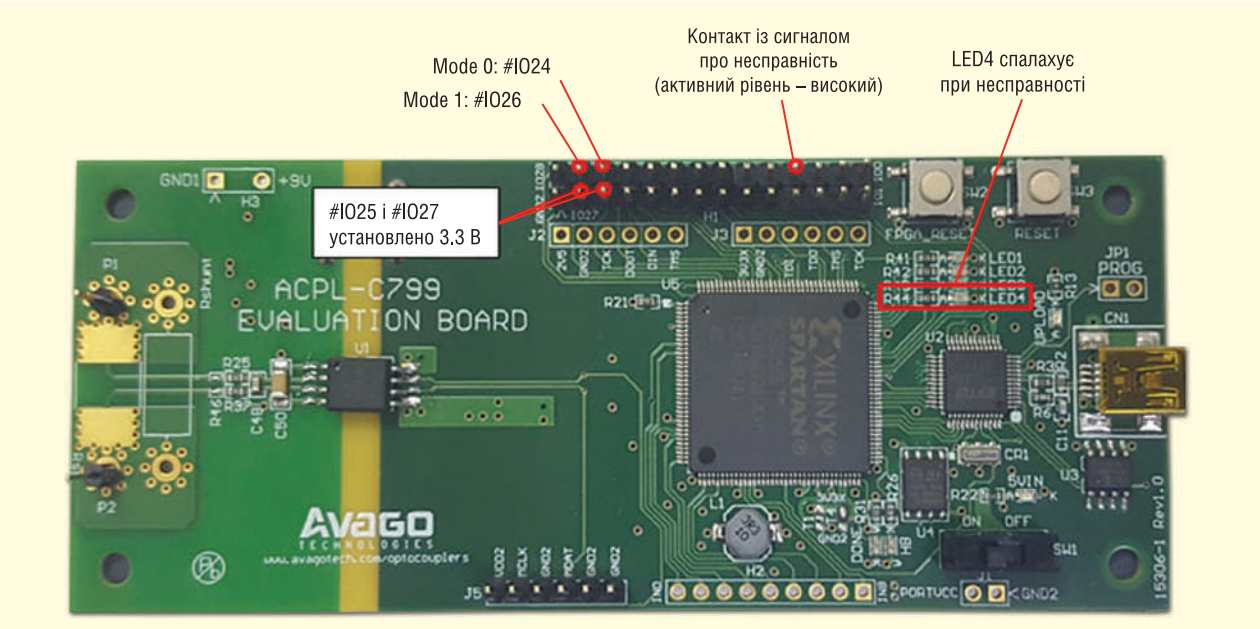


Рис. 6. **Логіка блоку виявлення несправності для 20-біт масиву з низьким рівнем**



Mode (1:0)	Виявлення несправності
01	10-біт безперервний низький або високий сигнал
10	15-біт безперервний низький або високий сигнал
11	20-біт безперервний низький або високий сигнал

Рис. 7. **Тестування блоку виявлення несправностей на оцінній платі ACPL-C799 Xilinx FPGA**

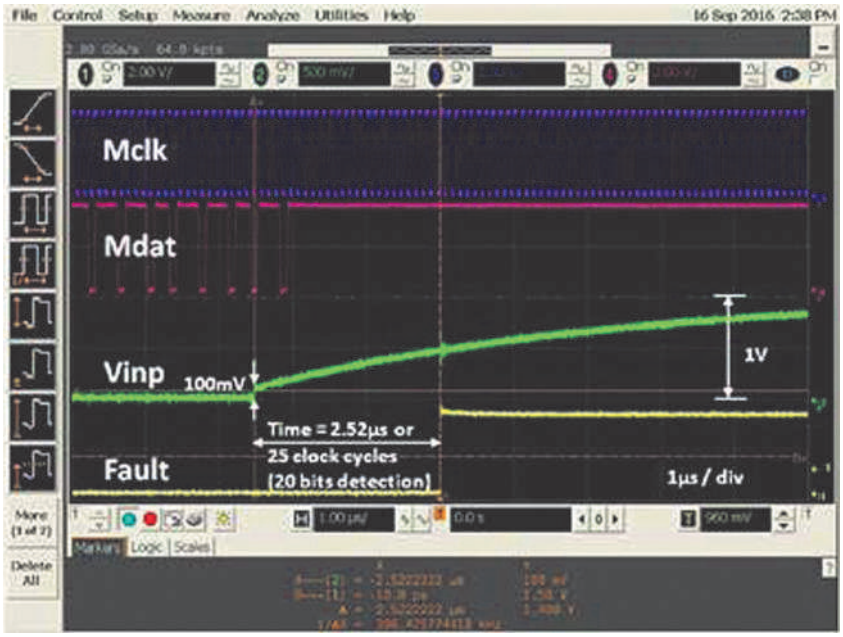


Рис. 8. Виміряний час відгуку модулятора ACPL-C799 при фіксації 20-біт масиву високого рівня

сив із 20 біт високого рівня виявляється при рівні вхідної напруги +270 мВ для ACPL-796J та +63 мВ – для ACPL-C799. Аналогічно, масив із 20 біт низького рівня виявляється при рівні вхідної напруги –270 мВ для ACPL-796J та –63 мВ у випадку з ACPL–C799. Якщо шунтуючий резистор вибраний так, що діапазон вхідної напруги становить ±200 мВ для ACPL 796J та ±50 мВ у випадку з ACPL–C799, що відповідає максимальному значенню вимірюваного струму, то в нормальних умовах роботи масив на виході модулятора не формується. У разі перевантаження струмом вхідна напруга відразу вийде за межі встановленого діапазону, і на виході модулятора сформується масив із 20 біт високого або низького рівня. Логічний блок виявлення несправностей фіксує цей масив і повідомляє про несправність протягом 1.54 мкс (ACPL-796J) або 2.52 мкс (для ACPL-C799) з початку виникнення навантаження.

На рисунку 8 наведено приклад фіксації 20-біт масиву високого рівня на виході модулятора ACPL-C799. За результатами вимірювання видно, що процес триває протягом 20 тактових циклів при частоті 10 МГц (фіксація масиву) та п'яти додаткових циклів, які потрібні для подолання ізоляційного сигналу бар'єру модулятора.

При використанні модулятора ACPL-796J можна домогтися того, що час відгуку не перевищить 1 мкс за умови, що діапазон вхідної напруги модулятора становитиме до ±50 мВ. У такому разі при виникненні перевантаження струмом рівень вхідної напруги виходить за межі ±100 мВ і відповідає 5 біт високого або низького рівня на виході сигма-дельта модулятора.

У разі ACPL–C799 можна зменшити час відгуку, якщо для фіксації несправності використовується масив з 15 або 10 біт. Однак при меншому діапазоні вхідної напруги скорочується відношення сигнал/шум (SNR) під час роботи, що слід враховувати при проєктуванні системи.

У таблиці 2 представлені різні конфігурації систем виявлення несправностей з допомогою фіксації масиву з N біт залежно від часу відгуку і рекомендованого нормального діапазону вхідної напруги.

ВИСНОВКИ

Своєчасне відключення системи керування двигуном під час перевантаження струмом запобігає пошкодженню та виходу з ладу дорогих силових напівпровідникових комутаційних компонентів. З усього вище сказаного випливає, що сигма-дельта модулятори з оптичною ізоляцією не тільки забезпечують вимірювання струму з високою роздільною здатністю та надійним захистом від збоїв, але також дозволяють детектувати коротке замикання при перевантаженні струмом з подальшою передачею масиву бітів у схему виявлення на базі Sinc3-фільтру або простих логічних елементів. Такий функціонал можна реалізувати, не змінюючи конфігурацію обладнання та не збільшуючи кількість компонентів системи.

Література:

1. ACPL–C799 Optically Isolated ±50 mV Sigma-Delta Modulator. Pub-005830 Data Sheet. 26 Aug 2016.
2. ACPL–C797 Optically Isolated ±50 mV Sigma-Delta Modulator. AV02–2581EN Data Sheet. 18 Nov 2013.
3. ACPL-796J Optically Isolated Sigma-Delta Modulator. AV02–1670EN Data Sheet. 6 Mar 2015.
4. ACPL-798J Optically Isolated Sigma-Delta Modulator with LVDS Interface. AV02–4339EN Data Sheet. 8 Aug 2015.
5. J. Li, R. Herzer, R. Annacker, B. Koenig. Modern IGBT/FWD Chip Sets For 1200 V Applications. Semikron Elektronik GmbH. 2007.
6. Safe and Accurate Isolated Current Sensing in Motor Control using Optically Isolated Sigma-Delta Modulators. AV00–0278EN Technical Note. 18 Dec 2013.

CN

Таблиця 2. Виявлення несправності за рахунок фіксації масиву з N біт в залежності від часу відгуку та діапазону вхідної напруги

Сигма-дельта модулятор	Розмір масиву бітів із високим або низьким рівнем сигналу	Значення напруги у разі виникнення несправності та генерації масиву бітів	Рекомендований діапазон вхідної напруги	Частота тактування	Час відгуку
ACPL-796J	5 біт	±100 мВ	±50 мВ	40 МГц	773 нс
	10 біт	±205 мВ	±100 мВ		1.01 мкс
	15 біт	±240 мВ	±200 мВ		1.36 мкс
	20 біт	±270 мВ	±200 мВ		1.54 мкс
ACPL-C799	10 біт	±47 мВ	±30 мВ	10 МГц	1.39 мкс
	15 біт	±57 мВ	±40 мВ		2.02 мкс
	20 біт	±63 мВ	±50 мВ		2.52 мкс

Нові LTE Cat.1 рішення SIMCom Wireless Solutions

Дмитро Новинський

З кожним роком зростає актуальність технології LTE, яка йде на зміну мереж другого і третього покоління. При цьому залишається важливою та зворотна сумісність на випадок відсутності покриття 4G. Вже понад два роки тому обидві вимоги були поєднані у рішеннях SIMCom — у модулях A-серії [1]. Але оскільки технології не стоять на місці, в рамках цієї лінійки з'явилися більш доступні та досконалі рішення — про них і йтиметься у статті.

ОГЛЯД

За минулий час, завдяки поєднанню найактуальніших технологій та вартості, модулі A7670E та A7600E добре зарекомендували себе там, де недостатньо лише підтримки 2G. Наразі альтернатив у бюджетному сегменті для них немає. Модулі 3G у чистому вигляді майже повністю зникли, до того ж, як і рішення з усіма технологіями, вони є менш доступними. Що стосується технології NB-IoT, в теперішньому вигляді вона має низку недоліків: необхідність використання спеціальних SIM-карток, низькі швидкості обміну, затримки при передачі, обмежене покриття, виключно стаціонарні застосування.

З огляду на популярність таких рішень, зокрема серед масових пристроїв, логічно було очікувати на продовження. При розробці SIMCom Wireless Solutions зробили ставку на три напрямки: більшу доступність, сумісність та розширений функціонал. Так і з'явилися три рішення — A7682E, A7672E-LASE та A7672E-FASE. Їхні основні характеристики наведені в таблиці 1.

Всі модулі побудовані на новій апаратній платформі і знаходяться в масовому виробництві. Програмна частина модулів однакова і збігається з іншими рішеннями LTE від SIMCom Wireless Solutions. На відміну від модулів, що вийшли раніше — A7670E і A7600E, ці модулі мають аналоговий аудіоінтерфейс, що усуває необхідність використання аудіокодеку. Інша особливість — можливість роботи з двома SIM-картами одночасно в режимі DSDS.

A7682E — найкомпактніший LTE-модуль у всій лінійці SIMCom Wireless Solutions. Крім габаритів, його відрізняє можливість створення загального посадкового місця з найдоступнішим і найсумовішим 2G-рішенням — SIM800C, а також модулем із вбудованою навігацією (SIM868x) та різними рішеннями NB-IoT у корпусах 15.7×17.6 мм. Варто зазначити, що на відміну від сумісних модулів, A7682E має великі розміри корпусу. Уніфікація посадкового місця забезпечується тим, що збігаються його LGA-контакти. З погляду відмінностей виділяються два аспекти: різні логічні рівні — 2.8 В (тільки у 2G-рішень) проти 1.8 В, а також відмінність у синтаксисі низки команд. Проте ці відмінності неважко враховувати під час розробки. Докладніше опис того, як організувати загальне посадкове місце, міститься в документах Compatible Design [2, 3].

Перш за все модуль призначений для пристроїв, де потрібна компактність і не потрібна вбудована навігація. З іншого боку, його можна розглядати як найдоступніший LTE-варіант, у тому чис-

Таблиця 1. Основні характеристики нових рішень SIMCom Wireless Solutions

	A7682E	A7672E-LASE	A7672E-FASE
Корпус	19.6×19.6 мм LGA	24×24 мм LCC/LGA	
Стільниковий зв'язок	LTE Cat.1, GSM		
Навігаційний приймач	–		GPS/ГЛОНАСС, є вивід 1pps
Bluetooth Low Energy	–		Bluetooth v 5.0
Макс. швидкість, Мбіт/с	10/5 (скачування/вивантаження)		
Середовище розробки	Open SDK		
Стеки і протоколи	TCP/IP/IPV4/IPV6/Multi-PDP/FTP/FTPS/HTTP/HTTPS/DNS/MQTT RNDIS/PPP/ECM		
Інтерфейси	USB/UART/I²C/ GPIO/ADC	USB/UART/I²C/GPIO/SPI/LCD (SPI)/ Camera (SPI)/ADC	
Підтримка двох SIM-карт (DSDS)	+		
Аналогове аудіо	+		
Діапазон напруги, В	3.2–4.2		
Температурний діапазон	–40...+85 °C		
Оновлення ПЗ модуля	USB або по повітрю (FOTA)		
Сумісні рішення	2G: SIM800C/SIM868x LPWA: SIM7022/ SIM7020E/SIM7080G	2G: SIM800/SIM800F LPWA: SIM7070x/SIM7060x LTE: A7670E	

лі для масових пристроїв бюджетного сегмента з 2G. Навіть якщо в даний момент модулів другого покоління достатньо, необхідно пам'ятати загальні тенденції розвитку стільникових мереж і те, що рано чи пізно все зведеться до 4G у тому чи іншому вигляді.

Модуль A7672E виконаний у традиційному для виробника форм-факторі 24×24 мм, тому він сумісний з усіма рішеннями в даному корпусі. При створенні загальної плати необхідно враховувати самі особливості, що були згадані вище. Поряд з LCC-контактами по периметру модуль має ряд внутрішніх контактів, на які виведено інтерфейс другої SIM-карти, LCD, камера і вивід Backup для навігації.

Як видно з таблиці 1, модуль існує у двох версіях. A7672E-LASE є аналогом A7670E — в ньому передбачена тільки стільникова частина. З точки зору призначення та можливих застосувань він дублює A7682E з поправкою на корпус.

В A7672E-FASE додано підтримку вбудованого навігаційного приймача GPS/ГЛОНАСС, а також Bluetooth Low Energy (BLE v5.0). Це відкриває широкі можливості для використання у пристроях транспортної телематики, оскільки модуль виконуватиме подвійну функцію. У свою чергу, BLE дозволяє створити канал спілкування з іншими пристроями або з користувачем. Таким чином, модуль найбільш універсальний з точки зору функцій, що підтримуються.

Більшість можливостей та особливостей даних модулів було розглянуто у статті, присвяченій їх попередникам — A7670E та A7600E [1]. Тому далі розглянемо ті, що раніше були недоступні чи зазнали змін.

НОВІ МОЖЛИВОСТІ

Дві SIM-карти

Обидва рішення підтримують роботу двох SIM-карток одночасно в режимі Dual Sim Dual Standby (DSDS). Цей режим передбачає використання загального тракту одночасно двома SIM-картами по черзі, завдяки чому вони можуть бути зареєстровані в мережі і здатні приймати вхідні дзвінки або SMS одночасно, незалежно від того, яка з них активна. Основне обмеження у тому, що пакетні дані можуть одночасно передаватися лише з однієї з них.

Тим не менш, робота в такому режимі звільняє користувача від необхідності ставити комутатор, що перемикає SIM. Окрім очевидної можливості отримувати повідомлення та дзвінки по обох картах, можна миттєво перемикатися між операторами, наприклад, у разі пропадання сигналу, або вибирати того, який забезпечує кращий рівень сигналу в даній точці.

Для роботи використовуються три основні команди:

```
AT+DUALSIM=x //задає режим роботи:
0 – DSDS (обидві картки можуть
реєструватися в CS/PS, в IMS лише
одна), 1 – Dual SIM Single Standby
(одночасно в мережі реєструється лише
одна карта), 3 – extra DSDS (обидві
картки можуть реєструватися в CS/PS/
IMS)]
AT+SWITCHSIM=x //задає "основну"
SIM-карту (0 – SIM1; 1 – SIM2). Усі
команди, подані за замовчуванням,
будуть ставитись до неї; значення
зберігається під час перезавантаження
AT+BINDSIM=x //перемикає канал AT-команд
на SIM1 (0) або SIM2 (1). Тобто після
подачі цієї команди із зазначенням,
наприклад, параметра "1" всі команди,
що подаються далі, будуть відноситися
до другої SIM-карти
```

Таким чином, команда SWITCHSIM корисна для завдання основної SIM, через яку йде обмін пакетними даними. Для перевірки статусу, обробки дзвінків та SMS по іншій карті можна використовувати AT+BINDSIM.

Навігаційний приймач

У модуля A7672E навігаційна частина незалежна, за рахунок чого можливі два режими роботи: коли навігаційна частина повністю з'єднана зі стільниковою (all-in-one) або коли вона підключається до зовнішнього джерела та MCU (standalone). Схему підключення в обох режимах наведено в Hardware Design [2, 3].

Слід зазначити, що для навігаційної частини потрібен досить вузький діапазон напруги живлення 1.7–1.9 В. Для виводу Backup, призначеного для збереження інформації про ефемериди і час, потрібно 1.4–3.6 В. Щоб не встановлювати додатковий ланцюг живлення, можна подати живлення до приймача від виводу VCC_1V8 (#15).

Перший режим цікавий для тих випадків, коли потрібно вести всю роботу через один UART, або для обробки навігаційних даних всередині програми користувача. У цьому режимі навігаційний UART з'єднується з UART3, живлення береться з модуля, а управління увімкненням здійснюється за допомогою GPIO. Нижче наведено приклад AT-логу для роботи в цьому режимі:

```
AT+CGNSSPWR=1 //включаємо навігацію
OK
+CGNSSPWR: READY! // чекаємо
підтвердження запуску
AT+CGPSCOLD //робимо холодний старт
(якщо потрібно)
OK
AT + CGNSSPORTSWITCH = 1,0 //команда
задає куди видавати NMEA-дані –
в апаратний UART (1) або AT-порт
USB-комбінації (0). Перший параметр
відповідає за звичайні дані, другий –
за сирі (RAW)
OK
AT+CGPSFTM=1 //цю команду можна
використовувати для тесту, вона
створює прозорий канал, видаючі дані
NMEA безпосередньо
OK
+GPGSV:... //дані йдуть
…
AT+CGPSFTM=0 //відключаємо
OK
AT+CGNSSINFO //команда служить для
одноразового отримання поточного стану:
кількості супутників, координат, часу,
швидкості, DOP тощо
+CGNSSINFO:...
OK
AT+CGNSSINFO=1 //параметр дозволяє
задати період автоматичної видачі, в
даному разі – кожну секунду
OK
+CGNSSINFO:...
```

Інша перевага цього режиму — більш простий процес отримання ефемерид із сервера (AGPS) для прискорення старту. Для цього достатньо подати команду AT+CAGPS, і модуль зробить все автоматично.

До недоліків даного режиму належить залежність роботи навігаційної частини від роботи стільникової, оскільки джерело живлення навігації (LDO) функціонує лише за умови включеного модуля. Тому для низки застосувань виправдано використання зовнішнього живлення. Аналогічна ситуація з роботою через загальний UART: щоб отримувати дані безперервно, потрібно підключити послідовний порт навігації безпосередньо до контролера.

Сканування Wi-Fi-мереж

Як було згадано в статті, що раніше вийшла [1], за рахунок близькості частот LTE до 2.4 ГГц модуль здатний сканувати і відображати параметри навколишніх Wi-Fi-точок доступу. Ефективність

даного методу безпосередньо залежить від застосовуваної LTE-антени — вона повинна бути досить широкосмуговою, щоб, крім частот для стільникового зв'язку, захоплювати і вказаний вище діапазон.

У нових модулів цей функціонал був розширений завдяки можливості конфігурування процесу сканування:

```
AT+CWSTASCANEX=1,3,4,25,0 //задаємо налаштування сканування
//параметри: відображення рівня сигналу, кількість раундів сканування, макс. кількість bssid, що видаються, тайм-аут сканування, пріоритет для сканування
OK
AT+CWSTASCANEX //запуск сканування
+CWSTASCANEX:
58:8B:F3:6A:F7:08,13,-86 //BSSID, номер каналу, рівень сигналу
64:EE:B7:9D:52:BE,1,-96
OK
```

Отримана таким чином інформація може бути використана для навігації всередині об'єктів або як додатковий канал отримання відомостей про місцезнаходження.

OpenSDK

Як і раніше, модуль підтримує виконання ПЗ користувача усередині прошивки. Сам процес не змінився і був описаний раніше [1]. Тим не менш, є і ряд нововведень, пов'язаних з оновленою платформою.

Для модулів A7672E та A7682E постачається окремий комплект розробки, хоча і співпадаючий за структурою та взаємодією з ним. Як і раніше, для всіх функцій модуля є дублюючі арі, а також низка можливостей, недоступних без застосування середовища розробки.

Всі можливості зведені в демоприклади, більшість з яких були описані раніше. Серед нових:

- GPS

Приклад призначений для роботи з навігаційним приймачем у режимі all-in-one, коли він керується стільниковою частиною. Сам приклад досить наочний — вибираючи послідовно пункти, роблять налаштування потрібних параметрів: швидкості, навігаційних систем, повідомлень, що видаються тощо. Також доступно кілька режимів видачі даних і A-GPS для прискорення старту.

- BLE

Приклад присвячений Bluetooth Low Energy. На момент написання статті там наведені арі тільки для режиму GATT-сервера, але найближчим часом будуть додані функції сканування та підключення до інших пристроїв BLE.

- CAM

Модуль має можливість підключення камери по інтерфейсу SPI. З обмежень — підтримуються камери не більше 0.3 Мп і режим фото.

У цьому прикладі модуль робить знімки з можливістю відображення на дисплеї.

- LCD

Модуль має можливість підключення зовнішнього дисплея по SPI-інтерфейсу. Приклад охоплює можливі параметри та режими відображення.

Таким чином, для користувача відкривається ще більше можливостей для застосування модуля як не периферійного, а центрального пристрою. Всередині користувача ПЗ модуль тепер може не тільки передавати дані та обмінюватися по різних інтерфейсах, але й отримувати інформацію про поточний час та місцезнаходження, а також фіксувати та відображати інформацію за допомогою камери та дисплея.

BLUETOOTH LOW ENERGY

Одна з головних відмінностей від рішень, що раніше вийшли, та інших LTE-модулів — підтримка специфікації Bluetooth 5.0 модулями A7672EFASE. Слід зазначити, що на даний момент у модулі реалізовано лише функціонал Bluetooth Low Energy і не всі можливості самої специфікації підтримуються модулем у принципі. Однак потенціал на розширення є і з часом з'являться нові функції.

Тим не менш, навіть підтримка BLE вже відкриває широкі можливості для обміну даними між модулем та іншими пристроями. На відміну від дискретного BLE-модуля або чипа модуль має такі переваги:

- економія місця на друкованій платі;
- відсутність витрат на обв'язку, необхідності розміщувати на платі щось, крім Bluetooth-антени;
- доступність, оскільки вона є частиною модуля;
- простота освоєння та взаємодії: вся робота ведеться за допомогою AT-команд.

Оскільки цей функціонал раніше не був доступним для LTE-модулів, розглянемо роботу у трьох основних режимах: сканування, сервер, клієнт.

Сканування BLE-пристроїв

Базовий функціонал, що дозволяє отримувати основні параметри оточуючих BLE-пристроїв, а також дані, необхідні надалі, для підключення до цих пристроїв як клієнт.

Крім пошуку потрібного GATT-сервера, цю функцію можна використовувати для пристроїв, які транслюють інформацію у вигляді адвертів.

Послідовність дій така:

```
AT+BLEPOWER=1 //включаємо Bluetooth
OK
AT+BLECREG //реєструємо GATT клієнта
+BLECREG: 0,ABCDEF00 //ID клієнта, ID користувача
OK
AT+BLESCAN=0,1 //запускаємо сканування: 0 – id клієнта, 1 – старт
+BLESCANRST: 0,0,"1c:fd:67:fd:9f:e7",182,"1EF F060001092006271657024 85B482E99777EA45F6B40464F778835AEFE64"
…
+BLESCANRST: 0,23,"63:b2:fc:19:0e:8f",183,"0201 1A1A0947616C61787920546 16220412028382E30222C203230313929"
//параметри: client index, server index (за яким йде підключення в режимі клієнта), адреса, RSSI, вміст адверта
AT+BLESCAN =0,0 //зупиняємо сканування
OK
```

Сканування є циклічним, тому, якщо якийсь із пристроїв поміняє вміст адверта, він з'явиться в оновленому вигляді у видачі. Це актуально для застосувань, що не використовують пряме підключення.

BLE-клієнт

Працюючи в даному режимі (central/gatt client/master), модуль підключається до периферійних (gatt server/slave), взаємодіючи з їхніми сервісами та характеристиками. Для тесту використовувався смартфон із утилітою nRF Connect у режимі сервера.

Після того, як потрібний пристрій був виявлений у результатах сканування, з'являється можливість підключення:

```
AT+BLECGDT=23 //є можливість запросити тип пристрою (Classic/LE/Dual)
+BLECGDT: 23,3
OK
AT+BLECCON=23 //підключаємось за індексом сервера
OK
+BLECCON: 0,"63:b2:fc:19:0e:8f" //id з'єднання, MAC-адреса
+BLEMTU: 0,185 //id з'єднання, розмір MTU для цього з'єднання
AT+BLECSS? // запит усіх сервісів
+BLECSS: 23,0,0x1801 // ID сервера, ID сервісу, його UUID
+BLECSS: 23,1,0x1800
+BLECSS: 23,2,0x11111110000100080000 0805F9B34FB
```

```
+BLECSS: 23,3,0x222222220000100080000
0805F9B34FB
OK
AT+BLECSS=2 // запит uuid для окремого
сервісу
+BLECSS: 23,2,0x111111110000100080000
0805F9B34FB
OK
AT+BLECGC? // Запит всіх характеристик;
також можна запросити дані лише для
однієї
+BLECGC: 0,0,32,0x2A05 //id сервісу,
id характеристики, властивості
характеристики, UUID
+BLECGC: 1,1,2,0x2A00
+BLECGC: 1,2,2,0x2A01
+BLECGC: 1,3,2,0x2AA6
+BLECGC: 2,4,22,0x3333333300001000800
000805F9B34FB
+BLECGC: 2,5,42,0x4444444400001000800
000805F9B34FB
OK
AT+BLECGD? // Запит всіх дескрипторів;
також можна запросити дані лише для
одного
+BLECGD: 4,0,0x2902 //id характеристики,
id дескриптора, uuid
+BLECGD: 5,1,0x2902
OK
```

Вище йшлося про властивості параметрів. Цей параметр є сумою чисел, які визначають параметри характеристики: трансляція (1), читання (2), запис без підтвердження (4), запис (8), нотифікація (16), індикація (32), запис з аутентифікацією (64), розширені опції (128). Для прикладу: характеристика з id «4», має властивості читання, запису без підтвердження та нотифікації, тобто 2 + 4 + 16 = 22.

Окремо слід зазначити роботу з нотифікаціями (notify) та індикацією (indicate). Обидва механізми виконують функцію асинхронного оповіщення: notify — без підтвердження (тобто воно може не дійти), indicate — з підтвердженням клієнта. У характеристик з id «4» та «5», зазначених вище, задані параметри notify та indicate відповідно. Після зміни значення характеристики на стороні сервера, при активному з'єднанні, на модуль відразу надходить інформація у вигляді асинхронних повідомлень:

```
+BLECNTY: 0,4,"33333333" //
нотифікація: id з'єднання, id характе-
ристики, нове значення
+BLECIND: 0,5,"44444444" //індикація:
id з'єднання, id характеристики,
нове значення
```

Далі розглянемо безпосередню взаємодію з характеристиками — читання і запис.

```
AT+BLECRC=4 //читання, параметр — id
характеристики
OK
+BLECRC: 0,4,"33333333" //id з'єднання,
id характеристики, значення
AT+BLECWC=4,0,"3333" //запис: id
характеристики, 0 — тип запису (без
підтвердження), значення
OK
```

Аналогічний функціонал читання та запису доступний і для дескрипторів за допомогою команд AT+BLECRD та AT+BLECWD.

Якщо з'єднання буде обірвано, модуль сповістить користувача за допомогою асинхронного повідомлення «+BLEDISK: ...». Стандартна процедура припинення обміну виглядає наступним чином:

```
AT+BLECDISC=0 //закриваємо з'єднання,
id з'єднання
OK
+BLECDISC: 0,63:b2:fc:19:0e:8f"
AT+BLECDREG=0 //припиняємо роботу
GATT-клієнта: ID клієнта, ID користувача
+BLECDREG: 0,ABCDEF00
OK
AT+BLEPOWER=0 //вимикаємо BLE-частину
OK
```

BLE-сервер

Модуль також може виступати і в ролі периферійного (GATT-сервер) пристрою. Приклад ініціалізації модуля у цьому режимі:

```
AT+BLEADDR? //запит MAC-адреси
+BLEADDR: "5c:46:b0:03:40:54"
OK
AT+BLEHOST? //запит відображуваного
імені; ця ж команда дозволить його задати
+BLEHOST: SIMCOM BLE,"5c:46:b0:03:40:54"
OK
AT+BLEPOWER=1 //включаємо BLE-частину
OK
AT+BLESREG //реєструємо GATT-сервер
+BLESREG: 0,ABCDEF00 //id сервера, uuid
OK
AT+BLESSAD=0,"1111",30,1,4 //додаємо
сервіс: id сервера, uuid, фіксований
параметр, основний (primary), фіксований
параметр
+BLESSAD: 0,ABCDEF00,1111,1,4,0 //
перший параметр — id сервісу
OK
AT+BLESSCAD=0,"AAAA",4,58,3 //додаємо
характеристику: id сервісу, uuid,
фіксований параметр, властивості
характеристики (є сумою окремих
параметрів, описувалися раніше), дозвіл
(permission: 0 — заборона, 1 — читання,
2 — запис, 3 — читання та запис)
+BLESSCAD: 0,ABCDEF00,AAAA,0,0 //
перший параметр — id характеристики
OK
//щоб прибрати характеристику,
використовується команда
AT+BLESSCRM=<id характеристики>
AT+BLESSDAD=0,"2222",4,0 //id характе-
ристики, uuid, фіксований параметр,
роздільна здатність
+BLESSDAD: 0,AAAA,2222,0,0
OK
AT+BLESLSTART=0 //старт трансляції
адверта
+BLESLSTART: 0,ABCDEF00
OK
+BLESCON: 1,ABCDEF00,64:af:2a:13:fb:44,1
//до модуля підключився клієнт: статус
підключення (підключено), uuid GATT-
сервера, MAC-адреса клієнта, id
з'єднання
+BLEMTU: 1,185 //id з'єднання, розмір
MTU для даного з'єднання
```

Реалізована конфігурація GATT сервера з боку клієнта представлена на рисунку 1.

Далі запишемо та прочитаємо характеристику, а також направимо повідомлення на модуль (indicate та notify):

```
+BLESWREQ: ABCDEF00,1,0,"64:af:2a:13:
fb:44", 17,5555,0,0,0 //запит на запис
характеристики: uuid GATT-сервера,
id з'єднання, id поточної транзакції
(запиту), MAC-адреса клієнта, тип
запиту, значення, що записується,
параметри запиту на запис
AT+BLESRSP=1,"3333WWWW" //підтвердження
запису зі значенням; для запису
в hex значення дужках додатково
потрібно помістити у форму HEX{…}
+BLESRSP: 0,ABCDEF00,1,1
OK // успішно
+BLESRREQ: ABCDEF00,1,0,"64:af:2a:13:
fb:44",1 7,184,0 //запит на читання
характеристики: uuid GATT-сервера,
id з'єднання, id поточної транзакції
(запиту), MAC-адреса клієнта, параметри
запиту
AT+BLESRSP=0,"3333RRRR" //підтвердження
запиту на читання зі значенням
+BLESRSP: 0,ABCDEF00,1,1
OK //успішно
```

Також є можливість надіслати індикацію або нотифікацію віддаленій стороні:

```
AT+BLESIND=0,"7777" //індикація: id
характеристики, значення
OK
+BLESIND: 0,ABCDEF00,1,17 //перший
параметр "0" — успішно
AT + BLESNTY = 0, "8888" // нотифікація:
id характеристики, значення
+BLESNTY: 0,ABCDEF00,1,17 //перший
параметр "0" — успішно
OK
```

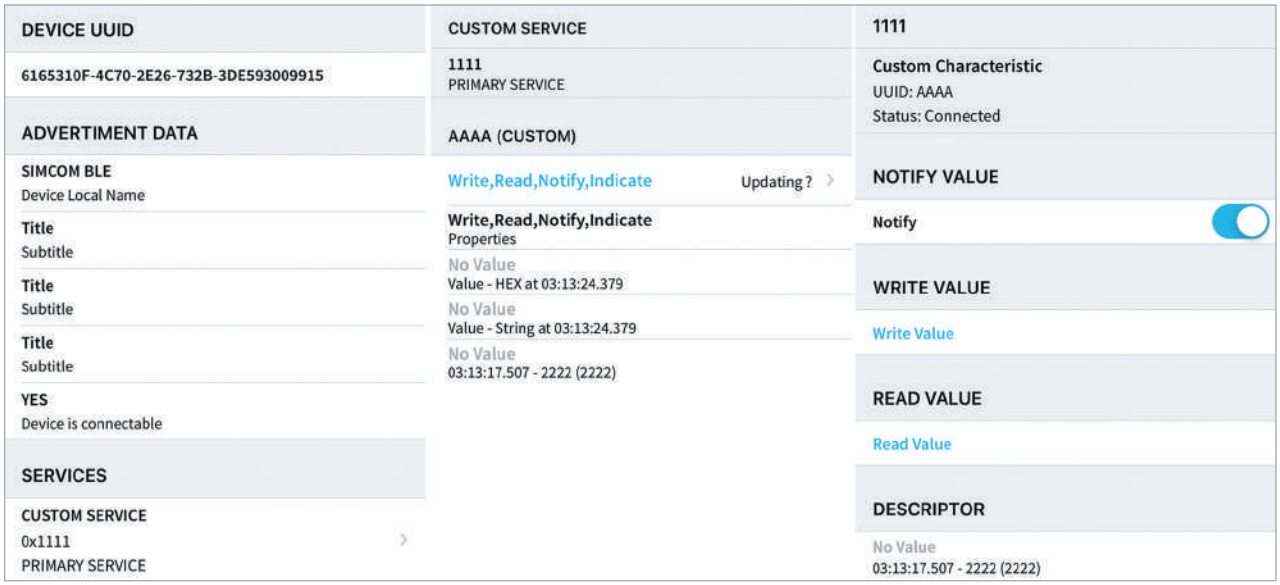


Рис. 1. Реалізована конфігурація GATT-сервера з боку клієнта. GATT-сервер з боку підключеного пристрою. Зліва направо: загальна інформація/доступні сервіси, характеристики сервісу «1111», параметри, дескриптор та значення характеристики «AAAA»

Оновлені значення характеристики наведено на рисунку 2.

Завершується робота з BLE у зворотному порядку:

```
AT+BLESLSTOP=0 //припиняємо роботу GATT-сервера
+BLESLSTOP: 0,ABCDEF00
OK
+BLESCON: 0,ABCDEF00,64:af:2a:13:fb:44,1
//якщо були підключені клієнти, вони від'єднуються
AT+BLEPOWER=0 //вимикаємо BLE-частину
OK
```

Раніше було наведено приклад для запису з підтвердженням. Якщо використовується запис без підтвердження, видаватиметься лише наступне URC:

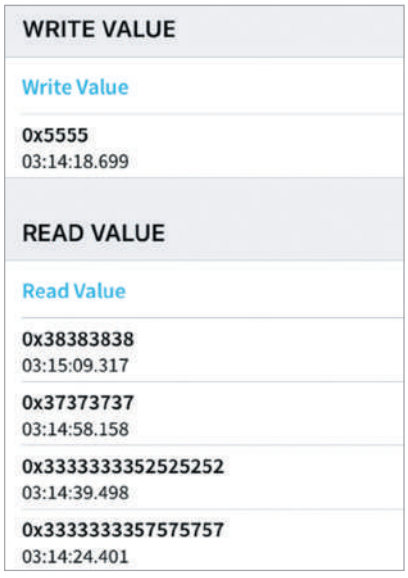


Рис. 2. Оновлені значення

```
+BLESWREQ: ABCDEF00,1,0,"4d:e8:f2:13:48:69",17,5555,0,0,0
```

Резюмуючи описане, можна сказати, що модуль підтримує всі основні режими роботи Bluetooth Low Energy, що дозволяє використовувати його в будь-якій конфігурації обладнання.

ВИСНОВОК

Модулі A7672E та A7682E — це найдоступніший спосіб додати підтримку технології LTE у кінцеві пристрої. Продовжуючи популярну A-серію модулів стільникового зв'язку, вони надають користувачам ще більше можливостей: компактніші габарити, Bluetooth Low Energy, вбудовану навігацію і розширені можливості для коду користувача. Важливо й те, що ці рішення зроблені з урахуванням можливості застосування їх з основними 2G-рішеннями в лінійці. Це гарантує наступність та простоту переходу.

Література:

1. Новинский Д. Модули A-серии от SIMCom Wireless Solutions: обзор возможностей и создание пользовательских приложений // CHIP NEWS Украина. 2021. № 1.
2. www.simcom.com
3. www.mt-system.ru

CN

МОДЕРНІЗОВАНИЙ ПОРТАЛ РОЗРОБНИКІВ ТЕХНОЛОГІЇ LORA

*Компанія **Semtech Corporation** представила оновлений портал розробників технології LoRa, що дозволяє інженерам швидко створювати пристрої «Інтернету речей», які використовують бездротовий стандарт передачі даних LoRaWAN. Оновлений портал надає спеціалістам надійні інструменти для створення рішень, що використовують LoRa. Завдяки пропонованим рішенням та навчальним посібникам компанії, що використовують мережі зв'язку стандарту LoRaWAN, зможуть швидше і з меншими витратами створювати та тестувати прототипи своїх пристроїв. Портал пропонує різні інформаційні ресурси, включаючи навчання основ протоколу LoRaWAN, процесу створення мережі, розгортання повномасштабних комерційних рішень тощо.*

Найближчим часом портал розробників технології LoRa запропонує зареєстрованим користувачам додаткові оновлення, включаючи нові інструменти, що допомагають більш точно розрахувати час роботи пристроїв від одного елемента живлення, передбачувану дальність роботи пристроїв і отримати дані щодо площі радіопокриття мережі, що розробляється.

https://lora-developers.semtech.com/

Нова маркетингова політика Quectel: бездротові модулі в комплекті з антенами

Частина 2

Віктор Алексєєв, к. ф.-м. н.

На початку квітня 2021 року один з провідних світових виробників бездротових модулів та модемів — китайський концерн Quectel Wireless Solutions представив нову лінійку антен для своїх бездротових пристроїв [1]. Тим самим Quectel почав реалізовувати нову маркетингову політику, в рамках якої покупцеві пропонується не тільки сам бездротовий пристрій, а й оптимально підібрані антени та кабелі. Такий підхід дозволяє постачати замовникам бездротові модулі та модеми з оптимальним варіантом антени від одного постачальника. В результаті надається можливість знизити економічні витрати та суттєво скоротити час розробки проєкту. У першій частині статті, опублікованій у журналі «Бездротові технології», № 4, 2020, розглянуті антени Quectel для додатків IoT та 5G. У цій статті наведено короткий огляд антен 2G-4G та GNSS виробництва Quectel.

ОСНОВНІ КОНСТРУКТИВНІ ОСОБЛИВОСТІ АНТЕН 2G/3G/4G

У коментарях до продукції Quectel наголошується, що фірма разом зі своїми модулями бездротового зв'язку для роботи в мережах 2G/3G/4G постачає такі типи антен [2]:

- PCB Antennas (Printed circuit board) — антени на друкованих платах;
- FPC (f lexible printed circuits) — гнучкі антени на друкованих платах;
- жорстко-гнучкі антени на друкованих платах — Rigid Flex PCB;
- IFA/PIFA Antenna (IFA — inverted F antenna) — інверсна F-подібна антена;
- External Rubber antennas — зовнішні короткі спіральні антени у гумовому чи синтетичному корпусі;
- Metal-Frame Antennas — антени, в яких елементи корпусу пристрою використовуються як складові активного елемента;
- Waterproof Antenna — зовнішні штирьові антени в пиловологозахисному виконанні;
- Chip Antennas — чип-антени;
- Patch Antenna — мікросмужкова патч-антена;
- Spiral Ceramic Antenna — спіральна керамічна антена;
- Surface Mount Device (SMD) — антени для монтажу на поверхню друкованої плати;
- Laser Direct Structure Antenna — технологія створення провідної структури антени в модифікованих пластиках.

У статті коротко охарактеризовано вказані антени. Слід особливо наголосити, що у повній технічній документації на антени (Antenna Datasheet), а також у каталозі своєї продукції компанія (Quectel Antenna Portfolio, 2020 та 2019) [3, 4] та інформаційному документі [5] компанія вказує не для всіх моделей точне найменування типу антени, що збігається з інструкцією [2]. Крім того, у деяких публікаціях Quectel відзначаються моделі, на які немає детальної технічної документації (data sheet) у вільному доступі, наприклад, модель YCGO002AA згадується лише у рекламних буклетах [6].

Є й інші аналогічні приклади. Тому в статті посилання на конкретну модель Quectel при описі типів антен будуть наведені тільки для тих моделей, на які автору вдалося виявити технічну документацію у відкритому доступі.

Слід також враховувати, що в Інтернеті можна знайти різні документи Quectel, в яких ті самі антени віднесені до різних класів. Підтвердженням цього є, наприклад, документи «Quectel Antenna Design Note», які можна завантажити в редакціях 2016, 2018 та 2019 рр.

Антени на друкованих платах

Антени на друкованих платах (PCB — Printed circuit board) розроблені близько 50 років тому і використовуються в різних бездротових пристроях — від дитячих іграшок до військового обладнання.

На рисунку 1 показана антена Quectel YF0007AA, що вбудовується, виготовлена з використанням технології PCB. Ця модель, призначена для розміщення всередині корпусу пристрою, має кабель з роз'ємом U.FL для підключення до модуля Quectel.

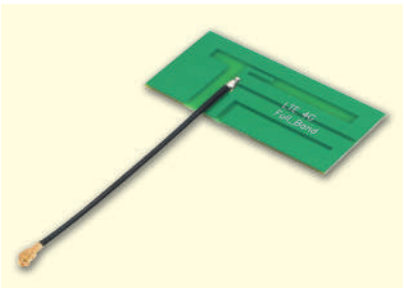


Рис. 1. Вбудована антена 2/3/4G Quectel YF0007AA, виготовлена з використанням технології PCB [7]

З розвитком технологій з'явилося кілька нових модифікацій антен на друкованих платах (АПП), таких, наприклад, як Multi-layers PCB (багатошарові АПП), Flexible PCB — FPC (гнучкі АПП), Rigid-Flex PCB — гнучко-жорсткі АПП, Ceramic PCB (керамічні АПП), Assembly — PCBA (комбіновані АПП).

Антени FPC PCB

Антени FPC PCB є гнучкою пластиною з полімерного матеріалу, в яку впресовані дротяні активні елементи та підвідні ланцюги антени. Такі антени, що характеризуються невеликими габаритними розмірами та малою вагою, можуть згинатися без ушкодження провідника. В якості підкладки використовуються полімерні матеріали з низькою діелектричною проникністю і високою температурою плавлення — такі, наприклад, як ПЕТ. На рисунку 2 показана FPC-антена YF0006AA, яку Quectel пропонує у комплекті зі своїми LTE-модулями.

Жорстко-гнучкі антени

Жорстко-гнучкі (Rigid-Flex PCB) — цю назву отримали антени, що складаються з жорстких друкованих плат, з'єднаних між собою гнучкими друкованими платами. Зазвичай антени такої конструкції використовують у складних пристроях, розрахованих працювати у кількох частотних діапазонах.

Базові технічні характеристики вбудованих 2G/3G/4G/5G-антен з каталогу Quectel, у яких використані технології PCB/FPC, наведено у таблиці 1 [4]. Характерні особливості інших 5G-антен розглянуті в опублікованій раніше першій частині статті.

На рисунку 3 показано зовнішню Quectel LTE-антену YE0010AA, розроблену з використанням технології PCB. Антена, що призначена для зовнішнього застосування, кріпиться за допомогою липкого шару. До корпусу пристрою антена приєднується кабелем із роз'ємом SMA.

У таблиці 2 наведено основні технічні характеристики Quectel 2G/3G/4G зовнішніх антен із технологією PCB/FPC та кабелем із роз'ємом SMA.

Планарні інверсні F-подібні антени

Планарні інверсні F-подібні антени (planar inverted-F antenna (PIFA), один з різновидів IFA-антен, в даний час є одним з найбільш поширених конструкцій у мобільних бездротових пристроях.

Класичний тип конструкції «інверсна F-подібна антена» (IFA — inverted F-antenna) є несиметричною антеною, паралельною заземленій поверхні. Назва антени говорить про те, що її активний елемент виконаний у вигляді латинської літери F. Основні переваги даної конструкції — компактність та можливість варіювати імпеданс без використання додаткових узгоджувальних компонентів.

Таблиця 1. Основні технічні характеристики вбудованих 2/3/4G-антен з технологією PCB/FPC та кабелем для підключення до модуля Quectel (рис. 1, 2)

Найменування	YF0003AA	YF0004AA	YF0005AA	YF0007AA	YP0001AA
Частотний діапазон, МГц	824–960; 1710–2690	824–960; 1710–2690	700–6000	600–960; 1427.9–1495.9; 1710–2170; 2300–2700	600–6000
Технологія антени	FPC	FPC	FPC	PCB	PCB
Пікове значення посилення, дБі	5	5	5	4.7	2
Коефіцієнт стоячої хвилі за напругою, VSWR	≤ 5	≤ 4.5	≤ 2.5	≤ 5	≤ 3
Середня ефективність	824–960 МГц: 25%	824–960 МГц: 30%	700–960 МГц: 30%	600–960 МГц: 20%	600–960 МГц: 30%
	1710–2690 МГц: 60%	1710–2690 МГц: 60%	1710–2690 МГц: 60%	1710–2690 МГц: 50%	1710–2690 МГц: 50%
			3300–5900 МГц: 50%		3300–6000 МГц 50%
Область застосування	4G/3G/2G	4G/3G/2G	5G/4G/3G/2G	4G/3G/2G	5G/4G/3G/2G
Роз'єм на кабелі	IPEX I	IPEX I	IPEX I	U.FL I	IPEX IV
Імпеданс, Ом	50	50	50	50	50
Габаритні розміри, мм	62 × 19	87.17 × 20	112.5 × 16.2	50 × 25 × 0.85	107.25 × 14 × 0.4
Оптимальний варіант використання з модулями Quectel	LTE-A/LPWA/ LTE-Standard/ GSM/GPRS/ Wi-Fi/ Smart Module	LTE-A/LPWA/ LTE-Standard/ GSM/GPRS/ Wi-Fi/Smart Module	RG500Q/ M500Q/EM20/ EP06/EG06/ EG12/EG18/ EM06/EM12	LTE-A/LPWA/ LTE-Standard/ GSM/GPRS/ Wi-Fi/Smart Module	5G/LTE-A/LPWA/ LTE-Standard/ GSM/GPRS/ Wi-Fi/Smart Module

Рис. 2. Антена 2/3/4 G Quectel YF0006AA на гнучкій друкованій платі [8]

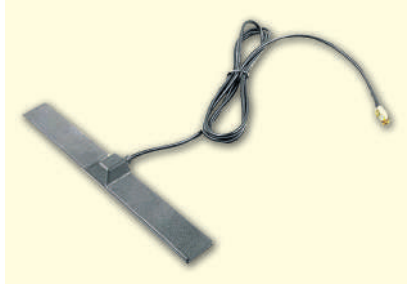


Рис. 3. Зовнішня LTE Quectel PCB-антена YE0010AA з кабелем та роз'ємом SMA [9]

Таблиця 2. Основні технічні характеристики Quectel 2G/3G/4G зовнішніх антен із технологією PCB/FPC та роз'ємом SMA на кабелі

Найменування	YE0010AA	YE0012AA	YCW001AA
Частотний діапазон, МГц	698–2700	824–960, 1710–2690	824–2690
Технологія антени	PCB	PCB	PCB
Пікове значення посилення, дБі	3	4	2
Коефіцієнт стоячої хвилі за напругою, VSWR	≤ 3	≤ 2	≤ 3
Середня ефективність	698–960 МГц: 25%	824–960 МГц: 25%	824–960 МГц: 25%
	1710–2700 МГц: 50%	1710–2690 МГц: 50%	1710–2690 МГц: 50%
Область застосування	4G/3G/2G	4G/3G/2G	4G/3G/2G
Роз'єм	SMA Male (with center pin)	SMA Male (with center pin)	SMA Male (with center pin)
Кріплення роз'єму	Кабель 1000 мм	Кабель 250 мм	Кабель 500 мм
Імпеданс, Ом	50	50	50
Габаритні розміри, мм	152 × 18 × 5.9	116.5 × 21.7 × 5.6	94.06 × 16.2 × 1.05
Оптимальний варіант використання з модулями Quectel	LTE-A/LPWA/ LTE-Standard/GSM/ GPRS/Wi-Fi/ Smart Module	LTE-A/LPWA/ LTE-Standard/GSM/ GPRS/Wi-Fi/ Smart Module	LTE-A/LPWA/ LTE-Standard/GSM/ GPRS/Wi-Fi/ Smart Module

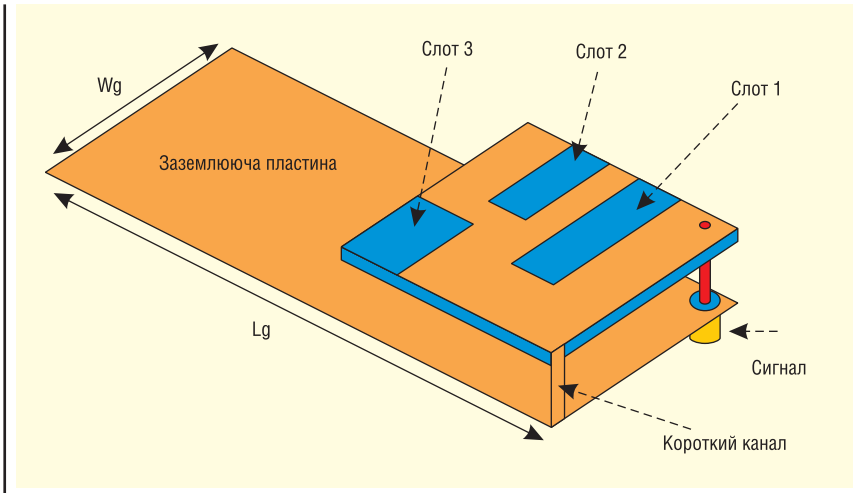


Рис. 4. Спрощена схема PIFA-антени [10]

Різні варіанти конструкцій PIFA можуть включати пов'язані резонатори та додаткові пази, що дозволяють створювати широкосмугові та багатодіапазонні антени, призначені для використання у різних діапазонах бездротових технологій.

У додатках (за стосунках, застосуваннях) широкосмугового зв'язку застосовуються модифіковані конструкції з проміжною точкою, закороченої на площину заземлення. Як правило, подібні антени виготовляються у вигляді окремої плати з діелектриком, що забезпечує необхідні для даного діапазону характеристики.

Популярність цього типу антен пов'язана, перш за все, з широкою смугою робочих частот (більше 10% від резонансної несучої), високим ставленням випромінюваної потужності до підведеної (близько 70%), невеликими габаритними розмірами, відносно простою технологією виготовлення та низькою вартістю. Крім того, сучасні PIFA-антени мають досить високі коефіцієнти посилення як у вертикальній, так і горизонтальній площині поляризації.

На рисунку 4 показана спрощена схема 2-діапазонної PIFA-антени для діапазонів LTE.

Параметри PIFA-антен залежать від розмірів та конфігурації верхньої робочої пластини, співвідношення довжин її сторін, розмірів та положення заземлювальних майданчиків та стрижнів, лінії живлення, а також від параметрів діелектричного ізолятора. Резонансна частота антени PIFA визначається в основному конфігурацією та розмірами горизонтальної робочої пластини. На ширину смуги пропускання антен PIFA впливають також параметри вертикальної пластини, що закорочує. Важливу роль грають властивості заземленої підкладки. При збільшенні її розмірів відносна ширина смуги робочих частот також зростає.

Крім того, протяжний екран перешкоджає поширенню радіохвиль у небажаних напрямках. Нерідко застосовуються додаткові заземлені екрани, що виконують роль ємнісних навантажень та дозволяють використовувати нижчі резонансні частоти. Більш складні конструкції PIFA, що мають кілька резонансних областей, забезпечують роботу одночасно у чотирьох-п'яти діапазонах.

Вбудовувані PIFA-антени використовуються в різних пристроях 2G/3G/4G. Як приклад на рисунку 5 показаний налагоджувальний GSM/GPRS M95 Easy з вбудованою антеною PIFA, розрахованої на діапазони частот GSM 850, GSM 900, DCS 1 800 і PCS 1 900 МГц.

У налагоджувальному комплекті M95 Easy антена PIFA для поверхневого монтажу (SMD) розміщена у лівому верхньому кутку плати відповідно до вимог топології, що висуваються до цього класу.

Так, у посібнику [12] рекомендується зберігати відстань не менше 5 мм між PIFA-антеною та основною платою. Необхідно розміщувати під антеною заземлювальний металізований майданчик з розмірами, наведеними в технічній документації виробника. Для 4-діапазонної антени площа заземлюючого майданчика не повинна бути меншою за 600 мм^2.

В даний час PIFA-антени дозволяють працювати в мережах із різними частотними діапазонами. Такі антени мають складні конструкції, в яких використовуються короткі майданчики та паралельні борозенки різної довжини, вирізані в горизонтальній робочій поверхні.

Розрізи на робочій горизонтальній пластині фактично поділяють її на незалежні сегменти з розв'язаними резонансними частотами, які можна варіювати за допомогою конфігурування параметрів прорізів.

Сучасні методи проєктування, що використовують комп'ютерне моделювання, дозволяють підбирати оптимальні варіанти геометрії PIFA-антен з незвичайними об'ємними структурами [13].

Широкого поширення набули керамічні PIFA-антени для мереж LTE. Як правило, це SMD-антени розмірами кілька сантиметрів [14].

Як приклад нетривіальної комбінованої конструкції можна навести антену Quectel YF0002AA. Антена розміщена в потужному корпусі із пластику ABS з габаритними розмірами 60 × 12 × 10 мм. Вона має три контактні майданчики, як, наприклад, у антени PIFA, а також отвори для кріплення антени болтами до плати. Антена має три модифікації для різних частотних діапазонів. Модель YF0002-700-6G-1/700-6G-2 призначена для роботи в мережах 5/4/3/2G в інтервалі частот

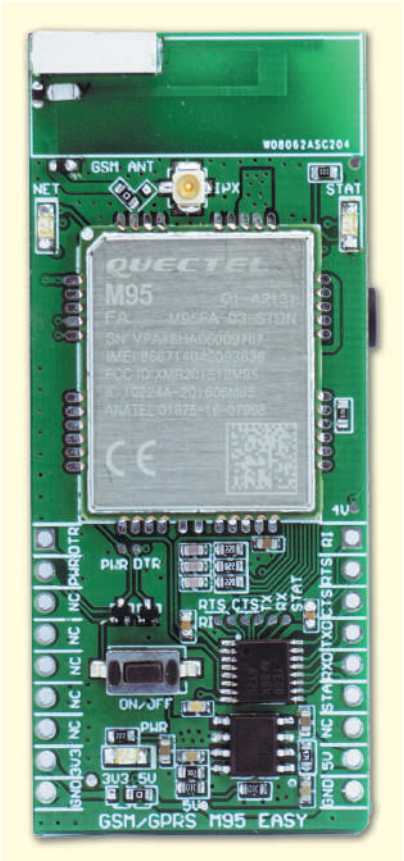


Рис. 5. Налагоджувальний комплект з модулем Quelcom M95 та вбудованою PIFA-антеною [11]

700–6 000 МГц. Антена має досить добрі параметри: пікове значення посилення 4.2 дБі, VSWR ≥ 1 за середньої ефективності 30% [15].

До розряду PIFA-антен можна віднести також моделі серії Metal Frame Antennas, в яких металеві частини конструкції корпусу відіграють роль частини активного елемента антени.

Антени External Rubber

Антени External Rubber — узагальнена назва антен, яка поєднує цілий клас зовнішніх коротких антен у гумовому чи пластиковому корпусі. Потрібно звернути увагу, що в попередньому варіанті каталогу антен Quelcom (March, 2020) був позначений тільки один клас антен під назвою Rubber Duck Antenna [4].

В останньому варіанті каталогу антен Quelcom (November 2020) [3] антени Sleeve antennas (зовнішні антени у пластиковому корпусі з шарнірним роз'ємом) та Rubber Duck об'єднані у загальний клас External Rubber. Завдяки своїй компактності та універсальності ці антени успішно використовуються у бездротових 2G/3G/4G-пристроях.

Класичний варіант Rubber Duck являє собою коротку чвертьхвильову несиметричну антену з навантажувальною індуктивною котушкою. Як правило, антени Rubber виготовлені у вигляді дротяної спіралі, яка розміщена у гумовій або пластиковій герметичній оболонці. Докладніше про цей тип антен було сказано в першій частині статті.

Крім антен зі спіральним активним елементом, у плоскому пластиковому корпусі із зовнішнім роз'ємом можуть бути розміщені антени, виготовлені з використанням технологій PCB, FCB або PIFA. Антени із зовнішнім шарнірним роз'ємом (Sleeave antennas)

Рис. 6. Зовнішня LTE-антена Quectel YGL001AA із шарнірним роз'ємом SMA [16]

Таблиця 3. Технічні характеристики зовнішніх 2G/3G/4G-антен Quectel External Rubber з роз'ємами SMA, змонтованими на корпусі

Найменування	YE0002AA	YE0005AA	YE0009AA	YDX001AA	YGL0001AA
Частотний діапазон, МГц	699–2700	824–2700	824–2690	824–2690	700–960, 1710–2690
Технологія антени					
Пікове значення посилення, дБі	3	3	3	5	3
Коефіцієнт стоячої хвилі за напругою, VSWR	≤ 3	≤ 3	≤ 3	≤ 2	≤ 5
Середня ефективність	699–960 МГц: 50%	824–960 МГц: 35%	824–960 МГц: 30%	824–960 МГц 35%	700–960 МГц: 30%
	1710–2700МГц: 60%	1710–2700 МГц: 70%	1710–2690 МГц: 50%	1710–2690 МГц: 50%	1710–2690 МГц: 60%
Область застосування	Cellular LTE 4G/3G/2G	Cellular LTE 4G/3G/2G	Cellular LTE 4G/3G/2G	Cellular LTE 4G/3G/2G	Cellular LTE 4G/3G/2G
Імпеданс, Ом	50	50	50	50	50
Роз'єм на корпусі антени	SMA, жорстке кріплення	SMA, шарнірне кріплення	SMA, шарнірне кріплення	SMA, шарнірне кріплення	SMA, шарнірне кріплення
Конструктив та габаритні розміри, мм	Пласка 175 × 19	Пласка 115 × 8	Пласка 90 × 16	Циліндр L 208; D12	Пласка 196 × 16 × 13
Оптимальний варіант використання з модулями Quectel	LTE-A/LPWA/ LTE-Standard/ GSM/GPRS/ Wi-Fi/Smart Module	LTE-A/LPWA/ LTE-Standard/ GSM/GPRS/ Wi-Fi/Smart Module	LTE-A/LPWA/ LTE-Standard/ GSM/GPRS/ Wi-Fi/Smart Module	LTE-A/LPWA/ LTE-Standard/ GSM/GPRS/ Wi-Fi/Smart Module	LTE-A/LPWA/ LTE-Standard/ GSM/GPRS/ Wi-Fi/Smart Module

з лінійною діаграмою спрямованості дають можливість вибору найкращого положення у просторі (рис. 6). У таблиці 3 наведено технічні характеристики зовнішніх 2G/3G/4G-антен Quectel External Rubber з роз'ємами SMA. Параметри 5G та NB-IoT наведені у першій частині статті.

Антени LDS

Технологія (Laser direct structuring — LDS) дозволяє створювати за допомогою лазера провідні канали у спеціальних типах модифікованих полімерів. Антени LDS виготовляються за індивідуальними замовленнями. Ця технологія дозволяє конструювати унікальні типи антен практично в будь-якій геометрії. Наприклад, антена може бути повністю виконана у формі корпусу пристрою. На першому етапі проєктування таких антен задається об'ємна форма майбутньої антени. При цьому конструкторські фантазії розробника нічим не обмежуються. Потім форма оцифровується за допомогою спеціального програмного забезпечення. На наступному етапі задаються параметри активного елемента антени, що забезпечують необхідні резонансні частоти, поляризацію, посилення, КСВ і тощо. Таким чином створюється математична модель металевих провідників антени.

Для ізоляційної основи антени використовуються пластики типу LCP, PA 6/6T, PBT/PET, XHP та інші, які модифікуються за допомогою спеціальної пропрієтарної технології [17].

Необхідна форма антени створюється за допомогою технології однокомпонентного лиття під тиском. На наступному етапі за допомогою лазера промальовується модельна структура активного елемента антени, що раніше записана в пам'яті керуючого комп'ютера. Під впливом лазерного променя термопластичний матеріал активується. В результаті фізико-хімічної реакції в структурі модифікованого пластику утворюються шорсткі канали з молекулярними центрами, які надійно утримуватимуть металізацію. На завершальній стадії технології LDS виконується нанесення металевих провідників електрохімічним способом. У цьому процесі можуть застосовуватися спеціальні покриття — такі, наприклад, як Sn, Ag, Pd/Au та інші.

Технологія LDS дозволяє створювати складні тривимірні структури шляхом спікання шарів з різними типами антен.

На рисунку 7 показано загальний вигляд антени Quectel YC0008AA, розробленої за технологією LDS.

Антена YC0008AA виконана в конструктиві для поверхневого монтажу SMD із п'ятьма контактними майданчиками (два майданчики для живлення антени, три — кріплення до плати). Як модифікований ізолятор використаний полімер XHP-1002 [19].

Ця антена з лінійною поляризацією призначена для роботи на частотах GPS — L1 1575 та L5 1173 МГц. Посилення антени щонайменше 2 дБі.

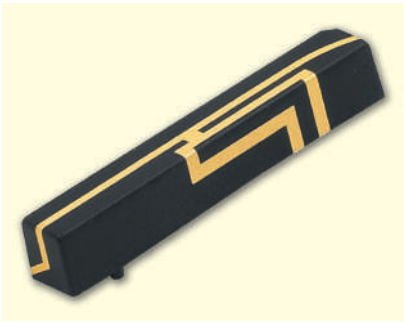


Рис. 7. LDS-антена Quectel YC0008AA для поверхневого монтажу [5, 18]

Коефіцієнт стоячої хвилі за напругою (VSWR) ≤ 2.5. Габаритні розміри: 30 × 5 × 5 мм.

Виносні штирьові антени

Виносні штирьові антени (Waterproof Antenna) є в загальному випадку несиметричним вібратором. Ці пилово-логозахищені антени з високим коефіцієнтом посилення використовуються для прийому слабких сигналів.

Оскільки діаграма спрямованості штирьової антени виглядає як дві симетричні до антени півсфери, коефіцієнт спрямованої дії у неї вдвічі більший і вся потужність випромінюється у вужчому напрямку. Завдяки лінійній поляризації та вузькій діаграмі спрямованості такі антени добре працюють в умовах багаторазово перевідбитого сигналу, а також в умовах часткового екранування сигналу. В каталозі Quectel пропонується два типи антен Waterproof — кабель з роз'ємом і жорстко закріплений роз'єм на корпусі.

Штирьові виносні антени часто можна бачити на торгових та платіжних терміналах з бездротовим зв'язком. Наприклад, антена YXH001AA оснащена кабелем з роз'ємом SMA та магнітним тримачем. Вона призначена для частотного діапазону 700–2700 МГц, має коефіцієнт посилення не менше 3 дБі та VSWR ≤ 2. Висота антени 32 см, що характерно для такого типу пристроїв. Слід звернути увагу, що в попередньому варіанті каталогу Quelcom ці антени були розміщені під загальною назвою Sucker Antennas. В антені YFS001 роз'єм Type-N male жорстко закріплений на корпусі. Антена призначена для мереж 5G/4G/3G/2G у частотних діапазонах 700–960, 1710–2700, 3300–3800 та 4400–5000 МГц, має посилення 3 дБі та VSWR ≤ 4.5. Довжина антени 300 мм, діаметр 226 мм.

Більш детальну інформацію про типи та конструкції виносних антен для мобільних додатків можна знайти, наприклад, на сайті [20].

Чип-антени

Чип-антена (Chip Antennas) конструктивно є об'ємним резонатором, в якому порожнина між провідними поверхнями заповнена керамічним сердечником. У найпростішому випадку схема чип-антени нагадує конденсатор, де дві паралельні металеві пластини розташовані по обидва боки керамічного ізолятора. Під дією радіохвиль певної частоти у такій антені створюється стояча хвиля. Тому часто їх називають антенами з урахуванням діелектричних резонаторів (dielectric resonator antenna — DRA). Такі чип-антени мають властивості, аналогічні стандартним дипольним антенам, наприклад, вертикальну орієнтацію діаграми спрямованості [21].

До класу чип-антен відносять і керамічні антени в конструктиві монополя із незамкненим провідником довжиною 1/4 довжини хвилі [22].

Висока діелектрична проникність сучасних матеріалів дозволяє конструювати найменші чип-антени для бездротового зв'язку. Так, у статті [23] розглянуто чип-антену з розмірами лише 1.5 × 3.2 мм.

В основному при виробництві чип-антен використовується низькотемпературна кераміка (Low Temperature Co-fired Ceramics — LTCC), що дозволяє впроваджувати в конструкцію металізовані елементи з малим питомим опором на основі паст, що містять золото, срібло та мідь.

У класичному варіанті чип-антена, розміщена на платі, включає такі елементи (рис. 8):

- заземлену металеву пластину (Ground);
- антенний чип (Chip Antenna);
- майданчик під чипом, з якого видалена металізація (Ground Clearance);
- ланцюг живлення (Feed Line);
- узгоджувальні ланцюги (Matching circuit).

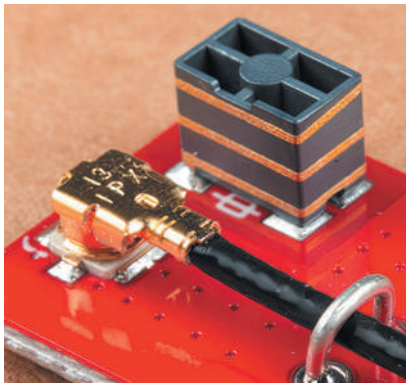


Рис. 8. Чип-антена повинна бути розміщена на металізованій платі із дотриманням рекомендованих розмірів та топології [24]

Ефективність, поляризація та посилення чип-антени залежать від параметрів заземлюючої площини, а також від різних навколишніх об'єктів, що спотворюють поле цієї площини.

Сучасні чип-антени мають найрізноманітніші комбіновані структури струмопровідних елементів конструкції (активний елемент), які зазвичай захищені патентами і далеко не повністю розкриваються виробниками супровідної технічної документації.

Майже всі керамічні чип-антени виготовляються в конструктиві для поверхневого монтажу (SMD). Додаткову інформацію про різноманітні конструкції чип-антен можна знайти в публікаціях [25, 26].

В останні роки можна спостерігати, як у конструкціях керамічних антен для бездротового зв'язку все більше використовуються різні гібридні технології, що поєднують риси chip-, patch-, PIFA-антен. Можливо, ця тенденція поряд з бажанням не афішувати суттєві відмінні деталі конструкції, що становлять комерційну таємницю, змушує розробників не вказувати конкретний технологічний тип антени. В основному інформацію про свої керамічні антени фірми-виробники розміщують у каталогах розділу компонентів для поверхневого монтажу. Тому іноді виникають розбіжності у трактуванні термінів: зокрема, некоректно чип-антени називати SMD-антенами.

Антени SMD

Антени Surface Mount Device (SMD) призначені для монтажу на поверхню друкованої плати. Найзагальнішою відмінною рисою SMD-компонентів є наявність на їхньому корпусі висновків, за допомогою яких вони припаюються до контактних майданчиків на друкованій платі. У цьому корінна відмінність всього класу компонентів SMD від технології монтажу компонентів в отвори (THT — Throuth Hole Technology). До загального класу електронних компонентів SMD можуть входити як чип-резистори, чип-конденсатори, чип-дроселі, чип-антени, пристрої конструктивів PCB, PIFA, так і складні пристрої, у тому числі закінчені електронні мікросхеми.

В останньому каталозі компанії Quectel представлені дві потужні анте-

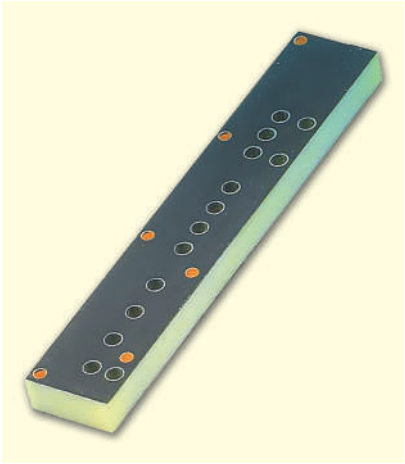


Рис. 9. Зовнішній вигляд SMD LTE-антени Quectel YC0003AA [27]

ни, розроблені в конструктиві для поверхневого монтажу SMD — YC0001AA і YC0003AA.

Антена YC0003AA призначена для діапазонів частот 698–960, 1695–2200 та 2300–2700 МГц. Ця антена відрізняється великими значеннями посилення, не менше 5.5 при VSWR < 3. Габаритні розміри YC0003AA становлять 40 × 7 × 3 мм.

Зовнішній вигляд антени Quectel YC0003AA показано на рисунку 9. Антена має чотири контактні майданчики — два для паяння на друковану плату та два для підключення ВЧ-тракту.

Антена SMD Quectel YC0001AA розрахована на роботу в діапазонах частот 698–960, 1710–2690 МГц у мережах 2/3/4G. Вона відрізняється гарною вибірковістю та ефективністю. Габаритні розміри YC0001AA — 35 × 8.5 × 3 мм.

У таблиці 4 наведено значення VSWR, ефективності та посилення для основних робочих діапазонів антени YC0001AA [28].

Таблиця 4. Значення VSWR, ефективності та посилення для основних робочих діапазонів антени YC0001AA

Частота, МГц	698	960	1710	2170	2300	2690
VSWR	3.85	3.12	2.51	2.16	2.09	2.13
Ефективність, %	21.4	36	59.8	35.3	48.8	42.7
Посилення, дБі	–2.73	–1.2	1.97	–1.54	1.33	0.95

АНТЕНИ QUECTEL ДЛЯ СИСТЕМ СУПУТНИКОВОЇ НАВІГАЦІЇ

Приймач ГНСС повинен приймати сигнали від максимальної кількості супутників, розташованих на відстані близько 20 тис. км від нього. Надійні та точні навігаційні дані можуть бути отримані тільки в тому випадку, якщо середнє відношення щільності потужності несучої до шуму (C/N0 — carrier-to-noise-density ratio) для найсильніших супутників знаходиться в проміжку 44–50 дБГц.

Важливо відзначити, що сигнал від супутників ГНСС має правосторонню кругову поляризацію (right-hand circular polarized — RHCP).

В основному в побутових приймачах систем супутникової навігації використовуються три типи пасивних антен: Patch Antenna (мікросмужкова патч-антена); Helix Ceramic Antenna (спіральна керамічна антена) та меншою мірою Chip Antennas (чип-антена).

ГНСС патч-антени

ГНСС патч-антени (GNSS patch antenna) набули найбільшого поширення в мобільних пристроях систем супутникової навігації. У найпростішому варіанті така антена складається з діелектрика, з одного боку якого розташована суцільна заземлена металева пластина, а з другого — робоча металева пластинка (patch), з'єднана з лінією живлення — feeding (рис. 10).

Форма робочої патч-пластини може бути круглою, прямокутною, еліптичною або трикутною. При виготовленні цих антен була використана мікросмужкова технологія друкованих плат. Звідси виникла назва антен даного класу — «смужкові патч-антени» (patch-antenna), для якої в російськомовній літературі вкоренилася абревіатура МПА.

У разі прямокутної патч-пластини ширина становить приблизно половину довжини хвилі, а у варіанті круглої конструкції діаметр патч-пластини знаходиться в діапазоні 0.55–0.59 довжини хвилі.

Параметри МПА визначаються такими величинами:

- розміри заземлюючої площини;
- діелектрична проникність ізолятора;
- товщина ізолятора;
- розміри робочого патч-майданчика.

Відносна робоча смуга МПА залежить від діелектричної проникності підкладки та її висоти.

Для попереднього вибору МПА можна скористатися онлайн-калькулятором, який дозволяє визначити довжину (L) та ширину (W) прямокутної мікросмужкової робочої пластини для заданих значень резонансної частоти, діелектричної проникності (εr) та товщини (h) ізолятора. Також можна вирахувати вхідний імпеданс на межі робочої області. Можливе вирішення також зворотного завдання — розрахунок параметрів антени для заданої частоти [29].

Коефіцієнт посилення МПА та структура діаграми спрямованості залежать від площі заземлюючої поверхні. Для антени YG0039AA, розташованої на квадратній заземлюючій поверхні розмірами 52 × 52 мм, значення пікового посилення (Peak Gain) дорівнює 3 дБiK. У цьому варіанті коефіцієнт еліптичності (AR) мінімальний. Зі збільшенням площі заземлюючої поверхні збільшується AR і діаграма спрямованості витягується. З іншого боку, при невеликих розмірах площини заземлення в діаграмі спрямованості з'являється задня пелюстка [18].

У МПА, призначених для роботи в одному частотному піддіапазоні, наприклад, ГЛОНАСС L1 або GPS L1, як правило, використовується одна робоча патч-пластина і один шар діелектричної підкладки. Для багатодіапазонних МПА, здатних одночасно диференційовано приймати сигнали різної частоти (GPS + GLONASS), застосовуються спеціальні конструкції, що містять дві та більше робочі пластини (slot-patch antenna in multilayered configuration).

Існує безліч конструкцій, розроблених на основі цієї ідеї. Наприклад, у статті [30] використовується конструкція, в якій дві робочі патч-пластини, розташовані всередині ізолятора, мають товщину набагато менше, ніж у самих діелектричних підкладок. Форма металевих патч-пластин квадратна, з розташованими по діагоналі квадратними вирізами. У роботі [31] розглянуто конструкцію 2-діапазонної патч-антени на підкладці з гібридним кільцевим з'єднанням та двома точками живлення.

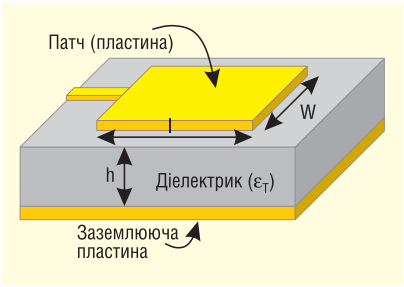


Рис. 10. Спрощена схема патч-антени [29]

Таблиця 5. Технічні характеристики SMD пасивних ГНСС патч-антен із каталогу Quectel

Найменування	YG0018AA	YG0008AA	YG0010AA	YG0019AA
Центральна частота, МГц	1575.42	1575.42	1575.42	1575.42
Габаритні розміри, мм	15 × 15 × 4		25 × 25 × 4	36 × 36 × 4
Пікове посилення антени, дБіК	2.5	2.5	4.5	5
Поляризація	R.H.C.P	R.H.C.P	R.H.C.P	R.H.C.P
Коефіцієнт еліптичності (максимум у зеніті), дБ	3	3	3	3
Конструктив	SMD patch	SMD patch	SMD patch	SMD patch
Область використання	L1, GPS NAVSTAR	L1, GPS NAVSTAR	L1, GPS NAVSTAR	L1, GPS NAVSTAR

Таблиця 6. Технічні характеристики пасивних ГНСС патч-антен з кабелем і роз'ємом для підключення до модулів Quectel

Найменування	YG0030AA	YG0033AA	YVO001AA
Центральна частота, МГц	1575.42; 1176.45	1575.42; 1176.45	1575.42; 1176.45
Габаритні розміри (нижня патч-пластина), мм	25 × 25 × 4	38 × 38 × 6.16	38 × 38 × 6.16
Габаритні розміри (верхня патч-пластина), мм	18 × 18 × 4	25 × 25 × 4.76	25 × 25 × 4.76
Пікове посилення антени, дБіК	3 @ 52 × 52 мм пластина для заземлення	4 @ 50 × 50 мм пластина для заземлення	4 @ 50 × 50 мм пластина для заземлення
Поляризація	R.H.C.P	R.H.C.P	R.H.C.P
Коефіцієнт еліптичності (максимум у зеніті), дБ	3	3	3
Роз'єм на кабелі	IPEX MHF I	IPEX MHF I	IPEX MHF I
Область використання	L1/L5 GPS	L1/L5 GPS	L1/L5 GPS

У таблиці 5 наведено технічні характеристики пасивних ГНСС патч-антен для поверхневого монтажу з каталогу Quectel.

Однією з важливих характеристик ГНСС-антен є коефіцієнт еліптичності поляризаційної характеристики (Antenna Axial Ratio), який визначається як відношення осей діаграми, виражене в децибелах. Поряд із коефіцієнтом стоячої хвилі коефіцієнт еліптичності показує, наскільки поляризація антени відрізняється від ідеальної кругової форми.

Крім ГНСС SMD-антен, фірма Quectel поставляє вбудовувані пасивні ГНСС патч-антени, технічні характеристики яких наведені в таблиці 6. Цей тип антен призначений для монтажу всередині корпусу пристрою поблизу модуля ГНСС. Вони мають кабель невеликої довжини з роз'ємом, що відповідає роз'єму рекомендованого модуля.

На рисунку 11 показана пасивна вбудована ГНСС патч-антена YG0030AA з кабелем і роз'єм IPEX для підключення до модуля Quectel.

Антени в таблиці 6, що підтримують два діапазони GPS L1 та L5 у своїй конструкції, містять дві активні патч-пластини, кожна з яких відповідає своєму діапазону. Крім того, наведено розміри заземлюючої поверхні, що забезпечує максимальний коефіцієнт посилення (рис. 11).

Для різних діапазонів параметри антен дещо відрізняються. Так, для антени YG0030AA значення КСВН для діапазонів L1 та L5 будуть відповідно не менше 1.02 та 1.07. Помітніше відрізняється посилення: для діапазонів L1 та L5 не більше 3.05 та −0.9 дБі відповідно.

Таблиця 7. Параметри активних ГНСС патч-антен з кабелем для підключення до модулів Quectel

Центральна частота, МГц	1575–1602	1560–1605	1575–1615
Розміри, мм	15 × 15 × 6.9	4 × 18.4 × 8.86	25 × 25 × 8.25
Пікове посилення, дБіК	2	2.5	2
Поляризація	R.H.C.P	R.H.C.P	R.H.C.P
Максимальний коефіцієнт еліптичності, дБ	нд	нд	нд
Посилення МШУ, дБ	28	19	27
Максимальне сумарне посилення антени, дБ	30.4	21.5	29
Напруга живлення, В	3 ±0.6	3 ±0.1	3 ±0.6
Область застосування	GPS L1/BD B1/ GLONASS L1	GPS L1/BD B1/ GLONASS L1	GPS L1/GLONASS L1
Роз'єм на кабелі	IPEX I	IPEX I	IPEX I

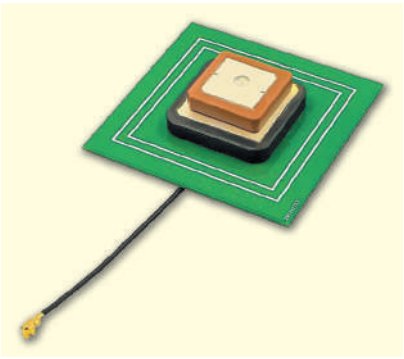


Рис. 11. Пасивна ГНСС вбудована патч-антена YG0030AA з кабелем та роз'ємом IPEX для підключення до модуля Quectel [32]

Крім перерахованих пасивних антен, у каталозі Quelcom представлені активні вбудовувані ГНСС-антени з внутрішнім МШУ.

На рисунку 12 показана активна вбудована ГНСС-антена з внутрішнім МШУ Quectel.

У таблиці 7 наведено параметри активних ГНСС патч-антен з кабелем для підключення до модулів Quectel.

Порівнюючи коефіцієнти посилення активної та пасивної антени, необхідно враховувати, що сумарний коефіцієнт посилення активної антени визначається коефіцієнтами посилення пасивної частини антени плюс МШУ. Тому для правильної оцінки властивостей активної антени ГНСС необхідно враховувати коефіцієнт посилення пасивної антени (Ка), коефіцієнт посилення МШУ (Ку) та коефіцієнт його шуму (Кш). Наприклад, активна патч-антена Quectel GPS/GLONASS YG0015AA має посилення самої антени для частоти 1575.42 МГц (GPS) < 0.47 дБі та для частоти 1602 МГц (ГНСС) < −0.29 дБі.

Рис. 12. Активна вбудована ГНСС патч-антена YG0015AA з кабелем та роз'ємом IPEX MHF для підключення до модуля Quectel [33]

Посилення та коефіцієнт шуму МШУ становлять відповідно для ГЛОНАСС 25 дБ та 2.7 дБ, а для GPS 26 та 2.5 дБі. Вбудовувані та SMD-антени ГНСС використовуються для більшості побутових пристроїв, що носяться. Ці антени розміщені у корпусі самого пристрою.

Щілинні МПА

Щілинні МПА (Slot-loaded GNSS antenna) відносяться до окремого сімейства патч-антен, у яких робочі пластини мають спеціальні канавки (щілини), що виконують роль хвилеводів. У загальному випадку у цих конструкціях збудження виникає за рахунок того, що радіочастотний кабель підключається безпосередньо до країв щілини. Реально існує безліч різних конструкцій, що комбінують тим чи іншим способом багатошарові структури з хвилеводами у вигляді прорізів [34].

Спіральні антени ГНСС

Спіральна антена ГНСС (helical antenna) — це антена, у якої провідний активний елемент виконаний у вигляді спіралі. Залежно від форми розрізняють три типи спіральних антен: конічна, циліндрична та плоска. Також спіральні антени класифікуються за кількістю спіралей: однозахідна (monofilar) — з однією спіраллю, та двозахідні (bifilar) або чотиризахідні — з двома та чотирма спіралями відповідно.

У багатозахідних спіральних антенах близько розташовані активні елементи резонують у чвертьхвильовому режимі, що значно зменшує габаритні розміри. Однією з особливостей цього класу антен є те, що вони можуть бути сконструйовані як із шаром заземлення, так і без нього [35].

Без шару заземлення форма діаграми спрямованості спіральної керамічної антени є практично всеспрямованою. Заземлююча поверхня може помітно змінити характеристики антени. Діаграма спрямованості чип-антени зі спіральним активним елементом відрізняється від лінійної та більше нагадує форму груші. Тому така спіральна антена може приймати слабші сигнали за умов поганої видимості. Однак даний варіант антени критичний стосовно відбитих і багатопроменевих сигналів. Випускаються спіральні керамічні антени як для установки всередині пристрою, так і для використання як зовнішньої антени.

Антени зі спіральним активним елементом, розміщеним усередині ізолятора з великою діелектричною проникністю, можуть мати невеликі розміри. Наприклад, спіральна GPS-антена Pulse W3110 має розміри 5 × 2.5 × 5.5 мм.

ГНСС чип-антени

Сьогодні ГНСС чип-антени знайшли застосування в таких побутових пристроях, як мініатюрні супутникові трекери для собак, годинники-навігатори, трекери на дитячих ранцях та інші. У додатках такого типу для блоків ГНСС дедалі частіше використовуються ГНСС чип-антени. Це пов'язано з тим, що чип-антени мають найнижчі ціни і найменші розміри з усього класу антен, які можна використовувати в пристроях супутникової навігації [24].

Проте мініатюрні ГНСС чип-антени накладають низку обмежень з їхньої функціональні можливості. Зокрема, на чутливість та стабільність мікротрекерів впливають такі параметри чип-антени, як ізольований майданчик під чипом, розмір заземлюючої поверхні, розташування антени щодо мікросхеми приймача та батареї живлення, а також орієнтація у просторі.

Рис. 13. Активна зовнішня ГНСС-антена Quectel YG0028AA у корпусі на магнітній основі, що відповідає IP66

Звичайні втрати в мініатюрних ГНСС-приймачах з чип-антенами, що перевищують 3 дБ, можуть спричинити втрату сигналів супутників. Тому ГНСС чип-антени не рекомендується використовувати в пристроях, де навігація є основною або важливою функцією.

Зовнішні активні ГНСС-антени

Зовнішні активні ГНСС-антени застосовуються для стаціонарних і розміщених на транспортних засобах пристроях супутникової навігації. У сімействі ГНСС-антен Quectel є досить багато зовнішніх антен різних конструкцій, призначених для встановлення, наприклад, на фасаді будівлі, даху автомобіля або на щоглі яхти.

Приклад такої антени показано на рисунку 13.

У таблиці 8 наведено параметри активних зовнішніх ГНСС-антен компанії Quectel з кабелем і роз'ємом SMA. Як правило, ці антени виготовлені в пиловологозахисному корпусі і можуть експлуатуватися на відкритому повітрі поза приміщеннями.

Таблиця 8. Параметри активних зовнішніх ГНСС патч-антен Quectel з кабелем і роз'ємом SMA

Найменування	YG0016AA	YJW001AA	YG0026AA	YLY001CA	YB0017AA	YG0028AA
Центральна частота, МГц	1561, 1575, 1602, 1606	1164–1189, 1559–1610	1561, 1575	1568 ±10	1176–1207, 1561–1602	1561–1602, 1166–1186
Розміри, мм	36.01 × 36.01 × 10.25	50 × 50 × 21.62	50.3 × 38.4 × 17.1	45.5 × 38 × 13.5	61.5 × 56.5 × 23	54 × 38
Пікове посилення, дБіК	4.5	2.5	5	3	4	2
Поляризація	R.H.C.P	R.H.C.P	R.H.C.P	R.H.C.P	R.H.C.P	R.H.C.P
Максимальний коефіцієнт елептичності, дБ		3	3	3	3	3
Посилення МШУ, дБ	27	28	28	28	22	14.5 ±5
Максимальне сумарне посилення антени, дБ	31.5	30.5	33.5	31.5	26	16.5 ±5
Напруга живлення, В	3.3 ±0.6	2.7–5.5	2.8–3.6	2.7–5.5	3–5	1.7 ±3.3
Область застосування	GPS L1/BD B1/ GLONASS L1	GPS L1/L5/BD B1/ GLONASS L1	GPS L1/BD B1/ GLONASS L1	GPS L1/BD B1	GPS L1/L5/BD B1/ GLONASS L1	GPS L1/L5/BD B1/ GLONASS L1
Роз'єм на кабелі	SMA Male	SMA Male	SMA Male	SMA Male	SMA Male	SMA Male
Кабель RG17, довжина, мм	130	300	5030	1000	3000	3000

Комбіновані ГНСС-антени

Комбіновані ГНСС призначені для роботи в мережах різних стандартів. На рисунку 14 показана комбінована антена YKL001AA, призначена для роботи в мережах 2/3/4G, GPS/BD та BT. У конструкції цієї антени використані не тільки технології PCB, але й інші сучасні рішення.

Модель YKL001AA розроблена для діапазонів частот:

- BT: 2400–2500 МГц;
- 4G: 824–960 МГц; 1710–2690 МГц;
- GPS&BD: (1575.42±10) МГц; (1561±10) МГц.

Можна виділити ще одну модель з цього класу YB0007AA, яку Quectel пропонує в комплекті з модулями 5G/LTE-A/LPWA/LTE-Standard/GSM/GPRS/Wi-Fi/Smart Module та RM500Q-GL та RM502Q-GL.

Антенна збірка YB0007AA призначена для роботи в мережах 2/3/4/5/G, а також у системах супутникової навігації з підтримкою GPS, ГЛОНАСС, BeiDou та Galileo.

Ця антенна збірка забезпечує ефективну роботу інтелектуального мобільного пристрою з підтримкою MIMO для діапазонів 5G нижче 6 ГГц. Вона також охоплює розширений діапазон LTE та діапазони частот технологій CAT-M1, NB-IoT.

Докладніше ця модель розглянута у першій частині статті.

ВИСНОВОК

Бурхливе зростання ринку побутових та професійних систем бездротового зв'язку стимулює розробки електронних компонентів, зокрема антен. Цими напрямками займаються багато науково-дослідних центрів по всьому світі, як в університетах, так і в інженерних центрах провідних світових виробників електронних компонентів. З розвитком технологій з'являється все більше антен, у яких використовуються нові елементи, пов'язані з останніми досягненнями фізики твердого тіла, теорії поширення електромагнітних хвиль у речовині та математичного моделювання.

Подальший розвиток конструкцій ГНСС патч-антен пов'язують із застосуванням нових технологій та матеріалів, таких, наприклад, як метаматеріали (metamaterial) та неоднорідні метаповерхні (nonuniform metasurfaces — NUMSs). Ці технології дозволяють створювати в діелектриці спеціальні зони, що забороняють поширення електромагнітного випромінювання, і формувати цим складні канали, в яких можуть виникати стоячі хвилі із заданими резонансними частотами [37, 38].

Технології з електромагнітними забороненими зонами (electromagnetic band gap — EBG) є одним з перспективних шляхів створення надмініатюрних антен [39, 40].

Перелік усіх інновацій у галузі розробок антен для бездротового мобільного зв'язку виходить за межі цієї статті. Можна лише сказати, що, ймовірно, вже в недалекому майбутньому з'являться антени з розмірами менше міліметра, які будуть вмонтовані безпосередньо в чип приймача.

Необхідно особливо відзначити, що розглянуті в цій статті моделі ілюструють основні класи антен 2/3/4/5G, GNSS, що далеко не повністю відображає можливості компанії Quectel по комплектуванню модулів, що виробляються, оптимальними марками антен. Крім перелічених вище комплектуючих, Quectel рекомендує використовувати продукцію своїх партнерських компаній [2]: Pulse Electronics [41]; Antenova Limited [42]; JESONCOM [43]; SHEN XUN [44]; VLG [45]; SAINTENNA [46]; INPAQ [47]; Taoglas [48]; Sunnyway [49].

Рис. 14. Комбінована антена Quectel YKL001AA, призначена для роботи в мережах 2/3/4G, GPS/BD та BT [36]

Література:

1. Quectel adds extensive antennas portfolio to IoT product range. www.quectel.com/news-and-pr/quectel-adds-extensive-antennas-portfolio-toiot-product-range/
2. Antenna Design Note. www.github.com/OLIMEX/USB-gLINK/blob/master/DOCUMENTS/Application%20Note/Quectel_Antenna_Design_Note_V3.1.pdf
3. Quectel Antenna Portfolio. https://static6.arrow.com/aropdfconversion/d151281d529206e07d2aa23f976adb4204e9b47c/yb0010aa.pdf
4. Quectel Antenna Portfolio. https://static.abstore.pl/design/accounts/soyter/img/dokumentacje/qanteny.pdf
5. IoTAntennas. www.quectel.com/thank-youantenna/
6. Accelerate IoT device time-to-market bycombining antennas and modules. www.quectel.com/wp-content/uploads/2021/03/Quectel-Antenna-WP.pdf
7. Antenna YF0007AA Datasheet. https://eu.mouser.com/datasheet/2/1052/02042021_Quectel_Antenna_YF0007AA_Datasheet_V1_2-2001092.pdf
8. Antenna YF0006AA Datasheet. https://eu.mouser.com/datasheet/2/1052/02042021_Quectel_Antenna_YF0006AA_Datasheet_V1_2-2001122.pdf
9. Antenna YE0010AA Datasheet. https://eu.mouser.com/datasheet/2/1052/02042021_Quectel_Antenna_YE0010AA_Datasheet_V1_1-2001146.pdf
10. John M., Ammann M. Dual Band LTE PIFA Antenna for M2M Applications. https://arrow.tudublin.ie/cgi/viewcontent.cgi?article=1120&context=ahfrcart
11. ATC24. www.atckit.com/rdtools/easy-board/ATC24.html
12. Antenna Design Note. www.cika.com/soporte/Information/GSMmodules/Quectel/M66/AppNotes/Quectel_Antenna_Design_Note.pdf
13. Ahmad M. S., Kim C. Y., Park J. G. Multishorting Pins PIFA Design for Multiband Communications. www.researchgate.net/publication/262728341_Multishorting_Pins_PIFA_Design_for_Multiband_Communications
14. Ceramic PIFA Antenna. www.gsc-tech.com/Data_sheet/Antenna/CPA/Ceramic_PIFA_antenna_catalog.pdf
15. Antenna YF0002AA Datasheet. www.mouser.bg/datasheet/2/1052/Quectel_06232021_YF0002AA-2451061.pdf
16. Antenna YGL001AA Datasheet. https://eu.mouser.com/datasheet/2/1052/02042021_Quectel_Antenna_YGL001AA_Datasheet_V1_1-2001095.pdf
17. Laser technology for Mechatronic Interconnect Devices (MIDs). www.lpkf.com/en/industriestechnologies/electronics-manufacturing/3dmids-with-laser-direct-structuring-lds
18. Antenna YC0008AA Datasheet. www.mouser.bg/datasheet/2/1052/02042021_Quectel_Antenna_YC0008AA_Datasheet_V1_0-2001120.pdf
19. Polycarbonate and Special Polyamide для LDS (Laser Direct Structuring) Technology. www.m-ep.co.jp/en/eve/1-3.html
20. RF and Wireless tutorials. www.rfwireless-world. com/Tutorials/

21. Wallace R. Antenna Selection Guide. www. ti.com/lit/an/swra161b/swra161b.pdf
22. Диелектричні резонатори. https:// aip.scitation.org/doi/10.1063/1.1707320
23. Surface Mount Dielectric Chip Antennas. www. mmea.com/contents/antenna/ghz/2_4ghz.html
24. GNSS Chip Antenna Hookup Guide. www. learn.sparkfun.com/tutorials/gnss-chip-antennahookup-guide/all
25. Schweber B. The microstrip antenna, Part 1: Basics. www.analogictips.com/the-microstripantenna-part-1-basics-faq/
26. Stutzman W. L., Thiele G. A. Antenna Theory and Design, 3rd Edition. www. wiley.com/en-us/Antenna+Theory+and+Design%2C+3rd+Edition-p-9780470576649
27. Antenna YC0003AA Datasheet. www.mouser.bg/datasheet/2/1052/02042021_Quectel_Antenna_YC0003AA_Datasheet_V2_1-2001010.pdf
28. Antenna YC0001AA Datasheet. https://eu.mouser.com/datasheet/2/1052/02042021_Quectel_Antenna_YC0001AA_Datasheet_V2_1-2001018.pdf
29. Microstrip Patch Antenna Calculator. www. emtalk.com/mpacalc.php
30. Илларионов И. А., Балаев А. А., Варенцов Е. Л., Дудкин М. И., Зотова Н. А. Компактная многодиапазонная микрополосковая антенна круговой поляризации (варианты). www.edrid.ru/en/rid/220.018.23d9.html
31. Новиков А. Интеграция антенн в многослойные керамические подложки // Технологии в электронной промышленности. 2010. № 4.
32. Antenna YG0030AA Datasheet. www.mouser.bg/datasheet/2/1052/02042021_Quectel_Antenna_YG0030AA_Datasheet_V2_0-2001114.pdf
33. Antenna YG0015AA Datasheet. www.mouser.bg/datasheet/2/1052/Quectel_06232021_YG0015AA-2451123.pdf
34. Lai Z., etc. Multiband Probe-Fed Stacked Patch Antenna For Gnss Applications. www.semanticscholar.org/paper/MULTIBANDPROBE-FED-STACKED-PATCH-ANTENNAFOR-GNSS-Lai-Yuan/17791ae6fbad893c1f49e12d2a0b751d47804067/
35. Pigeon M., Morlaas C., Aubert H. A Dualband High Impedance Surface mounted with a spiral antenna for GNSS applications. https://ieeexplore.ieee.org/document/6046821
36. Antenna YKL001AA Datasheet. www.eu.mouser.com/datasheet/2/1052/02042021_Quectel_Antenna_YKL001AA_Datasheet_V1_0-2001136.pdf
37. Painam S., Bhuma C. Miniaturizing a Microstrip Antenna Using Metamaterials and Metasurfaces [Antenna Applications Corner]. https://ieeexplore. ieee.org/document/8631057
38. Le T. T., Tran H. H., Althuwayb A. A. Wideband Circularly Polarized Antenna Based on a Non-Uniform Metasurface. www.mdpi.com/2076-3417/10/23/ 8652
39. Ullah S., Yeo W.-H., Kim H., Yoo H. Development of 60-GHz millimeter wave, electromagnetic bandgap ground planes for multipleinput multiple-output antenna applications. www.nature.com/articles/s41598-020-65622-9.pdf
40. Rahim M. K. A. Electromagnetic Band Gap (Ebg) Structure In Microwave Device Design. www.core.ac.uk/download/pdf/11782744. pdf
41. www.pulseelectronics.com
42. www.antenova.com
43. www.shjesoncom.com
44. www.sh-shenxun.com
45. www.vlg.com.cn
46. www.saintenna.com
47. www.inpaq.com.tw
48. www.taoglas.cn
49. www.sunny-way.com

CN

Ад
Ве

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

ТОВ Аіронікс компонентс
АІРОНІКС
комплексні рішення в електроніці
- електронні компоненти
- друковані плати
- виготовлення дослідних зразків приладів
- контрактне виробництво
- перетворювачі частоти
до 11 кВт (Україна)
до 220 кВт (Китай)
тел.: +38 044 384-17-55
+38 044 501-07-29
+38 044 501-80-09
info.aironics@gmail.com
м. Київ, вул. О. Довженка, 3
www.aironics.com.ua
www.aironics.prom.ua

ALTWAY electronics
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

AG RF Engineering & Consulting
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

EPCOS MICROMETALS FERROXCUBE A TAGEO COMPANY SHIRUITECH DMEGC ACME
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 DARKOO OSRAM SAMSUNG MORNSUN
• Електронні компоненти
• Світлодіодне освітлення
• Друковані плати
• Контрактне виробництво
BIS
bis_electronics @BISelectronic
bis@bis-el.kiev.ua | bis-el.com
+38 (044) 490-35-99

Weidmüller
Представництво „Вайдмюллер Інтерфейс ГмбХ & Ко. КГ"
вул. Здолбунівська, 7Д (корп. Ж), оф. 414
02081 Київ
T +38 044 574 97 20
F +38 044 574 97 20
info.ua@weidmueller.com
www.weidmueller.com

VD MAIS
ДИСТРИБ'ЮЦІЯ + КОНТРАКТНЕ ВИРОБНИЦТВО
03061, Київ,
вул. Михайла Донця, 6
тел.: +380 (44) 201 02 02
info@vdmais.ua
www.vdmais.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 монтуються у отвори
▪ монтаж прототипів друкованих плат
▪ 100% автоматичний оптичний контроль якості монтажу
▪ виготовлення дослідних зразків виробів
▪ дрібносерійне та серійне виробництво
▪ більш ніж 10-річний досвід контрактного виробництва
▪ гарантія якості продукції
Сертифікація на відповідність вимогам стандартів ISO 9001:2015, ISO 14001:2015, IATF 16949:2016 та ISO 13485:2016.
Ціни – оптимальні
Україна, 03061, Київ, вул. Михайла Донця, 6
тел./факс: (044) 201-0202, (057) 719-6718,
(0562) 319-128, (032) 245-5478, (048) 734-1954,
info@vdmais.ua; www.vdmais.ua

ВЕРІКОМ КОМПОНЕНТС
- Виробництво друкованих плат від 1 шт
- Контрактне виробництво
- Власний склад електронних компонентів
- Покриття плат лаком і компаундами
- Відповідаємо вимогам стандарту ISO 9001:2015
Україна, м. Київ
вул. Марії Капніст, 2а, оф. 114
URL: www.verikom.kiev.ua
TIC
тел./факс: (+380) 44-501-9335
(+380) 67-508-0229
E-mail: sales@temys.kiev.ua

WINTEX (044) 5036112
Професійний ремонт (067) 2983455
(050) 2665517

- Електронні компоненти
- Модулі та датчики для розробників електроніки
- Модулі для ремонту ТВ, комп'ютерів, планшетів, комп'ютерів
- Роз'єми та конектори
- Розробка елементів альтернативної енергетики
- Ремонт усіх видів електроніки та побутової техніки

03150, Київ, вул. Велика Васильківська, 80

www.wintex.com.ua

ДП «Гальванотехніка» ПАТ «Київський завод "Радар"»
ТОВ «НВЦ друкованих плат»
Виготовлення друкованих плат:
- одно-, дво- та багатошарових 3го – 5го 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

Gamma радіокомпоненти
Trxcom, RAYSTAR, SJK, BLAZE, XTD, MICROCHIP, HOPERF, FUZETEC, NUVOTON, NORDIC, SIMCom
ГАММА УКРАЇНА
(056) 745-46-65, (0562) 36-07-92
(044) 494-35-72, (044) 223-84-63
www.microchip.ua
sale@microchip.ua

Науково-Впроваджувальна Фірма "Гранато"
Тел / факс 044-453-44-04, 453-44-06
E-mail: granat@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
ГРАНАТО
СИСТЕМИ ВІДОБРАЖЕННЯ, ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ ТЕЛЕКОНФЕРЕНЦІЙ, МУЛЬТИПОРТОВІ ПЛАТИ, ЕЛЕКТРОННІ ГОДИННИКИ, КОНТРОЛЕРИ
Інформаційні транспортні системи
Розробка та виготовлення на основі електромеханічних та світлодіодних індикаторів.
Бортові комп'ютери, передні, бокові, задні, внутрішні табло, аудіоінформатори.

група компаній GRAND Electronic
38 (044) 239-96-06
38 (044) 498-01-68
www.grandelectronic.com
office@grandelectronic.com
Бульвар Вацлава Гавела, 8
м. Київ, 03124
Прямі поставки від виробника
FLUKE Biomedical, AEP group, ALEXANDER ELECTRIC, JET
Комплексні поставки електронних комплектуючих
- Автоматика
- Датчики
- Джерела живлення
- Компоненти і модулі СВЧ
- Мікросхеми
- Реле
- Системи бездротового зв'язку
- Системи відображення інформації
- Хімічні джерела струму

EUROCOM COMPONENTS
дистриб'юція 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

DACPOL
ВСЕ ДЛЯ СИЛОВОЇ ЕЛЕКТРОНІКИ ТА АВТОМАТИКИ
діоди, тиристори, тріаки, IPM, IGBT;
давачі струму та напруги LEM;
запобіжники BUSSMANN;
конденсатори електролітичні ВНС, плівкові, високовольтні;
резистори середньої та великої потужності;
напівпровідникові, електромеханічні реле;
вентилятори радіальні та центробіжні;
обладнання для шафів;
кінцеві вимикачі, давачі тиску, рівня, вологості;
світлові та звукові сигналізатори;
UF та IR промислові лампи PHILIPS.
02090, м. Київ, вул. Сновська, 20
E-mail: kiev@dacpol.ua, www.dacpol.ua
Т./ф: (+380 44) 501 93 44, GSM: (+380 50) 447 39 12

DIAS ELECTRONICS
Професійна розробка електронних пристроїв і ПЗ
Розробка, створення, впровадження програмно-апаратних рішень за завданнями замовника
www.dias-electronics.com
+38 (063) 152-20-80
03113, Україна, м. Київ, вул. Полковника Шутова, 9-А
e-mail: info@dias-electronics.com

Незалежний постачальник електронних компонентів
- Швидкі терміни поставок (до 7 днів)
- Безкоштовна доставка по Україні
- Більш ніж 6 млн. товарів в каталозі

www.evocom.ua
EVOCOM
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

Ек
Ме

ekzot.com.ua

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

Інтегральні Комплексні Системи
Контрактне виробництво електроніки

+38 (050) 469-12-07 info@incos.kiev.ua www.incos.kiev.ua
Київ, вул. Бориспільська, 9, корпус 111

IMRAD
Електронні компоненти
Електронні компоненти провідних світових виробників зі складу в Києві та на замовлення
Інформаційна та технічна підтримка
03113, Україна, м.Київ вул. Шутова 9, офіс 211
Тел. (044) 495-21-09, 490-91-59
факс: (044) 495-21-10
E-mail: imrad@imrad.kiev.ua
www.imrad.com.ua

Радіодеталі зі складу – 35 000 найменувань!
НВП ІМС
Усе для розробки, ремонту та виробництва електроніки!
Від резистора до мікропроцесора, радіомонтажний інструмент та вимірювальні прилади, підбір аналогів та консультації.
www.ims.kh.ua
e-mail: imskharkov@gmail.com
тел.: (057) 732 04 50, 732 01 76
(073) 757 25 21 (22, 23)

ІНКОМТЕХ-ПРОЕКТ
електронні компоненти
електромеханічні компоненти
контрактне виробництво
промислова автоматизація
Україна, 04050, м. Київ,
вул. Герцена, 17-25, оф. 9
e-mail: office@i-p.com.ua
www.i-p.com.ua
тел.: (+38 044) 230-01-81
(+38 044) 486-25-37
факс: (+38 044) 483-95-11

we who are not as others
cogito
Телефон: 044 501 90 90
Web: info@cogito.com.ua

ОЛЬВИЯ
ТОВ "КОМПАНІЯ ОЛЬВІЯ"
Корпуса пластикові. Клавіатура плівкова.
Кабельно-провідникова продукція.
[044].599.7550 [044].503.3323 KORPUS.KIEV@GMAIL.COM
ICQ#: 268-782-777
03113, м. Київ, вул. Дружківська, 12 А
korpus.kiev.ua

КОМПАНИЯ СК-ТЕХНО
контрактное производство
• контрактне виробництво
• друковані плати
• монтаж
• комплектація
http://spcb.com.ua
e-mail: info@spcb.com.ua
тел./факс: (044) 369-53-67

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 дистриб'ютор
NXP, STMicroelectronics, AMPLEON, WeEn в Україні

http://melsys.com.ua
MelSys
• 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

Роман Прокопець
Менеджер з продажу

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

MICRODIS
Дистриб'ютор електронних компонентів
www.microdis.net

Партнерство в електроніці
МИКРО ПРИБОР
avalue · Teuch · PARTEX MARKING SYSTEMS · MECHATRON · WAGO · LINEAR TECHNOLOGY · Texas Instruments · AZ NAGANO Sensortechnik
03142, м. Київ, вул. Кржижановського, 4, офіс 101
Тел.: 044 392-93-86, Факс: 044 392-93-87
www.micropribor.com.ua sales@micropribor.com.ua

ОПТОВИЙ ПРОДАЖ ЕЛЕКТРОННИХ КОМПОНЕНТІВ
μ's MICROS
Польща | 30-198 Краків | вулиця Е. Годлевскєго 38
тел. | WhatsApp | Telegram | VIBER | IMO: +48 601 480 223
тел. +48 12 636 95 66 ext. 146 SKYPE: pavlogrd

www.otladka.com.ua
Автоматизований SMD монтаж друкованих плат
Фрезерування панелей, корпусів та пластику
3D-друк
+38 050 447-12-58 +38 098 661-97-97
ФОП Саріев Р.Б.

PCBA
КОНТРАКТНИЙ ВИРОБНИК ЕЛЕКТРОНІКИ ПІД ЗАМОВЛЕННЯ
+38 044 338 97 73
info@pcba.com.ua
pcba.com.ua

EUROCOM COMPONENTS
дистриб'юція 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

PCBTYT
Зручний онлайн PCB-калькулятор
мінімальне замовлення - 5 шт.
Постачання:
- друковані плати FR-4;
- алюмінієві друковані плати;
- трафарети для паяльної пасти;
- паяльна паста;
- припій.
Сайт: pcbtut.com
e-mail: pcbtut@pcbtut.com
+38 (067) 674 99 14

вбудовані процесорні плати
COMexpress
Qseven
PC-104
ETX
ПРОКСИС
www.proxis.ua
+380(44)4675977
+380(44)5995977
промислові комп'ютери та системи

RADIODETALI
■ Паяльне обладнання
■ Вентилятори
■ Трансформатори
■ Реле
■ Конденсатори
■ Резистори
■ Світлодіодне обладнання
■ Акумулятори
■ Блоки живлення
■ 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

Ра
Те

РАДІОМАГ
МЕРЕЖА МАГАЗИНІВ РАДІОДЕТАЛЕЙ
Львів Київ Харків Дніпро Одеса
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
- роснімачі
- інструмент
- пасивні компоненти
- батарейки та акумулятори
та багато іншого

RAINBOW TECHNOLOGIES
Rainbow Technologies
www.rainbow.com.ua
Офіційний дистриб'ютор і постачальник в Україні:
MICROCHIP, MAXIM, INFINEON, WINBOND, ALTERA, ROHM, LG, LEDIL, VISHAY, ANALOG DEVICES, TEXAS INSTRUMENTS
04112, Україна, м. Київ, вул. Дегтярівська, 62, оф. 46
тел./факс: +38 (044) 520-04-77 (78, 79)
e-mail: cov@rainbow.com.ua

МП "РЕМІКС"
www.remix.com.ua
Офіційний дистриб'ютор в Україні
FineTek, Venanzetti Vibrazioni, Nivelko
Пропонує датчики рівня рідин та сипучих матеріалів, датчики тиску, різноманітні регулятори, панель метри, пневмо та електровібратори
Тел/факс +38 04563 99-760, 99-926, 99-775

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

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

SEA ІННОВАЦІЇ ТА ЕФЕКТИВНІСТЬ
НАДІЙНОГО ПАРТНЕРСТВА БІЛЬШЕ 30 РОКІВ
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

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!

Сімметрон
Україна
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

ЕЛЕКТРОННІ КОМПОНЕНТИ ТА КОНТРАКТНЕ ВИРОБНИЦТВО
SMD UKRAINE
03057, м. Київ, вул. Желябова, 2-А, корп. 7, кім. 303
тел.: (044) 223-12-42
(073) 705-70-05
(096) 705-70-05
info@smdua.in.ua
www.smdua.in.ua

НВП ТЕХНОСЕРВІСПРИВІД
ВСЕ ДЛЯ СИЛОВОЇ ЕЛЕКТРОНІКИ ТА ЕЛЕКТРОТЕХНІКИ
Діоди та містки,
діодні, тиристорні, IGBT модулі,
силові напівпровідники (SEMIKRON),
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
▪ ЕЛЕКТРОННІ КОМПОНЕНТИ ▪
▪ ЕЛЕКТРОТЕХНІКА ▪ ПРОМИСЛОВА АВТОМАТИКА ▪
▪ ВИМІРЮВАЛЬНІ ПРИЛАДИ ▪ ІНСТРУМЕНТИ ▪
TME Electronic Components
tme.eu
Łódź, Poland, +48 42 645 54 44, export@tme.eu

TMS PROJECT
Контрактне виробництво
Сертифіковано ISO9001
Постачання електронних компонентів
Якісно
Швидко
Дешево
Україна, Київ
вул. Марії Капніст, 2а, оф. 114
тел/факс: (044) 501-9335
URL: www.tmsproject.com.ua
E-mail: sales@temys.kiev.ua

ELFA DISTRELEC
ПОСТАВКИ ЕЛЕКТРОННИХ КОМПОНЕНТІВ ЗІ СКЛАДУ У ЄВРОПІ.
ТОК ЕЛЕКТРОНІКС
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

EUROCOM COMPONENTS
дистриб'юція 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

PHOENIX CONTACT
phoenixcontact.ua

ФІЛУР ЕЛЕКТРИК
ISO ДСТУ ISO 9001:2015
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
Pushing Performance
HARTING Polska Sp. z o.o.
Kateryna Bodaratska
Business Manager
ul. Duńska 11 · 54-427 Wrocław, Polska · kateryna.bodaratska@HARTING.com
☎ +48 (71) 352 81 71 int. 9 · mobile +48 607 078 277 · www.HARTING.com

ЕЛЕКТРОНІКА • ЕЛЕКТРОТЕХНІКА • АВТОМАТИКА
CHIP NEWS
НАУКОВО-ТЕХНІЧНИЙ ЖУРНАЛ
ВИДАЄТЬСЯ З 2001 РОКУ
03061, Київ,
просп. Відрадний, 10
(044) 490 74 99
(044) 490 74 30
info@chipnews.com.ua
www.chipnews.com.ua

ufi
Approved
Event
elcom
Ukraine
XXVI
міжнародна
виставка

ЕНЕРГЕТИКА • ЕЛЕКТРОТЕХНІКА • ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІСТЬ

24–26 травня 2022

КИЇВЕКСПОПЛАЗА

- ЕЛЕКТРОТЕХНІЧНЕ ОБЛАДНАННЯ
- ЕЛЕКТРОТЕХНІКА
- СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ
- КАБЕЛЬНО-ПРОВІДНИКОВА ПРОДУКЦІЯ
- СВІТЛОТЕХНІКА ТА ПРОМИСЛОВЕ ОСВІТЛЕННЯ
- ЕЛЕКТРОНІКА
- ПРОМИСЛОВА АВТОМАТИЗАЦІЯ
- КОНТРОЛЬНО-ВИМІРЮВАЛЬНІ ПРИЛАДИ
- СОНЯЧНА ЕНЕРГЕТИКА

ЗАПРОШУЄМО ДО УЧАСТІ!

З питань участі звертайтесь:

Анна Поліщук: +380 (67) 846-1677,
polishchuk@eindex.kiev.ua

Генеральний партнер виставки

INTER ELECTRO

У РАМКАХ ВИСТАВКИ elcomUkraine 2022

Міжнародний
Електроенергетичний
Форум

ELECTRIC POWER FORUM

Заряджені на успіх!

За підтримки Міністерства енергетики України, Міністерства розвитку громад та територій України, Держенергоефективності та профільних асоціацій виставка elcomUkraine є платформою для обміну досвідом між представниками влади, бізнесу та провідними експертами енергетичної галузі.

ЗАПРОШУЄМО ДО УЧАСТІ!

З питань участі звертайтесь:
Сергій Товпига: +380 (67) 245-1902,
tovpiga@eindex.kiev.ua

Організатор виставки

EURO INDEX

www.elcom.ua

CHIP NEWS

«CHIP NEWS» в 2022 році

Обсяг — не менше 100 сторінок повнокольорового друку А4. Здача до друку — 1-е число місяця виходу журналу. Періодичність — 10 номерів в рік. Тираж — 1 500 примірників.

Терміни подачі: статті — до 5-го числа кожного місяця, що передує виходу журналу; реклама — до 10-го числа кожного місяця, що передує виходу журналу.

ВИСТАВКИ 2022

Назва	Сайт	Місто	Дата проведення*
elcomUkraine	*www.elcom.ua*	Київ	24.05–26.05.2022
SOLAR Ukraine	*www.solarukraine.com.ua*	Київ	24.05–26.05.2022
Безпека	*www.bezpeka.ua*	Київ	20.09–22.09.2022
Зброя та безпека	*https://www.iec-expo.com.ua/orujie-2022.html*	Київ	27.09–30.09.2022
Авіасвіт-XXI	*https://www.iec-expo.com.ua/avia-2022.html*	Київ	27.09–30.09.2022
Expert Security	*https://www.iec-expo.com.ua/expert-2022.html*	Київ	27.09–30.09.2022
ELECTRO INSTALL	*https://www.iec-expo.com.ua/ei-2022.html*	Київ	18.10–20.10.2022
E-Comps + DigiTec	*https://www.iec-expo.com.ua/ecd-2022.html*	Київ	18.10–20.10.2022
EcoEnergy Expo	*https://www.iec-expo.com.ua/ee-2022.html*	Київ	18.10–20.10.2022
Міжнародний промисловий форум	*https://www.iec-expo.com.ua/pf-2022.html*	Київ	15.11–18.11.2022

* Інформація отримана від організаторів виставок. Можливі зміни в залежності від епідеміологічної ситуації.

РОЗМІРИ РЕКЛАМНИХ БЛОКІВ

1 сторінка (200×270 мм)*
2/3 сторінки (112×240 мм)
1/2 сторінки (170×120/83.5×240 мм)
1/3 сторінки (54×240/112×120/170×80 мм)
1/4 сторінки (112×100 мм)
1/6 сторінки (54×120/112×60/127×55 мм)
«Візитка» (80×40 мм)

* Для усунення неточностей при обрізанні, розмір реклами, яка подається, повинен бути 210×280 мм (дообрізний формат з урахуванням «вильотів» по 5 мм з кожного боку, які краще заповнити основним фоном реклами). Значимі символи (текст, логотип та інші елементи оформлення, які гарантовано не повинні потрапити під обрізку) не повинні підходити до краю сторінки менш ніж на 10 мм (післяобрізний формат сторінки 200×270 мм).

Редакція журналу «CHIP NEWS» приймає до розміщення тільки повнокольорові рекламні блоки, розміри яких повинні в точності відповідати розмірам, наведеним у таблиці.

Текст реклами повинен бути виключно українською мовою.

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 — **CMYK**. 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 CMYK. **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 — **CMYK** і надані окремими файлами. Кожний рисунок повинен мати підрисуночний 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».

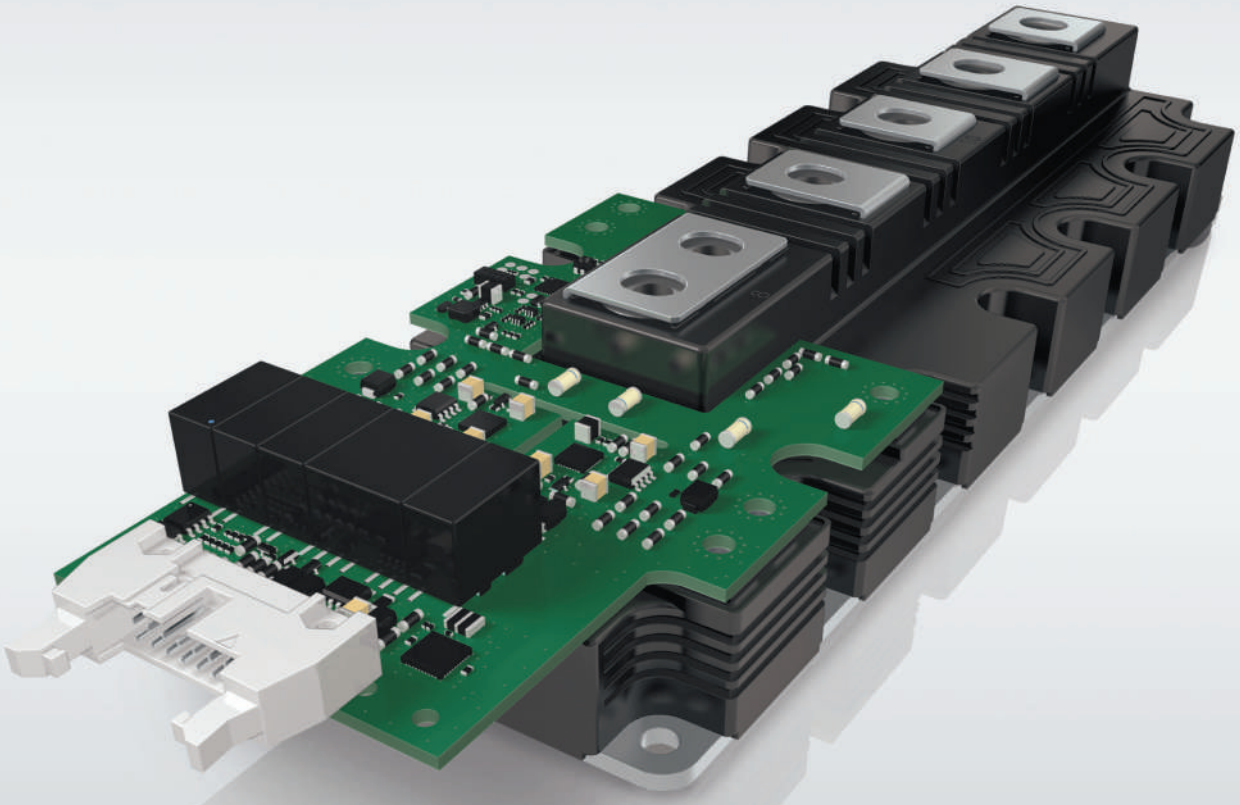
SEMIKRON
innovation + service

НВП ТЕХНОСЕРВІСПРИВІД

Офіційний представник в Україні

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 передачи сигналів сенсорів з ШІМ-модуляцією
- Волоконно-оптичний інтерфейс (опціонально)

Моторні приводи | Альтернативні джерела енергії | Перетворювачі потужності | Електротранспорт

www.semikron.com shop.semikron.com

03057, м. Київ, пр. Перемоги, 56, оф. 335
Тел.: (044) 366-2559, 366-2517, Факс: (044) 458-4766

E-mail: sales@semikron.com.ua
www.tsdrive.com

RAINBOW TECHNOLOGIES

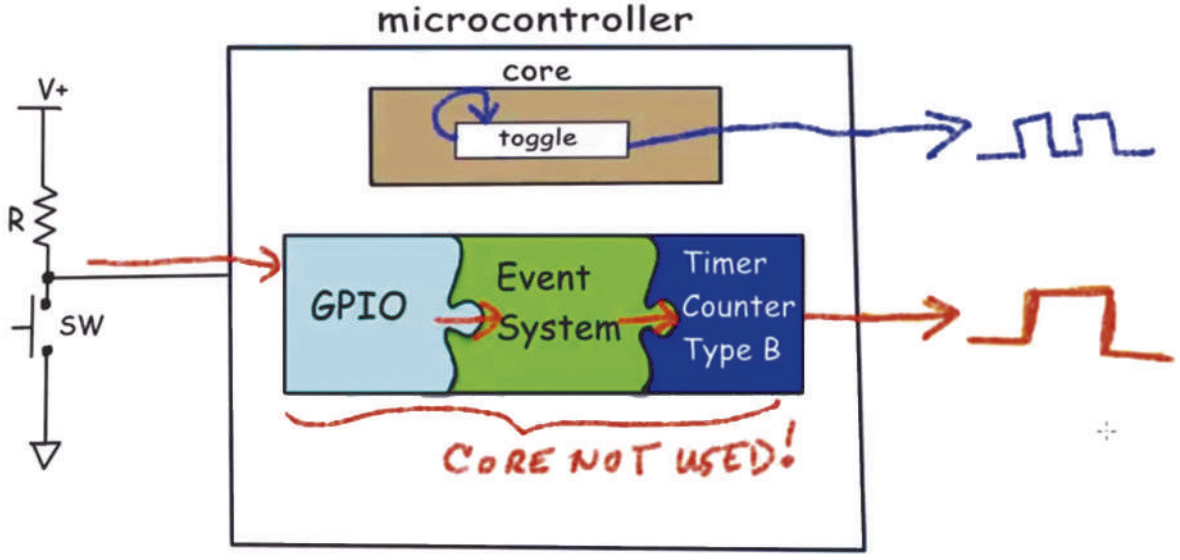
Офіційний дистриб'ютор в Україні

MICROCHIP

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 MPLAB CODE CONFIGURATOR 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) 520-04-77, 520-04-78, 520-04-79

ted@rainbow.com.ua