

CHIP NEWS



- Швидке створення прототипів ... стор. 10
- Осердя з порошкових матеріалів ... стор. 14
- Сучасні GNSS/GPS діапазони ... стор. 26
- Ідеальна електрична шафа ... стор. 32
- Проектування 6-шарових ДП ... стор. 34
- Модулі IGBT 7-го покоління ... стор. 60



**EUROCOM
COMPONENTS**

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

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



№ 02 (227), 2024 р.

Науково-технічний журнал
Видається з 2001 р.
ТОВ «Булавів-Посад л.т.д.»Зареєстрований
Міністерством юстиції України.
Свідоцтво про державну реєстрацію
друкованого засобу масової
інформації
Серія КВ № 25055-14995Р
14.12.2021 р.Головний редактор:
Сірич О. В.
E-mail: editor@chipnews.com.uaРедакційна колегія:
Войналович М. Ю., Крючатов С. Д.,
Кунчак Н. К., Кураєв П. П.,
Макаренко В. В., Мовчанюк А. В.,
Першин М. О., Поліщук С. Й.,
Рентюк В. К., Стецюк Л. В.,
Файер О. М., Шевченко В. Л.Адреса редакції:
03061, Київ,
просп. Відрадний, 10E-mail: info@chipnews.com.ua
https://www.chipnews.com.ua© «CHIP NEWS».
Передрук матеріалів, опублікованих
в журналі «CHIP NEWS», може бути
здійснений тільки з письмового дозволу
редакції. За рекламу інформацію
редакція відповідальності не несе.

ЗМІСТ

НОВИНИ

Новини світу електронних компонентів. 4

МІКРОКОНТРОЛЕРИ

*Саїд Тасімуддін (Syed Thaseemuddin),
Шрідхар Чаннагірі (Shridhar Channagiri),
Переклад та редактування:
Ірина Приходько*
**Інструменти для швидкого створення
прототипів із використанням
32-розрядних мікроконтролерів. 10**

НА ДОПОМОГУ РОЗРОБНИКУ

Артем Терейковський
Осердя з порошкових матеріалів 14
Олег Вальпа
**Модуль радіозв'язку nRF24L01
для Інтернету речей. 22**

СИСТЕМИ ПОЗИЦІЮВАННЯ

Бернд Хайдтманн (Bernd Heidtmann)
**Сучасні GNSS/GPS діапазони: перехід
від односмугових до двосмугових 26**

КОНСТРУКТИВИ

**Як обрати ідеальну електричну шафу
для ваших потреб. 32**

ПРОЄКТУВАННЯ ДРУКОВАНИХ ПЛАТ

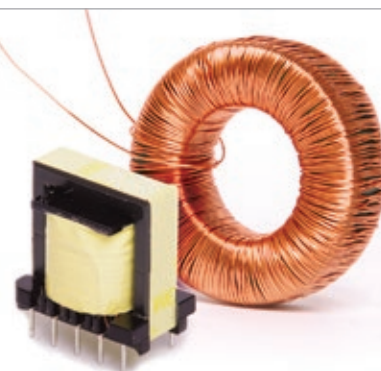
Закарайа Петерсон (Zachariah Peterson)
*Переклад та редактування:
Олександр Соколовський*
**Рекомендації з проєктування
шестишарових друкованих плат 34**

www.adcgr.com

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



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



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

ВИМІРЮВАЛЬНА ТЕХНІКА

Переклад та редагування:

Віктор Бутирін

Інтерпретація та застосування поняття

ймовірності перехоплення при спектральному

аналізі в реальному часі. 36

ДЖЕРЕЛА ЖИВЛЕННЯ

ARM32F407 — рішення живлення для систем зв'язку

від компанії Geehy. 41

Мін Чжоу (Ming Zhou),

Андреа Піччоні (Andrea Piccioni)

Переклад та редагування:

Віталій Шевченко

SiC-прилади в коректорі коефіцієнта потужності

зарядної станції електромобілів. 42

Д.К. Сінгх (D.K. Singh),

Давид Жан (David Zhan)

Підвищення ефективності системи батарейного

резервування за допомогою

знижувально-підвищувального контролера. 46

XLG-240/320-48-ABV — драйвери світлодіодів

для сільськогосподарського освітлення 240 і 320 В. 50

ПЛІС

Ілля Тарасов

Огляд сімейства Xilinx Artix UltraScale+ і перспективи

застосування ПЛІС Xilinx початкового рівня. 51

ІНТЕРНЕТ РЕЧЕЙ

Володимир Рентюк

Короткий путівник бездротовими технологіями

«Інтернету речей». Частина 4. Великий радіус дії. 54

СИЛОВА ЕЛЕКТРОНІКА

Райнер Вайс (Rainer Weiss),

Штефан Хаузер (Stefan Häuser)

Переклад та редагування:

Володимир Павловський

IGBT 7-го покоління — практичний погляд

на переваги електроприводів. 60

АЦП І ЦАП

Абхілаша Кавлі (Abhilasha Kawle),

Васім Шайх (Wasim Shaikh)

Переваги використання АЦП CTSD

у прецизійних сигнальних колах. 64

ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНІ КОМПОНЕНТИ

Рішення компанії SV Microwave/Amphenol

у галузі радіочастотних з'єднань. 71

ВІЗИТКИ. 76

ВИСТАВКИ. 81

ІНФОРМАЦІЙНА СТОРІНКА. 84

Захисні покриття для електроніки



Прозоре акрилове захисне покриття для друкованих плат ECS Plastic 70

Вологозахисне покриття ECS PLASTIC 70 на основі акрилової смоли, що за своїми характеристиками особливо придатна до застосування в електронній промисловості. Це покриття формує блискучу та гнучку захисну плівку, стійку до дії кислот, солі, цвілі, кородувальних парів, термоударів, механічного впливу, лугів, спиртів, вологи та суворих умов навколишнього середовища. Воно зберігає свої властивості у широкому діапазоні температур від -70 до $+120$ °C. Цей лак має адгезію до широкого спектра матеріалів, таких як метал, пластик, деревина, картон, скло тощо. PLASTIC 70 не розбризкується та не перешкоджає паянню крізь власну плівку під час проведення ремонту електронних виробів. У своєму складі PLASTIC 70 містить УФ-індикатор для забезпечення контролю якості нанесення вологозахисних покриттів. PLASTIC 70 відповідає вимогам стандарту MIL-I-46058C «Тип акрилова смола». PLASTIC 70 захищає плати, компоненти, кабелі тощо. Усуває або попереджує повзучі заряди, коронні розряди, короткі замикання або електророзряди. PLASTIC 70 ізолює від води, бруду та вологи та є ідеальним засобом для захисту від корозії компонентів, що призначені для функціонування у суворих атмосферних умовах. Це покриття також використовується як вологозахист для різноманітних матеріалів таких, як картон, деревина, шкіра тощо.



Застосування

Захист друкованих плат, компонентів, дротів, кабелів тощо. Усування або попередження виникнення повзучих зарядів, коронних розрядів, коротких замикань або електророзрядів. Захист від корозії компонентів, що призначені для функціонування у суворих атмосферних умовах. Вологозахист для різноманітних матеріалів таких, як картон, деревина, шкіра тощо.

Важливо

Поверхня, що буде вкрита лаком, має бути вільною від мастил, олів, парафінів тощо. Під час нанесення покриття з аерозольного балона потрібно нанести лак на всю поверхню, що потребує захисту, з відстані не менше 30 см, інакше нанесений шар буде розтікатись. Якщо сопло балона заб'ється грудками висохлого лаку, то його слід прочистити розчинником Thinner Plastic, ацетоном або терпентином.



Поліуретанове вологозахисне покриття ECS URETHANE-CLEAR 71

Дуже тривке захисне ізоляційне конформне покриття. Високоякісний однокомпонентний поліуретановий лак URETHANE-CLEAR 71, що оптимально підходить для електронної промисловості. ECS URETHANE 71 захищає та ізолює друковані плати, електромотори, трансформатори, електронне обладнання та компоненти. Забезпечує захист від несприятливих умов навколишнього середовища, таких як вологість, соляні пари, пліснява, теплові та механічні впливи. ECS URETHANE 71 утворює міцну, стійку, гнучку, ізоляційну, зносостійку плівку з відмінною адгезією і використовується в основному для захисту та ізоляції друкованих плат. Цей лак використовується як стійке, захисне конформне покриття для електродвигунів, трансформаторів та іншого устаткування та компонентів. ECS URETHANE 71 є відмінним рішенням для запобігання ушкодженням, що спричинені впливом вологи, корозії та хімічних реагентів в діапазоні температур від -40 до $+130$ °C.



Застосування

Захист друкованих плат, компонентів, дротів, кабелів тощо. Усування або попередження виникненню повзучих зарядів, коронних розрядів, коротких замикань або електророзрядів. Захист від корозії компонентів, що призначені для функціонування у суворих атмосферних умовах. Вологозахист для різноманітних матеріалів, таких як картон, деревина, шкіра тощо.

Важливо

Поверхня, що буде вкрита лаком, має бути вільною від мастил, олів, парафінів тощо. Під час нанесення покриття з аерозольного балона, потрібно нанести лак на всю поверхню, що потребує захисту, з відстані не менше 30 см, інакше нанесений шар буде розтікатись. За необхідності нанести другий шар лаку через 24 години. Лак URETHANE-CLEAR 71 потрібно сушити протягом 120 хвилин для подальших переміщень вкритого лаком виробу. Після застосування балон з лаком потрібно перевернути догори дном та натиснути на ковпачок розпилювача кілька разів. Якщо сопло балона заб'ється грудками висохлого лаку, то його слід прочистити розчинником Thinner Urethane або ацетоном.



Для замовлення:

ТОВ «ФІЛУР ЕЛЕКТРИК, ЛТД» —
офіційний дистриб'ютор
продукції ECS в Україні

Артикул	Назва
38392	Лак акриловий захисний PLASTIC 70 ECS, 400 мл
38395	Лак акриловий захисний PLASTIC 70 ECS, 1 л
38396	Лак акриловий захисний PLASTIC 70 ECS, 5 л
38397	Лак захисний поліуретановий Urethan 71 ECS, 400 мл
38399	Лак захисний поліуретановий Urethan 71 ECS, 1 л
38398	Лак захисний поліуретановий Urethan 71 ECS, 5 л

Новини світу електронних компонентів

СЕРІЯ TIMEPROVIDER®

Оператори критично важливих сегментів ринку інфраструктури, таких як телекомунікації 5G, енергетика і транспорт, повинні постійно модернізувати свої мережі за допомогою технологій, здатних забезпечити вищу швидкість обробки даних і високоточні джерела часу, які не залежать від супутникових систем Глобальної навігаційної супутникової системи (Global Navigation Satellite System, GNSS), таких як GPS, GALILEO і QZSS. Щоб надати операторам мереж наземну альтернативу для розповсюдження дуже точного часу, компанія **Microchip Technology** оголосила про випуск нового TimeProvider® 4500 grandmaster — апаратної платформи обліку часу, яка забезпечує високошвидкісні мережеві інтерфейси до 25 Гбіт/с і дозволяє отримувати час з точністю менше однієї наносекунди.

TimeProvider 4500 grandmaster здатен підтримувати транзакції з високою пропускну здатністю за протоколом точного часу (Precision Time Protocol, PTP). Інноваційна апаратна платформа дозволяє підвищити масштабованість IEEE-1588 для тисяч клієнтів. У місяць розташування мережі, де необхідно збалансувати діапазон і пропускну здатність, а саме в С-діапазоні 5G, критично важливо мати можливість обслуговувати тисячі gNodeB з одного грандмастера. Залежно від конкретних майданчиків, грандмастер може обслуговува-

ти дуже мало або велику кількість базових станцій gNodeB. Це забезпечує економічно ефективне і гнучке розгортання для операторів незалежно від масштабу.

TimeProvider 4500 grandmaster пропонує гнучкість підключення до різних поколінь мережевих елементів, що допомагає зберегти інвестиції операторів в інфраструктуру. Годинник TimeProvider 4500 є першим 1588 grandmaster з підтримкою 25 Гбіт/с. Клієнт може під'єднати годинник TimeProvider 4500 до різних мережевих пристроїв, використовуючи на вибір мережеві канали зі швидкістю 1, 10 або 25 Гбіт/с. Високошвидкісна пропускну здатність має важливе значення, оскільки модернізація мережевих елементів переходить до обладнання, яке вимагає мінімум 10 Гбіт/с, а в деяких випадках — до 100 Гбіт/с.

Надзвичайно висока точність часу TimeProvider 4500 grandmaster є особливо важливою, оскільки оператори намагаються впроваджувати альтернативні рішення замість GNSS.

Наземний варіант часто вважається привабливим рішенням, яке може використовувати наявні оптичні мережі, щоб уникнути залежності від GNSS, таким чином забезпечуючи економічно ефективний спосіб передачі високоточного часу на великі відстані. Потреба в передачі часу на великі відстані призводить до постійно зростаючих вимог до точності джерела і регенерації часового сигналу.

TimeProvider 4500 grandmaster має нові апаратні покращен-

ня, такі як цифрові синтезатори останнього покоління та ПЛІС PolarFire® SoC від Microchip. Ці вдосконалення платформи дозволяють системі перейти в область пікосекундної точності часу.

«Microchip продовжує розробляти нові інноваційні рішення для вимірювання часу та частоти для критично важливої інфраструктури. Ми розробили годинник TimeProvider 4500, щоб забезпечити вищу точність синхронізації в наявних оптичних мережевих середовищах без необхідності дорогої модернізації або виділеного темного волокна, — сказав Ренді Брудзінські (Randy Brudzinski), віцепрезидент підрозділу частотних і часових систем компанії Microchip. — Це рішення також є першим грандмастером з високошвидкісною обробкою даних до 25 Гбіт/с, що забезпечує зв'язок з новітніми мережевими елементами при розгортанні».

Удосконалена апаратна платформа годинника TimeProvider 4500 підтримує всі функції годинника TimeProvider 4100, щоб оператори, які розгортають новий продукт, також могли отримати вигоду від своїх інвестицій в серію TimeProvider 4100. TP4500 додає специфічні можливості, що виходять за рамки TP4100, завдяки вдосконаленій апаратній платформі.

TimeProvider 4500 grandmaster інтегрований з рішенням для керування синхронізацією TimePictra®, що дозволяє операторам контролювати і відстежувати несправності і загрози в реальному часі з можливістю огляду

всієї мережі. Інші ключові функції платформи TimePictra включають комплексні функції керування несправностями, конфігурацією, обліком (інвентаризацією), продуктивністю і безпекою (FCAPS); географічну топологію і навігацію по домену; налаштування приладової панелі відповідно до уподобань користувача, інтуїтивно зрозумілий веб-інтерфейс для зручного керування та багато іншого.

www.microchip.com

НАБІР POLARFIRE® SOC DISCOVERY KIT

Угалузії вбудованих систем зростає попит на процесорні архітектури з відкритим вихідним кодом на базі RISC-V®, але все ще існує обмежений вибір комерційно доступних кремнієвих або апаратних засобів. Щоб заповнити цю прогалину та сприяти інноваціям, компанія **Microchip Technology** випустила набір PolarFire® SoC Discovery Kit. Пропонуючи зручний, багатофункціональний комплект для розробки вбудованих систем обробки даних та прискорення обчислень, компанія Microchip робить нові технології більш доступними для інженерів усіх рівнів. Комплект для розробки з відкритим вихідним кодом містить чотириядерний RISC-V-процесор прикладного класу, який підтримує Linux® і додатки реального часу, багатий набір периферійних пристроїв і 95 тис. малопотужних високопродуктивних логічних елементів ПЛІС з низьким енергоспоживанням. Цей повнофункціональний, але недорогий комплект дозволяє швидко тестувати концепції додатків, розробляти прошивки, програмувати та налагоджувати код користувача.

«Ми прагнемо сприяти розвитку вбудованих систем, які потребують малопотужних та високопродуктивних ПЛІС. PolarFire SoC Discovery Kit — це важливий крок на нашому шляху до створення більш доступних, розумних, безпечних і високопродуктивних обчислювальних рішень для широкого спектра застосувань, — сказав Шакіл Піра (Shakeel Peera), віце-президент з маркетингу

www.chipnews.com.ua

ТОБ «НВП АСТЕРА»

ВН

MICROMETALS

EPCOS

TDK

FERROXCUBE

IFCores

ОСЕРДЯ, ФУРНІТУРА, МОТОЧНІ ВИРОБИ
ВИМІРЮВАЛЬНІ ТРАНСФОРМАТОРИ СТРУМУ

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

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

підрозділу ПЛІС компанії Microchip. — З новим набором Discovery Kit досвідчені та початківці інженери-конструктори, а також студенти університетів отримають доступ до недорогої платформи для розробки RISC-V та ПЛІС для навчання та швидких інновацій».

На додаток до традиційних каналів продажів, у другій половині 2024 року набори PolarFire SoC Discovery Kits будуть доступні в рамках пілотного проекту в рамках академічної програми Microchip Academic Program. Пропонуючи Discovery Kit за зниженою ціною для університетів, компанія Microchip гарантує, що майбутнє покоління інженерів матиме прямий доступ до найсучасніших технологій. Такий підхід не тільки покращує практичний досвід навчання студентів, але й узгоджує академічне навчання з останніми галузевими тенденціями. Академічна програма Microchip пропонує ресурси для викладачів, дослідників та студентів по всьому світу і допомагає університетам включати передові технології у свої навчальні програми.

«Готуючи студентів до світу праці, дипломний проект є унікальною можливістю для студен-

тів розробити практичні додатки. Цього року кілька студентів ASU використовують PolarFire SoC Discovery Kit у своїх проєктах, і для них це був неоціненний досвід, адже вони отримали доступ не лише до плат для розробки, але й до чудового наставництва, що надається в рамках академічної програми Microchip, — сказав Стівен Осберн (Steven Osburn), професор Інженерної школи ім. Айри А. Фултона в Університеті штату Арізона. — Студенти отримують практичний досвід роботи з новими технологіями для виконання реальних інженерних проєктів, знаходячи інноваційні рішення реальних проблем.

Discovery Kit побудований на базі ПЛІС PolarFire MPFS095T SoC, яка має вбудовану мікропроцесорну підсистему, що складається з чотириядерного 64-розрядного процесорного кластера на базі архітектури набору інструкцій RISC-V (Instruction Set Architecture, ISA). Велика підсистема пам'яті L2 може бути налаштована на продуктивну або детерміновану роботу і підтримує режим асиметричної багато-процесорної обробки (asymmetric multi-processing, AMP). Плата

включає підтримку екосистеми Mi-V від Microchip, шину розширення MikroBUS™ для плат Click Boards™ і 40-контактний роз'єм Raspberry Pi®, а також відеороз'єм MIPI.

Платами розширення можна керувати за допомогою таких протоколів, як I²C та SPI. Вбудований програматор FP5 призначений для програмування та налагодження ПЛІС, а також для розробки прошивок і додатків.

www.microchip.com

КОМПАКТНІ ДЖЕРЕЛ ЖИВЛЕННЯ ВІДКРИТОГО ТИПУ

Компанія **MEAN WELL** представила серію LOP-200/300 4"×2" з потужністю 200 Вт/300 Вт. Виробник розширює цю серію і згодом додасть моделі LOP-400/500/600 з розмірами 5"×3" (177×76.2 мм) та потужностями 400 Вт/500 Вт/600 Вт відповідно.

Сімейство моделей MEAN WELL LOP — це широкий спектр вбудованих джерел живлення відкритого типу, компактних, ви-

соконадійних і безпечних, з відмінними характеристиками щодо електромагнітної сумісності. Джерела живлення LOP підходять для використання в системах класу I або II, забезпечуючи надійне і економне живлення для різних електронних пристроїв.

Порівняно із серією EPP/RPS-300/400/500, яка вже присутня на ринку, основні відмінності серії LOP-400/500/600 такі: низький профіль (висота 27.5–33.5 мм), більший діапазон напруги від 12 до 54 В, збільшена аж до 600 Вт потужність при розмірі 177×76.2 мм, підтримка 150% пікового навантаження протягом 3 секунд, ширший діапазон робочих температур, а також відповідність вимогам OVCIII, 2×MOPP та VF для медичних застосувань.

Цей пристрій одночасно відповідає кільком стандартам безпеки в різних галузях, включаючи 62368-1/60601-1/61558-1/60335-1. Такі джерела живлення підходять для використання в потужних приладах у сфері зв'язку, мережевих комунікацій, медицині, промислового керуванні, системах безпеки тощо.

www.meanwell.com

MEAN WELL

SLD-150

Нові тонкі лінійні драйвери потужністю 150 Вт

- Діапазон вхідної напруги 120-305 В АС
- Вбудований активний коректор коефіцієнту потужності
- Режим «постійна напруга + постійний струм» (моделі 12/24 В)
- Режим «постійної потужності» в діапазоні 24-56 В (модель 56 В)
- Регулювання вихідного струму вбудованим потенціометром (модель 56 В)
- ККД до 93%
- Відповідність стандартам безпеки EN61347 та EN60335-1
- Гарантія 5 років

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

SEA | ІННОВАЦІЇ ТА ЕФЕКТИВНІСТЬ

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

НАЙКРАЩЕ
30
РОКІВ
ПРАЦЮЄ

АС/DC-ДЖЕРЕЛА ЖИВЛЕННЯ З КОНДУКТИВНИМ ОХОЛОДЖЕННЯМ

Компанія **Traco Power** випустила лінійку АС/DC-джерел живлення з кондуктивним охолодженням потужністю 130–500 Вт із посиленою системою ізоляції 4250 В змінного струму — серії TCI 130, TCI 240 і TCI 500 (U). Представлена лінійка пристроїв здатна максимально підвищити ефективність систем з кондуктивним охолодженням, оскільки забезпечує чудові температурні характеристики при монтажі на металевому корпусі або опорній плиті. Таким чином, серія TCI може видавати до 100% максимальної вихідної потужності без використання вентилятора.

ККД до 94% дає змогу серії TCI працювати за температури –30...+50 °С без зниження потужності або до +8 °С у разі зниження потужності чи за примусового охолодження. Ця серія відповідає вимогам OVC III та може працювати на висоті до 5000 м. Активна корекція коефіцієнта потужності та характеристики електромагнітної сумісності дають можливість застосування в промисловості, автоматизації, тестуванні та вимірюваннях.

www.tracopower.com

УНІВЕРСАЛЬНИЙ МОДУЛЬ WI-FI 6

Компанія **u-blox** анонсувала свій новий модуль NORA-W4. Завдяки широкому вибору бездротових технологій (Wi-Fi 6, Bluetooth LE 5.3, Thread і Zigbee), компактному форм-фактору (10.4×14.3×1.9 мм) і доступній ціні, NORA-W4 ідеально підхо-

дить для використання в таких сферах, як «розумний дім», відстеження об'єктів (вантажів), охорона здоров'я та промислова автоматизація.

NORA-W4 — це однодіапазонний tri-radio модуль Wi-Fi 6, побудований на базі Espressif ESP32-C6 System-on-Chip. Він дозволяє вузлам IoT з живленням від батареї працювати безпосередньо через Wi-Fi. Це спрощує впровадження і знижує витрати на системному рівні, обмежуючи потребу в шлюзі Bluetooth, що робить його ідеальним рішенням для таких застосувань, як бездротові датчики з живленням від батареї.

NORA-W4 використовує технологію Wi-Fi 6, яка оптимізована для IoT і значно зменшує перевантаження мережі в таких місцях, як заводи, офіси або склади, тим самим підвищуючи пропускну здатність і зменшуючи затримки. Повністю сумісний з Wi-Fi 4, модуль також може використовуватися в тих випадках, коли інфраструктура Wi-Fi не була модернізована.

Модуль u-blox NORA-W4 підтримує протокол Matter, технології Thread і Zigbee, призначені для нових застосувань в середовищі «розумного будинку». Таким чином, він забезпечує сумісність з іншими пристроями «розумного будинку» Matter.

Невеликий розмір NORA-W4 дозволяє дизайнерам адаптуватися до обмежень щодо розміру пристрою. Його сумісність з іншими модулями u-blox NORA є ключем до легкої міграції технологій, наприклад, переходу з Wi-Fi 4 на Wi-Fi 6. Крім того, модуль оснащений розширеними функціями безпеки, включаючи безпечне завантаження, надійне середовище виконання та шифрування флеш-пам'яті.

Модуль NORA-W4 доступний у шести різних варіантах: з відкритим процесором або u-connectXpress, антеною на штифті або на друкованій платі, а також з флеш-пам'яттю об'ємом 4 або 8 МБ. Ранні зразки доступні вже зараз, а серійне виробництво заплановане на другу половину 2024 року.

www.u-blox.com

НОВІ З'ЄДНУВАЧІ РС 6

Асортимент з'єднувачів для друкованих плат для потужної електроніки від компанії **Phoenix Contact** невпинно розширюється. Завдяки новим з'єднувачам для друкованої плати РС 6 з гвинтовим з'єднанням для нового вставного торця з розширеним захистом від дотику доступна також класична технологія з'єднання.

Підвищений захист від дотику відповідно до IEC/UL 61800-5-1 забезпечує додаткову безпеку. Разом із захищеними від дотику основами колодки за допомогою лише одного штекерного з'єднання можна реалізувати захищені від дотику пальцями виходи друкованих плат і пристроїв. Таким чином, інвертовані штекерні з'єднання більше не потрібні.

Нова серія РС 6 доступна у виконаннях з кількістю полюсів від двох до шести. На додачу до стандартної версії, без блокування штекерів й основи колодки, є варіант з центральним фланцем. Центральний фланець дуже компактний, як порівняти зі звичайним гвинтовим фланцем. Він має колірне кодування та інтуїтивно зрозуміле керування.

Штекери з номінальним перерізом 6 мм² і кроком 7.62 мм мають допустиме навантаження

по струму 41 А. Вони мають такий самий вставний торець, як і штекери LPC 6 зі швидкою важливою технологією з'єднання і шинні роз'єми PC 6/...-ST-BUS, для простого з'єднання потенціалів між собою. Лінійки штекерів сумісні з новими основами колодки РС-6. На додаток до стандартних основ колодки для паяння хвилею припою, доступні також основи колодки THR для інтеграції за допомогою технології монтажу на поверхні.

www.phoenixcontact.com

РОЗШИРЕННЯ АСОРТИМЕНТУ ДЛЯ КОРПУСІВ ЕЛЕКТРОННОГО ОБЛАДНАННЯ

Компанія **Phoenix Contact** пропонує серію корпусів ICS — універсальну систему корпусів для пристроїв автоматизації, орієнтованих на майбутнє.

Нові клеми для друкованої плати з двома варіантами кроку 5.0 та 3.5 мм розширюють діпазон з'єднань для корпусів електронного обладнання серії ICS. Виробники пристроїв можуть для нових клем вибирати між гвинтовим з'єднанням і з'єднанням Push-in.

Перевагами клем для друкованої плати ICS є стаціонарний електромонтаж і простота користування. Нові клеми можна використовувати в корпусах ICS завширшки 20, 25 і 50 мм. Корпуси електронного обладнання ICS доступні в різних розмірах і з широким вибором технологій з'єднання та іншого приладдя, як от радіатори охолодження, шинні роз'єми й дисплеї.

www.phoenixcontact.com

Сантиметрова точність GNSS тепер доступна для бюджетних програм, проста і швидка реалізація

Перевірена ринком високоточна GNSS система:



- 1) NEO-F9P і ZED-F9P — новітні приймачі GNSS HPG
 - провідна технологія u-blox: запатентовані алгоритми та чипсети
 - вбудована підтримка виправлень PointPerfect
 - рівень захисту: 95% впевненості в позиціонуванні
 - ZED-F9R: версія з IMU (гіроскоп, акселерометр)



- 2) PointPerfect — система корекції
 - надійна, економічна та зручна у використанні
 - завантаження через Інтернет або супутник

Сфери застосування:



MICRODIS
COMPETENCE & RELIABILITY

WWW.MICRODIS.NET

Роман Прокопєць — менеджер з продажу

(067) 475-81-86

Roman.Prokopets@microdis.net

ВБУДОВУВАННЯ СИЛОВИХ МОДУЛІВ СТАЛО ПРОСТИМ

REDEXPERT, онлайн-платформа для простого вибору, моделювання та проектування компонентів **Würth Elektronik**, тепер має нову функцію. MagI³C Power Module Designer дозволяє швидко і без проблем інтегрувати модуль живлення в систему, не вимагаючи спеціальних навичок роботи з DC/DC перетворювачами. Інструмент крок за кроком проводить розробників через весь процес вибору та конфігурації. Автоматично створена проектна пропозиція надається у вигляді PDF-файлу разом зі списком необхідних компонентів. Інструмент також пропонує можливість прямого замовлення зразків вибраних компонентів Würth Elektronik.

Щоразу, коли ви хочете використовувати модуль живлення MagI³C для розробки програми, інтуїтивно зрозуміла маска вводу проведе вас через процес вибору, в якому вам потрібно ввести вимоги програми, такі як вхідна і вихідна напруга і струм навантаження. Після відповіді на питання про те, чи потрібно гальванічно розв'язувати джер-

ло живлення, ви отримаєте початкову пропозицію щодо відповідного силового модуля MagI³C. Ця пропозиція є основою для індивідуальної конфігурації параметрів, наприклад, потенціометрів вихідної напруги, вхідних і вихідних конденсаторів або частоти перемикачів. Дані для програми потім використовуються для запуску симуляції силового модуля, що дозволяє проаналізувати його робочі параметри, такі як ККД, пульсації вихідної напруги та споживання вхідного струму.

Проектна пропозиція може бути використана для замовлення необхідних зразків безпосередньо у компанії Würth Elektronik.

www.we-online.com

МОДУЛІ ЖИВЛЕННЯ З ВИСОКОЮ ПИТОМОЮ ПОТУЖНІСТЮ

Штучний інтелект в даний час сприяє експоненціальному зростанню глобального обсягу даних і, як наслідок, підвищує вимоги до енергоспоживання мікросхем, що підтримують зростання

цих даних. Нещодавно компанія **Infineon Technologies AG** випустила двофазні модулі живлення серії TDM2254xD, які забезпечують найкращу у своєму класі питому потужність, якість та загальну вартість експлуатації (Total Cost of Ownership, TCO) для центрів обробки даних зі штучним інтелектом. Продукти серії TDM2254xD поєднують інновації в надійній технології OptiMOS™ MOSFET з новим корпусом і запатентованою магнітною структурою, щоб забезпечити найкращі в галузі електричні та теплові характеристики з надійною механічною конструкцією. Це дозволяє центрам обробки даних працювати з більшою ефективністю, щоб задовольнити високі вимоги до потужності платформ AI GPU (графічних процесорів), а також значно знизити TCO.

Враховуючи, що сервери ШІ потребують в 3 рази більше енергії, ніж традиційні сервери, а центри обробки даних вже споживають понад 2% світового енергопостачання, вкрай важливо знайти інноваційні рішення в галузі електроживлення та архітектури, які сприятимуть подальшій боротьбі з викидами вуглекислого

газу. Прокладаючи шлях до «зеленої» фабрики ШІ, двофазні силові модулі TDM2254xD від Infineon у поєднанні з технологією контролера XDP™ забезпечують ефективне регулювання напруги для високопродуктивних обчислювальних платформ з чудовими електричними, тепловими та механічними характеристиками.

Компанія Infineon представила серію TDM2254xD на конференції Applied Power Electronics Conference (APEC). Унікальна конструкція модулів забезпечує ефективну передачу тепла від силового каскаду до радіатора завдяки новій конструкції індуктора, яка оптимізована для передачі струму і тепла, що дозволяє досягти ефективності на 2% вище, ніж у середньогалузевих модулів при повному навантаженні. Підвищення енергоефективності в ядрі графічного процесора дає значну економію енергії в умовах масштабування. Це означає економію в мегаватах для центрів обробки даних, які обчислюють ШІ, що, в результаті, призводить до скорочення викидів CO₂ та економії операційних витрат.

www.infineon.com



RADIODETAILI



ВЕЛИКИЙ ВИБІР РАДІОДЕТАЛЕЙ!

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

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

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

Павільйон 9В+
(068) 599 56 99

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

RADIODETAILI.COM.UA

**ВИСОКОПРОДУКТИВНІ
МОДУЛІ WI-FI
ТА BLUETOOTH**

Компанія Quetcel Wireless Solutions

повідомила про запуск двох нових модулів Wi-Fi і Bluetooth, FCU741R і FCS950R, а також двох модулів Bluetooth, HCM010S і HCM111Z. Таке розширення портфоліо модулів Quetcel має на меті надати розробникам розширений набір опцій, що задовольняють різноманітні потреби з точки зору розміру, вартості та енергоефективності.

Quetcel FCU741R — це високопродуктивний модуль Wi-Fi 4 для бездротових LAN-з'єднань, який підтримує частоти 2.4 та 5 ГГц і забезпечує максимальну швидкість передачі даних до 150 Мбіт/с. Модуль розміром всього 13.0x12.2x2.25 мм був розроблений для забезпечення оптимального поєднання розміру і вартості кінцевого продукту, що робить його ідеальним для застосувань, чутливих до габаритів. Крім того, конструкція модуля зводить до мінімуму час та зусилля на розробку, що дозволяє швидше виводити продукт на ринок.

Модуль також підтримує діапазон робочих температур від -20 до +70 °C і має надійний інтерфейс USB 2.0. Він має дві конструкції антен: радіочастотний коаксіальний роз'єм першого покоління і штирьовий антенний інтерфейс з технологією поверхневого монтажу (surface-mount technology, SMT), що робить FCU741R ідеальним варіантом для довговічних і надійних конструкцій.

Quetcel FCS950R — це модуль Wi-Fi 5 і Bluetooth 4.2, який може підтримувати широкий спектр комерційних додатків завдяки інтерфейсу SDIO 3.0, що під-

тримує низьке енергоспоживання і високу швидкість передачі даних. Модуль також компактний, його розміри складають лише 12.0x12.0x2.35 мм і важить 0.58 г. Завдяки підтримці стандартів IEEE 802.11a/b/g/n/ac, FCS950R забезпечує максимальну швидкість передачі даних до 433.3 Мбіт/с в режимі 802.11ac.

Як і FCU741R, FCS950R був розроблений для розгортання в умовах обмежених габаритів, а технологія SMT робить його придатним для застосування в складних умовах. Удосконалений корпус модуля і етикетка з лазерним гравіюванням забезпечують краще відведення тепла, а незмивне маркування дозволяє здійснювати великомасштабне автоматизоване виробництво, що позитивно впливає на вартість і ефективність. FCS950R також працює в діапазоні температур від -20 до +70 °C.

Компанія Quetcel також випустила ще й високопродуктивний Bluetooth-модуль Quetcel HCM010S на базі процесора ARM Cortex M33, який підтримує технології Bluetooth Low Energy (BLE) та Bluetooth Mesh. Модуль має вбудовану 64 КБ SRAM і 768 КБ флеш-пам'яті, що забезпечує ефективну продуктивність. HCM010S виконаний у форм-факторі LCC + DIP з ультракомпактними розмірами 20.0x15.6x2.4 мм.

Quetcel HCM010S, здатний працювати при температурі від -40 до +105 °C, підтримує стандартну mesh-мережу Bluetooth і підходить для пристроїв BLE, які забезпечують зв'язок «багато до багатьох» для використання в бездротових мережах «розумного» освітлення, «розумних» будівель і «розумного» будинку. Модуль також підтримує потуж-

ність передачі до +20 дБм для збільшення дальності зв'язку, забезпечуючи надійний і стабільний зв'язок. Важливо, що модуль пропонує Secure Vault, розширену опцію безпеки, яка забезпечує вищий рівень безпеки IoT.

Нарешті, Quetcel HCM111Z виділяється як високопродуктивний Bluetooth-модуль MCU, оснащений процесором Cortex-M3, що працює на частоті до 48 МГц. Модуль підтримує BLE 5.3, забезпечуючи максимальну швидкість передачі даних 2 Мбіт/с. Вбудована оперативна пам'ять SRAM об'ємом 48 КБ та флеш-пам'ять 512 КБ забезпечують ефективну та надійну роботу модуля. HCM111Z оснащений вбудованим кодеком, який дозволяє приймати мікрофонний сигнал і відтворювати аудіо. Ця функція робить його придатним для інтеграції в інтелектуальні пристрої, такі як пульти дистанційного керування з голосовим управлінням, розумні іграшкові автомобілі, спортивні та медичні гаджети, а також побутову техніку.

HCM111Z має розміри всього 15.0 ммx12.0 ммx2.25 мм і є ультракомпактним Bluetooth-модулем. Він підтримує до 13 GPIO, полегшуючи реалізацію функцій UART, SWD, SPI, I²C, АЦП, ШІМ та I²S в рамках рішення QuesOpen®. Крім того, він має режим низького енергоспоживання Bluetooth, що підвищує гнучкість і адаптивність для різних застосувань, особливо в розумних будинках і промислових сценаріях IoT.

Модулі Інтернету речей Quetcel розробляються з урахуванням вимог безпеки. Від архітектури продукту до розробки прошивки/програмного забезпечення, Quetcel використовує провідні галузеві практики та стандарти, зменшуючи потен-

ційні вразливості за допомогою незалежних випробувальних центрів, а також впроваджує практики безпеки, такі як генерація SBOM і VEX-файлів, а також виконання бінарного аналізу прошивки, впроваджені усього життєвого циклу розробки програмного забезпечення.

www.quectel.com

**ІНТЕЛЕКТУАЛЬНІ
ПРОМИСЛОВІ ДАТЧИКИ
ТА МК**

Епоха Індустрії 5.0, де інтелект, можливості датчиків та автоматизація мають першорядне значення, попит на точні, компактні датчики продовжує стрімко зростати в різних галузях промислової автоматизації та застосувань Інтернету речей. Компанія **Nuvoton Technology** представила серію NuMicro M091 — лінійку 32-бітних високоінтегрованих аналогових мікроконтролерів, призначених для підвищення точності аналогових функцій і цифрового керування в компактному корпусі.

Заснована на ядрі Arm® Cortex®-M0, серія NuMicro M091 працює на частотах до 72 МГц, з флеш-пам'яттю об'ємом від 32 до 64 КБ, 8 КБ SRAM і робочою напругою від 2.7 до 3.6 В. Відкриваючи нові горизонти продуктивності, ця серія пропонує багату аналогову периферію, включаючи 4 набори 12-бітних ЦАП і до 16 каналів 12-бітних 2 MSPS АЦП. Крім того, вона підтримує до чотирьох наборів прецизійних операційних підсилювачів Rail-to-Rail (OP Amps), що забезпечує виняткові технічні характеристики для підвищення точності вихідного сигналу. Ці характеристики включають вхідну напругу змінення всього 50 мкВ, надзвичайно низькотемпературний дрейф 0.05 мкВ/°C, високу швидкість розгортки до 6 В/мкс і широку смугу підсилення 8 МГц, що забезпечує цілісність посиленних сигналів. До складу також входить вбудований датчик температури з відхиленням ± 2 °C.

Завдяки додаванню до шести наборів 32-бітових таймерів, 1 UART, 1 SPI, 1 I²C і 6-канальних 16-бітових периферійних модулів ШІМ, серія NuMicro M091 забезпечує плавну адаптацію до різних сценаріїв застосування, надаючи більш комплексне рішення. Для задоволення зростаючого попиту на малогабаритні датчики ця серія пропонує компактні кор-

www.chipnews.com.ua



K206
Електронні компоненти

Все для виробництва та ремонту зі складу та на замовлення

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

пусу QFN33 (4×4 мм) і QFN48 (5×5 мм), що полегшує інтеграцію сенсорних технологій в різноманітні сценарії застосування.

Серія M091, оснащена платою для розробки NuMaker-M091YD та дебагером Nu-Link, пропонує потужні інструменти для тестування та розробки продуктів. Крім того, вона підтримує сторонні IDE, такі як Keil MDK, IAR EWARM та власну розробку NuEclipse IDE від Nuvoton, надаючи розробникам більше вибору та зручності.

www.nuvoton.com

НОВИЙ ЯСКРАВИЙ 7" ДИСПЛЕЙ З ФУНКЦІЄЮ МУЛЬТИТАЧ

Новинка WF70A8SYJHLNGA виробництва компанії **Winstar** вирізняється високим рівнем яскравості, що дає змогу працювати із зображеннями високої деталізації та низької контрастності без напруги зору. Глянцевий дисплей із сенсорною панеллю чудово підійде для інтелектуальних побутових приладів і діагностичного обладнання.

7-дюймовий дисплейний модуль WF70A8SYJHLNGA видає зображення з роздільною здатністю 1024×600 пікселів на робочій поверхні розміром 154×86 мм. Ця модель IPS TFT LCD-дисплея виконана в пропорціях 16:9. Відмінні риси продиктовані найчастішою сферою застосування як екран діагностичного обладнання, що дає змогу спостерігати за графіками змін показників.

Для кращої видимості зображення гляцевий дисплей має високий рівень яскравості. Типове значення цього показника у WF70A8SYJHLNGA становить 850 кд/м², що майже вдвічі перевищує звичайний рівень яскравості дисплеїв з діагоналлю 7 дюймів. Комфортне сприйняття зображення на екрані досягається контрастністю 800:1.

Зручність використання в різних застосуваннях забезпечує IPS-матриця WF70A8SYJHLNGA з широким кутом огляду — 85° у всіх чотирьох напрямках. Проекційно-емісійна сенсорна панель дисплея WF70A8SYJHLNGA працює на вбудованому контролері ІІ2130 або еквівалентних варіантах. Інтерфейс I²C дає змогу реалізувати функцію множин-

них торкань мультитач, визначаючи координати до п'яти торкань одночасно.

Діапазон робочих температур становить −20...70 °С. Цей дисплей можна використовувати як екран керування в широкому спектрі професійного обладнання, а також у системах безпеки. Завдяки високій яскравості та функціоналу мультитач 7-дюймовий дисплейний модуль WF70A8SYJHLNGA знайде застосування в діагностичному, медичному та промисловому обладнанні, а також може використовуватися як екран керування для промислових вимірювальних приладів.

www.winstar.com.tw

ІНФРАЧЕРВОНІ СЕНСОРНІ МОДУЛІ

Компанія **Vishay** випустила два інфрачервоних сенсорних модуля, які забезпечують надійну роботу під прямими сонячними променями, забезпечуючи при цьому достатню чутливість для використання в додатках зі світловим бар'єром. TSSP93038DF1PZA

для поверхневого монтажу та TSSP93038SS1ZA з виводами поставляються у компактних корпусах Minimold та мають інтенсивність випромінювання 1.3 мВт/м².

На відміну від високочутливих інфрачервоних сенсорних модулів з фіксованим коефіцієнтом підсилення, які потребують атенюаторів, таких як темне скло, апертури та сонцезахисні козирки для захисту від сонячного світла, керована чутливість TSSP93038DF1PZA і TSSP93038SS1 дає можливість пристроям працювати в умовах яскравого сонячного світла без небажаних імпульсів.

Для датчиків присутності та наближення, на малих відстанях знижена чутливість усуває необхідність надзвичайно низького прямого струму на емітері, що може призвести до нестабільної інтенсивності на виході.

Обидва модулі можуть виконувати виявлення наближення на відстані до 1 м. Можлива дальність дії до 11 м в системах зі світловими завісами з використанням ІЧ-випромінювального діода Vishay TSAL6100, що працює при прямому струмі 100 мА.

www.vishay.com



Офіційний дистриб'ютор

BETTERFUSE
You build electronics, We safeguard them!





Захист від перевантаження по струму
(серія запобіжників, запобіжники SMD, відновлювані запобіжники)



Комплексний захист від перевантаження по струму і високій температурі
(серія BTU потужність 0.5, 1 і 2 Вт)



Захист від високої температури
(серія запобіжників та серія термостатів)



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



Захист від перенапруги
(супресори обмежувачі електростатичного заряду та напруги)

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

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

Інструменти для швидкого створення прототипів із використанням 32-розрядних мікроконтролерів

Саїд Тасімуддін (Syed Thaseemuddin), Microchip Technology Inc.

Шрідхар Чаннагірі (Shridhar Channagiri), Microchip Technology Inc.

Переклад та редагування: Ірина Приходько, к.т.н., доцент кафедри ПРЕ, РТФ, КПІ ім. Ігоря Сікорського

Окрім мікроконтролерів, компанія Microchip також пропонує засоби розробки апаратного та програмного забезпечення. Сімейство мікроконтролерів забезпечує створення різних прикладів додатків або інструментів для розробки прототипів для промислових і технологічних сегментів, таких як пристрої зв'язку (з низьким енергоспоживанням), функціональна безпека тощо. Засоби розробки апаратного та програмного забезпечення надають можливість швидко розробляти прототипи без безпосереднього проєктування друкованих плат.

В рамках своєї пропозиції апаратних засобів компанія Microchip пропонує такі плати як Curiosity Nano Development Boards і Curiosity Development Boards. Комплекти Curiosity Nano Development являють собою недорогі набори малих габаритів для розробки з вбудованою можливістю програмування та налагодження. Вони розташовуються на адаптері під назвою Nano Base Board і за допомогою Click Boards мікроконтролерів та професійних плат розширення можуть збільшувати можливості макетних плат, додаючи датчики, сенсорні інтерфейси, дисплеї або інші інтерфейси підключення, необхідні для розробки будь-якої програми.

Конструкція даних комплектів також узгоджується з сімействами 8-, 16- і 32-розрядних мікроконтролерів Microchip, тому для них можуть бути поширені різноманітні застосування.

Плати Curiosity Development Boards мають деякі додаткові вбудовані можливості, такі як аудіороз'єми, графічні інтерфейси, графічні роз'єми або роз'єми для підключення до Інтернету. Крім роз'ємів Мікрое вони мають роз'єми

XPRO, а деякі плати Curiosity — і Arduino роз'єми, що дозволяє використовувати екрани Arduino для реалізації прототипів додатків.

ПРОГРАМНІ ЗАСОБИ, ЩО ДОПОВНЮЮТЬ АПАРАТНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ

Що стосується програмних засобів, Microchip пропонує чотири основні інструменти. Перш за все, це MPLAB® X IDE, IDE (Integrated Development Environment) інтегроване середовище розробки, яке використовується для розробки вбудованих додатків (embedded applications) на цифрових сигнальних контролерах і мікроконтролерах Microchip.

Іншим інструментом є MPLAB XC Compilers. Компілятор XC дозволяє перекладати код мови високого рівня C або C++ на мову асемблера мікроконтролера.

Ще одним важливим інструментом є середовище розробки програмного забезпечення MPLAB Harmony,

частина більшої екосистеми MPLAB X від Microchip, яке дозволяє розробляти вбудовані додатки на 32-розрядних мікроконтролерах Microchip. Harmony має кілька особливостей та функціональних можливостей. В ньому є кілька демонстраційних прикладів, щоб розпочати роботу з розробкою додатків і прототипів, а також багаторівневі та модульні бібліотеки. Воно також містить бібліотеки периферії, які забезпечують інтерфейс до апаратних регістрів та пропонують бібліотеки проміжного програмного забезпечення, а також абстрактні драйвери та системні сервіси.

Існує також кілька графічних засобів розробки, які дозволяють створювати проєкти та генерувати код за допомогою графічного інтерфейсу користувача. Усе це доступно для завантаження через платформу GitHub зі структурою розробки програмного забезпечення MPLAB Harmony v3. Одним із графічних засобів розробки є MCC (*Microchip's code configurator*), який зараз підтримується 32-розрядними мікроконтролерами, таким чином надаючи користувачам загальний інструмент конфігурації для всіх сімейств мікроконтролерів. За допомогою цього інструменту ви можете конфігурувати свій код, створювати проєкти та генерувати код за допомогою бібліотек програмного забезпечення.

Розглянемо три приклади проєктів розробки, але для початку потрібно звернути увагу на кілька ресурсів, що стосуються цих прикладів. Перший — пакет MPLAB Harmony Reference Apps, доступний у вигляді сховища на GitHub. Тут є багато автономних додатків для демонстрації функцій і можливостей

32-розрядних мікроконтролерів. Приклади базових додатків містять як програми для початківців та демонстраційні програми, так і набагато складніші та багатofункціональніші, а також демонстраційні додатки, що використовують плати MikroElektronika Click Board, XPRO тощо.

Частиною самого пакету базових додатків є також приклади демонстрації використання MikroElektronika Click Board у середовищі розробки програмного забезпечення Harmony.

ПРИКЛАДИ ШВИДКОГО ПРОТОТИПУВАННЯ

Наш перший приклад — це керування роботою вентилятора залежно від значень температури в приміщенні, як показано на рисунку 1.

Вентилятор працює на низькій, середній або високій швидкості, його можна вмикати або вимикати залежно від температури в приміщенні. У цьому прикладі ми використовуємо тестувальну плату розробника PIC32CM MC00 Curiosity Nano, який містить мікроконтролер Cortex M0+, пристрій брандмауера, який підключається до MikroElektronika Click Board за допомогою шини I²C. Маємо дві Click Board: Click Board для погоди та для вентилятора. Перемикання погоди використовує параметри температури, тиску та вологості, тоді як перемикання вентилятора дозволяє нам керувати його роботою.

Вони підключаються через один інтерфейс I²C з боку мікроконтролера, що підключається до двох різних ліній за двома різними адресами. Додаток ініціалізує плати Click Board, а потім зчитує температуру в приміщенні через I²C. Значення температури порівнюється з нормою, і якщо воно перевищує 25 градусів, вентилятори запускаються відповідно на середній швидкості. Так само регулюється його включення, виключення та робота на різних швидкостях.

У прикладі 2 відстежується частота серцебиття людини, що допомагає аналізувати її режим сну або продуктивність у різних видах спорту (рис. 2). Тут використано плату SAM E51 Curiosity Nano з мікроконтролером Cortex M4, що підключена до Heart Rate Click та eINK Click Bundle. Підключена по лінії UART Heart Rate Click надає інформацію про частоту серцебиття, потім дані відображаються на дисплеї eINK Click Bundle з низьким енергоспоживанням, що під'єднано за допомогою лінії SPI.

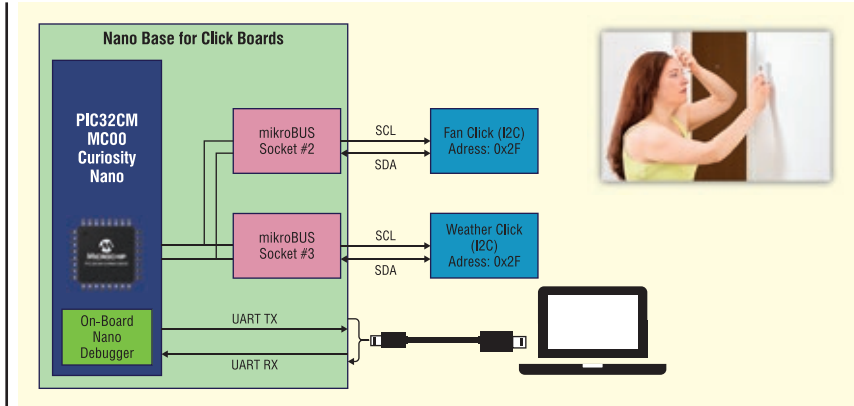


Рис. 1. Керування роботою вентилятора (вмикання/вимикання та швидкість) залежно від значень температури в приміщенні

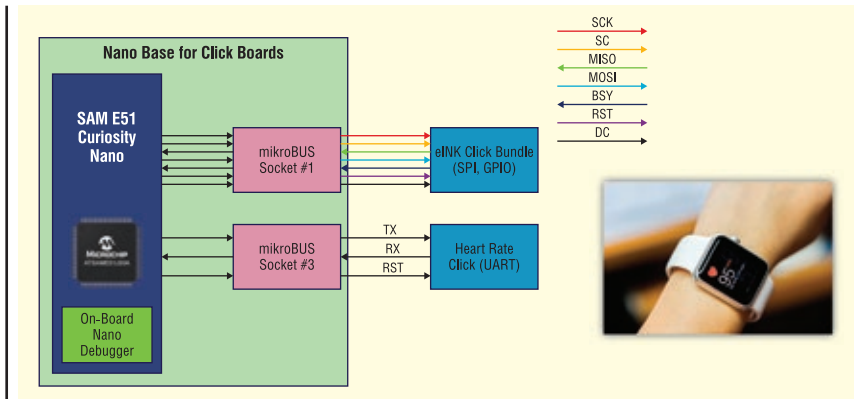


Рис. 2. Моніторинг серцебиття людини під час сну або під час занять різними видами спорту

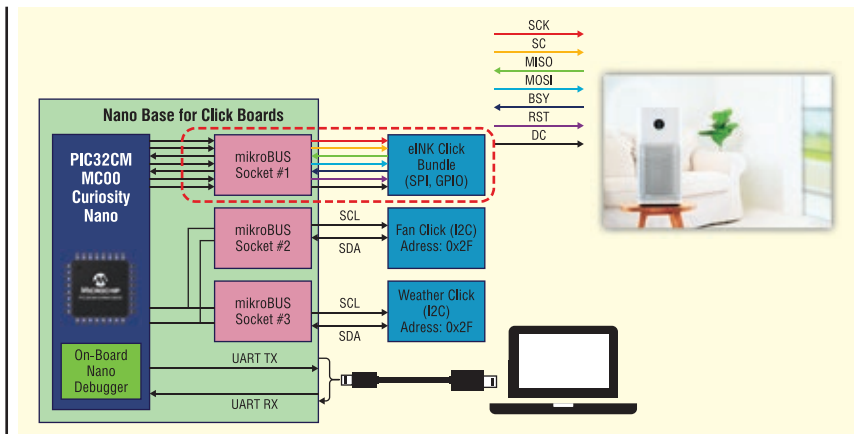


Рис. 3. Приклад 3, частина 1: додавання дисплею з низьким енергоспоживанням до системи керування роботою вентилятора залежно від значень температури

Після ініціалізації цих модулів та відображення значення за замовчуванням на eINK Click Bundle, користувач запускає вимірювання, натиснувши кнопку і приклавши палець до датчика серцевого ритму. Мікроконтролер зчитує інформацію та відображає значення на дисплеї з низьким енергоспоживанням.

Приклад 3 є доповненням до прикладу 1 із можливістю відтворення інформації на дисплеї (рис. 3). Пунктиром на схе-

мі додано блок eINK Click Bundle до тієї самої блок-схеми. Послідовність роботи додатка залишається незмінною. Залежно від значень температури вентилятор встановлюється на повільну, середню або високу швидкість роботи, але водночас значення температури та швидкість вентилятора відображаються на дисплеї з низьким енергоспоживанням.

У частині 2 цього прикладу додано передачу інформації по бездротовому

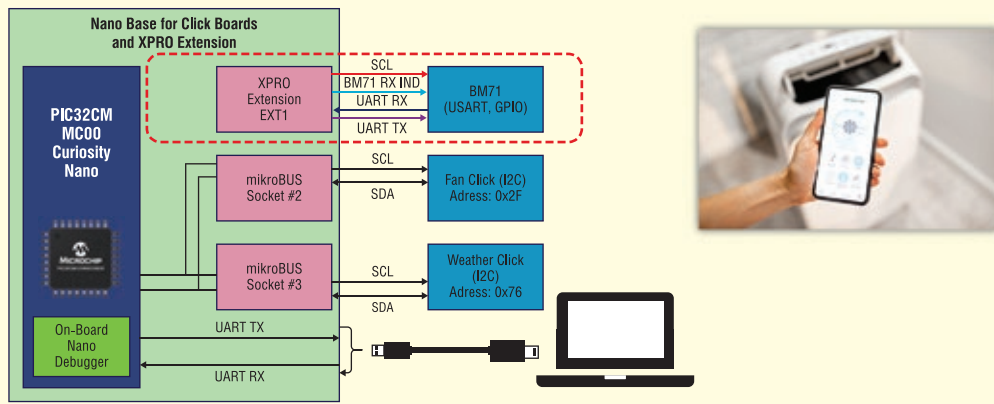


Рис. 4. Приклад 3, частина 2: додавання можливості керування роботою вентилятора через додаток для смартфона Android на базі Bluetooth Low Energy (BLE)

зв'язку з можливістю керувати додатком через смартфон Android на базі BLE — користувач надсилає команди через свій телефон і зможе увімкнути вентилятор або працювати в режимі, що залежить від температури (рис. 4).

Частини 1 і 2 прикладу 3 також можуть бути інтегровані в додаток для керування «розумними» приладами з можливістю повного дистанційного керування і відображення.

РОЗРОБКА ДОДАТКІВ

Для розробки таких додатків необхідно виконати три кроки.

Першим кроком є створення проекту MPLAB X IDE за допомогою MCC для обраного мікроконтролера, наприклад, SAM E51. Потім необхідно налаштувати тактовий генератор, периферійні пристрої та відповідні порти. Якщо ви використовуєте вже існуючий приклад і бажаєте розширити його функціонал, вам не слід створювати новий проект, а краще використовувати існуючий і просто відкрити його в MPLAB X IDE.

Крок 2 — додавання коду програми. Краще для цього використовувати існуючі приклади MikroElektronika Click Board. У цих прикладах є певні підпрограми, які ви можете використовувати для реалізації цієї функції у своїх кінцевих додатках — по суті, їх слід додати до своєї програми, а потім реалізувати її відповідно до вимог.

Третій крок передбачає запуск програми та оцінку результату. Для цього треба запустити MBD додаток Android, і за запитом увімкнути Bluetooth-локацію. Торкніться піктограми BLE UART, яка показує тип пристроїв, які він може сканувати. Виберіть сканування BM70, після чого з'явиться список усіх доступних при-

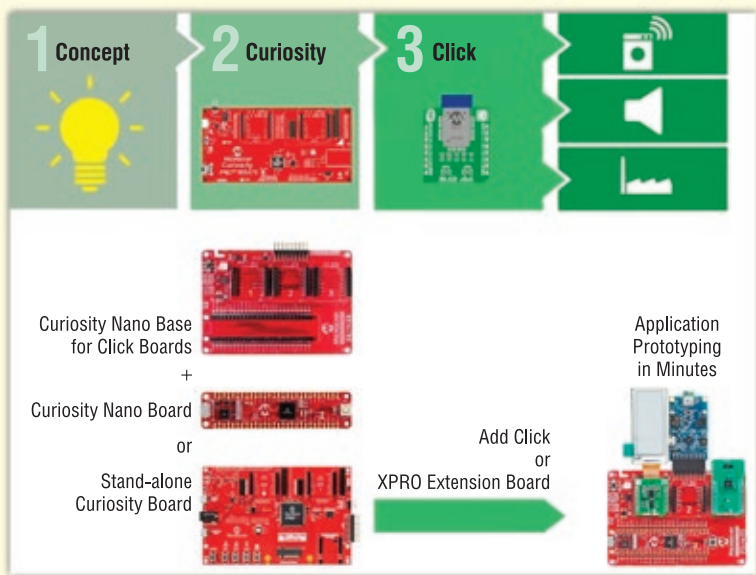


Рис. 5. Швидке створення прототипів

строїв з підтримкою BLE. Зверніть увагу на відкритий демонстраційний пристрій UART. Коли він з'явиться, ви можете скасувати поточне сканування та натиснути на нього. Потім він встановлює з'єднання з пристроєм та активує канал для передачі даних. Просто торкніться значка передачі даних і ввімкніть потрібну передачу даних вниз. Після цього з'явиться екран для вводу команд керування пристроєм: вимкнути вентилятор, увімкнути вентилятор або запустити його на певній швидкості. Ці команди надходять за допомогою текстових повідомлень.

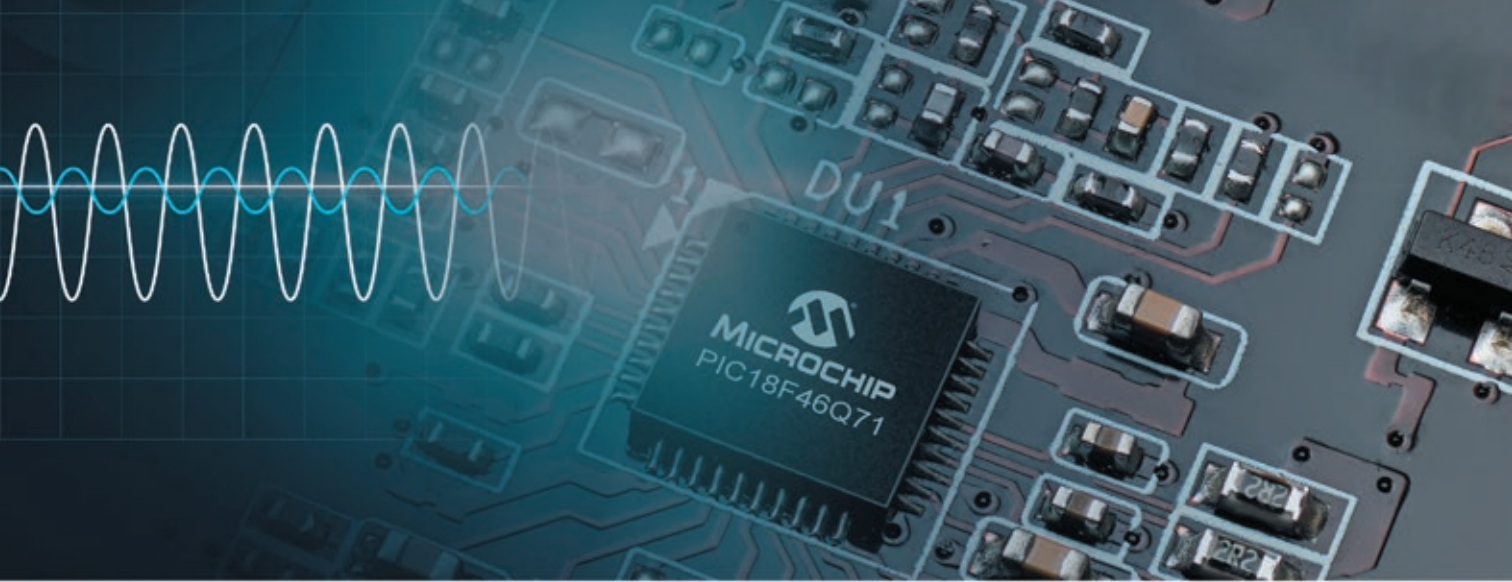
Якщо ви хочете вимкнути вентилятор, ви повинні ввести команду *BLE control fan off* і натиснути кнопку «Надіслати». Щоб запустити його в режимі залежно від значень температури, введіть команду *temp control*, натисніть кнопку, і вентилятор працює залежно від температури в приміщенні. Ви також можете змінювати тем-

пературу, поклавши палець на датчик, і вентилятор відповідно змінюватиме свою швидкість, працюючи на низькій, середній або високій швидкості залежно від температури в приміщенні.

ПЛАТФОРМА РОЗРОБКИ ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ MPLAB HARMONY

Компанія Microchip пропонує кілька ресурсів, які допомагають розробляти додатки, включаючи графічні профілі, аудіо, криптобібліотеки тощо (рис. 5).

Окрім плат Curiosity Board та Curiosity Nano Board для швидкого створення прототипів, компанія Microchip також пропонує більш широкий вибір платформ, такі як серії плат для розробки Xplained Pro або XPLORE, а також серію Curiosity Ultra.



Зменшення шуму в аналогових сигналах

Аналогові мікроконтролери PIC18-Q71 з гнучкою периферією

Сімейство мікроконтролерів PIC18-Q71 розширює портфоліо продуктів PIC18 завдяки широкому переліку аналогових функцій, що спрощують взаємодію з датчиками і вимірювання аналогових сигналів, оптимізують продуктивність системи і знижують вартість BOM. Це сімейство продуктів доступне в різних варіантах корпусів і обсягів пам'яті для різних застосувань, включаючи світлодіодне освітлення, профілактичне обслуговування, медицину, домашню автоматизацію, керування промисловими процесами, автомобільну промисловість та Інтернет речей (IoT).

Основні характеристики:

- 12-розрядний диференціальний АЦП з обчисленнями і контекстним перемиканням
- Два операційні підсилювачі
- Два 8-бітних ЦАП
- Один 10-розрядний буферний ЦАП
- Два аналогових компаратора
- Менеджер аналогової периферії для оптимізації енергоспоживання
- 8-бітний порт маршрутизації сигналів для міжпериферійних з'єднань



microchip.com/PIC18-Q71-family

Назва і логотип Microchip та символ Microchip є зареєстрованими торговельними знаками компанії Microchip Technology Corporation в США та інших країнах. Всі інші торговельні знаки належать їхнім власникам відповідно. © 2024 Microchip Technology Inc. Всі права захищені. MIC25334-010-01 24

Осердя з порошкових матеріалів

Артем Терейковський, директор, ТОВ «НВП АСТЕРА»

E-mail: ferrite@ukr.net

Вважається, але не доведено, що найбільша кількість однакових куль може бути розміщена всередині куба за об'ємноцентричного заповнення [48], за якого щільність пакування досягає 74% (рис. 14). Оскільки форма магнітних частинок магнітно-м'яких порошкових матеріалів (МПМ) рідко буває ідеально сферичною, а частину простору між ними займає діелектрик, відносна густина матеріалу з однорідних частинок виявляється ще меншою.

Сузукі (Suzuki) та співавтори [49] дійшли висновку, що щільність пакування можна збільшити, заповнивши порожнечі між великими елементами за допомогою дрібних елементів. У МПМ додавання дрібних магнітних частинок до основного порошку дає змогу збільшити відносну густину матеріалу. Як «наповнювач» застосовують дрібнодисперсні порошки, наприклад, карбонільне залізо (*Carbonyl Iron Powder, CIP*), а також наночастинки заліза та різних сплавів. МПМ, що складаються з двох або більше різних магнітних матеріалів і одного або більшої кількості діелектриків та сполучних речовин, називають **композитними**. Що більша відносна густина МПМ, то менша величина розподіленого зазору, вища проникність і нижчі втрати.

ЧАСТИНКИ ВЕЛИКІ, ЧАСТИНКИ МАЛЕНЬКІ

У формованих дроселях обмотка розташовується всередині об'єму магнітного матеріалу (рис. 5), що вимагає певних властивостей МПМ. Насамперед, необхідні тиск преса і температура відпалу не повинні пошкоджувати провідники та їхню ізоляцію. Це можливо, якщо вихідний матеріал має високу насипну щільність і високу плинність. Важливо, щоб порошок не намагався «пружинити» і повертати первісний об'єм після зняття тиску.

Недорогий сплав Fe-Si-Cr широко застосовується для виробництва мініатюрних індуктивних елементів, що використовуються в мобільних телефонах, ноутбуках, мережевому обладнанні тощо, але він має «слабку» DCB-характеристику¹ і значні втрати на високих частотах. Вирішити цю проблему допомагають композитні МПМ на основі Fe-Si-Cr.

Залежності характеристик композитних матеріалів від параметрів їхніх компонентів наочно продемонстровано в роботі [50]. Автори порівняли параметри осердь, виготовлених із карбонільного заліза (CIP), «чистого» Fe-Si-Cr і відпаленого Fe-Si-Al, а також з їхніх бінарних сумішей. Порошок Fe-Si-Cr отримали методом водяної атомізації (Water Atomization, WA), тому частинки мали нерегулярну форму. Порошок Fe-Si-Al, отриманий методом газової атомізації (Gas Atomization, GA), піддали спеціальному відпалу за температури 550 °C. Такий відпал сприяє утворенню нанокристалічних структур у частинках, що значно знижує втрати в матеріалі [51]. Частинки карбонільного заліза були фосфатовані (див. розділ Діелектрики) методом «мокрої хімії», описаним у [52]. Після фосфатації дрібні частинки CIP не пошкоджують більші частинки в суміші під час пресування.

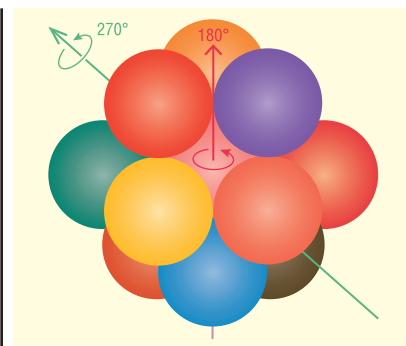


Рис. 14. Схема об'ємноцентричного розташування куль

Середні розміри частинок Fe-Si-Cr, CIP і відпаленого Fe-Si-Al склали 9,4, 4,4 і 9,1 мкм відповідно. У таблиці 1 наведені значення абсолютної та відносної густини МПМ після формування осердь при 600 МПа і відпалі при 150 °C, а також їхня проникність.

Карбонільне залізо не є сплавом, тому має найменшу твердість і легко ущільнюється при стисненні. З цієї причини густина спресованого карбонільного заліза виявилася найвищою. Хоча відпалений Fe-Si-Al має високу плинність (і насипну щільність) завдяки сферичності його частинок, він майже не деформується під час стиснення, перешкоджаючи тим самим механічному зчепленню частинок. В результаті, при знятті тиску преса ефект пружності прагне повернути порошок до первісного стану, зменшуючи тим самим густину і проникність матеріалу. Через цю особливість порошки з нанокристалічними структурами застосовуються здебільшого у складі композитів з іншими сплавами заліза.

¹ DCB-характеристика — Direct Current Bias — стійкість до підмагнічування постійним струмом.

Таблиця 1. Густина, відносна густина і проникність CIP, Fe-Si-Cr і відпаленого Fe-Si-Al

Зразок	Густина (відносна густина)	Проникність
CIP	6.2 г/см ³ (92.4%)	27.3
Fe-Si-Cr	5.9 г/см ³ (87.0%)	31.0
Відпалений Fe-Si-Al	4.9 г/см ³ (79.2%)	23.4

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

Таблиця 2. Густина, відносна густина і проникність МПМ з бінарних сумішей 50:50 в вагових %

Зразок	Густина (відносна густина)	Проникність
СІР і Fe-Si-Cr	6.0 г/см ³ (88.9%)	31.9
СІР і відпалений Fe-Si-Al	6.0 г/см ³ (93.2%)	35.3
Fe-Si-Cr і відпалений Fe-Si-Al	5.8 г/см ³ (89.6%)	34.7

Хоча СІР має найбільшу густину, проникність МПМ з Fe-Si-Cr все ж вища. Це пояснюється тим, що під час пресування в частинках СІР виникає велика кількість розломів, які призводять до значної пластичної деформації та знижують проникність МПМ.

У таблиці 2 наведено значення густини, відносної густини і проникності МПМ з бінарних сумішей СІР, Fe-Si-Cr і відпаленого Fe-Si-Al. Примітно, що найвища відносна густина 93.2% виявилася в суміші карбонільного заліза і відпаленого Fe-Si-Al, кожен з яких окремо поступився Fe-Si-Cr (табл. 1). Це пояснюється хорошою стисливістю карбонільного заліза, завдяки якій частинки СІР ефективно заповнюють проміжки між частинками Fe-Si-Al, що не деформуються.

Незначне збільшення відносної густини суміші Fe-Si-Cr і СІР з 87.0% до 88.9% пояснюється тим, що частинкам карбонільного заліза складно рівномірно заповнити неоднорідні проміжки між частинками Fe-Si-Cr нерегулярної форми.

Хоча розміри частинок Fe-Si-Cr і Fe-Si-Al приблизно однакові, їхня суміш несподівано показала збільшення відносної густини порівняно з кожним із порошків окремо. Ефект пояснюється збільшенням плинності Fe-Si-Al унаслідок відпалу, що дає змогу частинкам Fe-Si-Al краще розподілятися в об'ємі матеріалу і заповнювати проміжки між частинками Fe-Si-Cr під час пресування.

Завдяки різним механічним властивостям порошків, кожна з бінарних сумішей забезпечила вищу відносну густину і проникність МПМ, ніж будь-який із компонентів окремо.

Незважаючи на інтенсивне вивчення обох матеріалів, лише кілька робіт описують параметри композитів Fe-Si-Cr@СІР, наприклад, [53]. Автори досліджували властивості композиту Fe-Si-Cr@СІР (середні розміри частинок — 11 і 3 мкм) з 10%, 20%, 30% і 40% масових часток СІР. Були вивчені ефективна проникність, DCB-характеристика і загальні втрати в МПМ залежно від пропорції компонентів.

Завдяки значній масовій частці заліза, СІР має високу індукцію насичен-

ня. Його питомий опір нижчий, ніж у Fe-Si-Cr, проте сумарні втрати обох матеріалів приблизно однакові через малі розміри частинок СІР. Найбільша проникність композита була зафіксована для СІР з масовою часткою не більше 10%, але найкраще поєднання параметрів відзначалося за 20% і 30%. Додавання 30% забезпечило стабільну ефективну проникність ($\mu_e = 31$) на частотах аж до 1 МГц. DCB-характеристика композиту покращилася на 78%, а загальні втрати знизилися на 15% до значення 1 684 мВт/см³ (за 0.05 Т, 250 кГц) порівняно з «чистим» Fe-Si-Cr.

Хоча за основними параметрами Fe-Si-Cr поступається Fe-Si-Al, у складі композитів він забезпечує потрібний баланс між проникністю, загальними втратами і DCB-характеристикою [54]. Fe-Si-Cr@СІР вважається оптимальним варіантом для виробництва формованих дроселів (рис. 5). На даний час розробляються МПМ на основі Fe-Si-Cr для осердя загального призначення.

У [55] було досліджено композицію нанокристалічного порошку Fe-Si-Cr і наночастинок Fe-Ni. Наночастинки виготовили технологічно простим, екологічно чистим і дуже енергоефективним методом імпульсного випаровування (*Pulsed Wire Evaporation, PWE*). Суть методу полягає в пропущенні імпульсу струму великої сили через провідник, внаслідок чого провідник миттєво випаровується. Унаслідок взаємодії утвореної гарячої плазми та охолоджувального газу формуються наночастинки однакового діаметру в оболонці з оксидів, що значно збільшує їхній питомий опір.

Мікрочастинки Fe-Ni мають низьку коерцитивну силу H_c , але у наночастинок вона істотно вища. При зменшенні розміру до 76 нм і менше, порошок Fe-Ni у слабких магнітних полях пово-

диться як суперпарамагнетик [56, 57], тобто скоріше як однодоменна структура, ніж мультидоменна [58]. Частинки Fe-Si-Cr більші за розміром, їхня коерцитивна сила менша, а намагніченість насичення вища завдяки більшій частці заліза, що входить до складу сплаву. Як і в розглянутих вище прикладах, характеристики композиту Fe-Si-Cr@(Fe-Ni)_{нано} істотно відрізняються від параметрів його компонентів.

Для порівняння були виготовлені зразки осердя із «чистого» Fe-Si-Cr (метод GA, <25 мкм), а також із сумішей 10%, 20%, 30% і 40% масового вмісту наночастинок Fe-Ni (70 нм). Методи GA і PWE забезпечили відмінну сферичність форми частинок обох порошків. Як сполучну речовину застосували епоксидну смолу.

Дійсна частина проникності композиту різко зросла з додаванням 10% наночастинок, однак, зі збільшенням їхньої частки з 10% до 40%, проникність знижувалася (рис. 15б). При 40% вона виявилася навіть нижчою, ніж у «чистого» Fe-Si-Cr. З іншого боку, уявна частина проникності зростала зі збільшенням вмісту наночастинок. Оцінити ефективність силового дроселя можна за допомогою коефіцієнта добротності матеріалу осердя, фізичний сенс якого полягає у відношенні накопиченої в матеріалі енергії до розсіюваної. Іншими словами, коефіцієнт добротності обернено пропорційний тангенсу кута магнітних втрат:

$$Q = \frac{\mu'}{\mu''} = \frac{1}{\tan \delta} \quad (6)$$

У зразків із 30% та 40% наночастинок добротність виявилася меншою, а резонансна частота — вищою завдяки відносно високій μ'' у діапазоні низьких та середніх частот (рис. 15а).

У таблиці 3 наведено характеристики композитів Fe-Si-Cr@(Fe-Ni)_{нано} залежно від вмісту наночастинок².

На рисунку 16 наведено залежності загальних втрат P_{cv} композиту Fe-Si-

² Виміряно за допомогоюю Hewlett Packard 4294А на частоті 1 МГц

Таблиця 3. Характеристики композитів Fe-Si-Cr@(Fe-Ni)_{нано}

@ 1 МГц	ρ_r , г/см ³	μ' , Гн/м	μ'' , Гн/м	Q
0%	4.646	18.715	0.597	31.362
10%	5.601	26.598	0.737	36.110
20%	5.304	24.758	0.769	32.213
30%	5.100	20.399	6.801	11.848
40%	4.601	17.183	5.124	11.676

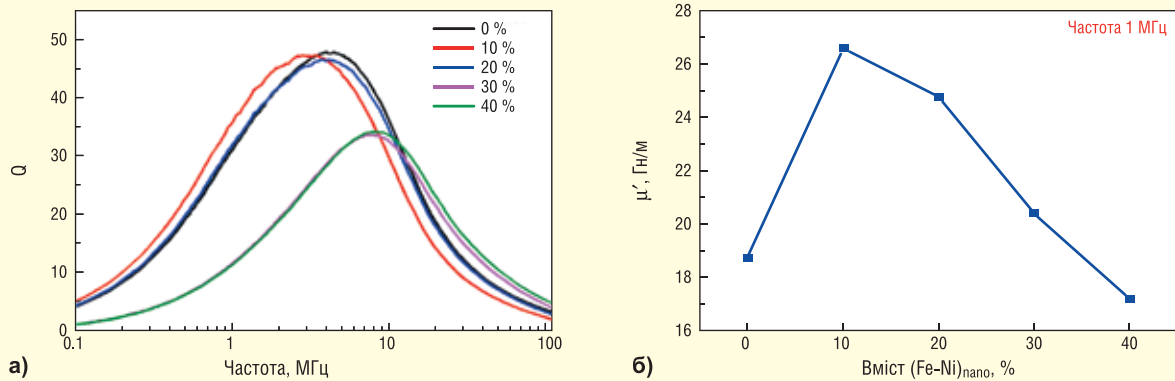


Рис. 15. Залежність добротності композитів Fe-Si-Cr@(Fe-Ni)_{нано} від частоти, діапазон 100 кГц – 100 МГц (а); дійсна частина проникності зразків із різним вмістом (Fe-Ni)_{нано} (б)

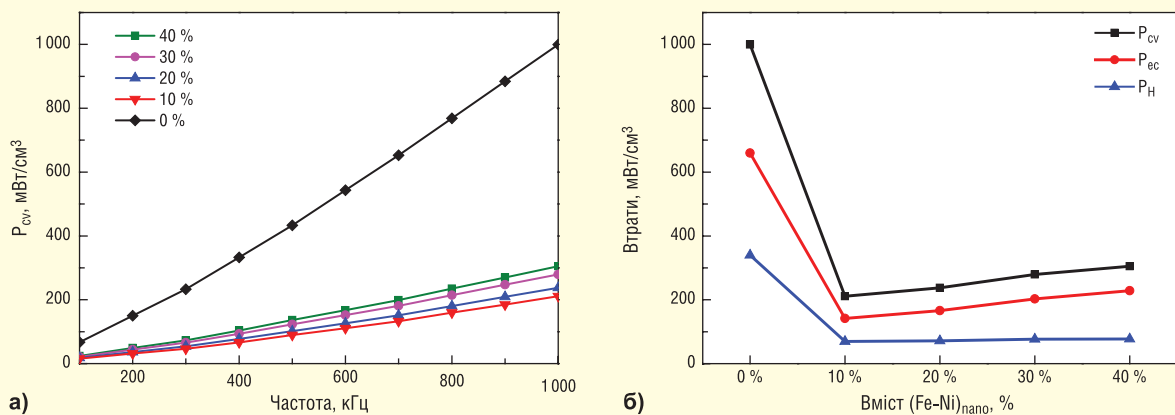


Рис. 16. Залежності загальних втрат P_{cv} композиту Fe-Si-Cr@(Fe-Ni)_{нано} від частоти (а) і залежність складових втрат від масової частки наночастинок (б)

Cr@(Fe-Ni)_{нано} від частоти і залежність складових втрат від масової частки наночастинок.

Найбільша відносна густина (77.24%), найвища проникність на частоті 1 МГц і мінімальні загальні втрати (210.88 мВт/см³) виявилася у зразка із вмістом 10% наночастинок. Порівняно з «чистим» Fe-Si-Cr, втрати зменшилися на 78.91%. Отримані результати підтверджують зворотну залежність втрат від відносної густини та проникності МПМ.

Чжао (Zhao) і співавтори [59] модифікували поверхню сферичних частинок Fe-6.5Si таким чином, щоб забезпечити максимальну адгезію наночастинок Fe-Ni. Завдяки високій плинності, наночастинок ефективно заповнили проміжки між частинками Fe-6.5Si, що забезпечило високу густину матеріалу після пресування. Усі тестові зразки показали значне покращення характеристик композиту Fe-6.5Si@(Fe-Ni)_{нано} порівняно з «чистим» Fe-6.5Si. Найкраще поєднання параметрів відзначено за 15% вмісту наночастинок, за якої μ_e збільшилася на 43.8%, а втрати знизилася на 22.1%.

ДИЕЛЕКТРИКИ

Як випливає з формули (3), чим менша відстань між магнітними частинками в МПМ, тим вища його ефективна проникність μ_e . Простір між магнітними частинками заповнюється діелектриком та/або сполучною речовиною, як правило, з немагнітними властивостями. В ідеальному випадку, об'єм ізоляційного матеріалу зменшується до дуже тонкого шару, що рівномірно покриває кожну магнітну частинку. Для цього діелектрик повинен мати високий питомий опір та високу адгезію до поверхні частинок.

Усе різноманіття застосовуваних діелектриків можна розділити на дві основні групи — органічні та неорганічні.

Органічні діелектрики, завдяки високій плинності, рівномірно покривають частинки порошку, що дає змогу отримувати тонкий шар і високу відносну густину МПМ, але термостійкість таких діелектриків рідко перевищує 500 °С. Більшість МПМ вимагають відпалу осердь за температур від 600 °С і вище, за яких традиційні органічні діелектрики (епоксидні смоли, фенольні смоли, силіконові смо-

ли, парилени та ін.) руйнуються. До того ж, вони мають погану стабільність вище 200 °С, що перешкоджає тривалій роботі осердь при таких температурах.

Загальним недоліком неорганічних діелектриків є їхня схильність до стиснення в процесі відпалу, що може призвести до появи тріщин і навіть до відлущування покриття з поверхні частинок. Тому були розроблені комбіновані органічно-неорганічні діелектрики, наприклад, епоксидні та фенолформальдегідні смоли, модифіковані наночастинами сполук кремнію або бору [60, 61], а також оксиду заліза Fe₃O₄. Ці та інші наповнювачі підвищують механічну міцність діелектрика, забезпечують кращу стабільність форми та лінійних розмірів осердь після відпалу [62].

Непогані результати отримали Х. Лу (H. Lu) і співавтори [63], застосували арилацетиленову смолу (PSA), що містить полісилікон, яка є гібридною органічно-неорганічною сполукою. PSA забезпечує високий опір, відмінну температурну стабільність і високу адгезію. Для порівняння параметрів діелектриків зразки осердь були виготовлені з Fe-Si-Al

(метод GA, 45 мкм) з додаванням епоксидної смоли, силіконової смоли та PSA. В усіх випадках PSA продемонструвала значну перевагу перед іншими смолами.

Що вища температура відпалу (до певної межі), то менше осередків залишкових мікронапружень у МПМ і тим нижчі втрати на гістерезис. Термостійкість PSA дала змогу провести відпал при більш високій температурі, ніж допускають епоксидна і силіконові смоли, внаслідок чого проникність осердь незначно збільшилася. Така зміна пояснюється частковим руйнуванням PSA, внаслідок якої зменшилася частка немагнітної складової МПМ.

Зі збільшенням масової частки немагнітного діелектрика **ефективна проникність** МПМ незначно знизилась, але покращилась частотна стабільність параметрів. Додавання 2% PSA і відпал осердя при 700 °C протягом 1 години забезпечили найкращі в групі зразків характеристики: $P_{cv} = 184$ мВт/см³ (за 0.1 Т, 50 кГц), $\mu_e = 96$.

Фосфатні покриття забезпечують оптимальний баланс необхідних параметрів, але вони також руйнуються при температурах вищих за 500 °C [64, 65]. Зазвичай фосфатування проводять методом занурення або розпилення агента, в якості якого виступає фосфорна кислота H_3PO_4 або фосфат цинку $Zn_3(PO_4)_2$. Останній забезпечує товстий ізоляційний шар. Для покращення параметрів фосфатів у них вводять додаткові елементи, наприклад, катіони Mg^{2+} , Y^{3+} , Sr^{2+} [66]. Хуанг (Huang) і співавтори [67], а також Копелович (Kopeliovich) [68] описали методи нанесення фосфатних покриттів на порошки хімічно чистого заліза та Fe-Si-Al. У другому випадку в покритті переважав $AlPO_3$, який легко розпадається до Al_2O_3 під час відпалу. Заміщення фосфатів оксидами сприяє подальшому зростанню опору діелектрика.

Деякі порошкові матеріали з фосфатним покриттям частинкою потребують високого тиску преса при формуванні осердь, до 2000 МПа і більше, що ускладнює застосування фосфатованих МПМ при масовому виробництві осердь.

Порівняно з фосфатами, **оксиди** мають кращу температурну стабільність. Покриття з оксидів наносяться методами як сухої, так і мокрої хімії [69]. Застосовуються в основному SiO_2 , Al_2O_3 , ZrO_2 , Cr_2O_3 , TiO_2 , MgO та оксиди заліза. Для нанесення SiO_2 , Al_2O_3 , TiO_2 та MgO використовують відносно простий золь-гель метод [70]. Діоксид кремнію SiO_2 широко застосовується як діелектрик завдяки високому питомому опору та значній механічній міцності. Оксид алюмінію Al_2O_3 , отриманий золь-гель методом з прожарюванням за 1100 °C, забезпечує високі значення електричного опору, теплопровідності та термостійкості, тому дедалі більше виробників порошків осердь розробляють власні технології нанесення Al_2O_3 на поверхні магнітних частинок МПМ [71].

Дисульфід молібдену MoS_2 , широко відомий як присадка до моторних мастил, виявився чудовим діелектриком для магнітних частинок завдяки стійкості до корозії та окислення, а також високому питомому опору і відмінним змащувальним властивостям [72, 73]. Особливістю цього напівпровідникового матеріалу є будова кристалічної решітки. Атоми S-Mo-S, що чергуються, утворюють шари з міцним зв'язком між атомами, але слабким зв'язком між шарами [74], завдяки чому шари легко розділяються. Подрібнення MoS_2 дає порошок у вигляді мікроскопічних лусочок завтовшки всього кілька нм, які легко прилипають до поверхні магнітних частинок і покривають їх рівномірним шаром.

С. Дж. Чжу (S.J.Zhu) і співавтори [75] досліджували властивості композиту Fe-Si-Al@ MoS_2 . Початкову сировину MoS_2 подрібнили до лусочок з розміром близько 14 мкм за допомогою

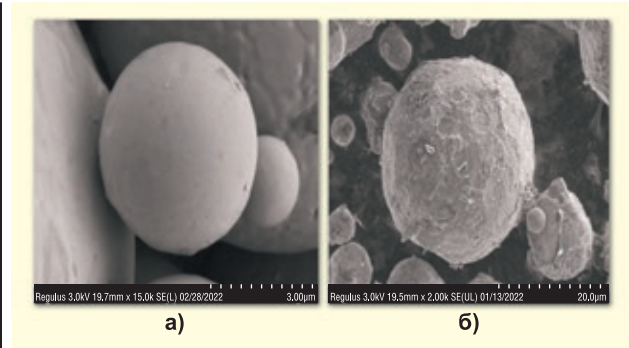


Рис. 17. Частинка порошку Fe-Si-Al, отриманого методом газової атомізації (GA) (а); частинка Fe-Si-Al, вкрита «пластівцями» MoS_2 (1% маси) (б)

високошвидкісного кульового млина, після чого суміші Fe-Si-Al (метод GA, 20 мкм) з домішками 1%, 2% і 3% масової частки MoS_2 піддали додатковому обробленню в низькошвидкісному кульовому млині. Дослідження поверхонь отриманих частинок показало рівномірне покриття Fe-Si-Al пластівцями MoS_2 і відсутність хімічної реакції між ними (рис. 17б). Як зв'язувальну речовину додали 0.7% масової частки модифікованої силіконом епоксидної смоли. Зразки сформували за тиску 1800 МПа і відпалили у вакуумній печі за 710 °C.

Зі збільшенням вмісту MoS_2 з 1% до 3% ефективна проникність МПМ знижувалася, але залишалася досить високою за рахунок низьких втрат на гістерезис. Динамічні втрати композиту знизилися приблизно на 25% порівняно з контрольним зразком без MoS_2 , а частота релаксації перевищила 1 МГц, що дає змогу застосовувати матеріал на високих частотах.

Щоб досягти необхідної густини деяких МПМ, наприклад, на основі Fe-6.5Si, необхідно розвивати тиск преса 1200–2000 МПа. Особливості кристалічних решіток SiO_2 , Al_2O_3 , MgO та їхня крихкість призводять до деформації покриття частинок за високого тиску, що робить ці діелектрики малопридатними для ізоляції Fe-6.5Si. З часом і під впливом експлуатаційних чинників властивості перелічених вище та інших немагнітних діелектриків, наприклад, ZrO_2 , AlN , Cr_2O_3 , TiO_2 , поступово деградують, що призводить до погіршення параметрів осердь (ефект старіння). Немагнітні діелектрики знижують проникність МПМ і максимальну індукцію в матеріалі. Тому найперспективнішими вважаються неорганічні діелектрики, що мають магнітні властивості, та такі, які формуються безпосередньо на поверхні частинок МПМ методом оксидації або селективної азотизації. Залежно від методу оксидації, одним з отриманих оксидів буде Fe_2O_3 або Fe_3O_4 . За необхідності, обидва ці оксиди легко перетворюються на ферит.

Згадані вище оксиди SiO_2 , Al_2O_3 мають чудові діелектричні властивості. У оксидів заліза ці властивості гірші, але залізо, що входить до їхнього складу, є феромагнетиком. В [76] описано технологію, яка дає змогу використовувати корисні властивості всіх трьох сполук одночасно. Автори досліджували залежність параметрів композиту Fe-Si-Al@ Fe_2O_3 від масової частки Fe_2O_3 . На першому етапі суміш порошків було піддано 8-годинній обробці в кульовому млині. Контрольні знімки зафіксували рівномірне покриття магнітних частинок наночастинками Fe_2O_3 . Після відпалу за методом SPS (*Spark Plasma Sintering*, іскро-плазмове спікання) [77, 78], композит Fe-Si-Al@ Fe_2O_3 трансформувалася в частки, вкриті подвійною «шкаралупою», внутрішній шар якої складався із силіциду заліза Fe_3Si з домішкою Fe_3O_4 , а зовнішній — з Al_2O_3 і SiO_2 .

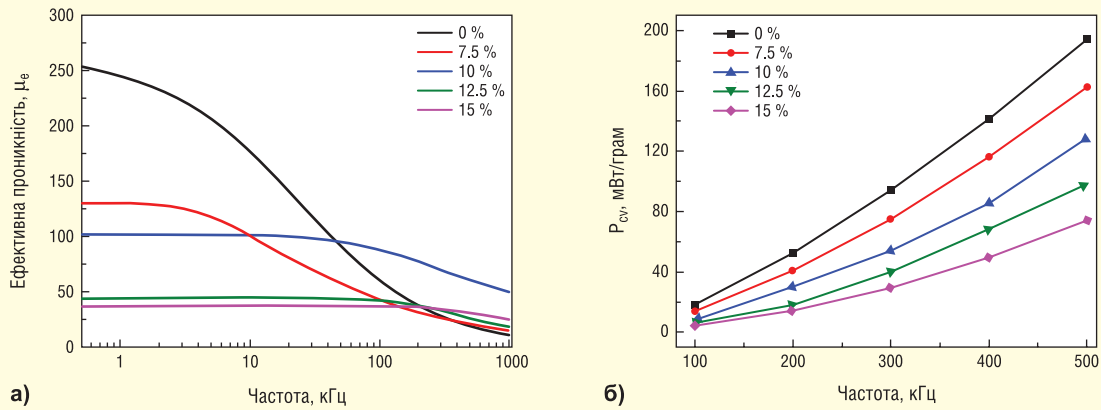


Рис. 18. Залежність ефективної проникності $\text{Fe}_3\text{Si}@/\text{Al}_2\text{O}_3$ від вмісту Fe_2O_3 і частоти (а); залежність загальних втрат $\text{Fe}_3\text{Si}@/\text{Al}_2\text{O}_3$ від вмісту Fe_2O_3 і частоти (б)

Зі збільшенням частки Fe_2O_3 товщина обох шарів збільшувалася завдяки утворенню додаткових кількостей Al_2O_3 і Fe_3Si . Немагнітний Al, вступаючи в реакцію з Fe_2O_3 , вивільняє атоми заліза, яке переходить у фазу Fe_3Si . Частина Fe_2O_3 , що залишилася, реагує з Si з утворенням SiO_2 і вільного заліза, яке значно покращує основні магнітні характеристики МПМ. Хоча Al_2O_3 та SiO_2 трохи знижують намагніченість насичення і збільшують коерцитивну силу МПМ, феромагнітні властивості Fe_3Si і Fe компенсують вплив оксидів. Як видно з рисунку 18 загальні втрати в композиті та його проникність знижуються зі збільшенням масової частки Fe_2O_3 , при цьому покращується частотна стабільність параметрів. Додавання 10% Fe_2O_3 забезпечує відносно високу проникність МПМ у широкому діапазоні частот.

У розглянутому вище прикладі оксид заліза було додано як один із компонентів МПМ, але його можна сформувати безпосереднім оксидуванням поверхонь магнітних частинок. У [79] було отримано композитне покриття частинок Fe-6.5Si, що складається із силікату залі-

за Fe_2SiO_4 і наночастинок заліза, з використанням методу SPS [77]. На першому етапі на поверхні частинок Fe-6.5Si в результаті реакції між Fe і $\text{H}_2\text{O}/\text{O}_2$ формується рівномірна оксидна плівка Fe_2O_3 , товщина якої пропорційна тривалості реакції. Після спікання оксидна плівка трансформується в композитне покриття, яке складається з Fe_2SiO_4 , що має прекрасні діелектричні властивості, і наночастинок заліза. Однак, надлишкове окислення призводить до зменшення максимальної індукції в МПМ і до зростання динамічних втрат внаслідок зниження питомого опору. За оптимальної товщини шару Fe_2O_3 вдалося забезпечити індукцію насичення 1.66 Т і загальні втрати близько 644 мВт/см^3 (за 0.1 Т, 50 кГц).

Простий, ефективний і екологічний спосіб покращення параметрів осердя з порошкового заліза (*Iron Powder*) запропонували Дж. Лі (J. Li) та співавтори [80]. На першому етапі порошок відновленого заліза (75 мкм) піддали відпалу за температури 250–300 °C у повітряному середовищі, внаслідок чого на поверхні частинок сформувалася

міцна «шкаралупа» з оксиду Fe_3O_4 . Замість зв'язувальної речовини до отриманого композиту $\text{Fe}@/\text{Fe}_3\text{O}_4$ додали невелику кількість антиадгезійного агента (стеарату цинку). Осердя сформували під тиском 800...1200 МПа і відпалили при різних температурах 400–650 °C в азотному середовищі. Найкраща стабільність проникності та задовільні втрати виявилася у зразків, відпалених за 450 °C з порошку, який був окисдований за 250 °C. На рисунку 19 наведено частотні залежності початкової проникності та загальних втрат у МПМ із порошків, відпалених за різних температур.

Наночастинки феритів мають кращі, ніж у оксидів, діелектричні та магнітні властивості, тому їх дедалі частіше застосовують як покриття магнітних частинок МПМ. Вонг (Wang) і співавтори [81], застосувавши гідротермальний метод, синтезували нанокристали трьох різновидів шпінельних феритів — CoFe_2O_4 , NiFe_2O_4 і MnFe_2O_4 . Найвищу температурну, хімічну і механічну стабільність продемонстрував CoFe_2O_4 . Чудові властивості цього функціонального матеріалу дають змогу застосову-

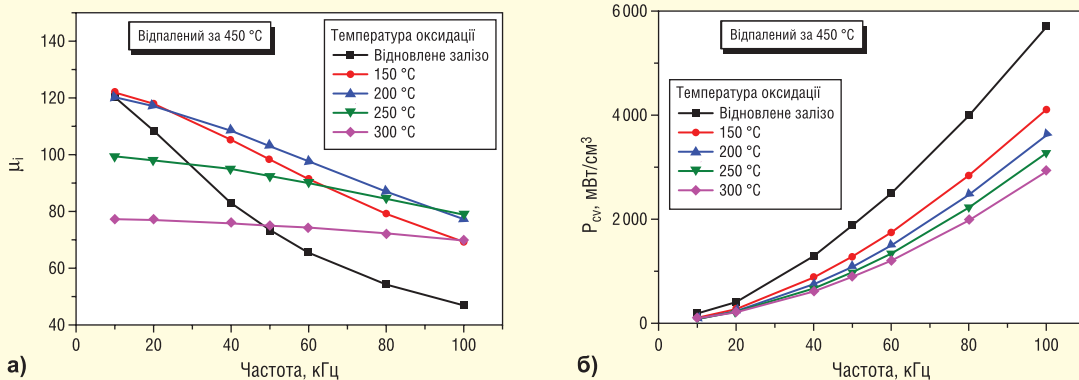


Рис. 19. Залежність початкової проникності МПМ з $\text{Fe}@/\text{Fe}_3\text{O}_4$ від частоти (а); залежність сукупних загальних втрат у МПМ з $\text{Fe}@/\text{Fe}_3\text{O}_4$ від частоти (б)

вати його в найрізноманітніших сферах [82, 83], але нас насамперед цікавлять електричні та магнітні характеристики. В [84] описано технологію рівномірного покриття частинок МПМ шаром нанокристалів CoFe_2O_4 , що формуються безпосередньо на поверхні частинок МПМ методом оксидзації. Суть методу полягає в тому, що за допомогою води, хлориду кобальту й аміаку на поверхні частинок порошку заліза (метод WA, 57 мкм) формується шар нанокристалічного CoFe_2O_4 . Як зв'язувальну речовину було використано модифіковану силіконом епоксидну смолу. Отриманий МПМ мав високу амплітудну проникність $\mu_o = 110$, стабільність параметрів у діапазоні частот аж до 170 кГц і низькі загальні втрати — всього 253.6 мВт/см³.

Наночастинки феритів, як і оксидів, можуть бути виготовлені окремо від магнітних частинок, наприклад, методом співосадження (*coprecipitation*) [85]. Наночастинки мають високу адгезію до частинок порошку і забезпечують чудові характеристики МПМ, однак, через складність технологічних процесів забезпечити рівномірне й однорідне покриття частинок МПМ наночастинками феритів або оксидів вдається не завжди.

ДВА КРАЩЕ ЗА ОДИН

Нещодавні дослідження показали, що два шари різнорідних матеріалів здатні усувати дефекти одношарового покриття магнітних частинок і значно підвищувати питомий опір діелектриків. Чжонг (Zhong) і співавтори [86] досліджували властивості Fe-Si-Al з подвійним покриттям частинок, фосфатним і з силіконом та смоли. Отриманий МПМ мав високий питомий опір 820 мОм·см, добротність 55.6 на частоті 5.4 МГц і динамічні втрати $P_{ec} = 196.3$ мВт/см³ на частоті 500 кГц. Ще кращі характеристики забезпечила високотемпературна селективна азотизація та окислення алюмінію, що входить до складу сплаву. У результаті відпалу за температури 1100 °С у середовищі чистого азоту на поверхні частинок сформувалася рівномірний і міцний шар з AlN і невеликої кількості Al_2O_3 , який утворився внаслідок реакції із залишковим киснем. Завдяки високому опору «шкаралупи» з AlN- Al_2O_3 , отриманий МПМ мав стабільність проникності аж до 25 МГц і добротність 32.7 на частоті 3.9 МГц.

Тагхваей (Taghvaei) [87] дослідив властивості МПМ з подвійним фосфат-

ним/поліепоксидним покриттям і довів, що тонкий шар нанокристалічного/аморфного фосфату PO_4^{3-} рівномірно покриває частинки, усуває дефекти поверхонь і знижує динамічні втрати матеріалу більш ніж на 50%. Однак, вплив товщини кожного з шарів на характеристики МПМ ще належить дослідити. Занадто тонкий зовнішній шар діелектрика може недостатньо мірою заповнити проміжки між частинками, а надто товстий шар посилює ефект магнітного розбавлення [88]. Тому оптимізація товщини кожного з шарів має першочергове значення.

Академічна література та патентознавство описують величезну кількість різноманітних діелектриків для магнітних частинок МПМ. Властивості склоподібних сполук, до яких відносяться, зокрема, силікати та оксид бору B_2O_3 , заслуговують на ретельне вивчення. Склоподібні речовини здатні ефективно заповнювати дефекти в частинках, підвищуючи тим самим механічну міцність осердя. Відмінна температурна стабільність дає змогу проводити відпал і експлуатувати осердя за високих температур без погіршення їхніх параметрів. З іншого боку, надмірно високі температури спричиняють розм'якшення склоподібних речовин, що за недостатньої адгезії може призвести до їхнього відпливу та появи контактів між частинками. Заобігти відтоку може попереднє покриття частинок шаром іншого діелектрика, здатного виконати функцію адгезійного агента. Євангеліста (Evangelista) і співавтори [89] встановили, що оксид цинку ZnO значно збільшує опір і підвищує адгезію B_2O_3 до поверхні частинок. Синергія властивостей обох діелектриків дозволила знизити динамічні втрати приблизно на 78% і на порядок збільшити питомий опір МПМ.

Силікат натрію Na_2SiO_4 , відомий як «рідке скло», може слугувати недорогою сировиною для синтезу шару аморфного SiO_2 в результаті реакції з вуглекислим газом. Х.-І.Сянь (H.-I.Hsiang) та інші [90] покрили частинки Fe-Si-Cr (10 мкм) шаром SiO_2 завтовшки всього 20...50 нм. Отриманий МПМ мав помірні втрати, відмінну ДСВ-характеристику і високу корозійну стійкість. Товщина шару і характеристики матеріалу можуть регулюватися кількістю діелектрика.

Зазвичай, МПМ, які виготовлені з порошоків з частинками сферичної форми, найефективніші на частотах до 100 кГц, при цьому їхня проникність обмежена діапазоном 26...110. Розширити ці діапазони можна за рахунок використання

порошку пласкої форми та/або такого, що має, принаймні частково, аморфну чи нанокристалічну структуру.

Далі буде

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


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

Література:

48. Н.Дж.А. Слоэн. Упаковка шарів. В мире науки: Scientific American, 1984. № 3. С. 72–82.
49. Y. Aikawa, M. Suzuki, D. Atarashi, E. Sakai. Fundamental theory of void fraction of cohesive spheres with logarithmic normal size distribution. Journal of the Ceramic Society of Japan 120 [10] 417–419, 2012.
50. H.-I. Hsiang, L.-F. Fan. Magnetic Properties of the Soft Magnetic Composites Prepared Using Mixtures of Carbonyl Iron, FeSiCr, and FeSiAl Alloy Powders. Materials, 2023, 16, 6033.
51. H.-I. Hsiang, L. C. Wu, C. C. Chen, W. H. Lee. Power molding inductors prepared using amorphous FeSiCr alloy powder, carbonyl iron powder, and silicone resin. Materials 2022, 15, 3681.
52. H.-I. Hsiang, L.-F. Fan, J. J. Hung. Phosphoric acid addition effect on the microstructure and magnetic properties of iron-based soft magnetic composites. J. Magn. Mater. 2018, 447, 1–8.
53. M. Gong, Y. Dong, J. Huang, L. Chang, Y. Pan, F. Wang, A. He, J. Li, X. Liu, X. Wang. The enhanced magnetic properties of FeSiCr powder cores composited with carbonyl iron powder. J Mater Sci: Mater Electron, 2021, 32:8829–8836.
54. H.-I. Hsiang, L.-F. Fan, K.-T. Ho. Relationship between the microstructure and magnetic properties of Fe-Si-Cr powder cores. IEEE Trans. Magn. 2018, 54, 2000407.
55. Y. J. Choi, M. Y. Lee, B. W. Lee. Magnetic Property Improvement and Core-Loss Reduction of Fe-Si-Cr-Based Soft Magnetic Composites with Addition of Fe-50Ni Nanopowder. Journal of the Minerals, Metals & Materials Society. January 2023.

56. <https://uk.wikipedia.org/wiki/Суперпарамагнетизм>
57. A. С. Дорошенко, І. С. Чекман. Магнітні наночастинки: властивості і біомедичне застосування. Укр. Мед. ЧАСО-ПИС, 4(102) – VII/VIII. 2014.
58. Q. Li, Ch. W. Kartikowati, Sh. Horie, T. Ogi, T. Iwaki, K. Okuyama. Correlation between particle size/domain structure and magnetic properties of highly crystalline Fe₃O₄ nanoparticles. *Scientific reports*, 2017.
59. R. Zhao, J. Huang, Y. Yang, L. Jiao, Y. Dong, X. Liu, Zh. Liu, Sh. Wu, X. Li, A. He, J. Li. The influence of FeNi nanoparticles on the microstructures and soft magnetic properties of FeSi soft magnetic composites. *Advanced Powder Technology*, August 2022.
60. C. Martín, J.C. Ronda, V. Cadiz. Boron-containing novolac resins as flame retardant materials. *Polym. Degrad. Stab.* 91, 2006, 747–754.
61. Y. Liu, J. Gao, R. Zhang. Thermal properties and stability of boron-containing phenol-formaldehyde resin formed from paraformaldehyde. *Polym. Degrad. Stab.* 77, 2002, 495–501.
62. C. Kaynak, C. Cem Tasan. Effects of production parameters on the structure of resol type phenolic resin/layered silicate nanocomposites. *European Polymer Journal*, Vol. 42, Iss. 8, August 2006, 1908–1921.
63. H. Lu, Y. Dong, X. Liu, Zh. Liu, Y. Wu, H. Zhang, A. He, J. Li, X. Wang. Enhanced Magnetic Properties of FeSiAl Soft Magnetic Composites Prepared by Utilizing PSA as Resin Insulating Layer. *Polymers* 2021, 13, 1350.
64. W. Li, X. Zhou, Y. Kang, T. Zou, W. Li, Y. Ying, et al. Microstructure and magnetic properties of the FeSiAl soft magnetic composite with a NiFe₂O₄-doped phosphate insulation coating. *J Alloys Compd.* 2023; 960:171010.
65. M. Kabátová, E. Dudrová, H. Brunckova. The effect of calcination on morphology of phosphate coating and microstructure of sintered iron phosphated powder. *Surf Interface Anal* 2013; 45: 166–73.
66. S.Tajima, T. Hattori, M. Kondoh, H. Kishimoto, M. Sugiyama, T. Kikko. Properties of High-Density Magnetic Composite. Fabricated from Iron Powder Coated With a New Type Phospahte Insulator. *IEEE Trans. Magn.* 2005, 41, 3280–3282.
67. M. Huang, Ch. Wu, Y. Jiang, M. Yang. Evolution of phosphate coatings during high-temperature annealing and its influence on the Fe and FeSiAl soft magnetic composites. *Journal of Alloys and Compounds*, 2015, 644, pp. 124–130.
68. D. Kopeliovich. 2013. Phosphate coating, *Susbtances & Technologies*. Available at: http://www.substech.com/dokuwiki/doku.php?id=phosphate_coating
69. R.H. Althomali, W.A. Adeosun. Wet chemically synthesized metal oxides nanoparticles, characterization and application in electrochemical energy storage: An updated review. *Synthetic Metals*, Volume 298, Sept.–Oct. 2023, 117424.
70. M.Walczak, K. Drozd. Production of oxide coatings by sol-gel method and electrophoresis. *Curr. Issues Pharm. Med. Sci.*, 2017, Vol. 30, No. 1, pp 16–19.
71. Y. Peng, Y. Yi, L. Li, J. Yi, J. Nie, C. Bao. Iron-based soft magnetic composites with Al₂O₃ insulation coating produced using sol-gel method. *Mater. Des.* 109, 2016, pp 390–395.
72. W. Zhang, X. Zhang, H. Wu, H. Yan, S. Qi. Impact of morphology and dielectric property on the microwave absorbing performance of MoS₂-based materials. *J. Alloy. Compd.* 751, 2018, pp 34–42.
73. Q. Su, B. Wang, C. Mu, K. Zhai, A. Nie, J. Xiang, F. Wen. Polypyrrole coated 3D flower MoS₂ composites with tunable impedance for excellent microwave absorption performance. *J. Alloy. Compd.* 888, 2021, 161487.
74. X. Li, H.Zhu. Two-dimensional MoS₂: Properties, preparation, and applications. *Journal of Materiomics* 1, 2015, pp 33–44.
75. S.J. Zhu, F. Duan, J.L. Ni, S.J. Feng, X.S. Liu, Q. R.Lv, X.C. Kan. Soft Magnetic Composites FeSiAl/MoS₂ with high magnetic permeability and low magnetic loss. *Engineering Technology Research Center of Magnetic Materials of Anhui Province, School of Materials Science and Engineering, Anhui University, Hefei 230601, China.*
76. F. Luo, X. Fan, Z. Luo, W. Hu, J. Wang, Z. Wu, G. Li, Y. Li, X. Liu. Influences of Fe₂O₃ content on structure and magnetic performances of FeSiAl soft magnetic composites. *Mater. Res. Express* 6, 2019, 116106.
77. <https://www.cfps.mpg.de/2018851/sps>
78. H. G. Mohammed, T. M. B. Albarody, M. Mustapha, N.M. Sultan, H.K.M. Al-Jothery. Investigate the effect of process parameters of magnetic inductively assisted spark plasma sintering (SPS) of iron oxide (Fe₃O₄) on microstructure behaviour — Part I. *MaterialsToday: Proceedings*, Volume 42, Part 5, 2021, pp 2106–2112.
79. Z. Luo, Zh. Yang, Sh. Jiang, W. Wu, G. Li, X. Fan. High-performance Fe-Si soft magnetic composites with controllable silicate/nano-Fe composite coating. *Journal of Materials Research and Technology* 27, 2023, pp 6264–6274.
80. J. Li, J. Yu, W. Li, Sh. Che, J. Zheng, L. Qiao, Y. Ying. The preparation and magnetic performance of the iron-based soft magnetic composites with the Fe@Fe₃O₄ powder of in-situ surface oxidation. *Journal of Magnetism and Magnetic Materials* 454, 2018, pp 103–109.
81. W. Wang, Z. Ding, X. Zhao, S. Wu, F. Li, M. Yue, J. Ping Liu. Microstructure and magnetic properties of MFe₂O₄ (M = Co, Ni, and Mn) ferrite nanocrystals prepared using colloid mill and hydrothermal method. *J. Appl. Phys.* 2015, 117, 17A328.
82. N.W. Li, M.B. Zheng, X.F. Chang, G.B. Ji, H.L. Lu, L.P. Xue, L.J. Pan, J.M. Cao. Preparation of magnetic CoFe₂O₄-functionalized graphene sheets via a facile hydrothermal method and their adsorption properties. *J. Solid State Chem.* 2011, 184, pp 953–958.
83. L.L. Gao, J.Q. Deng, T. Li, K. Qi, J.D. Zhang, Q. Yi. A facial strategy to efficiently improve catalytic performance of CoFe₂O₄ to peroxy monosulfate. *J. Environ. Sci.* 2022, 116, pp 1–13.
84. Sh. Li, X. Wang, F. Ouyang, R. Liu, X. Xiong. Novel Functional Soft Magnetic CoFe₂O₄/Fe Composites: Preparation, Characterization, and Low Core Loss. *Materials*, 2023, 16, 3665.
85. S. Patil, S. Jagadale. Solution Methods for Metal Oxide Nanostructures. Co-precipitation methods for the synthesis of metal oxide nanostructures. *Metal Oxides*, 2023, pp 39–60.
86. X. Zhong, J. Chen, L. Wang, B. Li, L. Li. Properties of FeSiAl-based soft magnetic composites with AlN/Al₂O₃ and hybrid phosphate-silane insulation coatings. *J. Alloys Compd.* 2018, 735, pp 1603–1610.
87. A.H. Taghvaei, H. Shokrollahi, K. Janghorban, H. Abiri. Eddy current and total power loss separation in the iron-phosphate-polyepoxy soft magnetic composites. *Mater. Des.* 2009, 30, pp 3989–3995.
88. Z. Wu, C. Xian, J. Jia, X. Liao, H. Kong, K. Xu. Formation Process of the Integrated Core (Fe-6.5wt.%Si)@Shell(SiO₂) Structure Obtained via Fluidized Bed Chemical Vapor Deposition. *Metals* 2020, 10, 520.
89. L.L. Evangelista, A.I.R. Filho, B.S. Silva, G. Hammes, C. Binder, A.N. Klein, V. Drago. Magnetic properties optimization of an iron-based soft magnetic composite coated by nano-ZnO and boron oxide. *J. Magn. Magn. Mater.* 2021, 539, 168319.
90. H.-I. Hsiang, S.-K. Wang, Ch.-Ch. Chen. Electromagnetic properties of FeSiCr alloy powders modified with amorphous SiO₂. *Journal of Magnetism and Magnetic Materials* 514, 2020, 167151. **CN**



Empowering the All Electric Society 

Рішення для електропостачання як серце електрифікованого світу

Для реалізації візії All Electric Society важливо, щоб ключові сектори енергетики, промисловості, інфраструктури та мобільності були забезпечені електроенергією. Рішення для електропостачання від Phoenix Contact представлені в усіх секторах All Electric Society, надійно постачаючи електроенергію для застосувань у різних галузях промисловості.

Детальніше:
ТОВ "Фенікс Контакт"
<https://www.phoenixcontact.com/uk-ua/power-reliability>

Модуль радіозв'язку nRF24L01 для Інтернету речей

Олег Вальпа

Важливим компонентом для проєктів Інтернету речей є засіб комунікації. З одним із таких недорогих і доступних компонентів у вигляді модуля радіозв'язку nRF24L01 і знайомить стаття.

ВСТУП

Одним із найпопулярніших і найдоступніших радіомодулів для проєктів Інтернету речей є модуль nRF24L01 від компанії Nordic Semiconductor [1]. За допомогою такого модуля можна організувати досить надійний багатоканальний швидкісний зв'язок із підтвердженням доставки пакетів між двома або кількома мікроконтролерними пристроями. Модуль nRF24L01 можна легко знайти в різноманітних інтернет-магазинах, він є досить дешевим та має мініатюрні розміри.

За допомогою такого модуля можна об'єднати до семи приладів в одну загальну радіомережу, один з модулів буде виступати в ролі головного, а інші — в ролі підпорядкованих модулів зв'язку. Завдяки високій швидкості передавання інформації через ці радіомодулі можна транслятувати навіть оцифрований звук і зображення.

Модуль nRF24L01 з успіхом можна застосовувати в таких сферах: мобільна електроніка; комп'ютерні мережі; автоматизовані системи; системи розумного будинку; сигналізація; ігрові пристрої; бездротові клавіатури та маніпулятори; побутова електроніка; бездротове опитування датчиків; системи радіокерування різноманітними роботами; портативні приймачі для голосового спілкування по радіоканалу.

ОПИС МОДУЛЯ

Назва модуля nRF24L01 утворена від скорочення слів Nordic Radio Frequency 2.4 ГГц. Він призначений для передавання та приймання даних

радіоканалом у дозволеному діапазоні радіочастот ISM (Industrial Scientific Medical). Зовнішній вигляд модуля наведено на рисунку 1.

Частотний діапазон модуля nRF24L01 розбитий на 128 каналів із кроком 1 МГц: від 2.4 до 2.527 ГГц. Наприклад, на каналі 0 передавання і приймання відбуватимуться на частоті 2.4 ГГц, а на каналі 37 буде використана частота 2.437 ГГц. Модуль здатний працювати на будь-якому зі 128 каналів. На кожному каналі можна сформувати мережу з шести передавачів і одного приймача.

Модуль nRF24L01 створено на базі 20-вивідної високоінтегрованої одноім'яної мікросхеми nRF24L01 у корпусі

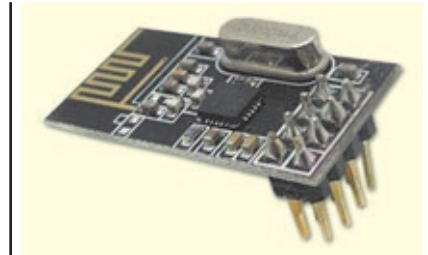


Рис. 1. Зовнішній вигляд модуля nRF24L01

QFN20, що містить синтезатор частот, демодулятор, підсилювачі та інші складові. Принципова електрична схема радіомодуля nRF24L01 наведена на рисунку 2.

Модуль має інтерфейс SPI для зв'язку із зовнішнім головним пристроєм. За інтерфейсом SPI здійснюється налаштування протоколу, встановлюється вихідна потужність сигналу, задаються канали обміну даними та інші параметри.

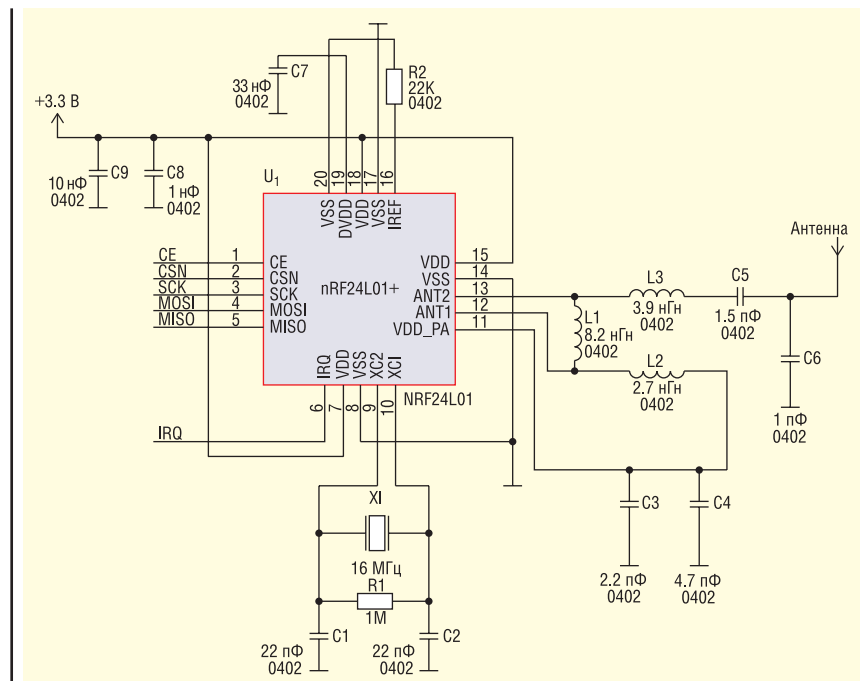


Рис. 2. Принципова електрична схема модуля nRF24L01

Преамбула	Адреса від 3 до 5 байт	Прапори 9 біт	Інформація від 1 до 32 байт	CRC від 0 до 2 байт
-----------	------------------------	---------------	-----------------------------	---------------------

Рис. 3. Формат пакета модуля nRF24L01

Модуль має чотири робочі режими: приймання даних — RX Mode, передавання даних — TX Mode, сплячий режим — Standby, вимкнений стан — Power Down.

Стабільний і надійний зв'язок радіомодулів забезпечує протокол Enhanced ShockBurst, згідно з яким пристрій, що приймає, формує відповідь про приймання даних, підтверджуючи тим самим справність каналу зв'язку. Цей протокол є вдосконалим протоколом ShockBurst. Основною відмінністю вдосконаленого протоколу є можливість простого та ефективного передавання даних зі зворотним зв'язком. Таким чином у трансивері апаратно реалізовано відправлення підтвердження приймання пакета. В іншому разі передавання пакета повторюється. Використання вищезгаданої функції дає змогу знизити навантаження головного мікроконтролера, знявши з нього завдання аналізу втрачених пакетів. Також цей протокол зручний для передавання даних у режимі «точка-точка» або створення бездротової мережі топології «зірка».

Завдяки багатоканальності модуль дає змогу створювати мережу з безлічі пристроїв, які можуть зв'язуватися між собою, не заважаючи один одному. Для передавання даних використовується власний запатентований протокол. Вірогідність прийнятих даних забезпечується передаванням контрольної суми даних у вигляді циклічно надлишкового коду CRC. Усі дані, що передаються бездротовою мережею, є пакетами, що складаються з безлічі байт, як показано на рисунку 3.

У такому пакеті 32 байти зарезервовані для інформаційних даних, інші байти є службовими.

Для забезпечення групового зв'язку із семи модулів на одному каналі, шість модулів повинні мати унікальні ідентифікатори для передавачів — Pipe ID, а сьомий модуль — усі ідентифікатори цих передавачів, від яких потрібно приймати дані. Таким чином, для передавальних модулів потрібен тільки один ідентифікатор, а приймальному модулю потрібно від одного до шести ідентифікаторів: Pipe 0 — Pipe 5. За цими ідентифікаторами приймач розпізнає джерело даних. Номери ідентифікаторів повинні складатися з п'яти байт. При

цьому потрібно дотримуватися деяких умов їхнього завдання. Ідентифікатор кожного передавача на одному каналі має бути унікальним. Ідентифікатори передавачів задаються так, що в приймача Pipe 0 і Pipe 1 можуть відрізнитися всіма байтами, а Pipe 2–Pipe 5 повинні відрізнитися від Pipe 1 тільки молодшим байтом. Приклад ідентифікаторів для описаного режиму наведено в таблиці 1.

Крім каналу та ідентифікатора для модулів задаються програмним чином потужність передавача, швидкість передавання даних та інші параметри. Модуль nRF24L01 має такі технічні характеристики:

- частотний діапазон: ISM від 2.400 до 2.527 ГГц;
- кількість підтримуваних каналів: 128 з кроком 1 МГц;
- тип модуляції: GFSK;
- відстань між передавачем і приймачем: до 100 м в умовах прямої видимості;
- швидкість передавання даних: 0.25; 1.2 Мбод, на швидкості 2 Мбод використовуються два канали;
- потужності передавача: -18; -12; -6 і 0 дБм;
- чутливість приймача: -82 дБм;
- коефіцієнт підсилення антени: 2 дБм;
- інтерфейс зв'язку: SPI;
- входи толерантні до 5 В;
- тип прискорювача апаратного протоколу: ShockBurst;
- операційна система: ISM;
- струм споживання в режимі передавання даних: 11.3 мА, за максимальної потужності передавання 0 дБм;

Таблиця 1. Приклад ідентифікаторів

Ідентифікатор	Байт 4	Байт 3	Байт 2	Байт 1	Байт 0
Pipe 0	0x3F	0xE5	0x7C	0x57	0xF3
Pipe 1	0x7A	0x41	0xCC	0xDE	0x25
Pipe 2	0x7A	0x41	0xCC	0xDE	0x38
Pipe 3	0x7A	0x41	0xCC	0xDE	0x17
Pipe 4	0x7A	0x41	0xCC	0xDE	0x78
Pipe 5	0x7A	0x41	0xCC	0xDE	0x83

- струм споживання в режимі приймання даних: 12.3 мА, за максимальної швидкості передавання 2 Мбод;
- струм споживання в режимі енергозбереження: 85 мкА;
- напруга живлення: від 1.9 до 3.3 В;
- діапазон робочої температури: від -40 до +85 °С;
- габарити: 29 × 16 × 14 мм;
- вага: 2 г.

Модуль не потребує підключення зовнішньої антени, оскільки вона входить до складу модуля у вигляді топології друкованої плати.

ПІДКЛЮЧЕННЯ МОДУЛЯ

Модуль під'єднується до головного пристрою за протоколом SPI, з додатковим сигналом керування прийманням-передаванням і виходом переривання. Призначення виводів модуля наведено на рисунку 4, а опис виводів модуля nRF24L01 наведено в таблиці 2.

Розглянемо приклад підключення модуля до широко розповсюдженого контролера Arduino. Модуль під'єднується до контролера за інтерфейсом SPI за допомогою виводів: SCK, MOSI, MISO і CSN. Вхід модуля CE для вибору режиму підключається до

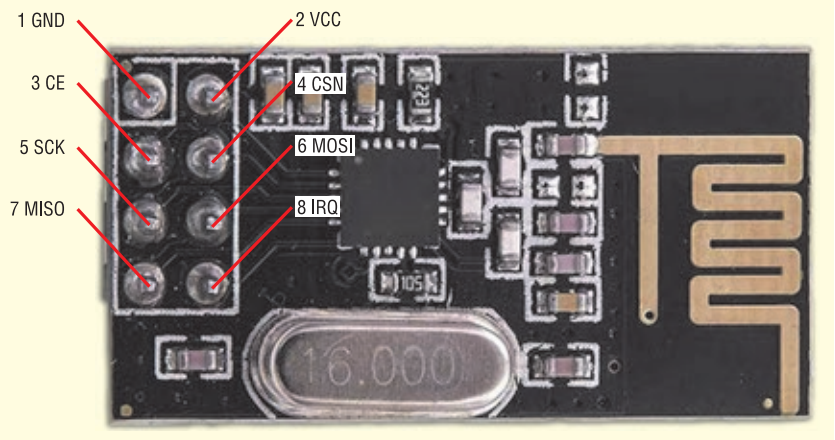


Рис. 4. Призначення виводів модуля nRF24L01

Назва	Тип виводу	Опис
CSN	Вхід	Вибір мікросхеми модуля
SCK	Вхід	Сигнал тактування з частотою не більше 10 МГц
MOSI	Вхід	Вхідний сигнал даних
MISO	Вихід	Вихідний сигнал даних
CE	Вхід	Керування режимом приймання-передавання
IRQ	Вихід	Сигнал переривання, що формується під час приймання даних
VCC	Живлення	Напруга живлення 3,3 В
GND	Загальний	Загальний вивід

будь-якого цифрового виходу контролера Arduino, а вихід переривання IRQ радіомодуля можна не використовувати. Модуль дає змогу подавати на свої входи сигнали з рівнем від 0 до 5 В. Вихідні сигнали модуля можуть приймати значення від 0 до напруги джерела живлення V_{cc} .

Підключення модуля до джерела живлення з напругою 5 В призводить до виходу його з ладу, тому для підключення модуля nRF24L01 до контролера Arduino можна скористатися адаптером, у складі якого є стабілізатор напруги на 3.3 В. Сам адаптер при цьому підключається до джерела живлення постійного струму з напругою 5 В. У таблиці 3 наведено відповідність кіл під'єднання модуля до контролера Arduino.

Під час живлення радіомодуля від плати контролера Arduino можуть виникнути проблеми, пов'язані з недостатньою потужністю джерела живлення, які призводять до втрати зв'язку і нестабільної роботи. Подібні труднощі з'являються, коли використовуються плати Arduino, в яких не вистачає потужності джерела живлення. Для вирішення цієї проблеми найкраще використовувати окреме джерело живлення 3.3 В для радіомодуля.

ПРОГРАМУВАННЯ МОДУЛЯ

Для створення програмного коду в середовищі розробки ARDUINO IDE достатньо буде доповнити її основною бібліотекою RF24 [2], що містить усі необхідні функції для роботи з модулем мовою високого рівня.

У лістингу 1 наведено приклад програм для модуля, який щосекунди передає дані з аналогового датчика, а в лістингу 2 — для модуля, що приймає ці дані з трансляцією їх у послідовний порт UART. Обидві програми забезпечені до-

Модуль nRF24L01	Контролер Arduino	Призначення схем
CSN	10 (задається програмно)	Вибір мікросхеми модуля
SCK	13 (SCK)	Сигнал тактування
MOSI	11 (MOSI)	Вхідний сигнал даних
MISO	12 (MISO)	Вихідний сигнал даних
CE	9 (задається програмно)	Керування режимом: 0 — приймання, 1 — передавання
IRQ	Не використовується	Переривання

кладними коментарями, що пояснюють призначення всіх операторів і функцій.

Під час запису програми в контролер Arduino необхідно відключити від нього радіомодуль, щоб він не заважав завантаженню програми. Перед першою ініціалізацією модуля потрібно робити в програмі паузу на 2 с після подачі напруги живлення.

За необхідності в програмі можна змінювати порти для під'єднання модуля nRF24L01, номер каналу зв'язку, швидкість, потужність передавання та інші параметри. Замість передавання даних з аналогового порту можна передавати будь-які інші дані, залежно від розв'язаного завдання.

У цій програмі кожному модулю програмно задається роль передавача або приймача, але під час виконання програми цю роль можна змінювати.

Для додавання в створену мережу з двох модулів додаткового модуля nRF24L01 можна використовувати для нього програму з лістингу 1, змінивши в ній лише адресу Pipe=0x123456789aLL,

наприклад на Pipe=0x123456789bLL. У програмі приймача потрібно при цьому додати додатковий ідентифікатор каналу зв'язку, наприклад з ім'ям Pipe2=0x123456789bLL, і відкрити другий канал зв'язку для приймання за допомогою команди radio.openReadingPipe(2, Pipe 2). У головному циклі програми приймача можна розділяти дані, отримані від різних передавачів, за допомогою операторів if(npipe==1) і if(npipe==2) відповідно.

Додатково в програмах для модулів nRF24L01 можна використовувати бібліотеку SerialFlow [3]. Ця бібліотека потрібна для пакетного передавання даних, щоб можна було задавати формат переданого пакета, встановлювати функції для пакування інформації в пакет і їхнього розпакування.

Крім бібліотек RF24 і SerialFlow існує і бібліотека Mirf [4] для підтримки радіомодулів nRF24L01. Вибір тієї чи іншої бібліотеки визначається самим програмістом, зважаючи на зручності роботи з нею або особисті переваги.

Лістинг 1

```
// Програма для щосекундного передавання даних з аналогового датчика
// по радіоканалу
#include <SPI.h> // Підключити бібліотеку інтерфейсу SPI
#include <nRF24L01.h> // Підключити файл налаштувань бібліотеки RF24
#include <RF24.h> // Підключити бібліотеку функцій для модуля nRF24L01
const uint64_t pipe = 0x123456789aLL; // Призначити ідентифікатор
// каналу зв'язку
int data; // Створити змінну для даних
RF24 radio(9,10); // Створити клас radio з виводами керування CE і
//CSN модулем
// Налаштування
void setup()
{
  pinMode(A1, INPUT); // Задати порт для читання аналогового датчика
  delay(2000); // Затримка на 2 с
  radio.begin(); // Увімкнути радіомодуль
  radio.setChannel(1); // Вибрати канал 1
  radio.setDataRate(RF24_1MBPS); // Задати швидкість каналу зв'язку 1 Мбод
  radio.setPALevel(RF24_PA_HIGH); // Задати потужність передавача модуля
  radio.openWritingPipe(pipe); // Відкрити канал зв'язку для передавання
}
// Головний цикл програми
void loop()
{
  data = analogRead(A1); // Читати дані з датчика
  radio.write(&data, sizeof(data)); // Передати дані
  delay(1000); // Затримка на 1 с
}
```

Лістинг 2

```
// Програма для приймання даних і трансляції їх у послідовний
// порт UART
#include <SPI.h> // Підключити бібліотеку інтерфейсу SPI
#include <nRF24L01.h> // Підключити файл налаштувань бібліотеки RF24
#include <RF24.h> // Підключити бібліотеку функцій для модуля nRF24L01
const uint64_t pipe1 = 0x123456789aLL; // Призначити ідентифікатор
//каналу зв'язку
int data; // Створити змінну для даних
uint8_t npipe; // Створити змінну для номера каналу зв'язку
RF24 radio(9,10); // Створити клас radio з виводами керування CE і CSN модулем
// Налаштування
void setup()
{
  Serial.begin(9600); // Задати швидкість для послідовного порту UART
  delay(2000); // Затримка на 2 с
  radio.begin(); // Увімкнути радіомодуль
  radio.setChannel(1); // Вибрати канал 1
  radio.setDataRate(RF24_1MBPS); // Задати швидкість каналу зв'язку 1 Мбод
  radio.setPALevel(RF24_PA_HIGH); // Задати потужність передавача модуля
  radio.openReadingPipe(1, pipe1); // Відкрити канал зв'язку для приймання
  radio.stopListening(); // Почати приймання
}
// Головний цикл програми
void loop()
{
  if(radio.available(&npipe)) // Перевірити буфер обміну
  {
    radio.read(&data, sizeof(data)); // Читати дані
    if(npipe==1) Serial.println(data); // Транслювати дані каналу 1 в порт UART
  }
}
```

ВИСНОВОК

Бездротовий модуль nRF24L01 не є простим в опануванні пристроєм. Його підключення та програмування вимагають певних навичок. Але вартість і доступність модуля дають змогу рекомендувати його тим, хто займається проектами Інтернету речей або потребує простих пристроїв для комунікацій. Використання рекомендованих тут бібліотек дає змогу максимально спростити код програми та створювати багатофункціональні проекти.

Література:

1. Nordic Semiconductor: <https://www.nordicsemi.com>
2. Основна бібліотека «Arduino driver for nRF24L01». GitHub development platform: <https://github.com/maniacbug/RF24>
3. Бібліотека «SerialFlow library for Arduino». GitHub development platform: <https://github.com/oevsegneev/arduino-dev/tree/master/libs/SerialFlow>
4. Бібліотека Mirf для підтримки радіомодулів nRF24L01. GitHub development platform: <https://github.com/aaronds/arduino-nrf24l01/tree/master/Mirf> **СН**



Нові блоки живлення потужністю 120–600 Вт з функцією ДБЖ

- Вихідні напруги 13.8, 27.6, 41.5 та 55.2 В з можливістю регулювання в межах -20%...+5% (основний канал СН1)
- Вбудований зарядний пристрій та схема ДБЖ
- Контроль робочих станів (сигнали TTL): АС ОК; батарея відключена, заряд 100% або повний розряд; невірна полярність батареї
- Функції вкл/викл вхідної напруги та батареї
- Примусовий режим ДБЖ для обслуговування батареї
- Захист від реверсного підключення батареї (без пошкоджень)
- Діапазон робочих температур від -20 до +60°C
- Розробка відповідно до стандарту GB17945
- 3 роки гарантії
- Доступна ціна та короткий термін виробництва!



SEA

ІННОВАЦІЇ ТА
ЕФЕКТИВНІСТЬ



30
ЛІТЬ
ПІДПРИЄМСТВУ

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

Сучасні GNSS/GPS діапазони: перехід від односмугових до двосмугових

Бернд Хайдтманн (Bernd Heidtmann), u-blox

У статті досліджується перехід від односмугових до двосмугових діапазонів GNSS (Global Navigation Satellite Systems, глобальні навігаційні супутникові системи). У ній розглядається еволюція L-діапазонів, переваги дводіапазонної технології, її поточний стан та найбільш ймовірний сценарій розвитку в майбутньому. Основна мета цієї публікації — надати читачам всебічне розуміння того, що несе в собі цей перехід, особливо з погляду його впливу на різні сфери застосування.

ВСТУП

Супутникова навігація ґрунтується на прийманні сигналів від супутників за допомогою сигналів GNSS/GPS, що транслюються в L-діапазоні (зазвичай це частоти 1–2 ГГц). L-діапазон складається з двох основних частин: нижньої (від 1 164 до 1 300 МГц) і верхньої (від 1 559 до 1 610 МГц). Більшість супутникових систем передають свої дані, використовуючи ці дві смуги діапазону.

Відтоді, як технологія супутникової навігації стала загальнодоступною, верхній L-діапазон, також відомий як L1, є діапазоном, який використовує більшість пристроїв. Однак все розвивається швидкими темпами. І значний прогрес у технології GNSS-приймачів робить багатодіапазонні приймачі все більш привабливими і конкурентними варіантами для все більшої кількості застосувань.

Хоча можна подумати, що кілька діапазонів є кращим вибором з погляду вимог до пристрою, але це не завжди

так. Насправді вибір між однодіапазонним і дводіапазонним GNSS приймачем залежить від конкретної мети застосування при позиціонуванні.

Ця стаття має на меті надати вичерпний огляд можливостей технології позиціонування. Для цього в ній порівнюються відмінності між однодіапазонними та дводіапазонними GNSS-приймачами і пропонується детальний аналіз найкращих комбінацій діапазонів для конкретних випадків використання. В результаті читачі отримають глибокі знання, які дозволять їм приймати обґрунтовані рішення щодо того, які діапазони найкраще підходять для їхніх GNSS-застосувань.

Світ технологій позиціонування величезний. Кожна доступна технологія призначена для конкретних випадків використання, залежно від того, чи призначена вона для використання всередині або зовні приміщень. У випадку роботи просто неба рівень впливу навколишнього середовища, незалежно від того, чи працює пристрій у відкрито-

му просторі, чи в центрі міста, набуває особливого значення. Таблиця 1 допоможе вам оцінити точність використання різних варіантів технологій позиціонування та умови, в яких вони застосовуються.

Як видно з таблиці 1, GNSS/GPS технологія позиціонування виділяється як один з небагатьох варіантів для точного відстеження людей, майна (вантажів) або транспортних засобів на відкритому просторі. З погляду точності, GNSS перевершує інші варіанти. Ще однією відмінною рисою є її доступність по всьому світу. Користувачі можуть отримати доступ до декількох супутникових систем (сузір'їв супутників) через GNSS, що забезпечує майже 100-відсоткову доступність для відстеження за допомогою GNSS-приймача. Крім того, інфраструктура GNSS (що включає супутники, наземні станції керування та станції наземного моніторингу) надається безкоштовно, що є безперечною перевагою, недоступною для інших технологій.

Технологія GNSS ґрунтується на точному вимірюванні часу проходження радіохвиль, що випромінюються GNSS-супутниками. Точність цих вимірювань залежить від характеристик супутника, що передає сигнал, шляху проходження радіосигналу через атмосферу та властивостей GNSS-приймача. У таблиці 2 показано вплив цих джерел похибок, якщо розглядати однодіапазонний GNSS-приймач без допомоги будь-якої служби корекції.

Таблиця 1. Технологія позиціонування в порівнянні з навколишнім середовищем

Технологія позиціонування	Точність позиціонування	У приміщенні	Кампус	Місто	Сільська місцевість
Мережа стільникового зв'язку	< 300 м	+	+	+	+
LoRa	< 50 м		+	+	
Wi-Fi	< 5 м	+	+		
Bluetooth RSSI*	< 5 м	+	+		
Bluetooth AOA**	< 1 м	+	+		
UWB	< 1 м	+	+		
GNSS/GPS	< 1 м		+	+	+

* RSSI (Received Signal Strength Indication, індикатор рівня прийнятого сигналу)
** AOA (Angle of Arrival, «кут прибуття»)

Таблиця 2. Джерела похибок GNSS

Джерело похибки	Очікуваний вплив на точність позиціонування
Іоносфера	5 м
Отримання сигналу	3 м
Ефемериди	2.5 м
Похибка супутникового годинника	2 м
Багатопроменевість	1 м
GNSS/GPS	1 м
Тропосфера	0.5 м

Фактори навколишнього середовища також можуть вносити певні похибки. Супутникові сигнали стикаються з проблемами в міських районах через численні завади, такі як будівлі, тунелі або дерева. Багатопроменеві завади виникають, коли переданий сигнал проходить кілька етапів, щоб досягти приймача (рис. 1). Це відбувається, коли навколишнє середовище відбиває, відхиляє або розсіює супутникові сигнали з космосу до приймача, що призводить до появи декількох версій одного і того ж сигналу, які накладаються в різний час і в різних фазах. Це явище може призвести до затримок і похибок у системі позиціонування.

Протягом останніх тридцяти років такі галузі, як автомобілебудування, сільське господарство, будівництво та гірничодобувна промисловість поклалися на застосування GNSS для точного позиціонування. Знання місцезнаходження об'єкта має вирішальне значення не лише для його позиціонування, але й для навігації транспортних засобів, відстеження та отримання інших важливих даних від датчиків. Наприклад, надання інформації про затори на дорогах в реальному часі має фундаментальне значення для того, щоб допомогти водіям уникнути затримок.

Ці програми покладаються на технологію, яка швидко розвивається. Технологія GNSS-приймачів розвивається в напрямку створення багатодіапазонних приймачів, які широко застосовуються у згаданих галузях. У наступних розділах ми розглянемо, як розвивалася ця технологія, особливості кожного діапазону, переваги дводіапазонних систем та їхній вплив на різні випадки використання.

ЕВОЛЮЦІЯ ДІАПАЗОНІВ СУПУТНИКОВИХ СИГНАЛІВ

3 1983 року, коли президент Рональд Рейган дозволив комерціалізацію тех-



Рис. 1. Великі похибки GNSS позиціонування у міському багатопроменовому середовищі

нології GPS (*Global Positioning System*, система глобального позиціонування), цивільне населення використовує діапазон L1. Це найстаріший GPS діапазон, і більшість навігаційних програм використовують його і до сьогодні.

Супутникові системи GPS першими почали використовувати діапазон L1 на частоті 1 575 МГц. Інші супутникові системи з часом перейшли на аналогічні частоти, щоб забезпечити сумісність між системами. Наприклад, система Galileo E1 і китайська навігаційна супутникова система BeiDou третього покоління BDS-III також використовують

частоту L1 1 575 МГц для передачі навігаційних сигналів.

Діапазон L2 був другим частотним діапазоном, доступним для цивільного населення в супутникових навігаційних системах. Він працює на нижчій частоті сигналу, який здатен проникати крізь хмари, дерева або міські забудови. Користувачі використовують його одночасно з частотами діапазону L1, оскільки інфраструктура діапазону L1 повністю розвинена.

Кілька супутникових систем GNSS нещодавно почали передавати сигнали в частотному діапазоні L5 — 1176 МГц.

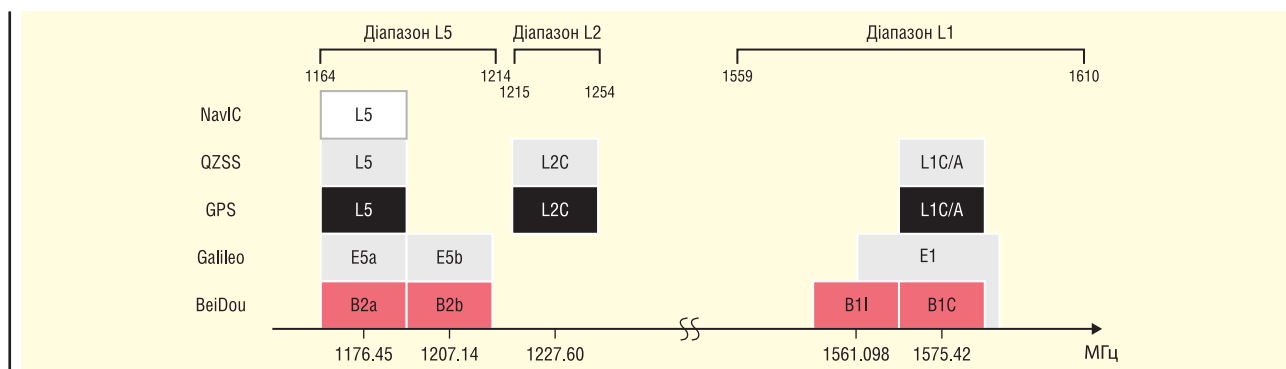


Рис. 2. Супутникові системи та частоти L-діапазону

Таблиця 3. Характеристики цивільного L-діапазону

GNSS діапазон	Системи підсилення	Швидке отримання сигналу	Доступність сигналу	Завадостійкість	Точність позиціонування	Стойкість до багатопроменевих завад
L1	SBAS, QZSS	+++	+++	++	+	++
L2	QZSS	+	+	+	+	++
L5	QZSS	+	++	+++	+++	+++

До них належать глобальні GPS L5, Galileo E5a і Beidou B2a, а також регіональні QZSS L5 і NavIC L5 (рис. 2).

Станом на 2024 рік діапазон L1 пропонує глобальне покриття. Супутникові системи GPS, Galileo та BeiDou використовують його для передачі даних. Залежно від покоління супутників і їх систем, вони можуть передавати тільки в діапазоні L1 або в комбінації діапазонів L1, L2 і L5.

Кожна супутникова система має номенклатуру частот, які вона використовує (рис. 2). Для простоти ми надалі будемо називати їх L1, L2 і L5. Отже, майте на увазі, що це виходить за межі визначень GPS.

Поки що, як показано на рисунку 2, більшість основних супутникових систем пропонують багатодіапазонну передачу даних. Проте кілька країн, які прагнуть створити незалежну систему позиціонування, зараз розробляють свої супутникові технології, щоб задовольнити потреби у зв'язку та комунікації.

ХАРАКТЕРИСТИКИ СИГНАЛІВ ТА ЇХНЯ ЦІННІСТЬ ДЛЯ КОРИСТУВАЧІВ

У таблиці 3 узагальнено основні характеристики різних сигналів GNSS для кожного частотного діапазону, включаючи їхню доступність, точність, а також переваги та недоліки.

Діапазон L1 залишається основним діапазоном для цивільних GNSS застосувань. Широка сумісність з усіма основними системами супутників GNSS і швидке приймання сигналів є визначними перевагами цього діапазону.

З часом L2 у поєднанні з L1 набув популярності для точного позиціонування, а покращена багатопроменевість і завадостійкість L5 робить його перспективним варіантом для міських застосувань.

На цей час розгортаються нові діапазони, такі як L6. З січня 2023 року Galileo впроваджує високоточну службу (*High Accuracy Service, HAS*). Це перша послуга, яка за допомогою сигналу E6-B забезпечує безкоштовну корекцію точного позиціонування точки (*precise point positioning, PPP*) по всьому світу.

Сигнали GNSS складаються з трьох компонентів: **радіочастотної носійної хвилі, далекомірного коду** (також відомого як PRN-код (*pseudo-random-noise code*, псевдовипадковий код) або код розповсюдження) і **навігаційного повідомлення**.

Далекомірний код (*Ranging code*) забезпечує приймачу точне вимірювання дальності та розподіляє потужність сигналу в ширшому діапазоні частот, роблячи його більш стійким до завад.

Навігаційне повідомлення (*Navigation message*) містить інформацію про супутник, необхідну для визначення місцеперебування, зокрема дані про орбіту супутника, час, стан супутника та коефіцієнти іоносферного моделювання.

ПЕРЕВАГИ ДВОДІАПАЗОННОСТІ

Одночасне використання декількох супутникових діапазонів і супутникових систем покращує якість вихідних даних GNSS-приймача. Нижче наведені деякі з його переваг.

Вища доступність сигналу. Сигнали L5 передаються на нижчій частоті, що означає кращу дальність і, як наслідок, вони забезпечують краще покриття. Для дводіапазонних приймачів, що працюють у цьому діапазоні, ця можливість означає вищу доступність сигналу в місцях із завадами, такими як будівлі або дерева, які або послаблюють, або відбивають сигнали.

Вища точність позиціонування. Як згадувалося раніше, атмосферні умови впливають на сигнали, що проходять через атмосферу, викликаючи затримку сигналу. Однак GNSS-приймач може обчислити місцеперебування точніше, маючи доступ до більшої кількості інформації. Приймачі з доступом до сигналів з двох або трьох різних частотних діапазонів, використовуючи вдосконалені алгоритми для обчислення цієї інформації, можуть виправити ці атмосферні затримки.

Покращення безпеки сигналу. Стойкість і доступність системи підвищуються завдяки зменшенню впливу завад, таких як глушіння або спуфінг-атаки (підміна сигналів). Приймач може переключитися на інший частотний діапазон, якщо один з них скомпрометований такими атаками.

Швидке отримання сигналу. При увімкненні GNSS-приймача діапазон L1 має перевагу над іншими діапазонами: менший час для обчислення першої інформації про місцеперебування (*TTFF = time to first fix* — час до першої

фіксації). Це дуже важливий показник для економії енергії та підвищення продуктивності пристроїв, що використовують GNSS-приймач. Приймання сигналів у діапазонах L2 або L5 зазвичай займає набагато більше часу, ніж у діапазоні L1.

З вищезазначених причин дводіапазонні GNSS-приймачі промислового класу забезпечують комбінацію діапазонів L1/L2 або L1/L5. Як ми розглянемо пізніше, обидва варіанти мають переваги при розгляді конкретних випадків використання.

ДІАПАЗОН L1/L5 ПРОТИ ДІАПАЗОНУ L1

На додаток до загальних покращень у точності визначення місця розташування та захищеності сигналу, L5 має перевагу над L1, коли йдеться про послаблення, спричинене листям у лісі або вікном автомобіля.

Припустимо, що антена пристрою не має достатнього підсилення. У цьому випадку діапазон L5 може бути доречним для підтримки функціональності навіть в умовах слабкого сигналу. Це допомагає забезпечити постійну доступність і точність позиціонування в складних умовах, перевершуючи можливість приймача, що працює виключно в діапазоні L1. Алгоритми, що використовуються для обчислення місцеперебування, є визначальними факторами якості продуктів, доступних на ринку.

Тести, в яких приймачі, що працюють лише в L1, порівнювалися з приймачами L1/L5 в міських умовах, показали, що приймачі L1/L5 забезпечують кращу точність, але лише за наявності **багатопроменевих сигналів** (рис. 3). Ситуація змінюється на відкритій місцевості.



Рис. 3. Симуляція тесту на керування автомобілем (Барселона)

Таблиця 4. Операційний статус супутникових систем у діапазоні L5 станом на лютий 2024 року

Стан роботи сигналу L5	2024
GPS	Незадовільний
GLO	–
GAL	Початкова оперативна спроможність (Initial operational capability, IOC)
BDS	Повна оперативна спроможність (Full operational capability, FOC)

вості (просто неба), де приймачі L1 і L1/L5 показують схожі результати точності.

Попри згадані переваги дводіапазонних приймачів L1/L5, ми можемо вказати на два їх основні недоліки: підвищене енергоспоживання і поточний робочий статус діапазону L5. Дводіапазонні приймачі L1/L5 споживають **більше енергії**, ніж однодіапазонні, що може створювати проблеми для пристроїв на акумуляторному живленні.

Крім того, важливо зазначити, що діапазон L5 на сьогодні ще не працює

в повному обсязі. Функціонують діапазони Galileo і BeiDou L5, а також регіональні діапазони QZSS і NavIC (табл. 4). Тому користувачі повинні добре продумати, як слід використовувати діапазон L5 у своїх пристроях.

L1/L2/E5B ПРОТИ L1/L5

В останні роки у високочастотних GNSS-приймачах Galileo E5B використовується комбінація діапазонів L1, L2 і

L5. Розрив у доступності такої системи порівняно з сигналами в діапазонах L1 і L5 значно зменшився.

Результати випробувань показали, що обидва багатодіапазонні рішення можуть підвищити точність і надійність позиціювання порівняно з сигналами L1.

На відміну від не-RTK-систем, які можуть працювати з меншою кількістю видимих супутників, RTK-системи потребують більшої кількості видимих супутників. Тому пристрої діапазонів L1/L2/E5B добре зарекомендували себе у високоточних застосуваннях, що підтримують RTK (*Real-Time Kinematics*, кінематика в реальному часі) для досягнення сантиметрової точності позиціювання (рис. 4).

Системи L1/L5 мають явні переваги порівняно з системами L1/L2/E5B, особливо з погляду зменшення багатопроменевих завад і продуктивності в умовах слабого сигналу (табл. 5, рис. 4).

Багато систем продемонстрували винятково хороші результати при використанні GNSS-приймачів діапазону L1/L2/E5B. Однак, враховуючи повну працездатність BeiDou, Galileo і GPS в діапазоні L5, можна очікувати переходу на використання L1/L5 в найближчому майбутньому.

ВИБІР ВІДПОВІДНИХ ЧАСТОТНИХ ДІАПАЗОНІВ ДЛЯ КОЖНОГО ЗАСТОСУВАННЯ

Ситуація набагато складніша, ніж просто констатація того, що багатодіапазонні приймачі мають кращі ха-

MICRODIS
www.microdis.net

Мікродіс Електронікс ГмбХ — офіційний дистриб'ютор u-blox та Fischer Connectors в Україні

Роман Прокопець
Менеджер з продажу

Microdis Electronics GmbH
Rheinauer Straße 1
68766 Hockenheim
Germany

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



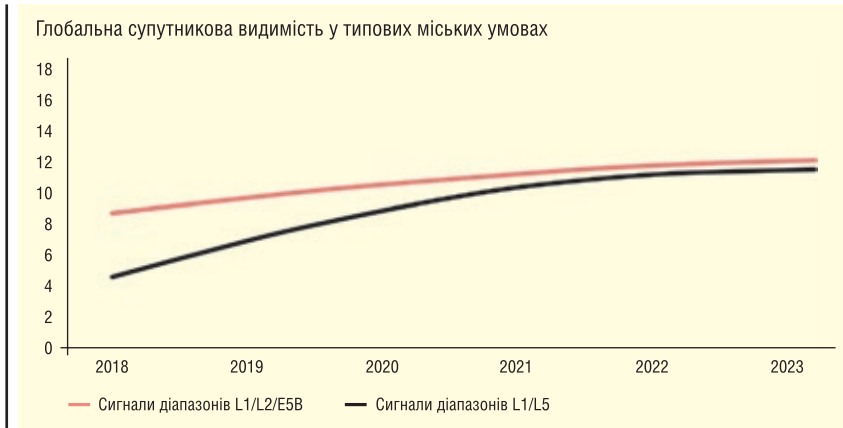


Рис. 4. Видимість GNSS протягом певного періоду часу

Ключові відмінності	L1/L5	L1/L2/E5B
Краще послаблення багатопроменевих завод	+	
Вища доступність сигналу		+
Краща обробка слабких сигналів	+	

рактики, ніж однодіапазонні. Вибір між ними значною мірою залежить від конкретних випадків використання та відповідних вимог. Отже, розглянемо, яке рішення краще підходить для кожної програми (табл. 6).

Відстеження руху майна (вантажів).

Пристрої для відстеження руху майна (вантажів) — це малопотужні пристрої з живленням від батареї, які працюють протягом тривалого часу без заміни або підзарядки батареї. Оскільки дводіапазонні приймачі споживають більше енергії, ніж однодіапазонні, а GNSS зазвичай вимикається між двома запитами на визначення місцеперебування, ці пристрої мають перевагу над однодіапазонними приймачами. Трекери для відстеження руху майна (вантажів) зазвичай вимагають точності визначення місцеперебування в межах 10 м — вимога, яку легко може задовольнити трекер діапазону L1.

Переносні пристрої. Як і трекери для відстеження руху майна (вантажів), переносні пристрої є пристроями з низьким енергоспоживанням, хоча їх потрібно частіше підзаряджати. Важливо також враховувати, буде пристрій ви-

користовуватися в міських умовах чи на відкритому просторі. Крім того, користувачі таких пристроїв мають певні побажання щодо точності повідомлень про місцеперебування та відстані відстеження. Враховуючи ці фактори, діапазон L1 підходить для малопотужних, економічно ефективних рішень позиціонування для переносних пристроїв, особливо для простих застосувань, таких як спортивні годинники або трекери для відстеження руху тварин з певною точністю.

Складніші застосування, такі як смартфони, які дозволяють користувачам отримувати доступ до послуг мобільного зв'язку або потребують інформації про точне позиціонування точки (наприклад, щоб не опинитися на неправильному боці вулиці), краще підходять для пристроїв L1/L5. Цей вибір стосується як міських, так і сільських районів.

Відстеження транспортних засобів.

Більшість застосувань для відстеження транспортних засобів вимагають точності визначення місцеперебування до 10 метрів, з чим може добре впоратися GNSS тільки з L1. Більш досконалі програми, такі як відеореєстратори, що

вимагають надійності і високої точності, повинні покладатися на дводіапазонний приймач L1/L5.

Комерційні БПЛА. Вибір між одно- і дводіапазонним приймачем для дронів залежить від конкретних цілей використання. Однодіапазонні приймачі — чудовий вибір для звичайних пристроїв. Дводіапазонні приймачі, навпаки, необхідні для застосування PPP в режимі реального часу для тих БПЛА, які вимагають високої точності позиціонування, наприклад, для світлових шоу з дронів. Ці приймачі також мають вирішальне значення для геодезичних застосувань, особливо коли йдеться про фотограмметрію. У таких випадках використання приймачі L1/L2/E5B відомі своєю продуктивністю. Точність у реальному часі забезпечує точний збір даних на місці, а постобробка покращує остаточну модель, вдосконалюючи набір даних.

Наземна робототехніка. L1/L5 і L1/L2/E5B — оптимальні варіанти для високоточних пристроїв позиціонування в різних сферах застосування, включаючи автономну сільськогосподарську техніку, геодезичне обладнання та будівельну техніку. Вибір приймача залежить від конкретних вимог до точності кожної одиниці обладнання та сфери використання, але L1/L2/E5B має деякі переваги над L1/L5.

Припустимо, що обладнання використовує технологію кінематики в реальному часі (RTK). У цьому випадку приймачі L1/L2/E5B забезпечують більшу точність, ніж приймачі L1/L5, оскільки діапазон L5 все ще перебуває на стадії попередньої перевірки і не може бути використаний. Ще однією перевагою є те, що приймачі L1/L2/E5B, як правило, демонструють винятково хороші результати при інтеграції в багатоплатформні платформи.

Керування важкою технікою. У цьому сегменті спочатку використовувалися GNSS-приймачі L1/L2/E5B із досить задовільними результатами. Оскільки життєвий цикл такого обладнання довший, ніж в інших сегментах, перехід на системи L1/L5 буде залежати від знань, досвіду та раннього тестування користувачем обладнання L1/L5.

Точна синхронізація часу. До розгортання 5G синхронізація часу в мережі здійснювалася лише за допомогою приймачів L1-діапазону. Але з появою послуг 5G, які вимагають вищої точності часу, пристроям знадобився другий діапазон GNSS. Крім того, такі фактори, як глушіння сигналу GNSS, іоносферна затримка та багатопроменеві завади, впливають на надійність і точність даних

Варіант використання	L1	L1/L5	L1/L2/E5B
Відстеження руху майна (вантажів)	+		
Переносні пристрої	+	+	
Відстеження транспортних засобів	+	+	
Комерційні БПЛА	+	+	
Наземна робототехніка		+	+
Керування важкою технікою		+	+
Точна синхронізація часу		+	+
Автоматизоване керування автомобілями		+	+

Таблиця 7. Рішення компанії u-blox в залежності від частот

Продукт	L1	L1/L5	L1/L2/E5B
Мікросхема		+	+
Модуль ZOE/MIA	+		
Модуль MAX	+		
Модуль NEO	+	+	+
Модуль ZED	+	+	+

синхронізації. У зв'язку з підвищеним попитом на точність, комбінація діапазонів L1/L2/E5B останнім часом використовується для надання ще більш точної інформації про час.

Пристрої, що поєднують діапазони L1 і L5, також можуть вирішити проблеми синхронізації. Приймачі L1/L5 можуть досягти точності визначення часу в межах 5 нс, що на чверть менше, ніж однодіапазонні приймачі. Оскільки супутникові системи GPS, Galileo і BeiDou GNSS зараз транслюють сигнали L5, приймач, розроблений для доступу до цих трьох систем, потенційно може працювати по всьому світу.

Автоматизоване керування автомобілями. При автоматизованому керуванні автомобілями різні рівні автономності та конкретні сценарії передбачають різні вимоги. Застосування автоматизованого керування автомобілями охоплює цілий ряд сценаріїв і умов, які змінюються залежно від рівня автономності. Наприклад, рішення для вдосконаленої системи допомоги водієві (*Advanced Driver Assistance System, ADAS*) рівня 2 орієнтоване на рух по шосе, в той час як рівень 2+ розширює сферу застосування (*Operational Design Domain, ODD*) до міських умов. Рішення ADAS рівня 3 в першу чергу орієнтоване на забезпеченні високої безпеки на автомагістралях. Нарешті,

рішення рівнів 4 і 5 вимагають високої надійності у всіх типах середовищ.

Приймачі L1/L5 і L1/L2/E5B можуть виконувати ці різноманітні завдання. При цьому L1/L5 забезпечує більшу стійкість до багатопроблемних завад, що підвищує надійність і стабільність навігації, особливо в умовах щільної міської забудови. Крім того, L1/L5 є кращими при розширенні можливостей автономного керування з шосе (просто неба та в легких міських умовах) до міст, розташованих у глибоких каньйонах.

СПРОЩЕНА ІНТЕГРАЦІЯ ЗАВДЯКИ ЄДИНОМУ ФОРМ-ФАКТОРУ ПРОДУКТУ ДЛЯ РІЗНИХ ДІАПАЗОНІВ ЧАСТОТ

Компанія u-blox пропонує широкий спектр GNSS-продуктів і послуг для споживчого, промислового та автомобільного ринків.

На основі GNSS-мікросхем компанії u-blox доступні різноманітні форм-фактори модулів для різних випадків використання (табл. 7). Деякі форм-фактори, такі як NEO, широко визнані тільки для L1 на декількох ринках, але також доступні в різних версіях, що підтримують інші варіанти діапазонів. Це дозволяє користувачам легко переходити від наявної конструкції до дводіапазонних рішень.

І НА ОСТАНОК...

Наша подорож від односмугового до багатосмугового діапазону наближається до завершення. У попередніх частинах ми розглянули характеристики, розвиток і стан L-діапазонів. Крім того, ми обговорили основні переваги дводіапазонних приймачів і порівняли дводіапазонні приймачі з однодіапазонними та між собою.

Перехід від односмугової до багатосмугової технології підвищить точність позиціонування і стійкість до завад. Це тенденція, яка охоплює всі ринки, і ми можемо очікувати, що більшість застосувань підуть цим шляхом у найближчі роки. Вибір між L1/L2/E5B або L1/L5 вимагає більш ретельного аналізу ситуації. Сьогодні приймачі L1/L2/E5B з підтримкою приймання Galileo E5b, такі як продукти F9 від u-blox, забезпечують доступ до більшої кількості сигналів, ніж GNSS-продукти в діапазонах L1/L5. Це має першочергове значення для RTK-приймачів. Однак, з повним запуском L5 доступність сигналів збільшиться. Оскільки L5 забезпечує захищений діапазон і сигнал з покращеними характеристиками для зменшення ефекту багатопроблемності (у випадку GPS), перехід на приймачі L1/L5 видається логічним наступним кроком.

Ми обговорили найбільш типові застосування, завжди звертаючи увагу на поточне використання, але також беручи до уваги майбутні перспективи міграції. Наразі приймачі L1-діапазону добре підходять для багатьох застосувань, особливо коли критичною вимогою є низьке енергоспоживання. Однак, якщо точність позиціонування в багатопроблемному середовищі має вирішальне значення, коли важлива захищеність сигналу та/або сантиметрова точність позиціонування, кращим варіантом є дводіапазонні GNSS-приймачі. Для таких випадків, як точна синхронізація, комерційні БПЛА і керування важкою технікою, L1/L2/E5B поки що є надійним рішенням. Проте, на горизонті з'являється тенденція до переходу на L1/L5 (рис. 5).

Додаткову інформацію щодо продукції компанії u-blox, що була представлена в цій статті, можна отримати у її офіційного дистриб'ютора в Україні — компанії Мікродіс Електронікс ГмБХ:
тел.: (067) 475-81-86,
Roman.Prokopets@microdis.net,
www.microdis.net

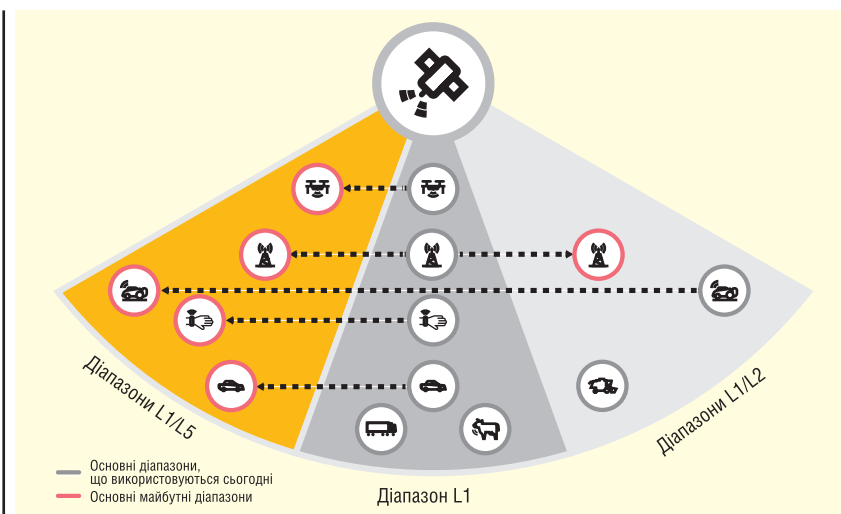


Рис. 5. Варіанти використання, які перейдуть на діапазон L1

Як обрати ідеальну електричну шафу для ваших потреб

Електричні шафи — це необхідність, без якої неможливі сучасний світ. Ці прості корпуси дозволяють безпечно розміщати електричне обладнання, без якого не було б виробництва, сучасного транспорту, зв'язку (і майже всього іншого). Тому не викликає сумнівів, що використання правильної шафи за призначенням має важливе значення.

Досвід компанії Rittal значно полегшує вибір правильної шафи. Широкий асортимент рішень для різних галузей промисловості, включаючи залізничну, автомобільну та відновлювану енергетику, пропонує якісні, відповідні призначенню варіанти, з місцевим сервісом і підтримкою, які допоможуть вам у реалізації вашого проекту.

Повернемося в історію. Чи знали ви, що в 1961 році Rittal стала першою компанією в світі, яка почала серійно виробляти електричні шафи? Починаючи з компактного корпусу AE, попередника нинішньої серії AX, скромний асортимент корпусів Rittal перетворився на найбільшу в світі модульну систему для виробництва електричних шаф (рис. 1).

ВИБІР ПРАВИЛЬНОГО ЕЛЕКТРИЧНОГО КОРПУСУ

Обираючи правильну електричну шафу важливо мати чітке уявлення про різні аспекти, які потрібно врахувати для конкретного застосування.

Наскільки міцною вона повинна бути (чи буде вона відчувати часті вібрації від поїздів, що проїжджають повз?); чи зможуть потенційні вандали отримати до неї доступ; чи повинна вона бути ергономічною; чи повинна вона мати електромагнітні властивості?...

Деякі конструкції електричних корпусів також визначаються конкретними галузями промисловості (рис. 2), оскільки зміни в стандартизації можуть означати, що те, що колись вважалося придатним для використання за призначенням, тепер більше не підходить для цього середовища. Візьмемо для прикладу ринок продуктів харчування та напоїв. Колись стандартні електричні корпуси вважалися достатніми, але через зміни в правилах гігієни щодо харчових продуктів потреба в електричних корпусах з гігієнічним дизайном стала необхідною для виробництва харчових продуктів і напоїв.

Електричні шафи на виробничому обладнанні повинні витримувати суворі умови щоденного хімічного миття під високим тиском. Стандартні ступені за-

хисту IP та ущільнення корпусів більше не є прийнятними для захисту критично важливого обладнання, яке в них розміщене і яке забезпечує безперебійну роботу цих об'єктів.

Зрозуміло одне, електричні шафи повинні бути універсальними і відкритими до змін в технологіях. Виробники корпусів повинні бути інноваційними в своїй здатності створювати рішення для ринків або галузей, де поточна пропозиція шаф не підходить. Компанія Rittal усвідомлює, що майбутні технології майже напевно будуть потребувати зменшення в розмірах, і що з часом в електричну шафу потрібно буде вмонтувати більше обладнання, яке потрібно буде з'єднати між собою.

ЕЛЕКТРИЧНІ ШАФИ ЗАХИЩАЮТЬ ВАШУ КРИТИЧНО ВАЖЛИВУ ІНФРАСТРУКТУРУ

Певні технології, наприклад, розміщені у на відкритому повітрі, піддаються особливим ризикам. Пил, волога, вандалізм, навколишнє середовище, удари або вібрації, а також інші фактори можуть мати надзвичайно шкідливий вплив, якщо обладнання не буде достатньо захищене. Такий захист забезпечить корпус, але правильна електрична шафа повинна бути обрана відповідно до застосування і місця розташування (рис. 3).

Нижче наведено деякі міркування, які слід взяти до уваги.

Матеріал шафи

Корпуси зі скловолокна та склопластику є економічно вигідними як для зовнішніх електричних шаф, так і для використання всередині приміщень, в тому числі в ситуаціях, коли металеві шафи можуть бути недоречними. Пластик не проводить електричний струм і протистоїть корозії від багатьох хімічних речовин, що може бути необхідним у хімічній промисловості. Нержавіюча сталь може знадобитися в гігієнічних приміщеннях, тоді як алюміній має невелику вагу і підходить для швидкого монтажу, напри-



Рис. 1. Асортимент електричних шаф Rittal



Рис. 2. Шафи Rittal у промисловому виробництві

клад, на залізничних коліях, а також має природну стійкість до корозії та іржі, що робить його придатним для багатьох застосувань на відкритому повітрі. Металеві електричні шафи часто блокують електромагнітні та радіочастотні хвилі, що може бути вимогою для захисту вашої техніки, або ж ця функція може бути неприйнятною.

Одно- або двостінні

Як і слід було очікувати, одностінні електричні шафи мають простішу конструкцію (як правило, це лише один лист сталі), а тому зазвичай дешевші в ціні. Однак двостінні електричні шафи більш придатні для розміщення вашого електрообладнання, якщо: обладнання потрібно підтримувати при оптимальній температурі, системи розміщені в громадському місці, а характер систем, які розміщені в шафі, вимагає більш високого рівня безпеки, або існує по-

треба в швидкому і простому ремонті/обслуговуванні.

Ступінь захисту IP, IK та RC

Для певних застосувань потрібен відповідний ступінь захисту IP та IK або клас стійкості (RC) електричного корпусу. RC — це здатність корпусу протистояти силам, які можуть пошкодити (або не дозволити комусь витягнути) обладнання, що знаходиться всередині. Інженери Rittal тестують двошарові зовнішні електричні шафи, щоб зрозуміти, скільки часу потрібно для їх зламу. Рівень їхньої стійкості такий, що їм присвоєно рейтинг RC2. Ви можете вибрати корпус з цим класом стійкості, якщо він знаходиться в зоні зі значним ризиком вандалізму та крадіжки.

Типові корпуси для зовнішнього застосування мають відповідний клас захисту IP, звичайно, з урахуванням умов навколишнього середовища. У середо-

вищі з великою кількістю дрібного піску та надзвичайно сильним вітром до герметичності зовнішнього корпусу висуваються інші вимоги, ніж при встановленні посеред житлового району.

Порожні електричні шафи розділяють з точки зору багатьох аспектів, таких як клас ударостійкості; ступінь стійкості до механічного впливу на корпус. Ця величина виражається в значенні IK. Клас IK має співвідношення 1:1 з класом захисту IP і описує, при якому рівні енергії підтримується певний рівень захисту від проникнення сторонніх предметів, пилу та води.

Регулювання температури

Найчастіше клімат-контроль залишається поза увагою. Обладнання, розміщене в електричній шафі, працює подібно до колби, деяка тепловіддача буде втрачена, але скільки тепла генерується в першу чергу? Чи був проведений тепловий розрахунок? Програмний продукт RiTherm від Rittal допоможе вам розрахувати тепло, що виділяється в електричній шафі. Якщо шафа зазнає впливу високої температури навколишнього середовища або пізніше в неї буде встановлено більше обладнання, слід подумати про те, чи можна буде згодом встановити додаткове охолодження. Це важливі моменти, які, якщо їх врахувати на початковому етапі, можуть заощадити в подальшому величезну кількість часу та коштів.

Безпека

Важливо враховувати необхідний рівень безпеки. Це може означати вибір подвійної системи замикання для додаткового захисту. Чи навколо електричної шафи необхідна огорожа? А можливо потрібне екранування ЕМС або необхідний вищий RC? Кожна ситуація буде відрізнятися, тому важливо розуміти необхідні вимоги.

Компанія Rittal спеціалізується на виробництві електричних шаф для найрізноманітніших застосувань. Багатий досвід компанії допоможе вам знайти ідеальну електричну шафу для ваших потреб.

Дізнатись більше про продукти Rittal ви можете на сайті компанії або звернувшись в офіс ТОВ «Ріттал»:

**08132, м. Вишневе,
Київська обл.,
вул. Київська, 6В,
тел. (044) 536-99-44,
office@rittal.com.ua,
www.rittal.com.ua**



Рис. 3. Шафи Rittal Outdoor CS для залізниці в місті Мельзунген (Німеччина)

Рекомендації з проєктування шестишарових друкованих плат

Закарайа Петерсон (Zachariah Peterson)

Переклад та редагування: Олександр Соколовський, ДП «Гальванотехніка»

Якщо місце на чотиришаровій друкованій платі закінчилося, час переходити на шестишарову. Додатковий шар дає змогу використовувати більше сигналів, ще одну пару шарів живлення/заземлення або комбінацію провідників. Важливо не те, як ви використовуєте ці додаткові шари, а те, як вони розміщені в стеку і як ви виконуєте маршрутизацію в шестишаровій друкованій платі. Якщо ви досі не працювали з шестишаровими платами або стикалися з проблемами електромагнітної сумісності, які важко вирішити у такому стеку, читайте цю статтю, щоб ознайомитися з рекомендаціями та передовим досвідом проєктування шестишарових друкованих плат.

НАВИЩО ВИКОРИСТОВУВАТИ 6 ШАРІВ?

Я вважаю, що перш ніж розпочати створення плати, важливо розібратися, чому може виникнути бажання використовувати шестишарову конструкцію. Крім простої потреби додати додаткові шляхи для передавання сигналів, існує ще кілька причин. У базовій версії шестишарового стека застосовується той самий підхід, що й SIG/PWR/GND/SIG для стека чотиришарової плати, а в центрі стека просто розміщуються два додаткові сигнальні

шари. Насправді стек типу SIG/PWR/SIG/SIG/SIG/GND/SIG — це найгірша конструкція шестишарової друкованої плати з погляду електромагнітної сумісності, яка, мабуть, підходить тільки для плати, що працює на постійному струмі.

Ось деякі причини, через які я віддаю би перевагу шестишаровій платі перед чотиришаровою:

1. Ви використовували чотиришаровий стек SIG+PWR/GND/GND/SIG+PWR [1] і вам потрібно більше місця на поверхневому (зовнішньому) шарі для розміщення компонентів. Розміщення шарів PWR і SIG все-

редині дає змогу домогтися кращої розв'язки з парою шарів PWR/GND.

2. Для плат зі змішаними сигналами можна відвести весь поверхневий (зовнішній) шар під аналогові інтерфейси, а для повільнішої цифрової маршрутизації залишити додатковий внутрішній шар.
3. Ви використовуєте високошвидкісну плату з великою кількістю входів/виходів, і вам потрібен хороший спосіб розвести сигнали по різних шарах плати. Ви можете застосувати ту саму стратегію, що і в п. 1.

У всіх цих конфігураціях ви додаєте лише один додатковий сигнальний шар, а не два. Інший призначений для шару GND, шин живлення або повного шару живлення. Структура вашого стека буде головним чинником, що визначає EMC і цілісність сигналів на вашій платі, а також стратегію компонування і маршрутизації.

ЯК РОЗВОДИТИ СИГНАЛИ

Перш ніж розпочати трасування, розглянемо типовий стек шестишарової друкованої плати.

#	Name	Material	Type	Thickness	Weight	Dk	Df
	Top Overlay		Overlay				
	Top Solder	Solder Resist	Solder Mask	0.4mil		3.5	
1	SIG TOP		Signal	1.4mil	1oz		
	Dielectric 1	PP-006	Prepreg	8mil		4.1	0.02
2	GND1	CF-004	Signal	1.378mil	1oz		
	Dielectric 2	PP-006	Core	15mil		4.8	0.02
3	PWR	CF-004	Signal	1.378mil	1oz		
	Dielectric 3	FR-4	Prepreg	8mil		4.1	0.02
4	SIG	CF-004	Signal	1.378mil	1oz		
	Dielectric 4	PP-006	Core	15mil		4.8	0.02
5	GND2	CF-004	Signal	1.378mil	1oz		
	Dielectric 5	PP-006	Prepreg	8mil		4.1	0.02
6	SIG BOT		Signal	1.4mil	1oz		
	Bottom Solder	Solder Resist	Solder Mask	0.4mil		3.5	
	Bottom Overlay		Overlay				

Контрольований імпеданс/аналог

Пара шарів для більшої потужності та розв'язки

Інші цифрові або сигнали керування

Контрольований імпеданс/аналог

Рис. 1. Приклад шестишарової друкованої плати

У схемі, наведеної на рисунку 1, верхній і нижній шари перебувають на тонкому діелектрику, тому їх слід використовувати для сигналів із контролем імпедансу. 10 міл — це максимальна рекомендована товщина діелектрика, оскільки при цьому знадобиться мікросмужкове трасування шириною 15–20 міл залежно від діелектричної постійної. Під час прокладання цифрового інтерфейсу з диференціальними парами відстань між ними також дасть змогу зменшити ширину доріжки, завдяки чому можна буде прокласти маршрут через компоненти з меншим кроком. Приклад: ми використовували варіант наведеного вище стека для багатьох мережевих пристроїв малого форм-фактора, що підтримують кілька мультігігабітних Ethernet-каналів [2].

Якщо вам потрібно використовувати на зовнішніх шарах траси набагато меншої ширини, просто зменште товщину зовнішнього діелектрика (аж до 4–5 міл), а потім трохи збільште товщину діелектрика L3-L4, щоб забезпечити необхідну товщину плати. Наступний момент, про який потрібно подумати — як розводити живлення.

ЯК РОЗВОДИТИ ЖИВЛЕННЯ

У наведеному вище прикладі шестишарової друкованої плати під живлення відведено цілий шар. Зазвичай це хороший варіант для шестишарової друкованої плати, оскільки в цьому разі звільняється площа на поверхні для розміщення компонентів, до яких буде легше підвести живлення через перехідні отвори.

Розглянемо приклад з компонентом BGA, наведений на рисунку 2. На цьому посадковому місці ПЛІС BGA видно, що кілька контактів у центральній ділянці виділено для під'єднання до GND і до кількох шин VCC. Виводи GND можна під'єднати безпосередньо до площини в шарі 2, а виводи VCC можна під'єднати до різних шин живлення в шарі 3.

Цей конкретний модуль BGA є типовим високошвидкісним контролером інтерфейсу, якому потрібен великий струм за кількох значень напруги, тому більшу частину кульок потрібно під'єднати до живлення та заземлення. У таких пристроях, як ПЛІС, по всій поверхні можна знайти кілька виводів для живлення і заземлення. Виділивши окремий шар під живлення, можна розбити площину на шини, щоб за необхідності використовувати кілька рівнів напруги при високому струмі. При цьому вам не потрібно перекидати шини з різними напругами, що дає змогу запобігти додатковим електромагнітним завадам [3].

Зауважте, що якщо ви помістили живлення на внутрішній шар, це не означає, що ви не можете помістити живлення куди-небудь ще. Ви, як і раніше, можете розводити живлення по інших сигнальних шарах у вигляді шин із використанням заливки провідним матеріалом або у вигляді товстих доріжок.

Якщо шестишарова плата має підтримувати більший струм і, можливо, різну напругу, я б рекомендував замість додаткового сигнального шару використовувати додатковий шар живлення. Інакше кажучи, у внутрішніх шарах стека у вас буде два шари живлення, що чергуються із землею. Можна навіть піти далі і розмістити площину живлення на задньому шарі, щоб забезпечити ще ширші можливості керування струмом. Це створить вам достатньо місця для прокладання живлення на великій площі, можливо, з використанням важчої міді, щоб забезпечити низький опір за постійним струмом і малі втрати потужності.

Крім зазначених моментів, до шестишарової плати можна застосувати й інші важливі стратегії маршрутизації, які

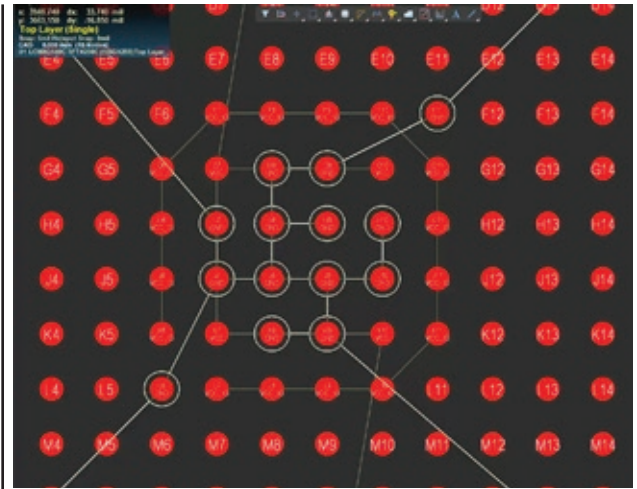


Рис. 2. Приклад з компонентом BGA

використовують у чотири- або восьмишарових платах для забезпечення електромагнітної сумісності. Якщо ви використовуєте щось схоже на наведений вище приклад шестишарового стека, вам буде набагато простіше прокласти трасу і забезпечувати цілісність сигналів і живлення. До шестишарової плати застосовуються ті самі міркування щодо технологічності, що й до чотири- або восьмишарових плат; перш ніж братися за компонування, визначення розмірів трас і маршрутизації, узгодьте свій стек із виробником.

Перш ніж створювати стек і розпочинати розведення, обов'язково дотримуйтесь цих рекомендацій щодо проектування шестишарової друкованої плати. Коли ви будете готові до виробництва шестишарової друкованої плати, використовуйте найкращий набір інструментів для проектування друкованих плат в *Altium Designer*®. У вашому розпорядженні буде повний набір інструментів для компонування, розведення і підготовки плати до виробництва. Коли ви створите посадкові місця на друкованих платах і захочете поділитися ними з колегами, вони зможуть працювати разом на платформі Altium 365™. Усе, що необхідно для проектування і виробництва передової електроніки, можна знайти в одному програмному пакеті.

Ми лише поверхнево розглянули деякі можливості Altium Designer на Altium 365. Почніть використання безплатної пробної версії Altium Designer + Altium 365 вже сьогодні.

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

e-mail: altium@softprom.com,

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

CN

Література:

1. *Проектуємо в Altium Designer чотиришаровий стек друкованої плати з імпедансом 50 Ом, Закарайа Петерсон (Zachariah Peterson), адаптований переклад українською та технічне редагування: Олександр Соколовський, CHIP NEWS, № 5, 2023.*

2. *Gigabit Ethernet 101: Basics to Implementation, <https://resources.altium.com/p/gigabit-ethernet-101-basics-implementation>*

3. *Overlapping Types of Planes in PCB Mixed-Signal Layouts, <https://resources.altium.com/p/overlapping-planes-your-mixed-signal-pcb-layout>*

CN

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

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

Ця стаття описує вплив і взаємодію ключових факторів, що визначають значення ймовірності перехоплення (*Probability of Intercept, POI*) і відносну амплітуду при спектральному аналізі в реальному часі в аналізаторах сигналів Keysight серії X, що допоможе вам зрозуміти, якого мінімального значення POI ви можете досягти у вашому конкретному застосуванні.

ВСТУП

Так як сучасні бездротові сигнали стають дедалі складнішими, процес аналізу та інтерпретації цих сигналів також ускладнюється. Прикладами складних сигналів є сигнали з певною комбінацією носійних частот, що динамічно змінюються, цифрової модуляції, мультиплексування з часовим поділом та імпульсних сигналів. Крім того, все більше пристроїв і систем використовують одні й ті ж частотні діапазони; в результаті стає все важче ідентифікувати і характеризувати завади і помилки сигналу, особливо коли вони виникають в перехідних сигналах.

Під час відстеження неявного сигналу важливими є кілька характеристик: коли він виникає, як довго триває, де він знаходиться в спектрі, і наскільки він великий чи малий. Для визначення цих характеристик потрібен аналізатор сигналів, здатний виконувати спектральний аналіз в реальному часі (*real-time spectrum analysis, RTSA*), збирати дані в реальному часі або робити і те, і інше. Аналіз спектра в реальному часі має вирішальне значення для виявлення, моніторингу та ідентифікації пере-

хідних сигналів, в той час як збір даних в реальному часі дозволяє проводити детальний аналіз після обробки, в тому числі демодуляцію. Аналізатори сигналів Keysight Technologies, Inc., оснащені RTSA, включають аналізатори N9020B і N9021B MXA; приймач електромагнітних завад N9038B MXE; аналізатори N9030B і N9032B PXA; а також аналізатори N9040B, N9041B і N9042B UXA.

Основне питання в RTSA є: «Які сигнали я можу бачити?». Ключовою характеристикою є ймовірність перехоплення, яка є статистичною величиною. У специфікаціях аналізаторів сигналів POI часто визначається як мінімальна тривалість часу, необхідна для того, щоб сигнал можна було спостерігати — і точно виміряти — безперервно зі 100-відсотковою ймовірністю, за умови, що цей сигнал на певну величину перевищує рівень шуму приладу. Як приклад, Keysight Technologies, Inc. N9032B PXA або N9042B UXA серії X, оснащені смугою аналізу 2 ГГц і можливістю аналізу спектра в реальному часі (обидві опції залежать від моделі), можуть виявляти сигнал тривалістю 227 нс у стовідсоткових випадках. Крім того, існує 100-від-

соткова ймовірність виявлення сигналів тривалістю 1 мкс зі збереженням повної амплітудної точності.

В аналізаторах сигналів Keysight серії X значення POI і відносну амплітуду визначають шість основних факторів: частота дискретизації, тривалість запису або розмір ШПФ (швидке перетворення Фур'є, *Fast Fourier Transform*), функція вікна, розмір вікна, обробка перекриття ШПФ і рівень шуму. Оскільки багато з цих параметрів користувач може регулювати самостійно, то ваш вибір впливатиме на мінімально досяжне значення POI. Ця стаття описує вплив і взаємодію ключових факторів, що допоможе вам зрозуміти, якого мінімального значення POI ви можете досягти у вашому конкретному застосуванні.

ВІДСТЕЖЕННЯ ДИНАМІЧНИХ АБО ПЕРЕХІДНИХ СИГНАЛІВ

В умовах комерційного або військового використання завади можуть бути навмисними або ненавмисними, а «сигнал-порушник» — відомим або невідомим. У будь-якому випадку, швидкоплинні або нечіткі завади, які виникають нечасто — переривчасте, помилкове випромінювання — найважче побачити, зафіксувати й оцінити. Ця стаття присвячена сигналам завад, а не поведінці сигналів (наприклад, сигналам, що тимчасово перебувають на неправильних частотах), оскільки ці поняття і методи схожі, і саме виявлення завад є більш поширеним завданням.

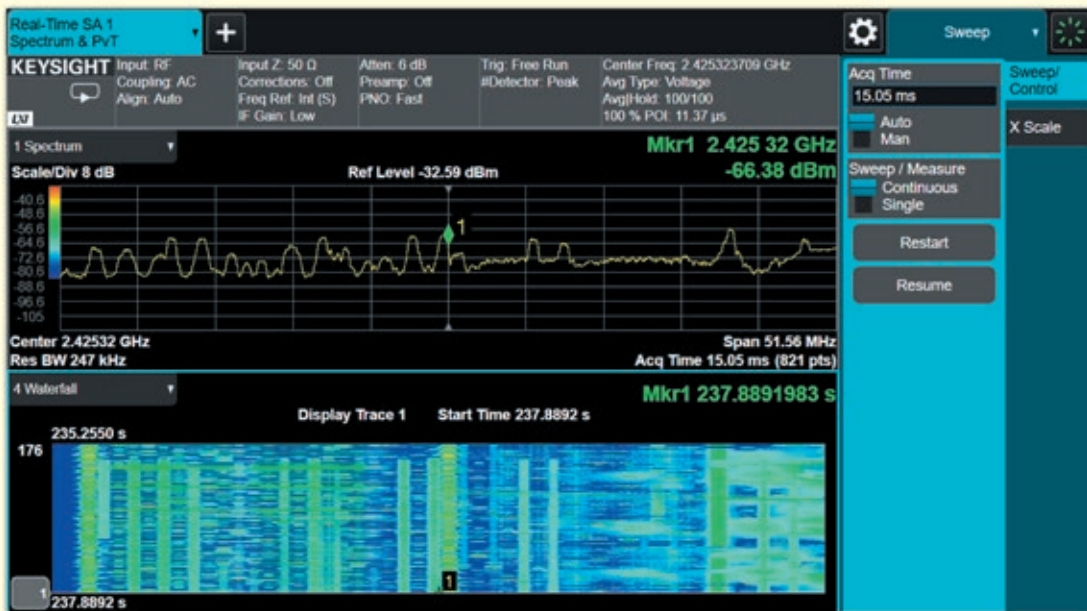


Рис. 1. Спектрограма в реальному часі (внизу) надає інформацію про час, частоту та амплітуду. Єдиний об'єднаний спектр (вгорі) включає в себе визначену користувачем кількість спектрів, представлених у традиційному вигляді спектра

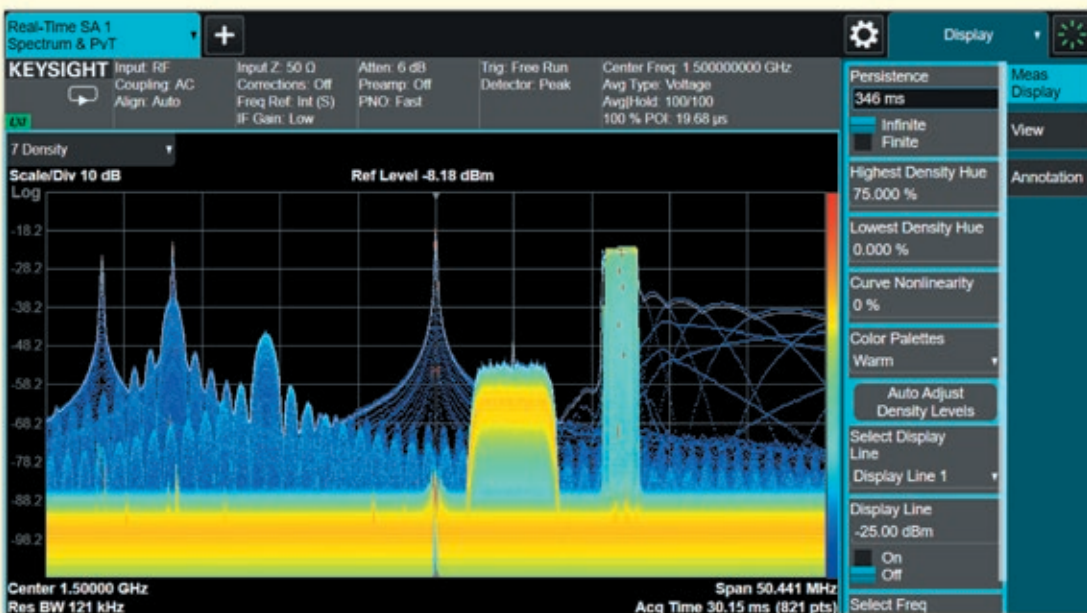


Рис. 2. Відображення густини в реальному часі дає детальне уявлення про поточні зміни у спектральному середовищі. Як показано на кольоровій шкалі (права частина графіка), теплі кольори вказують на часту появу, а холодні — на нечасту

Залежно від природи сигналів, пошук може відбуватися в часовій або частотній області. Часова область найкраще підходить для виявлення (ідентифікації) того моменту, коли щось відбувається, як в абсолютному значенні — в певний час, так і у відносному — порівняно з іншими подіями. Пошук у часовій області також може надати інформацію про повторення. Також корисними є універсальні можливості запуску та глибока пам'ять захоплення сигналів.

Необхідні прилади повинні мати смугу пропускання ширшу, ніж у сигналу, що становить інтерес.

Частотна область найкраще підходить для визначення того, що відбувається в спектрі. Наприклад, вимірювання спектра розділяє сигнал на всі його частотні складові та їхні відповідні величини. Це дає можливість спостерігати і розуміти (аналізувати, інтерпретувати) статичну і динамічну поведінку різних типів сигналів (наприклад, безперерв-

них, імпульсних, модульованих і т.д.). Якщо необхідна демодуляція і детальний аналіз, прилади повинні працювати на досить високих частотах, мати достатній динамічний діапазон і мати можливість векторного аналізу сигналу.

Аналізатор спектра в реальному часі (*real-time spectrum analyze, RTSA*) поєднує в собі обидва підходи. Наприклад, спектрограма в реальному часі представляє частотні спектри залежно від часу і використовує колір для по-

значення амплітуди (рис. 1). Щоб допомогти візуалізувати активність сигналу у високодинамічних середовищах, дисплеї густини показують, як сигнали змінюються з часом і показують наявність перехідної активності (рис. 2).

РОЗУМІННЯ, ЩО TAKE RTSA

Фраза «аналіз в реальному часі» і можливості, які вона передбачає, означають різні речі для різних людей. На щастя, послідовну основну концепцію можна визначити наступним чином: в аналізаторі спектра або сигналу з цифровою секцією проміжної частоти (ПЧ) робота в реальному часі — це стан, в якому всі вибірки сигналу обробляються безперервно і без пропусків для отримання якогось результату вимірювання або запуску операції. У більшості випадків результати вимірювань — потужність або амплітуда — є скалярними, як і при традиційних вимірюваннях спектра.

Виявлення активності сигналу без пропусків

Досягнення ширшої смуги аналізу в реальному часі вимагає вищих частот дискретизації та обробки. Отже, певний рівень обчислювальних можливостей має максимальну ширину пропускання, вище якої апаратне забезпечення для обробки сигналів не може встигати за потоком вибірки (рис. 3)¹.

Загалом, потоковий набір спектрів, отриманий в результаті обробки в реальному часі, можна використовувати одним з двох способів: об'єднати спектри в композитне відображення спектра або послідовно порівнювати його з граничною маскою для реалізації тригера за частотною маскою. Виходячи з вищесказаного, можна зробити висновок, що радіочастотний аналізатор реального часу має п'ять ключових характеристик: аналіз без пропусків, високошвидкісні вимірювання, стабільна швидкість вимірювань, вдосконалені комбіновані дисплеї та запуск за частотною маскою (*frequency-mask triggering, FMT*).

Представлення результатів у реальному часі

Все це відбувається напролюд швидко. Наприклад, аналізатори реального

¹ Близьким за значенням терміном є смуга пропускання в реальному часі (*real-time bandwidth, RTBW*), яка є найширшим діапазоном вимірювань, в якому аналізатор може підтримувати роботу в реальному часі

РОЗУМІННЯ РОІ НА ПРАКТИЧНОМУ РІВНІ

Слово «ймовірність» передбачає залежність від статистики, яка може бути виражена у відсотках або частинах на мільйон. Хоча це правильний підхід, ті, хто використовує аналізатори спектра або сигналів для виявлення неясних сигналів, хочуть знати: «Яка найкоротша тривалість події, яку я можу надійно спостерігати?». Цю величину найкраще виражати в одиницях часу.

Завдяки швидким широкосмуговим АЦП і швидким процесорам ЦОС стало можливим обробляти цілу смугу частот. Для ідентифікації подій, що становлять інтерес, можна встановити енергетичні, спектральні та логічні критерії, які можна використовувати для визначення мінімальних якостей, яким має задовольняти подія, щоб гарантувати її виявлення. Це також означає, що вимірювання можна налаштувати таким чином, щоб воно з упевненістю підтверджувало, що жодної небезпечної події взагалі не відбулося. Для якісного обговорення РОІ і ситуацій, коли ймовірність набагато менша за 100 відсотків, будь ласка, зверніться до технічної інструкції «Вимірювання гнучких сигналів і динамічних сигнальних середовищ», номер публікації 5991-2119EN.

часу Keysight N9032B PXA і N9042B UXA можуть виробляти 4800000 спектрів в секунду, хоча більшість людей можуть бачити лише частину з них. Тому, щоб скористатися перевагами результатів у реальному часі, кожне оновлення дисплея повинно об'єднувати і представляти 160000 результатів у зручному вигляді.

У цій ситуації найінформативніші результати вимірювань можна отримати, зібравши статистику і показавши, як часто зустрічається певне значення вимірювання (наприклад, певна амплітуда на певній частоті). Ця гістограма результатів вимірювань є спектральним вимірюванням, покращеним для демонстрації частоти появи, і може вважатися зворотною формою ймовірності.

Як було показано раніше на рисунку 2, ці дані кодуються за допомогою кольору або інтенсивності спектрограми, а також може бути додана функція збереження (персистенції), щоб

зосередити увагу на найсвіжіших подіях, коли старіші дані зникають. Дані спектрограми, такі як останнє оновлення окремого дисплея або середнє значення всіх значень даних в межах інтервалу, також можуть бути відображені у вигляді спектрограми, подібно до традиційного вимірювання спектра.

Такий підхід дозволяє побачити і сфокусуватися на нечастих подіях або перехідних процесах, а потім відокремити їх від інших характеристик сигналу. Змінюючи значення персистенції і схеми кольорних вагових коефіцієнтів, можна виділити специфічну активність. N9032B/N9042B в режимі реального часу ще більше розширюють ці можливості, надаючи повний набір функцій маркера спектрограми з відображенням персистенції².

² Опція RTSA може бути додана до нових або існуючих аналізаторів сигналів Keysight UXA, PXA і MXA серії X. Моделі з попередньо встановленою опцією вказані у вступному розділі цієї статті.

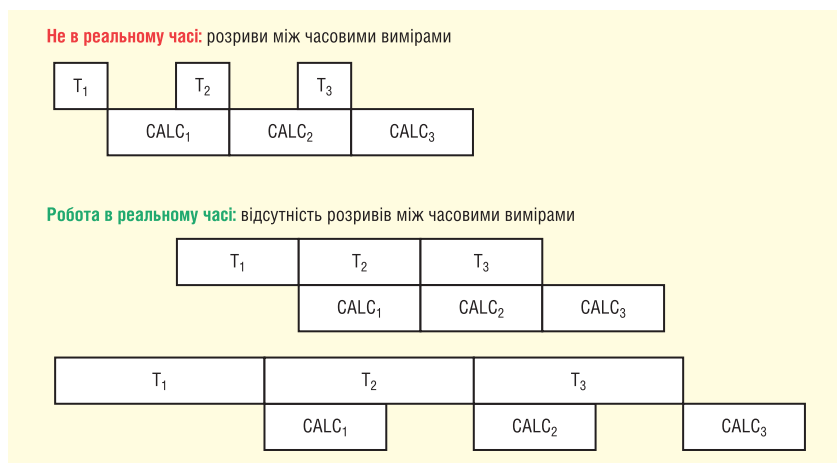


Рис. 3. Робота в реальному часі відбувається тоді, коли швидкість обчислень є достатньо високою, щоб забезпечити безпроблемний аналіз даних вибірки

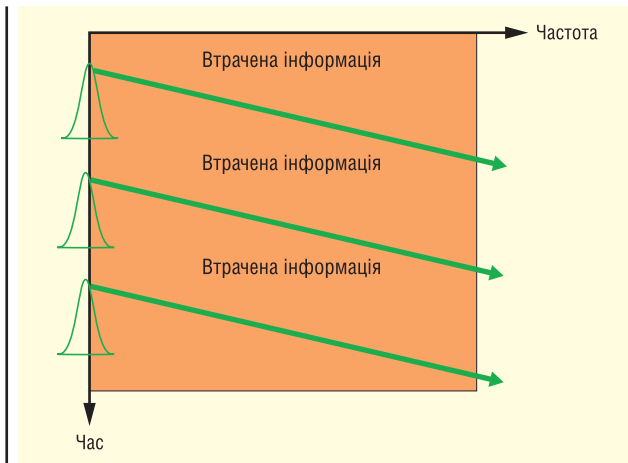


Рис. 4. Аналізатор з розгорнутою смугою (свіп-аналізатор) пропускає дані, коли події відбуваються далеко від миттєвої частоти LO і, таким чином, за межами RBW

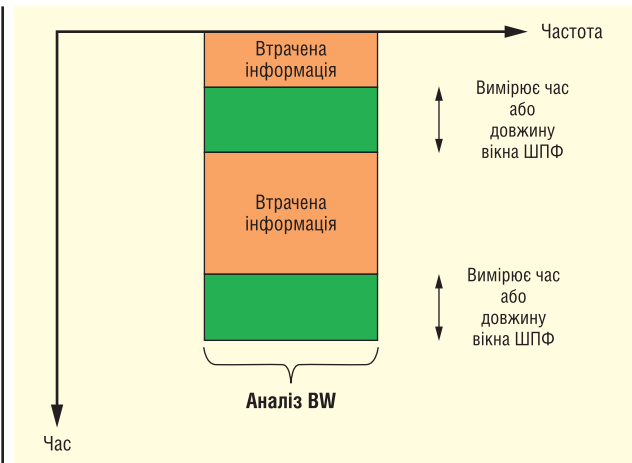


Рис. 5. Аналізатор на основі ШПФ пропускає події, які відбуваються між блоками дискретизованих часових даних

Порівняння RTSA з іншими методами

Ключовою ідеєю RTSA є «відсутність пропусків». Це основна відмінність від аналізу розширеного спектра та аналізу сигналів на основі ШПФ.

У традиційному аналізі розширеного спектра локальний осцилятор (*local oscillator, LO*) сканує потрібний діапазон частот з фіксованою шириною смуги пропускання (*resolution bandwidth, RBW*). Як показано на рисунку 4, аналізатор пропускає все, що відбувається за межами рухомого вікна (зони) перегляду.

При аналізі сигналів на основі ШПФ швидкість обробки, або час обчислення, є обмежувальним фактором. Як показано на рисунку 5, аналізатор збирає повний блок часових відліків, а потім обчислює спектр в частотній області. Якщо прилад не оснащений

високошвидкісною обробкою, між кожним блоком даних часової області будуть пропуски, і прилад пропустить будь-які події, що відбуваються в межах цих проміжків.

Кінцевий результат: ці методи забезпечують хороший огляд стабільних або безперервних сигналів. Однак активність, яка відбувається в проміжках, може бути помічена випадковим чином або взагалі пропущена.

ПОЧАТОК РОБОТИ: ОСНОВИ ШПФ

За своєю суттю, аналіз спектра в реальному часі — це потужна варіація аналізу спектра на основі ШПФ. В основі обробки на основі ШПФ лежать ті самі характеристики, які в кінцевому підсумку визначають РО: частота дискретизації, довжина часового запису

(або розмір ШПФ), функція вікна, розмір вікна, обробка перекриття і рівень шуму. Обробка сигналу відбувається наступним чином:

- Аналого-цифровий перетворювач (АЦП) дискретизує вхідний сигнал, а частота дискретизації визначає максимальний діапазон частот, який можна проаналізувати.
- Вибіркі АЦП зберігаються в буфері пам'яті, який іноді називають часовим записом. У N9032B/N9042B цей буфер завжди містить 1024 вибірок. Деякі аналізатори надають користувачеві можливість вибору розміру часового запису, як правило, в ступені двійки: 32, 64, 128... 1024, 2048 і більше.
- Якщо використовується масштабування, дані переводяться до потрібної центральної частоти та округлюються до вибраного користувачем діапазону вимірювання. Округлені дані використовуються для заповнення даних часового запису.
- Тривалість запису часу обернено пропорційна частоті дискретизації. Наприклад, на N9032B PXA і N9042B UXA частота дискретизації 100 МГц і 1024 точки запису часу дорівнює запису часу тривалістю 1 мкс. Чим нижча частота дискретизації, тим довший часовий запис³ (за умови фіксованої кількості точок).
- Амплітудно-зв'язана або «віконна» функція застосовується до часового запису для компенсації можливих розривів на початку або в кінці блоку відліків. Ослаблення відліків на

ІНШІ СПОСОБИ УНИКНЕННЯ РОЗРИВІВ

Різні підходи задовольняють частини визначення «реального часу» і забезпечують основні типи аналізу в реальному часі для деяких застосувань. Наприклад, векторні аналізатори сигналів використовують захоплення сигналу і подальшу обробку для отримання результатів без розривів на час захоплення — який може бути дуже довгим, але не нескінченним — і можуть забезпечити глибший аналіз, наприклад, у часовій області, а також аналогову або цифрову демодуляцію. Цей тип операцій задовольняє деякі потреби користувачів — і деякі визначення реального часу — краще, ніж аналіз лише спектра нескінченної довжини.

Деякі векторні аналізатори сигналів також використовують обробку амплітуди сигналу в реальному часі (а не обробку спектра) для реалізації тригера амплітуди ПЧ необмеженої довжини, який є кращим за FMT для одних вимірювань і хорошим доповненням для інших.

Багато сучасних аналізаторів пропонують опції для потокової передачі даних з обладнання. Широкопasmовий радіосигнал оцифровується і перетворюється на потік без пропусків, який потім надсилається на високошвидкісний RAID-накопичувач, де дані записуються у файл і можуть бути проаналізовані в подальшому.

³ Час на точку є оберненою величиною до швидкості дискретизації, а довжина часового запису — це час на точку, помножений на кількість точок. У цьому випадку $1 \text{ мкс} = (1/108) \times 1024$.

Таблиця 1. Кожна функція вікна має свої переваги та недоліки			
Функція вікна	Амплітудна точність	Частотна вибірковість	Динамічний діапазон/ рівень шуму
Прямокутна рівномірна	Відмінна з сигналами в межах смуги пропускання, погана з сигналами поза смугою пропускання	Відмінна з сигналами в межах смуги пропускання, погана з сигналами поза смугою пропускання	Відмінна з сигналами в межах смуги пропускання, погана з сигналами поза смугою пропускання
Блекмана-Харріса	Хороша	Хороша	Хороша
Пласка (Flattop)	Найкраща	Посередня	Хороша
Гаусса	Хороша	Хороша	Хороша
Ганнінга	Посередня	Хороша	Посередня
Кайзера	Хороша	Хороша	Хороша

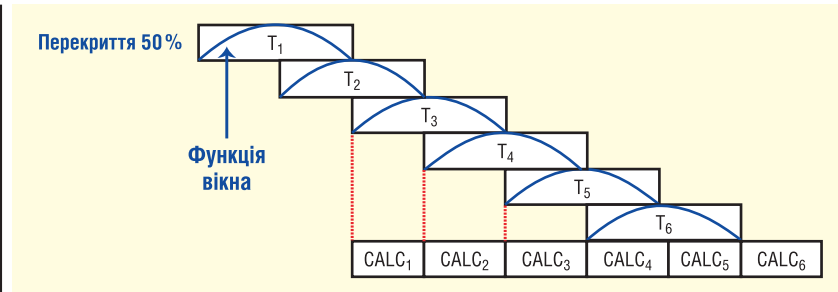


Рис. 6. При обробці з перекриттям послідовні часові записи містять суміш наявних і нових зразків, але виміряні дані залишаються без пропусків

початку та в кінці запису усуває ці розриви та їхні небажані спектральні ефекти.

- Найкращий вибір віконної функції залежить від типу сигналу. Форма вікна в часовій області впливає на амплітудну точність і частотну вибірковість в частотній області.
- Для забезпечення додаткової функціональності RBW в аналізаторах, які використовують фіксований розмір запису часу, розмір вікна (в точках) можна змінювати, вибираючи різні варіанти RBW. В аналізаторах N9032B/N9042B розмір можна встановити в ступені двійки: 32, 64, 128, 256, 512 або 1024. Це має майже такий самий чистий ефект, як і запис часу змінного розміру. Загалом, вищий вибір RBW призведе до меншої мінімальної тривалості для 100-відсоткової POI.
- Сигнали, які займають весь часовий запис, покажуть точну амплітуду. Для сигналів, які не охоплюють весь часовий запис, необхідно компенсувати вплив віконної функції; щоб збільшити ймовірність того, що якась частина сигналу потрапить в центр часового запису, часові записи обробляються з перекриттям (накладанням, дублюванням) (рис. 6).

ШПФ виконується на послідовних блоках відліків, незалежно від того, накладені вони чи йдуть послідовно один за одним. Кількість ліній роздільної здатності в частотному спектрі безпосередньо пов'язана з кількістю точок у часовому записі. Наприклад, блок з

1024 точок перетворюється на спектр з приблизно 821 або 855 смугами, залежно від коефіцієнта Найквіста.

Після перетворення часових даних у частотну область за справу береться механізм візуалізації. Як проміжний крок, до розрахованих спектрів можна застосувати тригер частотної маски, що призведе до подальших вимірювань і обробки відображення, коли будуть виконані критерії тригера.

РОБОТА З ВІКОННИМИ ЕФЕКТАМИ

Більшість аналізаторів надають користувачеві різноманітні віконні функції, які можна вибрати. Найкращий вибір залежить від чотирьох ключових факторів: характеру самого сигналу в часовій області, бажаної частотної вибірковості, амплітудної точності та динамічного діапазону результатів в частотній області. У таблиці 1 наведено швидке порівняння шести найпоширеніших функцій вікна.

Одним з ключових моментів, який впливає на точність отриманої амплітуди, є те, чи потрапляє перетворений сигнал на або між дискретними частотними смугами (або лініями) в кінцевому спектрі. Пласке вікно є найбільш точним, оскільки воно має ширшу основну пелюстку в частотній області та показує правильну амплітуду, незалежно від того, чи потрапляє сигнал у смугу, чи ні. Прямокутне вікно є найменш по-блажливим, оскільки воно не компенсує

розриви, спричинені несиметричними сигналами; воно має найвужчу форму (або найвищу добротність) у частотній області для сигналів з рознесенням, але має найбільші амплітудні помилки для несиметричних сигналів⁴.

Ширина головних пелюсток також впливає на частотну вибірковість або роздільну здатність. Ось чому вікно з пласкою вершиною забезпечує чудову точність амплітуди, але досить низьку частотну вибірковість: для досягнення пласкої вершини йому потрібна широка головна пелюстка. Багато інших функцій вікна забезпечують хороший компроміс між частотною вибірковістю і амплітудною точністю.

Наостанок, важливо також відзначити взаємозв'язок між кількістю точок вікна (або ШПФ) і рівнем шуму. Для будь-якого вікна менша кількість точок означає вищий рівень шуму. Це пояснюється тим, що функція з вузьким вікном має меншу площу під кривою в часовій області, а це означає, що результат ШПФ повинен бути помножений на більший масштабний коефіцієнт, щоб отримати правильне значення амплітуди в частотній області. З математичного погляду, більший масштабний коефіцієнт призводить до вищого рівня шуму. З радіочастотного погляду, менша кількість точок означає ширшу смугу пропускання і, отже, ширшу еквівалентну смугу шуму.

Далі буде

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

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

CN

⁴ З рівномірним ваговим коефіцієнтом, що дорівнює одиниці у всіх точках, прямокутна або рівномірна форма взагалі не є вікном.

ARM32F407 – рішення живлення для систем зв'язку від компанії Geehy

У статті йдеться про переваги рішення живлення для систем зв'язку на основі мікроконтролера ARM32F407 від компанії Geehy, що підвищує ефективність і надійність.

Рішення для живлення систем зв'язку на основі мікроконтролера ARM32F407 надає пріоритет стабільності для забезпечення оптимальної швидкості, точності та злагодженості роботи. Завдяки одному MCU забезпечується повне цифрове керування блоками PFC і LLC, забезпечуючи перемикання нульової напруги в усьому діапазоні навантажень і підвищуючи ефективність і надійність.

Базуючись на високопродуктивному мікроконтролері ARM32F407, дане рішення включає компактне ізольоване джерело живлення змінного/постійного струму, що керується цифровим способом, з двома основними блоками живлення: блок PFC підсилювального типу спереду та резонансний ізольований DC/DC перетворювач з повним мостом LLC-блоку на задній частині (рис. 1). Це налаштування дозволяє генерувати широтно-імпульсну модуляцію (ШИМ) для силових електронних комутаційних пристроїв у всіх режимах роботи, включаючи форму сигналу, змінний робочий цикл, змінну частоту перемикання та керування фазовим зсувом.

Модуль АЦП цього рішення отримує цифрові сигнали вхідної напруги змінного струму V_{ac-LN} , струму I_g і напруги шини V_{dc} блоку PFC, а також ізольовану вибірку вихідної напруги V_{out} і струму I_{out} каскаду LLC.

Завдяки потужним обчислювальним можливостям з плаваючою комою мікроконтролера ARM32F407, розрахунок контуру та функції логічного керування блоків PFC та LLC можна виконати за один цикл вибірки. Вихідні дані розрахунку циклу потім подаються на розширений модуль таймера ARM32F407, який виробляє форму сигналу ШИМ із фіксованою частотою перемикання та змінним циклом перемикання для модуля PFC та форму сигналу ШИМ із фіксованим циклом заповнення та змінною частотою перемикання для блоку LLC. Це покращує коефіцієнт потужності та підвищує напругу для модуля PFC, а також стабілізує вихідну напругу та забезпечує можливість реагування на перехідні процеси навантаження для блоку LLC.

Переваги використання ARM32F407 як рішення живлення для систем зв'язку:

- Ядро Arm® Cortex®-M4F з 32-бітною архітектурою, максимальною частотою 168 МГц та підтримкою керування циклом роботи PFC та LLC.
- Два 16-розрядних розширених таймера TMR1 і TMR8 можуть забезпечити 7-канальний ШИМ вихід. Підтримує генерацію «мертвої зони» та гальмівний вхід (Brake Input)¹.
- Вбудовані три 12-розрядних АЦП, кожен з яких має до 16-ти зовнішніх каналів. Підтримує DMA та відпові-

Geehy – це 20-річний досвід розробки мікросхем. Компанія СЕА, як офіційний дистриб'ютор товарів і рішень Geehy, пропонує своїм клієнтам виключно високоякісні товари виробництва Geehy, ознайомитись з якими можна на сайті.

дає вимогам джерела живлення зв'язку PFC+LLC щодо 3-канальної напруги та 3-канальної збору струму.

- Чотири комунікаційні інтерфейси USART і два UART відповідають потребам взаємодії джерела живлення та систем верхнього рівня.
- 1 МБ флеш-пам'яті та 192 КБ + 4 КБ SRAM відповідають вимогам до пам'яті та обчислення програм, а також резервування для полегшення розширення програми.
- Вбудовані резервні регістри для гнучкого зберігання контрольних параметрів без зовнішнього EEPROM.
- Підтримує мережу змінного струму від 90 до 264 В, частоту 50/60 Гц, повну сумісність з електромережею.

Рішення живлення для систем зв'язку на основі ARM32F407 оснащено функціями моніторингу в режимі реального часу та швидкого захисту для вхідної напруги й струму випрямляча, середньоквадратичного значення вхідної напруги та струму джерела живлення на шині, а також вихідної напруги та струму. Це дозволяє йому успішно використовуватись в різних сферах застосування, таких як комерційні мережі, сервери, промислові джерела живлення змінного/постійного струму, нові джерела енергії та зберігання енергії.

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

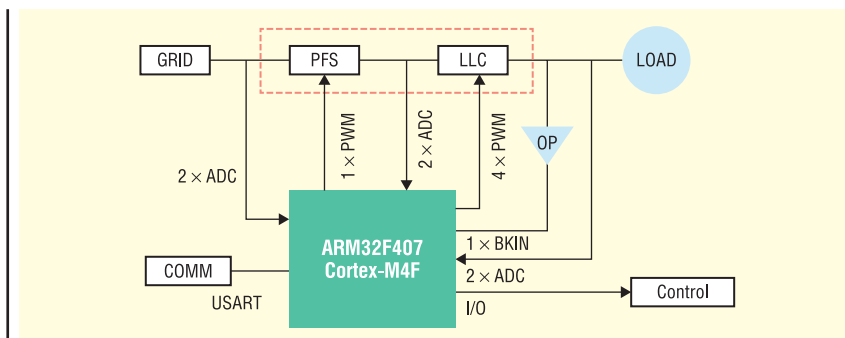


Рис. 1. Робочий процес комунікаційного рішення для живлення ARM32F407

¹ Brake Input — це функція, яка дає змогу швидко зупинити роботу таймера TMR1 або TMR8 у разі аварійної ситуації, наприклад, у разі перегрівання, перенапруження або короткого замикання.

SiC-прилади в коректорі коефіцієнта потужності зарядної станції електромобілів

Мін Чжоу (Ming Zhou), Андреа Піччоні (Andrea Piccioni)

Переклад та редагування: Віталій Шевченко, Rainbow Technologies

E-mail: svl@rainbow.com.ua

У статті аналізуються тенденції розвитку технологій зарядних станцій постійного струму для електромобілів (EV, Electric Vehicle). Розповідається про поточну ситуацію з приладами з карбіду кремнію (SiC) та їхні переваги. Представлено трифазний випрямляч для односпрямованих зарядних пристроїв за топологією Vienna, топологію активного дворівневого, трифазного випрямляча, а також рішення для двоспрямованих зарядних пристроїв на базі SiC-ключів.

РОЗВИТОК DC-ЗАРЯДНИХ СТАНЦІЙ ДЛЯ ЕЛЕКТРОТРАНСПОРТУ

Уряди багатьох країн, де останнім часом переважає «екологічне мислення», що вимагає як мінімум скорочення викидів вуглекислого газу, все більше уваги приділяють розвитку електротранспорту. Проте на вибір електромобіля впливають такі фактори, як слабкість інфраструктури і тривалий час його заряджання. Станції змінного струму

підходять для заряджання батареї удома або на роботі, оскільки номінальна потужність сучасних бортових зарядних пристроїв зазвичай не перевищує 11 кВт, що потребує 8–10 год для повного заряджання. Однак при тривалих поїздках, наприклад у відпустку, споживачі хотіли б істотно скоротити цей час.

Зарядні станції постійного струму (DC), що містять AC/DC-інвертор та ізолюваний DC/DC-конвертор мають більшу потужність, ніж AC-пристрої. Номінальна потужність DC EV зарядних блоків, розроблених на основі дискретних приладів, наразі становить 11–22 кВт, у найближчому майбутньому цей показник має збільшитися до 30–50 кВт.

Використання декількох паралельних DC EV блоків підвищує номінальну потужність з 120 до 360 кВт, що дає змогу зарядити акумулятор до 80% ємності менш ніж за півгодини. Завдяки цій можливості в поєднанні зі швидким розвитком індивідуального електротранспорту, ринок зарядних пристроїв DC EV в останні роки переживає бурхливе зростання. Однак для збереження високих темпів розвитку галузі необхідно розв'язати низку технічних проблем, пов'язаних із надійністю, ефективністю та питомою потужністю. Нове покоління силових напівпровідникових карбідокремнієвих приладів сприяють вирішенню цих завдань. У даній статті представлено рішення на базі SiC-ключів, що використо-

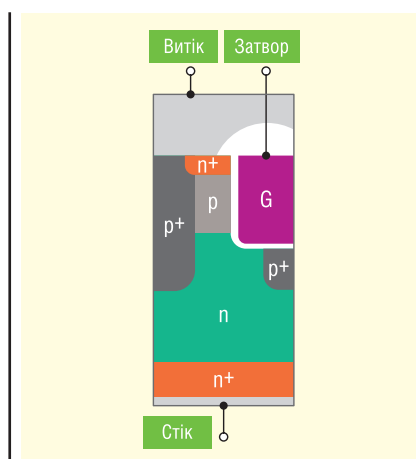


Рис. 1. Структура комірки CoolSiC MOSFET

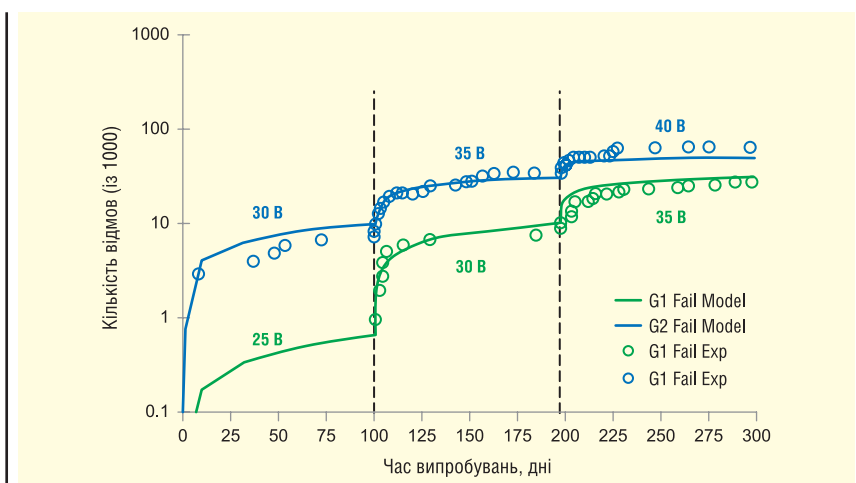


Рис. 2. Тест на перенапругу за VGS

вуються в коректорі коефіцієнта потужності (ККП) зарядних пристроїв постійного струму.

ЗАСТОСУВАННЯ КАРБІДУ КРЕМНІЮ

Останніми роками активно ведеться розробка широконіжних напівпровідникових матеріалів і приладів на їхній основі. Застосування SiC-транзисторів, що мають низькі втрати перемикачання, дає змогу збільшувати частоту комутації. Завдяки цьому SiC-ключі широко використовуються в DC EV заряджувачах, сонячних інверторах, джерелах безперебійного живлення (*Uninterruptible Power Supply, UPS*) та імпульсних джерелах живлення (*Switched Mode Power Supply, SMPS*).

Багато провідних виробників, зокрема Infineon, використовують Trench-структуру затвора (рис. 1), що забезпечує стабільність характеристик оксидного шару у ввімкненому і вимкненому станах. Для демонстрації надійності оксиду затвора було проведено спеціальні тести, результати яких проілюстровано на рисунку 2. Крім вищезазначених переваг, транзистори CoolSiC MOSFET мають вищу порогову напругу, мають стійкість до короткого замикання, вони дають змогу контролювати параметр dV/dt у широких межах.

Однією з відомих проблем є дрейф порогової напруги затвора $V_{GS(th)}$ SiC MOSFET під час тривалої експлуатації. У технічній документації на CoolSiC містяться рекомендації, що дають змогу обмежити пов'язане з цим збільшення опору відкритого каналу ($R_{DS(on)}$), який найбільшою мірою впливає на продуктивність перетворювача [1–5].

ККП ДЛЯ DC EV ЗАРЯДНИХ ПРИСТРОЇВ

Водноспрямованих DC-заряджувачах зазвичай використовують ККП, виконаний за так званою топологією Vienna, DC/DC-конвертор з резонансним перетворювачем LLC і мостовий випрямляч (рис. 3). Існує ще одна поширена DC/DC-схема, що містить повний міст із фазовим зсувом (*Phase-Shifted Full Bridge, PSFB*), що відрізняється топологією і методом керування. У коректорі коефіцієнта потужності DC EV блоку можуть використовуватися діоди Si або SiC з напругою 1200 В як діоди D1–D6, CoolMOS MOSFET і Trench IGBT5 для ключів SW1–SW6. У нашому випадку в первинному каскаді LLC DC/DC встановлено CoolMOS MOSFET серії CFD, у вторинному каскаді — діоди Rapid Si або Infineon CoolSiC з напругою 650 В. Через широкий діапазон вихідної напруги (зазвичай 200–1000 В DC) у схемі використовуються реле, що з'єднують мостові випрямлячі послідовно або паралельно.

У статті основну увагу приділено реалізації ККП у зарядних пристроях постійного струму. Топологія Vienna широко розповсюджена в односпрямованих DC EV системах, як показано на рисунку 4. Струм зворотного відновлення I_{rr} SiC-діодів помітно нижчий, ніж у Si-діодів, причому ця складова струму проходить через ключі SW1–SW6 під час їхнього відкривання. Таким чином, зниження величини I_{rr} дає змогу зменшити втрати ввімкнення SW1–SW6. З цієї причини SiC-діоди напругою 1200 В широко використовуються в односпрямованих DC зарядних пристроях для підвищення ефективності. Зменшення втрат потужності означає зниження

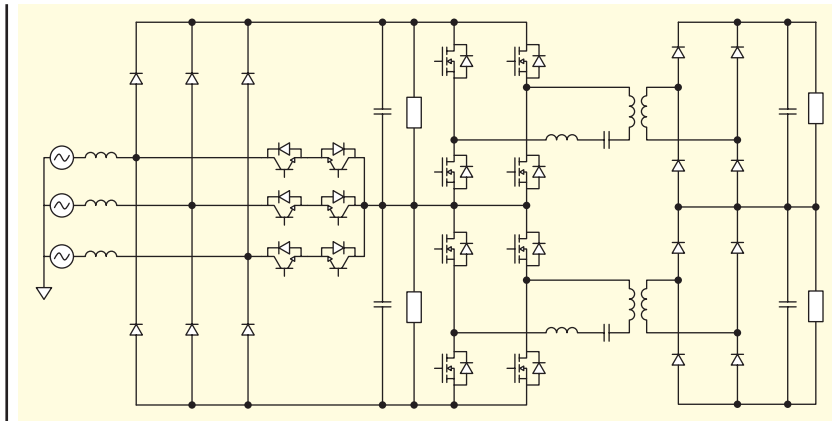


Рис. 3. Топологія зарядного пристрою DC EV

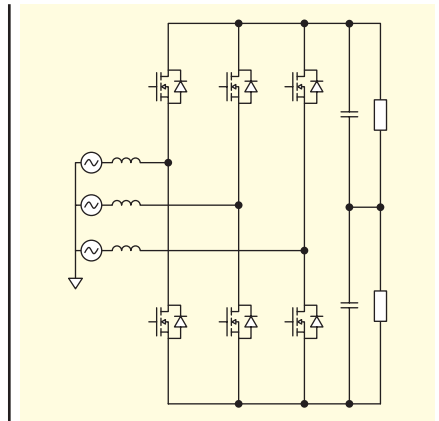


Рис. 5. Трифазний мостовий інвертор (B6)

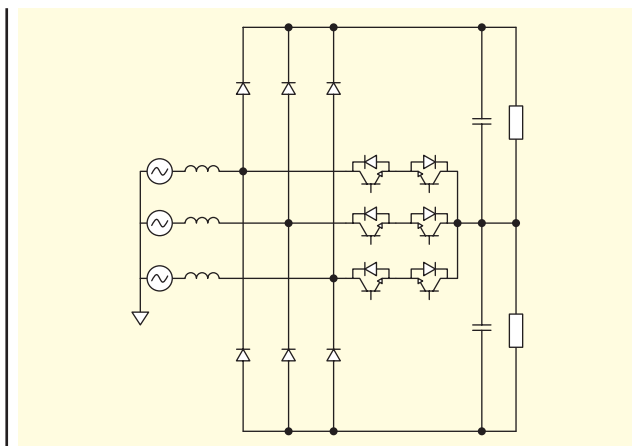


Рис. 4. Схема ККП за топологією Vienna

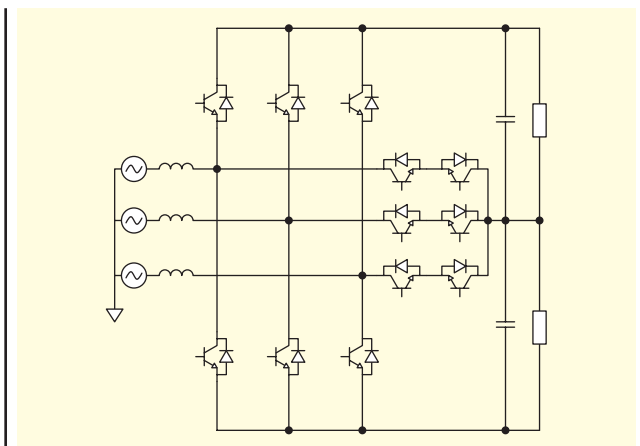


Рис. 6. Топологія NPC2

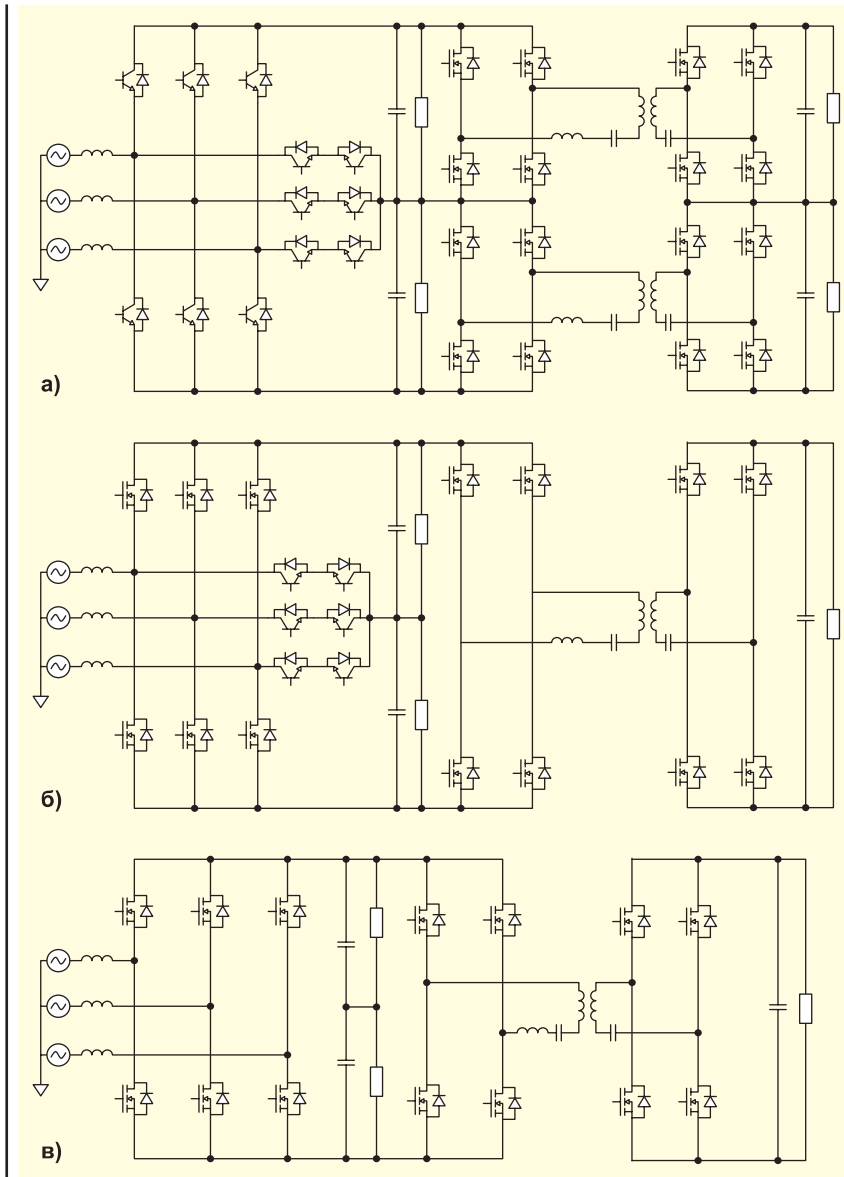


Рис. 7. Двоспрямований DC EV заряджувач: топологія А (а); топологія В (б); топологія С (в)

температури кристалів силових модулів, що еквівалентно підвищенню надійності або збільшенню густини потужності.

Трифазна мостова схема (В6) також широко застосовується в DC EV заряджувачах, як показано на рисунку 5. Ця схема може працювати як інвертор, тому її використовують і в системах із двоспрямованим передаванням енергії. Якщо діоди ККП і випрямлячі діоди (D1–D14) на рисунку 3 міняються на силові ключі, то ми отримуємо схему з

нейтраллю, що фіксує (NPC2, рис. 6), і двоспрямований DC/DC-конвертор (CLLC, або подвійний активний міст). Загальна схема, показана на рисунку 7а, є двоспрямованим зарядним пристроєм.

Можливість двоспрямованої передачі енергії в DC EV заряджувачі звичайно означає можливість розрядки акумулятора в мережу, електрообладнання або інші електромобілі, коли рівень заряду батареї високий або за інших умов, наприклад, у разі вимкнення

електроенергії або під час стоянки (у кемпінгу). Цей режим також відомий як V2G (*Vehicle-to-Grid*), до його переваг можна віднести зниження загальної вартості експлуатації електромобіля і підвищення стабільності мережі. Цю технологію, безумовно, використовуватимуть надалі, а двоспрямований зарядний пристрій має стати трендом для DC EV заряджувачів.

Як показано на рисунку 7б, використання 1200-В транзисторів CoolSiC MOSFET для заміни 600 В/650 В CoolMOS у DC/DC-конверторі та використання схеми В6 замість NPC2 (рис. 7в) дає змогу зменшити кількість силових модулів і спростити керування системою. Це дає можливість підвищити ефективність і густину потужності двоспрямованих зарядних пристроїв DC EV, а також знизити їхні габарити та вагу.

ВИБІР ТОПОЛОГІЇ ККП ДЛЯ ЗАРЯДНОГО ПРИСТРОЮ ПОТУЖНІСТЮ 15 кВт

Як було зазначено у вступній частині, існує кілька різних шляхів реалізації односпрямованих і двоспрямованих DC EV зарядних пристроїв. У цій статті основну увагу приділено порівнянню ефективності та вартості коректора коефіцієнта потужності, а також напрацюванню рекомендацій щодо вибору односпрямованого та двоспрямованого варіантів схеми. У таблицях 1 і 2 показано варіанти комплектації для трифазного ККП потужністю 15 кВт. Рішення, що одночасно використовує Si і SiC-прилади, називається гібридним.

У результаті моделювання пристрою в умовах, показаних у таблицях 1 і 2, отримано криві залежності втрат потужності від частоти перемикання (рис. 8). Із графіка для односпрямованого ККП на рисунку 8а видно, що гібридна топологія Vienna ККП із діодом CoolSiC 1200 В має майже такі самі характеристики, як і рішення CoolSiC MOSFET В6, і кращі економічні показники, ніж у В6. З кривої для двоспрямованої системи на рисунку 8б зрозуміло, що рішення Si NPC2 має найвищі втрати потужності, у гібридного NPC2 цей показник кращий, ніж у Si NPC2, а схема В6 з CoolSiC

Таблиця 1. Односпрямований ККП		
	D1–D6	SW1–SW6
Si «віденська» схема ККП	Si топологія Vienna ККП	650-В IGBT
Гібридна топологія Vienna ККП	1200-В SiC-діод	650-В IGBT
SiC MOS B6	NA	1200-В SiC MOSFET

Таблиця 2. Двоспрямований ККП/інвертор		
	SW1–SW6	SW7–SW12
Si NPC2	650-В IGBT	1200-В IGBT
Гібрид NP C2	650-В гібрид IGBT	1200-В IGBT
SiC MOS B6	1200-В SiC MOSFET	NA

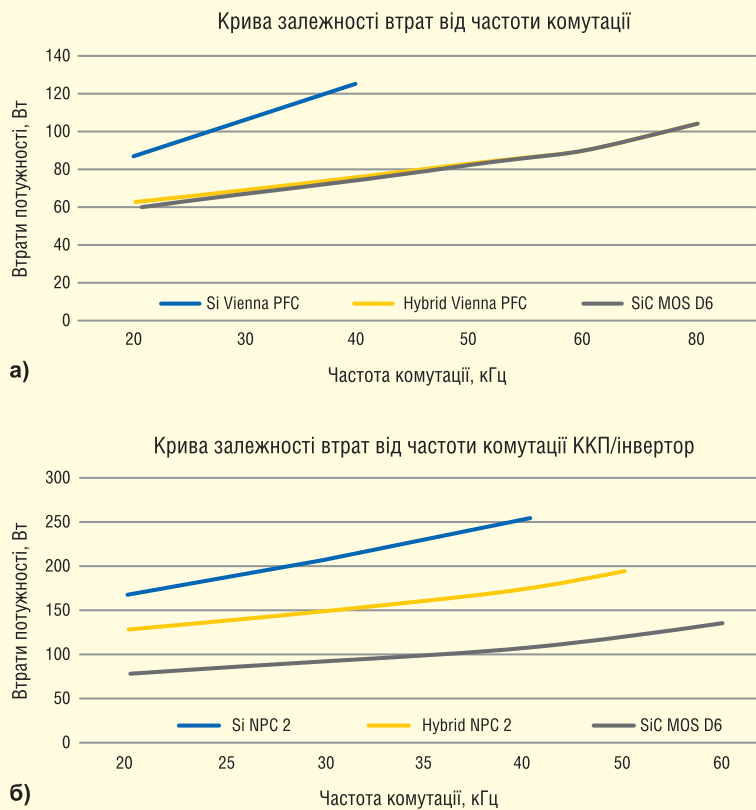


Рис. 8. Залежність потужності втрат від робочої частоти: односпрямованого ККП (а); двоспрямованого ККП/інвертора (б)

MOSFET демонструє найнижчі втрати і найвищу частоту перемикавання. Це дає змогу знизити індуктивність, зменшити розміри радіатора і друкованої плати, і, відповідно, вартість системи.

ВИСНОВОК

У статті представлено односпрямовану та двоспрямовану топологію зарядного пристрою постійного струму для електромобілів (DC EV). Особливу увагу приділено реалізації блоку ККП на основі SiC-приладів — 1200-В діодів і MOSFET-транзисторів, які використовуються в гібридній топології Vienna та схемі В6. На основі графіків залежності втрат потужності від частоти перемикавання можна рекомендувати варіант з 1200-В SiC-діодами в гібридній топології Vienna ККП для односпрямованого DC EV заряджувача, що забезпечує найкраще співвідношення ефективності та економічності. Використання двоспрямованого варіанта ККП з 1200-В SiC MOSFET у топології В6 дає змогу отримати максимальну ефективність і продуктивність за збереження високих економічних показників усієї системи.

Більш детальну інформацію можна отримати, звернувшись до партнера компанії Infineon на території України — компанії Rainbow Technologies:

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

Література:

1. Peters D., Basler T., Zippelius B. CoolSiC Trench MOSFET Combining SiC Performance With Silicon Ruggedness // *Power Electronics Europe*. 2017. Iss. 3.
2. Björk F. A SiC MOSFET for Mainstream Adoption // *Bodo's Power Systems*. 2018. No. 4.
3. Friedrichs P. High-performance CoolSiC MOSFET technology with silicon-like reliability. www.infineon.com
4. CoolSiC — Revolution to rely on, SiC solutions enabling radical new product designs with best system cost-performance ratio. www.infineon.com
5. Guidelines for CoolSiC MOSFET gate drive voltage window. AN2018-09. www.infineon.com

COOLSiC™ MOSFET G2 — НАСТУПНЕ ПОКОЛІННЯ ТЕХНОЛОГІЇ КАРБІДУ КРЕМНІЮ

Компанія **Infineon Technologies AG** відкриває новий розділ в енергетичних системах і перетворює енергію та представляє наступне покоління транзисторів MOSFET з карбідом кремнію (SiC). Нові Infineon CoolSiC™ MOSFET 650 В і 1200 В 2-го покоління покращують ключові показники продуктивності MOSFET, такі як накопичена енергія і заряд, на 20% в порівнянні з попереднім поколінням без шкоди для якості і надійності, що призводить до підвищення загальної енергоефективності та подальшого сприяння процесам боротьби з викидами вуглекислого газу.

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

Вносячи свій внесок у високопродуктивні рішення CoolSiC G2, новаторська trench-технологія CoolSiC MOSFET від Infineon забезпечує оптимізоване компромісне рішення, що дозволяє підвищити ефективність і надійність у порівнянні з наявними на сьогоднішні технологіями SiC MOSFET. У поєднанні з відзначеною нагородами технологією корпусів XT компанія Infineon ще більше збільшує потенціал конструкцій на основі CoolSiC G2 завдяки вищій теплопровідності, кращому контролю збірки та підвищеній продуктивності.

www.infineon.com

Підвищення ефективності системи батарейного резервування за допомогою знижувально-підвищувального контролера

Д.К. Сінгх (D.K. Singh), Давид Жан (David Zhan), Renesas Electronics Corp.

Побудова пристроїв резервного живлення постійного струму на основі двонапрявленої знижувально-підвищувальної архітектури забезпечує найбільшу ефективність і збільшує надійність усієї системи. У статті описуються способи розроблення недорогої апаратно-реалізованої автономної системи з використанням високовольтних знижувально-підвищувальних контролерів від Renesas Electronics. Такий підхід дає змогу зменшити вартість системи шляхом ефективнішого використання акумулятора, уникнувши застосування складних методів вимірювання струму та зарядних кіл.

ВСТУП

Пристрої зберігання електроенергії є основою сучасної революції в галузі сталої енергетики, а технології виробництва акумуляторів, що стрімко розвиваються, збільшують її розповсюдження в усіх галузях промисловості. Літєво-іонні акумулятори та суперконденсатори великої ємності набувають дедалі більшого поширення в сучасних проєктах. За оцінками фахівців, що займаються дослідженнями ринку, попит на літєво-іонні акумулятори в наступні декілька років подвоїться. Збільшується попит і на інші типи пристроїв зберігання електроенергії, наприклад на конденсатори великої ємності (суперконденсатори). Простий режим заряду і малий розмір цих пристроїв сприяють подальшому підвищенню їхньої популярності навіть у тих сегментах ринку, де раніше безроздільно панували свинцево-кислотні акумулятори. З іншого боку, витрати, пов'язані з простим відповідальним обладнанням, наприклад для телекомунікаційних систем, інтернет-хостингу або медичних застосувань, настільки високі, що застосування резервного джерела живлення в них стало майже обов'язковим.

Надмірність за схемою N+1 забезпечує резервування з урахуванням локальних відмов, але не може повністю компенсувати втрати електроенергії через відмову основного джерела живлення. Використання стандартного джерела безперебійного живлення (ДБЖ) за змінним струмом вимагає вкладення значних коштів і призводить до зайвої витрати електроенергії, оскільки таке джерело повинно мати більшу

потужність, ніж це необхідно. Крім того, через втрати на перетворення загальна ефективність ДБЖ змінного струму невелика. Водночас успіхи в технології виробництва акумуляторів прискорили їх застосування в ДБЖ постійного струму.

Локалізоване джерело живлення, що використовує акумулятор як резервний пристрій, забезпечує економне і надійне резервування для основного джерела електроенергії. Наявність локалізованого резервного живлення постійного струму для резервування допомагає оптимізувати схему живлення, оскільки дає змогу оцінити й відрегулювати рівень електроживлення відповідно до струму навантаження. Нова концепція енергетичного буфера використовується в промислових застосуваннях високого класу для резервування на відповідальних шинах живлення.

ТИПОВА СИСТЕМА РЕЗЕРВНОГО ЖИВЛЕННЯ ТА ХАРАКТЕРНІ ПРОБЛЕМИ

Основою системи батарейного резервування є акумулятор. У ній також є електронне обладнання для заряджання від джерела постійного струму та електронне обладнання для розряджання з метою передавання енергії акумулятора в систему в разі вимкнення основного джерела живлення. На рисунку 1 показано типову систему батарейного резервування. Загалом, різниця між напругами живлення на вході та виході більша за нуль, що є однією з головних причин низької ефективності.

Рисунок 2а дає загальне уявлення про внутрішні елементи системи батарейного резервування. Для зберігання енергії використовується акумулятор або інша система, яка заряджається за допомогою відповідного кола. Коло заряджання може бути або підвищувальним, або знижувальним, що залежить від напруги кола живлення та акумулятора. Іноді з метою економії

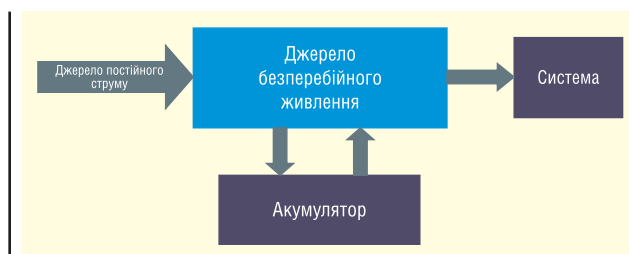


Рис. 1. Типова система батарейного резервування

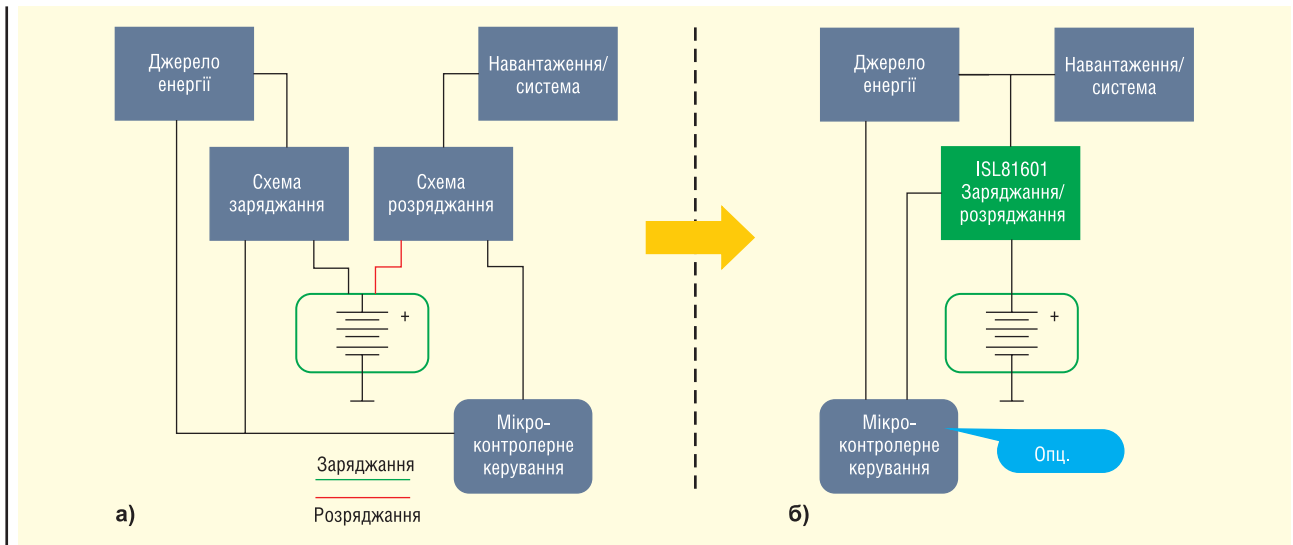


Рис. 2. Типова система батарейного резервування (а); двонаправлений підхід до системи батарейного резервування (б)

для заряджання застосовується лінійний стабілізатор. Коло розряджання зазвичай складається зі знижувального перетворювача для подачі електроживлення на навантаження від джерела електроенергії шляхом перетворення напруги акумулятора в необхідну для системи напругу. Забезпечення стабільності в цьому разі пов'язане з певними проблемами: система надто громізка і складна, а її активне коло потребує керування водночас із численними схемами захисту. Зі збільшенням числа елементів унаслідок ускладнення системи середній час безвідмовної роботи зменшується. Інша проблема в системах такого типу полягає в тому, що акумулятор постійно під'єднаний до ланцюга живлення системи від основного джерела, а це значить, що акумулятор завжди працює за умови функціонування системи. Таке компонування знижує його ресурс і не може застосовуватися з акумуляторами багатьох типів.

З погляду ефективності, системи такого типу (див. рис. 2а) зазвичай менш ефективні, оскільки їхній коефіцієнт заповнення далекий від ідеального (менше ніж 100% у знижувальному режимі і більше ніж 0% — у підвищувальному). Звичайно, є й інші чинники, до яких належать застосована архітектура живлення, склад компонентів, частота комутації, що впливають на ефективність системи. Однак найбільшою шкоди ефективності завдає різниця напруг VIN і VOUT. Загалом, якщо всі інші чинники незмінні, ефективність знижується при збільшенні різниці вхідної та вихідної напруги. Наприклад, перетворення 12 В/3.3 В здійснюється з меншою ефективністю, ніж 12 В/5 В. Вплив різниці

вхідної та вихідної напруг на ефективність перетворювача можна описати таким чином. Ефективність знижувального перетворювача збільшується разом із коефіцієнтом заповнення і досягає піка за його значення, що дорівнює 100%. Ефективність підвищувального перетворювача збільшується зі зменшенням коефіцієнта заповнення і досягає максимальної величини за 0%.

При підвищувальному і знижувальному підході до системи резервування живлення постійного струму вхідна напруга 12 В використовується для заряджання акумулятора з вищою напругою, яка зазвичай дорівнює 24 або 36 В, а для перетворення напруги акумулятора назад у 12 В використовується знижувальний перетворювач. Системи такого типу мають схожі проблеми і менш ефективні через неоптимальні коефіцієнти заповнення при перетворенні в обох напрямках.

Щоб подолати явні проблеми з ефективністю, було запропоновано використовувати знижувальний перетворювач з вищим коефіцієнтом заповнення і акумулятори з напругою, близькою до напруги системи. За такого підвищувально-знижувального підходу коло підвищення використовується для заряджання акумулятора з напругою, яка незначно перевищує напругу системи, а для подачі напруги в систему використовується простий знижувальний перетворювач з високою ефективністю і меншою вартістю. Загальна вартість силових компонентів менша, коли одні й ті самі компоненти використовуються для заряджання та розряджання за допомогою мікроконтролера. Однак основний недолік описаного підходу

полягає в низькому коефіцієнті використання ємності акумулятора. Оскільки в цій системі акумулятор не може розряджатися нижче напруги системи, потрібні акумулятори більшої ємності. Зауважимо при цьому, що акумулятори є одними з найдорожчих елементів системи. За такого підходу акумулятор завжди зберігає високий рівень заряду, що негативно впливає на його термін служби.

Таким чином, можна вважати, що такі архітектури батарейного резервування складні, неефективні та ненадійні. Ці проблеми можна вирішити і тим самим збільшити загальну продуктивність системи, якщо скористатися двонаправленою схемою. Реально двонаправлена система дає змогу спростити конструкцію і значно збільшити надійність системи (див. рис. 2б).

ДВОНАПРАВЛЕНИЙ ПІДХІД ДО БАТАРЕЙНОГО РЕЗЕРВУВАННЯ

Двонаправлений підхід з використанням фактично двонаправленого контролера, наприклад ISL81601 або ISL81401, забезпечує численні переваги системі резервного живлення постійного струму або пристрою за живленням від акумуляторів. По-перше, він спрощує конструкцію і підвищує загальну надійність шляхом об'єднання складної архітектури заряджання і розряджання в одне коло. Наявність окремих кіл заряджання і розряджання вимагає двох індукторів (за умови, що для підвищення ефективності на обох етапах використовується імпульсний

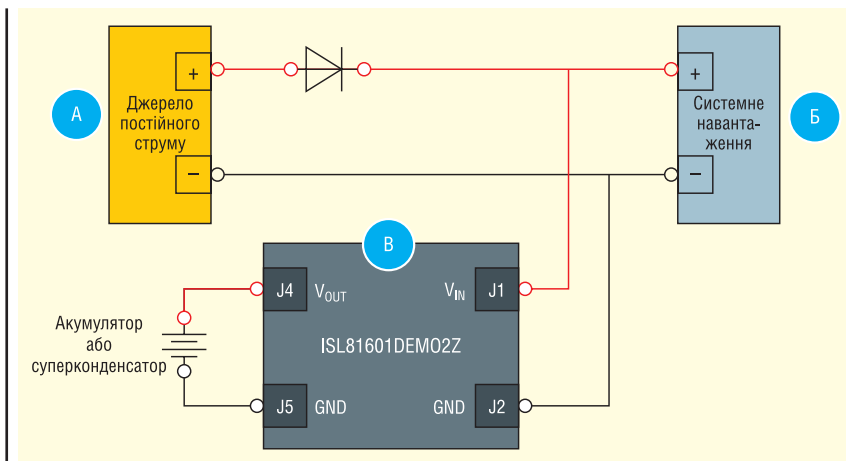


Рис. 3. Система батарейного резервування із застосуванням двонапрявленого контролера ISL81601

економію з погляду розміру та вартості комплектувальних елементів.

На рисунку 4 показано діаграми сигналів під час роботи пристрою резервування електроживлення постійного струму. Для простоти пояснення в схемі використовується акумулятор на 12 В разом із регульованим джерелом постійного струму. Щойно напруга цього джерела зменшується з 18 до 9 В, акумулятор подає необхідне живлення в систему. У момент часу T1 напруга джерела становить 18 В, і воно живить навантаження й акумулятор. Щойно акумулятор повністю заряджається, джерело відключається в момент часу T2. У момент часу T2 досягається задане мінімальне значення напруги перетворювача, і він змінює напрямку струму на розрядження акумулятора, запобігаючи падінню напруги системи нижче 9 В. У момент часу T3 акумулятор або конденсатор великої ємності повністю розряджається, що, своєю чергою, призводить до зниження напруги живлення системи. Під час цього процесу система отримує достатньо часу для коректного завершення своєї роботи. Перемикання джерел живлення і зміна напрямку струму в момент часу T2 відбувається без будь-яких помітних проблем.

Ці пристрої використовують модуляцію пікового струму для керування в підвищувальному режимі і модуляцію струму впадін для керування в знижувальному режимі. Така архітектура дає змогу здійснювати контроль і вимірювання істинного пікового струму в обох напрямках.

перетворювач), тоді як двонапрявленій архітектурі потрібен лише один індуктор. При використанні такої архітектури один і той самий комплект електроніки змінює напрямку руху струму для забезпечення заряджання і розряджання. Двонапрявлений знижувально-підвищувальний контролер значно збільшує загальну ефективність системи, оскільки величину напруги акумулятора або іншого елемента зберігання можна вибрати ближче до напруги системи. Оскільки різниця між напругами акумулятора і системи зменшується, перетворювач завжди працює в режимі, що забезпечує максимальну ефективність. Водночас система може за потреби сильніше розрядити батарею, збільшивши, таким чином, коефіцієнт використання ємності акумулятора.

У конструкції на основі знижувально-підвищувального перетворювача напруга акумулятора і напруга, необхідна для роботи системи, можуть підтримуватися на одному рівні. Ще одним позитивним моментом є стан акумулятора. При використанні запропонованої архітектури рівні заряджання і розряджання акумулятора можна запрограмувати відповідно до стану акумулятора.

На рисунку 3 показано просту конфігурацію для двонапрявленої роботи перетворювача. Джерело постійного струму А з'єднане з навантаженням Б, і те саме джерело приєднується до акумулятора або конденсатора великої ємності через двонапрявлений знижувально-підвищувальний перетворювач В. Напруга акумулятора може мати будь-яке значення, що відповідає напрузі перетворювача.

ISL81601/401 від Renesas — двонапрявлений знижувально-підвищувальний контролер, що дає змогу визначити

значення пікового струму і забезпечує контроль з обох боків. Ці пристрої використовують модуляцію пікового струму для керування в підвищувальному режимі і модуляцію струмів впадін для керування в знижувальному режимі. Подібні пристрої також мають властивість покрокового обмеження максимального від'ємного значення струму індуктора для захисту системи під час роботи у зворотному напрямку. Однак напрямку руху струму можна поміняти в апаратних налаштуваннях або за допомогою мікроконтролера з відповідною інтерфейсною схемою. Це підвищує простоту й ефективність конструктивних рішень для пристроїв резервування живлення постійного струму, а також забезпечує значну

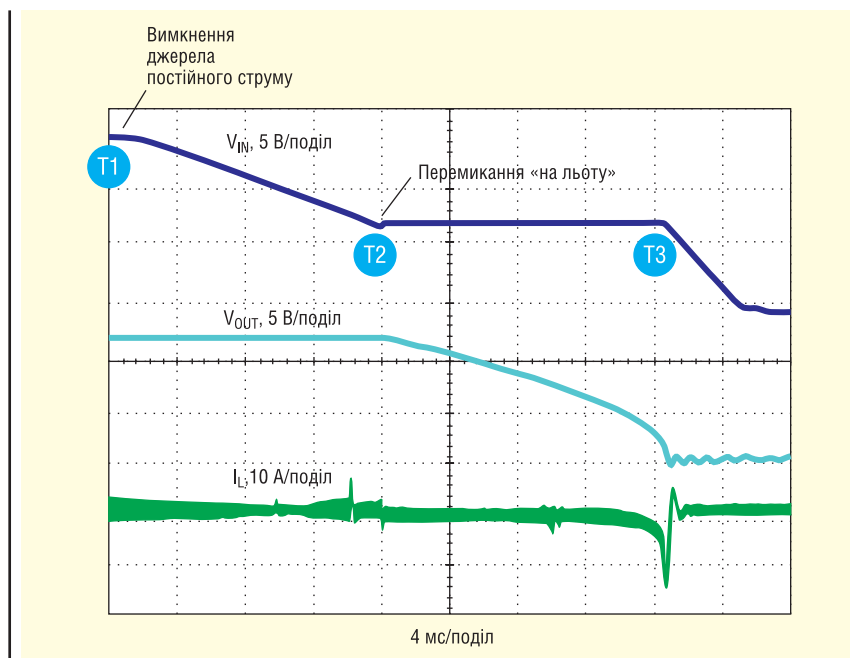


Рис. 4. Двонапрявлена робота ISL81601/401: перемикання здійснюється на ходу

Таблиця 1. Лінійка знижувально-підвищувальних контролерів високої напруги від Renesas

Найменування пристрою	Діапазон вхідної напруги, В	Відмінні риси	Напруга керування, В
ISL81601	4.5–60	Двонапрямлений	8
ISL81401	4.5–40	Двонапрямлений	5.3
ISL81401A	4.5–40	Однонапрямлений	5.3

ДВОНАПРЯМЛЕНІ ЗНИЖУВАЛЬНО- ПІДВИЩУВАЛЬНІ КОНТРОЛЕРИ RENESAS

Як провідний постачальник інтегрованих контролерів для керування живленням, корпорація Renesas Electronics пропонує не тільки двонапрямлені, а й однонапрямлені знижувально-підвищувальні контролери.

Лінійка мікросхем ISL81601/ISL81401 від Renesas складається з двонапрямлених знижувально-підвищувальних контролерів із чотирма зовнішніми ключами, які мають вражаючий перелік характеристик. До них належить згладжування частоти та наявність зовнішнього зсуву, що дають змогу зменшити фінансові витрати та час. Унікальна архітектура цих ІС гарантує контроль і вимірювання пікового струму індуктора з обох сторін. Крім того, мікросхеми мають два виводи для контролю вхідного і вихідного струму, які можна використовувати для керування постійним струмом (CC) і постійною напругою (CV), а також керування системою в інших випадках.

Характер роботи цієї архітектури забезпечує дуже надійний захист від будь-яких несправностей з кожної зі сторін системи. Вона обладнана чотирма незалежними колами для керування вхідною напругою, вихідною напругою, вхідним струмом і вихідним струмом. У результаті досягається повний і незалежний контроль над вхідною і вихідною напругами та налаштуваннями струмових величин, як-от зарядження й розрядження, що буває дуже корисним у застосуваннях з резервування електроживлення постійного струму, оскільки зарядження й розрядження, як правило, здійснюються з різними швидкостями. У таблиці 1 перераховано деякі основні параметри знижувально-підвищувальних контролерів високої напруги від Renesas.

Визначення пікового струму з обох боків, а також його покрокове обмеження в цій лінійці контролерів гарантує експлуатаційну надійність завдяки безперервному обмеженню струму в умовах перехідних процесів і на вході, і на виході. Робота за постійного струму аж до дуже

низьких значень напруги запобігає виходу схеми з-під контролю в разі перевантаження або короткого замикання.

ХАРАКТЕРИСТИКИ ЛІНІЙКИ КОНТРОЛЕРІВ ВИСОКОЇ НАПРУГИ

Контролери високої напруги мають наступні характеристики:

- робота з високою напругою (до 60 В), що прийнятно для більшості сучасних акумуляторів;
- двонапрямлена схема роботи зменшує розмір друкованих плат і знижує загальну вартість пристрою;
- унікальна схема модуляції забезпечує найнижчі рівні пульсацій і плавний перехід між режимами;
- функція перемикавання «на льоту» адаптована під мікроконтролери;
- робота в режимах з постійним струмом (CC) і постійною напругою (CV) підтримує заряд акумулятора, мінімізує кількість зовнішніх компонентів;
- багаторівневий захист від перевантаження за струмом забезпечує надійну експлуатацію;
- зовнішнє зміщення дає змогу мінімізувати втрати потужності, збільшити ефективність;
- режим ефективної роботи в режимі малих навантажень дає змогу підвищити ефективність і збільшити термін служби акумулятора;
- розширений захист від збоїв забезпечує надійну експлуатацію;
- синхронізація частоти дає змогу зменшити ЕМЗ;
- розмивання частоти також дає змогу зменшити ЕМЗ;
- контроль вхідного і вихідного струму покращує керованість системи;
- можливість каскадування і розподілу струму забезпечує масштабованість схеми.

Тестувальну плату (плата розробника) від Renesas для ISL81601 див. на [1].

Література:

1. www.renesas.com/eu/en/products/software-tools/boards-and-kits/eval-kits/isl81601evalz.html

CN

РАДІОМАГ
МЕРЕЖА МАГАЗИНІВ РАДІОДЕТАЛЕЙ

www.radiomag.com.ua

XLG-240/320-48-ABV – драйвери світлодіодів для сільськогосподарського освітлення 240 і 320 В

Опри те, що світлодіодне освітлення вже широко використовується в повсякденному житті, у тваринництві та сільському господарстві воно ще не так розвинене, хоча такі фактори, як довжина хвилі (ті колір) або рівень пульсації, необхідно враховувати при використанні освітлення. Тому компанія MEAN WELL розробила джерело живлення з постійною напругою на виході з диммінгом та без пульсації, яке підходить для птахівництва та тваринництва (рис. 1).

У зв'язку з тим, що тваринницькі ферми та птахоферми різняться в розмірах, освітлення в них розроблено з використанням світильників на постійній напрузі та у більшості випадків підключається відповідно до масштабу об'єкта. Крім того, необхідно враховувати фізіологічні особливості птахів, оскільки вони більш чутливі до температури навколишнього середовища та мерехтіння освітлення. Особливо, коли на ріст птахів великий вплив мають інтенсивність, тривалість

Компанія MEAN WELL постійно модернізує та розширює номенклатуру своєї продукції, впроваджуючи нові технології та орієнтуючись на потреби ринку, весь каталог продукції представлений на сайті Компанії CEA – офіційного дистриб'ютора MEAN WELL на території України.



Рис. 1. Драйвери світлодіодів для сільськогосподарського освітлення 240 і 320 В

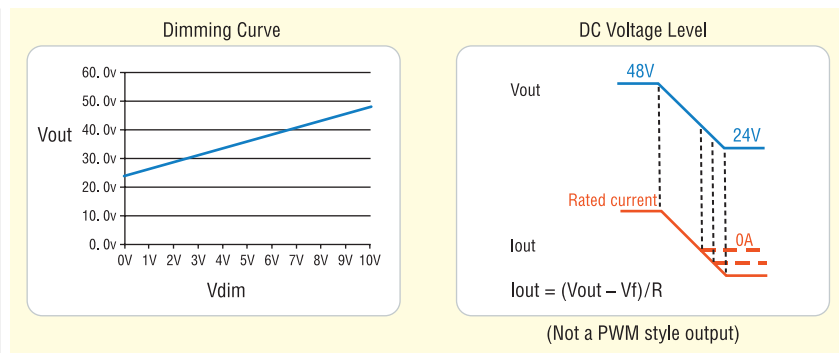


Рис. 2. Способи диммування рівня вихідної напруги

Таблиця 1. Джерела живлення для освітлення у фермерських господарствах				
Серія	Напруга на виході	Потужність	Матеріал корпусу	Тим диммінгу
NPF-200V	12/24/36/48 В	200 Вт	пластик	3 в 1
XLG-240-48-ABV	48 В	240 Вт	метал	
XLG-320-48-ABV	48 В	320 Вт	метал	

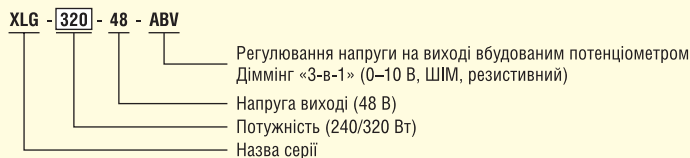


Рис. 3. Кодування моделей

і спектр освітлення. При правильному освітленні це може стимулювати їхній апетит, збільшити споживання їжі та прискорити ріст. Тому для освітлення необхідно використовувати диммюючий блок живлення без пульсації (рис. 2).

В традиційних джерелах живлення з постійною напругою на виході та вбудованим диммінгом зазвичай використовується схема з ШІМ (широко-імпульсною модуляцією), що часто викликає мерехтіння. Щоб вирішити цю проблему, MEAN WELL розробив джерело живлення з диммінгом без мерехтіння, що знижує ймовірність паніки у тварин викликані зміною освітленості навколишнього середовища та покращує швидкість їх росту і відкладання яєць.

Наразі MEAN WELL пропонує три типи потужностей для блоків живлення, що можуть використовуватись в сільськогосподарських освітлювальних приладах (табл. 1, рис. 3). Крім того, за допомогою підключення DAP-04 та DLC-02 ці джерела живлення можна інтегрувати в систему DALI для налаштувань різних сценаріїв, якщо клієнти потребують більш гнучкого та інтелектуального цифрового керування освітленням.

За додатковою інформацією, а також з питань придбання продукції MEAN WELL звертайтеся до офіційного дистриб'ютора MEAN WELL Enterprises Co., Ltd на території України – Компанії CEA: тел.: (044) 330-00-88, e-mail: info@sea.com.ua

Огляд сімейства Xilinx Artix UltraScale+ і перспективи застосування ПЛІС Xilinx початкового рівня

Ілля Тарасов

У статті описано стан продукції Xilinx у сфері відносно недорогих ПЛІС початкового рівня. З виходом сімейства Artix UltraScale+, виконаного за 16-нм технологією FinFET, набір таких ПЛІС розширився. І хоча велика увага приділяється 7-нм платформі Versal, дане сімейство, як і раніше, демонструє підтримку початкового сегмента, в якому доцільно застосування недорогих ПЛІС. У цій публікації розглянуто співвідношення ресурсів основних типів у сімействі Artix UltraScale+. Видно, що кількість зовнішніх виводів на одиницю логічної ємності менша, ніж у недорогих ПЛІС попередніх поколінь. Водночас абсолютні значення логічної ємності та продуктивності в задачах ЦОС в Artix UltraScale+ вищі, що дає змогу використовувати їх у таких застосуваннях, як введення й оброблення відео, хмарні та граничні обчислення і подібні до них. Наявність декількох підтримуваних сімейств недорогих ПЛІС дає змогу розробникам обирати апаратну платформу, що має оптимальне співвідношення основних ресурсів.

ВСТУП

Сімейство Artix UltraScale+ (далі — ArtixUS+, рис. 1) представлено чотирма мікросхемами, загалом заснованими на архітектурі UltraScale+, яка розвиває загальний підхід до уніфікації архітектури між сімействами, закладений у серії 7. Потрібно зазначити, що

недорогі ПЛІС 7-ї серії досі актуальні, зокрема через тривалу відсутність альтернативи (серед продуктів Xilinx) [1]. Виробник відзначає такі основні риси нового сімейства:

- 16-нм техпроцес TSMC FinFET+;
- продуктивність на одиницю потужності, що споживається, у 2.4 раза нижча, ніж у Artix 7;

- можливість зниження напруги живлення для регулювання співвідношення продуктивності та споживання;
- покращені можливості трасування на кристалі;
- приймачі-передавачі з режимами до 16 Гбіт/с;
- узагальнені тактові генератори для матриці логічних елементів і блоків SerDes;
- підтримка PCI Express Gen3x8, Gen4x2;
- найвища продуктивність у задачах цифрового оброблення сигналів у класі недорогих ПЛІС;
- продуктивність до 1860 GMAC/с з цілочисельними операндами та до 620 GFLOP/с з операндами з плаваючою комою (fp32);
- підтримка інтерфейсів до DDR4-2400;
- підтримка швидкостей становить до 2500 Мбіт/с для інтерфейсів MIPI та LVDS;
- вбудований системний монітор (вимірювання напруги, струму і температури кристала).

Загалом можна звернути увагу на розширення підтримки інтерфейсів для введення відеопотоку. Збільшення роздільної здатності відеокамер призвело до появи послідовних інтерфейсів MIPI, що використовують високошвидкісні диференціальні інтерфейси.

ХАРАКТЕРИСТИКИ ПЛІС СІМЕЙСТВА ARTIX ULTRASCALE+

У таблиці 1 наведено характеристики ПЛІС Artix UltraScale+ [2]. Щоб уникнути перевантаження таблиці інформацією, відомості про корпуси цих ПЛІС наведено в таблиці 2.

Поява сімейства Artix UltraScale+ була доволі несподіваною, оскільки

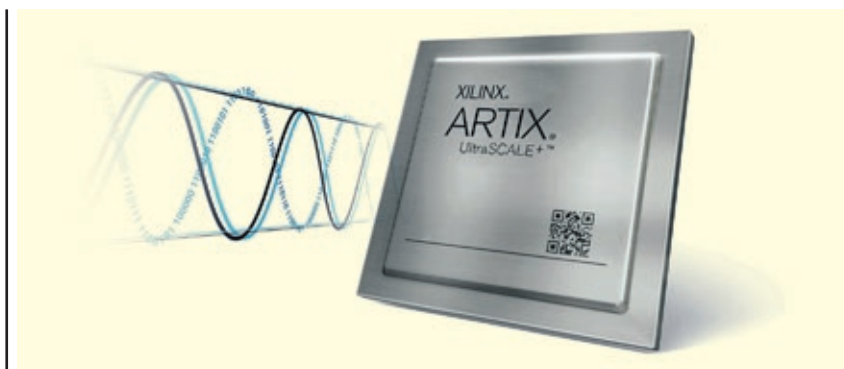


Рис. 1. ПЛІС Artix UltraScale+

анонси та рекламні матеріали Xilinx були сконцентровані навколо 7-нм серії Versal. З одного боку, сучасні техпроцеси асоціюються з кращими характеристиками, але з іншого — перевіреним 16-нм техпроцес означає, зокрема, і помірну вартість, а для систем початкового рівня граничні технічні характеристики не є обов'язковими. Можна зазначити, що навіть мінімальна ПЛІС Artix UltraScale+ має майже 100 000 еквівалентних логічних елементів (рис. 2). Колись це було максимальним об'ємом для ПЛІС Virtex 4. Очевидно, що об'єми й можливості ПЛІС постійно зростають, проте технічно можна випускати й мікросхеми, які за об'ємом можна порівняти з попередніми сімействами. З наведених відомостей видно, що актуальність Artix 7 і Spartan 7 загалом зберігається, оскільки сімейство Artix UltraScale+ не претендує на заміну ПЛІС об'ємом до 100 000 елементів. Наочне представлення співвідношення між логічним об'ємом і кількістю виводів показує, що ArtixUS+ має істотно більшу щільність внутрішніх компонентів на один зовнішній вивід. Це не зовсім відповідає сучасним вимогам збільшення пропускної спроможності зовнішніх інтерфейсів, однак дає змогу використовувати компактні корпуси.

На рисунку 3 показано діаграму, що відображає співвідношення між логічними комітками та блоками цифрового оброблення сигналів. На ній можна бачити, що ArtixUS+ є більш ЦОС-орієнтованим. Для об'єму 100 000 логічних комірок, де спостерігається перекриття з попередніми сімействами, кількість блоків DSP удвічі вища. При цьому мікросхема AU25P пропонує вже 1 200 таких блоків.

СУЧАСНІ ЗАВДАННЯ ДЛЯ ПЛІС ПОЧАТКОВОГО РІВНЯ

Апаратний склад ПЛІС сімейства Artix UltraScale+ дає змогу уявити ті завдання, на які вони орієнтовані, і оцінити можливості, що відкриваються.

Одним із напрямків, що активно розвиваються, і є вкрай привабливим для застосування ПЛІС, є обробка відео. Системи відеоспостереження, розпізнавання об'єктів (зокрема за допомогою нейромереж), а також технічний зір в автомобільному транспорті та промисловості, потокове мультимедіа тощо потрібні в багатьох галузях. З одного боку, великий ринок приваблює в цю сферу різні апаратні платформи, зокрема з розвинутою апаратною підтримкою об-

Таблиця 1. Характеристики ПЛІС сімейства Artix UltraScale+

Характеристики	AU10P	AU15P	AU20P	AU25P
Системних елементів	96 250	170 100	238 437	308 437
Тригерів у CLB (Configurable Logic Block — конфігурований логічний блок)	88 000	155 520	218 000	282 000
Таблиць істинності в CLB	44 000	77 760	109 000	141 000
Розподіленої пам'яті, Мбіт	1	2.5	3.2	4.7
Блоків пам'яті	100	144	200	300
Блокової пам'яті, Мбіт	3.5	5.1	7	10.5
Блоків CMT (Clock Management Tile — блок керування синхронізацією)	3	3	3	4
Виводів HP (макс.)	156	156	156	208
Виводів HD (макс.)	72	72	72	96
Секцій DSP	400	576	900	1 200
Системний монітор	1	1	1	1
Приймачів-передавачів GTH	12	12	—	—
Приймачів-передавачів GTY	—	—	12	12
PLL для приймачів-передавачів	—	—	6	6
Контролер PCIe Gen3x16	—	—	1	1
Контролер PCIe Gen3x16/Gen4x8/CCIX	1	1	—	—

Таблиця 2. Характеристики корпусів ПЛІС сімейства Artix UltraScale+

Корпус	Розміри корпусу, мм	AU10P	AU15P	AU20P	AU25P
		Виводів HD, HP, GTH, GT			
UVBA368	11.5×9.5	24, 104, 8, 0	24, 104, 8, 0	—	—
SBVB484	19×19	48, 156, 12, 0	48, 156, 12, 0	—	—
SFVB784	23×23	—	—	72, 156, 0, 12	96, 208, 0, 12
FFVB676	27×27	72, 156, 12, 0	72, 156, 12, 0	72, 156, 0, 12	72, 208, 0, 12

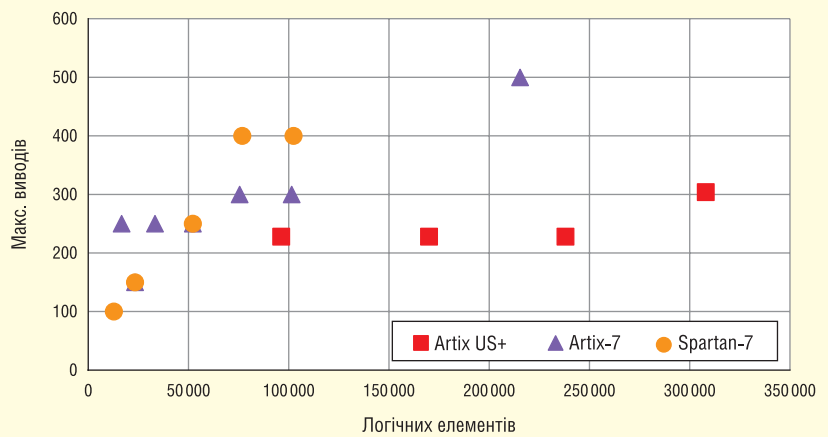


Рис. 2. Діаграма відповідності між ємністю ПЛІС сімейств початкового рівня і максимальною кількістю програмованих виводів

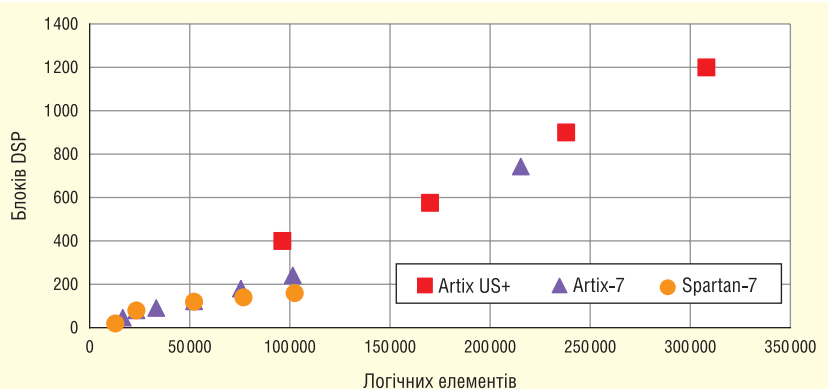


Рис. 3. Діаграма відповідності між ємністю ПЛІС сімейств початкового рівня і кількістю блоків цифрового оброблення сигналів

робки відео. Промислові комп'ютери на базі x86, ARM і GPU можуть забезпечити розв'язання багатьох масово потрібних завдань у сфері приймання та обробки відеопотоку. Водночас сильною стороною ПЛІС завжди були високопродуктивні обчислення з оригінальними алгоритмами на основі реконфігурованих ресурсів. Для розробників може стати інтересом реалізація нестандартних схем обробки, що не вкладаються в можливості масово виготовленої елементної бази. Невеликі корпуси і створення модулів на основі ПЛІС у досить компактному форматі дають змогу використовувати подібні системи як альтернативу промисловим комп'ютерам. Слід звернути увагу на формат модулів на основі ПЛІС розмірами 80×55 мм, який дедалі активніше поширюється.

Окремо наголошується на можливості реалізації в корпусі ПЛІС розміром 11.5×9.5 мм підтримки потокового відео формату 4K@60fps. У поєднанні з підтримкою PCI Express і Ethernet 1G/10G це дає змогу розробляти компактні перетворювачі інтерфейсів, зокрема між дротовими мережами та відео (HDMI, SDI, Display Port).

Можна також звернути увагу на розвиток напрямку граничних обчислень (Edge Computing). Під цим розуміють виконання основного обсягу обробки первинної інформації безпосередньо в місці її формування («на границі»). Попередником цього терміна можна вважати поняття «інтелектуальні датчики» — спочатку вони були модулями з інтегрованими мікроконтролерами, які давали змогу передавати не початкові аналогові сигнали, а результати їхньої обробки.

Збільшення продуктивності обчислень у компактному корпусі дає змогу переносити «на границю» дедалі більший обсяг операцій. Наприклад, до обробки в датчику можна відносити не тільки первинну цифрову фільтрацію

(яка загалом не зменшує трафік, який передають), а й спектральне та статистичне опрацювання відфільтрованих даних. У цьому випадку з погляду системної архітектури можна різко знизити навантаження на мережу (дротову або бездротову) між датчиком і системою збору даних. На практиці можливості ПЛІС цілком достатні для побудови вузлів рівня концентратора даних від десятків і навіть сотень первинних датчиків.

ВИСНОВОК

Розширення номенклатури ПЛІС початкового рівня завдяки додаванню мікросхем, вироблених на основі актуального 16-нм технологічного процесу, дає змогу доволі оптимістично оцінювати перспективи конфігуруємої апаратної платформи як такої. Такі напрямки, як приймання відео з цифрових камер і його обробка, граничні обчислення, системи цифрового бездротового зв'язку, автомобільна електроніка та системи промислової автоматизації, постійно потребують відносно недорогої, але водночас високопродуктивної елементної бази, яка дає змогу формувати обчислювальні системи із застосуванням нових алгоритмів, що створюються окремими колективами розробників.

Особливістю поточної непростой ситуації у світовій мікроелектроніці є тривала затримка постачання мікросхем. Тривалість такого стану справ важко прогнозувати, однак для розробників це призводить до суттєвих затримок між ухваленням рішень і постачанням елементної бази. Покращити ситуацію, що склалася, повною мірою навряд чи вдасться, проте можна рекомендувати орієнтуватися на повномасштабне моделювання продукції, що випускається на системному рівні, та ранню взаємодію з дистриб'юторами для уточнення плану постачання. **СН**

СІМЕЙСТВО AMD SPARTAN ULTRASCALE+

Компанія **AMD** представила сімейство ПЛІС AMD Spartan™ UltraScale+™, найновіше доповнення до широкого портфоліо оптимізованих за вартістю ПЛІС та адаптивних систем на кристалі (SoC) AMD. Забезпечуючи економічну та енергоефективну продуктивність для широкого спектра периферійних додатків з інтенсивним введенням-виведенням (I/O), пристрої Spartan UltraScale+ мають найвище в індустрії співвідношення введення-виведення до логічних комірок серед ПЛІС, виготовлених за 28-нм і меншим техпроцесом, забезпечують до 30% нижче загальне енергоспоживання порівняно з попереднім поколінням, а також містять найнадійніший набір функцій безпеки в оптимізованому за вартістю портфоліо AMD.

ПЛІС Spartan UltraScale+ оптимізовані для периферії, забезпечуючи високу кількість входів/виходів і гнучкі інтерфейси, які дозволяють легко інтегруватися та ефективно взаємодіяти з декількома пристроями або системами для вирішення проблем вибуху датчиків і підключених пристроїв.

Це сімейство пропонує найвище в галузі співвідношення кількості входів/виходів до кількості логічних елементів серед ПЛІС, побудованих за технологічним процесом 28 нм і нижче, з підтримкою до 572 входів/виходів і напругою живлення до 3.3 В, що забезпечує можливість підключення до будь-яких пристроїв для периферійного зондування та керування. Перевірена 16-нм технологія та підтримка широкого спектра корпусів, починаючи від 10×10 мм, забезпечують високу щільність портів введення-виведення в ультракомпактному корпусі. Широкий асортимент ПЛІС AMD також забезпечує масштабованість, починаючи з бюджетних ПЛІС і закінчуючи продуктами середнього та високого класу.

За оцінками, сімейство Spartan UltraScale+ забезпечує до 30% зниження енергоспоживання в порівнянні з 28-нм сімейством Artix™ завдяки 16-нм технології FinFET і посиленню можливостям підключення. Це перші ПЛІС AMD UltraScale+ з потужним контролером пам'яті LPDDR5 і підтримкою PCIe Gen4 x8, що забезпечують енергоефективність і можливості для клієнтів, орієнтованих на майбутнє.

www.amd.com



ТОВ «АЙПІ-КОМ»

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

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

☎ моб.: 098-980-48-38

📞 ill1982
✉ ill82@ukr.net
🌐 ip-com.net.ua

Короткий путівник бездротовими технологіями «Інтернету речей»

Частина 4. Великий радіус дії

Володимир Рентюк

Четверта й остання частина короткого путівника бездротовими IoT-технологіями охоплює пристрої з діапазонами покриття, які в багато разів перевищують описані в [1] за дальністю сталого зв'язку та характерні для розгортання бездротових мереж типу PAN ближнього радіуса дії. У цій статті, присвяченій системам бездротового зв'язку IoT великого радіуса дії, розглянуто стандарти зв'язку, що широко застосовуються та використовують як ліцензовані смуги радіочастотного спектра (NB-IoT і Cat-M1), так і такі, що не потребують ліцензування [2] (LoRa, Sigfox). Не згадана тут технологія Wi-Fi, яка також підходить для систем бездротового зв'язку «Інтернету речей» великого радіуса дії, вже була описана в [3].

Поняття «Інтернет речей» зазвичай співвідноситься зі стандартами, що розглянуті в другій частині цієї публікації [2] і регламентують саме IoT-рішення. Однак є безліч застосувань, у яких технологія «Інтернету речей» потребує значно більшої дальності зв'язку та зон покриття окремими пристроями. Такі мережі з обмеженою потужністю та великим покриттям часто згадуються під аббревіатурою LPWAN (Low-power Wide-area Network, енергоефективна мережа дальнього радіуса дії). Сфери застосування цих мереж включають: медицину (моніторинг стану пацієнтів амбулаторно і вдома), моніторинг ресурсів (контроль якості води, видобуток нафти і корисних копалин), промисловість (моніторинг і контроль на підприємствах, що розосереджені на великих площах), сільське господарство (здоров'я і місцезнаходження тварин, погода, стан рослин і водокористування). Також їх використовують у системах «розумного міста» (транспорт, паркування, якість повітря, облік комунальних послуг), під час моніторингу будівель і споруд тощо. (рис. 1). Крім того, мережі типу LPWAN можуть слугувати точками доступу для збирання

та передавання на великі відстані даних, які зібрані бездротовими датчиками, об'єднаними в мережеві кластери.

Зв'язок на далекі відстані раніше передбачав використання досить габаритних пристроїв з відносно високою потужністю споживання, які досить рідко мали живлення від батарей. Але досягнення в галузі модуляції, розробка і випуск інтегральних схем такої архітектури, як система на кристалі (System-on-Chip, SoC), значно збільшили діапазон роботи пристроїв із низьким енергоспоживанням. Крім того, застосування зв'язку на нижчих, субгігагерцових частотах радіочастотного спектра також дає змогу використовувати специфіку поширення радіосигналів, що може бути додатковою та істотною перевагою під час реалізації мереж дальнього радіуса дії.

Однак за нижчих частот ефективні антени будуть фізично більшими, ніж для радіопристроїв, що працюють у вищій області частот. Так, якщо на частоті 2.4 ГГц звичайна чвертьхвильова антена має довжину 31 мм, то на частоті 915 МГц довжина тієї самої антени становитиме вже близько 82 мм. Проте, для пристроїв з великою дальністю

зв'язку і низьким енергоспоживанням більші й ефективніші антени (якщо вони прийнятні з конструктивної точки зору) можуть виграно збільшити термін служби батареї — за рахунок зменшення потужності випромінюваного радіосигналу, необхідної для забезпечення радіозв'язком потрібної зони покриття.

Застосування IoT-пристроїв з великим радіусом покриття створює можливість для організації сервісів зв'язку на основі попередньої оплати, що дає змогу уникнути проблеми наявності повністю неактивних установок в особистих мережах з малою зоною покриття. Компанії з розвиненою інфраструктурою радіозв'язку і великою зоною покриття, як-от оператори мереж стільникового зв'язку, розгортають сервіси на великих територіях, використовуючи переваги мереж, які вже є в їхньому розпорядженні. Поступово ці нові сервіси, які не потребують високої швидкості передавання даних, охоплюють значні зони покриття, поширюючись не тільки на регіони, а й навіть на цілі країни.

Деяким компаніям для організації таких сервісів достатньо просто оновити програмне забезпечення для наявних базових станцій LTE (*Long-Term Evolution*, буквально — довготривалий розвиток). LTE — це стандарт бездротового високошвидкісного передавання даних для мобільних телефонів та інших терміналів, що працюють із даними. Часто позначається як 4G LTE. Ці рішення, що вимагають ліцензування за зайнятим спектром частот, передбачають різні рівні обслуговування і, відповідно, абонентської плати, тобто підійдуть на будь-який смак і гаманець. Комерційно доступне і вже інстальоване обладнання дає змогу також організувати простий вихід в Інтернет і зв'язок із хмарою. LTE є технологією, яка швидко змінюється,



Рис. 1. Технології LPWAN добре підходять для розподілених застосувань, як-от «розумне місто» (транспорт, паркування, якість повітря, облік комунальних послуг і стічних вод) або медицина (амбулаторний моніторинг стану пацієнтів)

і багато рішень в цій галузі вже доступні розробникам «Інтернету речей».

ЧАСТОТИ, ЯКИ НЕ ПОТРЕБУЮТЬ ЛІЦЕНЗУВАННЯ

LoRa

LoRa (*Long Range*) — це метод модуляції та однойменна мережева технологія, яку просуває відкрита некомерційна організація LoRa Alliance (консорціум). До альянсу входять багато провідних учасників ринку «Інтернету речей»: IBM, Semtech, Cisco, Inmarsat, Swisscom тощо. Технологія LoRa має дещо інший характер, ніж усі описані раніше протоколи бездротового зв'язку малого радіуса дії, тому приділимо їй у цьому огляді найбільшу увагу.

Як правило, під LoRa зазвичай мається на увазі тип модуляції, а під LoRaWAN — відкритий мережевий протокол LoRa, який не треба безпосередньо асоціювати з LPWAN (як уже зазначалося раніше, це будь-яка енергоефективна мережа дальнього радіуса дії). LoRaWAN використовується для передачі невеликих за обсягом пакетів даних на далекі відстані. Така мережа була розроблена спеціально для розподілених мереж телеметрії, міжма-

шинної взаємодії, або так званої M2M (*Machine-to-Machine*), і, власне, «Інтернету речей». Мережа LoRa є однією з найперспективніших бездротових технологій, що забезпечують середовище збору даних з різного устаткування: датчиків, лічильників і сенсорів.

Залежно від регіональних розподілів, у такій мережі використовуються радіочастоти субгігерцового діапазону в спектрах частот, що не потребують ліцензування, у діапазонах VHF (30–300 МГц), UHF (300 МГц–3 ГГц) або 800-930 МГц. Оскільки технологія LoRa застосовує нижчі радіочастоти, ніж стандарти, що використовують частоти 2.4 або 5 ГГц, вона відрізняється від них і за радіочастотними характеристиками, водночас сигнали LoRa можуть проникати глибоко в будівлі та в місця, недоступні більш високочастотним сигналам.

Модуляція LoRa сильно виділяється на тлі інших типів модуляції, представлених у цьому огляді, і є справжнім досягненням у галузі радіочастотних технологій. Більшість стандартів ближнього радіуса дії, як було сказано раніше, використовує той чи інший різновид модуляції FSK, OFDM, FHSS або DSSS з розширенням спектра. LoRa — це набір методів модуляції, запатентованих компанією Semtech, з розширенням спек-

тра за допомогою лінійної частотної модуляції CSS (*Chirp Spread Spectrum*). Загалом суть цього підходу полягає в перебудові носійної частоти за лінійним законом [1].

Завдяки такій перебудові сигнал стає стійким до ефекту Доплера (для мобільних користувачів) і багатопроменевого замирання у радіочастотному середовищі, що відбиває, а також отримує високий рівень завадостійкості. Крім того, за такого методу розширення спектра низькі бітові швидкості (до 300 біт/с) можуть уникнути впливу джерел вузькосмугових завад, таких як FSK-сигнали, і успішно відновитися на приймальній стороні. Це може дати лінії зв'язку LoRa перевагу в 15 дБ порівняно з вузькосмуговим FSK-сигналом у разі використання радіочастотних сигналів однакової потужності. Що стосується шумів, то LoRa може прекрасно і без проблем працювати нижче рівня навколишнього радіочастотного шуму і на 20 дБ або навіть ще нижче щодо вузькосмугових джерел завад — через посилення, властиве цьому виду модуляції з розширеним спектром.

Також технологія LoRa дає змогу використовувати різні комбінації швидкості передавання даних і модуляції. Вони можуть бути обрані виходячи з різних міркувань: наприклад, для збільшення швидкості передачі даних (до 40 Кбіт/с) з меншим діапазоном покриття, коли саме швидкість передачі є критичним фактором, або для досягнення більшої дальності зв'язку з низькою радіочастотною потужністю в зашумлених середовищах. Річ у тім, що при зниженні швидкості передавання даних на один біт припадає більше енергії, і його легше розпізнати на приймальному кінці — отже, за однієї й тієї самої потужності, що споживається, і чутливості приймача дальність зв'язку збільшується. Цікаво, що коефіцієнти розширення спектра LoRa, які називаються SF (*Spreading Factor*), під час передавання даних можуть бути активними в одному каналі, не заважаючи водночас один одному. Оскільки сигнал CSS простіше декодувати, ніж сигнали з іншими технологіями розширення спектра, то це можна зробити і з меншою обчислювальною потужністю. Що, своєю чергою, призводить до збільшення часу автономної роботи пристроїв «Інтернету речей», попри складніше рішення в частині модуляції.

Технологія LoRa фокусується насамперед на фізичних (PHY) рівнях (рис. 2), тобто нижніх у структурі мережі від LoRa Alliance. А для вищих рівнів мережі кон-

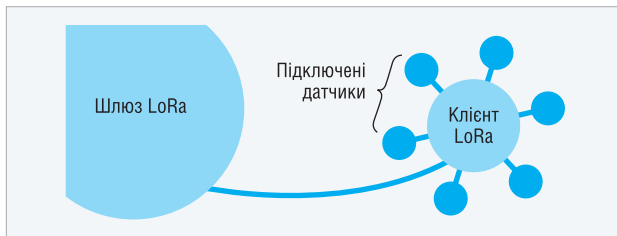


Рис. 2. Організації мережі LoRaWAN: датчики спочатку підключаються до клієнта LoRa і потім через шлюз LoRa передаються на наступний рівень

сорціум визначає специфікації, які залежать від регіону. Дані передаються по радіоканалах LoRa на шлюзи (також їх називають концентраторами), вузли стільників: до них підключаються кінцеві точки, через які пристрої IoT підключаються до Інтернету і хмарних або прикладних серверів. LoRa Alliance також визначає необхідне тестування і сертифікацію, щоб передбачити сумісність різних пристроїв LoRa в мережі. Для забезпечення безпеки мережі та даних у технології LoRa призначені захищені ключі зв'язку — як на рівні мережі, так і на рівні додатків, що стає необхідною умовою, коли радіосигнали поширюються у великій зоні покриття.

Мережа LoRa може бути розгорнута або як окрема мережева архітектура, або як пов'язана мережа в тих районах земної кулі, де є оператори мережі загального користування, — які за оплату забезпечують можливість пристроїв LoRa підключатися через шлюзи для передавання даних у хмару. Мережа на основі технології LoRa вперше була розгорнута в Європі, але вона успішно поширюється і на інші регіони. Крім компанії Semtech, мікросхеми LoRa у вигляді систем на кристали виробляють ST Micro і Microchip, що дає розробникам певну гнучкість у реалізації проєктів на базі технології LoRa.

Однак не можна забувати, що під час застосування цієї технології, навіть якщо використовується спектр частот, який не потребує ліцензування, необхідна сертифікація пристроїв (наприклад, на відповідність нормам, встановленим FCC Part 15.247) і підтвердження того, що конкретний пристрій дійсно відповідає специфікації LoRa. Для сертифікації зазвичай потрібні випробування на потужність передавача, девіацію частоти, займану смугу пропускання, гармоніки і спектральну густину потужності. Сертифікацію LoRa і попереднє тестування вже забезпечує ціла низка авторизованих випробувальних лабораторій.

SigFox

SigFox — це ще одна розробка в галузі технології LPWAN і однойменний сервіс підключення. Певною мірою вона схожа на LoRa, але використовує інший спосіб досягнення аналогічних цілей. Технологію SigFox розробила і запатентувала у 2009 р. невелика французька компанія (всього 80 осіб персоналу) з однойменною назвою, яка у сфері LPWAN співпрацює з низкою великих учасників ринку, таких як Texas Instruments, Silicon Labs і ON Semiconductor. По суті SigFox є пропріетарним протоколом бездротового мережевого зв'язку для IoT-пристроїв, що працюють у діапазонах до 1 ГГц, і надає мережу стільникових шлюзів, які забезпечують під'єднання до Інтернету і до хмари. Таким чином, це загалом схоже на комерційні мережі LoRa, але не націлене на приватні мережі, де компанія встановлює і сама ж підтримує всю інфраструктуру мережі.

SigFox — це однорангова радіальна, або, як її ще називають, зіркоподібна мережа зі шлюзами, які служать контр-

операми цієї мережі. Подібно до LoRa, SigFox має великий діапазон покриття і їй властиве низьке енергоспоживання. Але якщо розглядати SigFox як радіоканал для передачі даних, то вона радикально відрізняється від LoRa. Для передачі даних SigFox використовує надвузьку смугу частот, так звану Ultra Narrowband (UNB), з дуже низькою швидкістю передачі даних. Протокол SigFox дуже простий. Він не вимагає підтвердження (обміну сигналами для встановлення зв'язку, тобто процедури представлення або взаємного розпізнавання партнерів по зв'язку під час встановлення з'єднання) і передає пакети лише по 12 байт (плюс додаткові дані, як-от ідентифікатор радіозв'язку і час). Як уже було сказано, передача ведеться в дуже вузькій смузі частот, при цьому використовується D-BPSK-модуляція (диференціальна двійкова фазова маніпуляція) зі швидкістю 100 або 600 біт/с. Так, саме — 100 біт/с із шестисекундними циклами передачі. Однак така низька швидкість і вузький частотний спектр дають змогу економити енергію батарей і забезпечують великий радіус покриття технології.

Через вузьку смугу пропускання приймачі можуть мати дуже низький рівень власного шуму, тобто високу чутливість, що досягає близько -140 дБм, і оптичний бюджет близько -160 дБ у разі використання антен з посиленням. Це означає, що при застосуванні технології SigFox без кодування для «Інтернету речей», тобто за допомогою процесорів з невеликою обчислювальною потужністю, при низькій потужності передавача (14 дБм), низьких швидкостях передавання даних, коротких і нечастих, не більш ніж 140 повідомлень на день, можна досягти більшої зони покриття та більш тривалого часу автономної роботи вузла мережі. Завдяки всім цим характеристикам SigFox може бути найефективнішим рішенням з усіх наведених у цьому огляді технологій побудови LPWAN. Мережі SigFox відносно «Інтернету речей» почали свій розвиток у Франції, але вже використовуються в багатьох країнах світу з постійним розширенням.

ЧАСТОТИ, ЩО ПОТРЕБУЮТЬ ЛІЦЕНЗУВАННЯ

Будь-які наявні бездротові технології передавання даних мають такі характеристики, як дальність, швидкість і енергоефективність, причому одночасно підтримувати на високому рівні можуть лише дві з них. У рамках теми «Інтернету речей», що нас цікавить, найбільшу важливість, як правило, мають дальність і енергоефективність. Одним із відповідних для цього рішень є використання технології LTE.

Розглядаючи технологію LTE, ми зупинимося на застосуванні для потреб IoT спектра частот, що потребує ліцензування: він належить до мереж стільникового зв'язку, і оператори отримують дозвіл на доступ і його використання в рамках надання бездротової телефонії, а також голосових та інформаційних сервісів. Голосові виклики і дані такими мережами передають смартфони, якими нас уже не здивуєш. Ці «розумні» телефони здатні до високошвидкісної передачі даних, але не вирізняються тривалим часом автономної роботи, що вимагає майже щоденного заряджання їхніх батарей.

LTE-мережі стільникового зв'язку пропонують нові сервіси та низькошвидкісні режими передачі даних. З огляду на те, що стільникові мережі поширені практично повсюдно, такий підхід дає змогу пристроям із низьким енергоспоживанням передавати ними дані, маючи водночас великий діапазон покриття і тривалий термін служби батарей. Однак, як уже було сказано, економія батарей означає і меншу швидкість

передачі даних. Основними пропозиціями в рамках LTE для розробників «Інтернету речей» є відносно повільний стандарт NB-IoT і швидший Cat-M1, що дає відому гнучкість у прийнятті рішень.

NB-IoT

NB-IoT (*Narrow-Band Internet of Things*, вузькосмуговий Інтернет речей) — це доповнення до технології бездротового Інтернету, що являє собою стандарт стільникового зв'язку для пристроїв телеметрії з малими об'ємами передачі даних. Він був створений у рамках роботи над стандартами стільникових мереж нового покоління заснованим у 1998 р. консорціумом 3GPP (*3rd Generation Partnership Project*). Технологія NB-IoT є частиною ініціативи мобільного «Інтернету речей» (*Mobile IoT*) компанії GSMA, спрямованої на те, щоб надати користувачам недорогі лінії зв'язку з низьким енергоспоживанням для IoT-мереж із застосуванням стандартів стільникового зв'язку.

Технологія NB-IoT, як уже було сказано, має низьку швидкість передачі даних, але велике покриття — завдяки використанню можливостей LTE-мереж. Оскільки в такому випадку застосовується спектр частот, що вимагає ліцензування, за доступ до якого оператори стільникового зв'язку платять мільярди доларів, то вони, звісно, стягують плату і за використання їхніх каналів для передавання даних. Крім того, вони наполягають ще й на суворому тестуванні неспецифічної для них апаратури на відповідність вимогам стандартів і необхідної сертифікації. Що, звісно, також передбачає і гарантію високої надійності. Технологія NB-IoT пропонує покриття буквально в національному масштабі. Цього можна досягти завдяки не тільки використанню вже наявної інфраструктури стільникової мережі, а й особливостям вузькосмугового радіочастотного сигналу. Тож у результаті охоплення буде навіть більшим, ніж у випадку стільникової телефонії. NB-IoT передбачає швидкість передачі даних від 20 до 250 Кбіт/с — залежно від того, які ресурси LTE-мережі використовуються.

Оператори деяких стільникових мереж можуть додавати в них NB-IoT, лише оновлюючи програмне забезпечення для свого обладнання, тож дана технологія розгортатиметься досить швидко. Оскільки це лише розширення вже наявних стандартів, то випробувальне обладнання та програмне забезпечення для перевірки відповідності NB-IoT їхнім вимогам уже доступні.

Є й інструменти для моделювання та перевірки рішення. Крім того, розробникам пристроїв цієї технології вже доступні готові модулі, які забезпечують належне функціонування кінцевого обладнання в стільникових мережах.

Cat-M1

Cat-M1 — ще одна технологія бездротового зв'язку, розробивши яку, компанія Gemalto в партнерстві з Sequans Communications здійснили революцію у сфері підключення до «Інтернету речей» за технологією LTE. Як і у випадку з NB-IoT, тут також використовується спектр частот LTE-мережі стільникового зв'язку, що вимагає ліцензування. У напівдуплексному режимі технологія Cat-M1 забезпечує швидкість передачі даних до 1 Мбіт/с. Оскільки використовується стільникова мережа, то застосовується абонентська плата за відповідні швидкості передавання даних, але Cat-M1 передбачає більшу швидкість передавання даних, ніж пристрої NB-IoT. Деякі застосування, які потребують такої швидкості та охоплення на рівні наявної стільникової інфраструктури, знаходять у технології Cat-M1 оптимальне рішення.

Гібридні мережі

Гібридні мережі об'єднують протоколи мереж ближнього і дальнього (LPWAN) радіусів дії в загальну мережу. Локальні кластери IoT-пристроїв переносять дані на центральний вузол з використанням, наприклад, технологій Bluetooth або ZigBee, де їх агрегують і передають для подальшої ретрансляції в мережі з великим діапазоном покриття, як-от LoRa або Cat-M1. Це практична модель організації мереж збору даних про надані комунальні послуги, такі як водо- та газопостачання, облік електроенергії тощо. Вона використовується для збору даних з лічильників у вигляді IoT-пристроїв, що застосовують технології бездротового зв'язку ближнього радіуса дії, об'єднані в кластери та mesh-мережі, а потім періодично надсилають результати в хмару за допомогою бездротових або дротових мереж дальнього радіуса дії. Цей підхід дає можливість використовувати безліч недорогих пристроїв, які споживають мало енергії. Застосування таких гібридних рішень дає змогу організувати не тільки збір «великих даних» для аналізу, а й їхній моніторинг у реальному часі. Завдяки цьому можна, наприклад, підвищити якість надання комунальних послуг у рамках «розумних міст», а також отри-

ADC
TEAM

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

www.adcgr.com

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

мати ефективну технологію для сільськогосподарства і промисловості.

Розглянемо комбінацію технологій ZigBee і Cat-M1 у гібридній мережі для моніторингу та виставлення рахунків за комунальні послуги. В такому разі ZigBee може слугувати найнижчим фізичним шаром, пов'язуючи кілька десятків недорогих і близько розташованих лічильників води з надійною комірчатою мережею. Ця мережа передає дані в агрегатор на Cat-M1, який, своєю чергою, періодично під'єднується до стільникової мережі для надсилання звітів про спожиту воду і стоки. Швидкості передавання даних у такій комбінованій системі будуть низькими (можливо, лише один звіт на день на кожний лічильник), хоча в надзвичайних або виняткових ситуаціях, якщо лічильники є інтелектуальними і можуть змінювати режим роботи за командою, оновлення даних будуть доступні майже миттєво. Низькорівнева комірчата мережа на основі технології ZigBee досить надійна і здатна підтримувати зв'язок з більш віддаленими лічильниками в разі відмови вузла, що досягається шляхом динамічної реконфігурації мережі. З'єднання Cat-M1 має надійність на рівні стільникової мережі, а будь-яке втручання і можливу втрату даних можна швидко усунути завдяки ретельно контролюваному інтерфейсу стільникової системи, що застосовується в рамках «Інтернету речей».

Візьмемо інший приклад, щоб показати можливості використання гібридної IoT-мережі в рамках сільськогосподарського підприємства, а саме в складі контрольно-вимірального обладнання для системи зрошення. Як датчики витрати води в насосах, трубах і зрошувальних пристроях, а також як датчики руху і деформації опорних конструкцій можуть застосовуватися пристрої з Bluetooth або ZigBee. Припустимо, що вони живляться за рахунок збору вільної енергії (*energy harvesting*) — наприклад, використовуючи енергію води, що циркулює в системі поливу. IoT-пристрої повідомляють поточні дані про умови функціонування в мережу дальнього радіуса дії і далі в інтегроване програмне забезпечення керування фермою в хмарі. Таким чином, контроль і керування подачею води для зрошення здійснюються на основі вартості енергії, поточних і прогнозованих погодних умов з урахуванням вологості ґрунту тощо. Фермер, де б він не перебував, може отримувати звіти на смартфон і точно знати, коли система поливу не працює, або — в тому разі, якщо ціна

на електроенергію змінюється — визначити інші умови вирощування сільськогосподарських культур з використанням поточних даних.

ВИБІР БЕЗДРОТОВОЇ ТЕХНОЛОГІЇ ДЛЯ ПРОЄКТУ

Цей огляд не буде повним без згадки про те, що повинен зробити розробник для впровадження свого IoT-пристрою з використанням призначеного для користувача протоколу на будь-якій ділянці спектра частот, яка потребує або не потребує ліцензування. Такі продукти присутні на ринку вже багато років, і деякі з'явилися ще до того, як «Інтернет речей» з концепції перетворився на технологію, яку можна реалізувати на практиці, і його почали застосовувати у сфері медицини, для моніторингу будівель і споруд та в цілому ряді інших застосувань. Що стосується можливостей для організації каналів передачі даних, то сучасним розробникам доступний широкий вибір. Якщо говорити про бездротові технології IoT, які є темою цієї серії статей, то, наприклад, у США є багато частот, що відрізняються від звичайних і не потребують ліцензування, в діапазоні 915 МГц, 2.4 ГГц і 5.7 ГГц. Тому в рамках нормативних вимог FCC CFR 47 Part 15, тобто для використання з обмеженим регулюванням у частині характеристик сигналу, доступні десятки діапазонів. При цьому виділено певні смуги для медичних пристроїв «Інтернету речей» конкретного призначення.

Залежно від цільового ринку і необхідного спектра частот розробник може вибрати потрібні типи модуляції і бездротові протоколи для задоволення тих чи інших ключових вимог до своїх IoT-пристроїв. При цьому зараз доступні широкі можливості для виготовлення пристроїв під особливі вимоги замовників, але в цьому випадку передбачено менше стандартних рецептів, тому перевірка і тестування кінцевих продуктів будуть виконуватися з використанням більш універсального тестового обладнання та програмного забезпечення. Заглиблення в ці питання, потрібне більш досвідченим розробникам, — це вже тема для окремої статті.

ВИСНОВОК

Незалежно від того, ближнього чи великого радіуса дії пристрій, чи працює він у ліцензованому або такому,

що не потребує ліцензування, діапазоні частот, «Інтернет речей» безумовно стане важливою частиною нашого життя вже протягом найближчого десятиліття. Це пов'язано з тим, що він відкриває багато нових можливостей, які забезпечуються саме завдяки недорогому бездротовому підключенню. Використовуючи свій потенціал, «Інтернет речей» може не лише покращити якість життя людей і підвищити ефективність виробництва та продуктивність праці, а й врятувати багато життів. Розробники обладнання та пристроїв у цьому напрямі техніки та технологій знаходять все нові й нові творчі застосування для недорогих автоматизованих комунікацій. Тому їм важливо знати про доступні зараз бездротові технології «Інтернету речей». Це допоможе не тільки розробляти і тестувати нові пристрої, а й швидко виводити їх на ринок, до того ж з гарантією надійної роботи і сумісності функціонування з іншим обладнанням.

Безсумнівно, конкуренція між технологіями і виробниками може зіграти на руку як розробникам, так і користувачам інтелектуального, або смартобладнання, в тому числі підключеного до IoT. Однак при цьому не варто забувати, що миттєва вигода від невиваженої переваги однієї з технологій може створити багато проблем у майбутньому. Недарма англійське слово *smart* означає не тільки «розумний, інтелектуальний», а й те, що може викликати пекучий біль.

Як було сказано в першій частині цієї серії статей, у путівнику не ставилося завдання осягнути неосяжне — читачам було дано тільки загальну інформацію щодо доступних рішень бездротового зв'язку для «Інтернету речей». Для отримання більш детальних відомостей слід звертатися до чинних на поточний момент міжнародних версій відповідних офіційних стандартів і протоколів, обов'язково враховуючи накладені на них національні обмеження.

Література:

1. Рентюк В. Короткий путівник бездротовими технологіями «Інтернету речей». Частина 2. Близький радіус дії // CHIP NEWS. 2023. № 5.
2. Рентюк В. Короткий путівник бездротовими технологіями «Інтернету речей». Частина 1. Мережі, шлюзи, хмари і протоколи // CHIP NEWS. 2023. № 4.
3. Рентюк В. Короткий путівник бездротовими технологіями «Інтернету речей». Частина 3. Wi-Fi // CHIP NEWS. 2024. № 1.

НВП «ТЕХНОСЕРВІСПРИВІД»

Авторизований сервіс-партнер Danfoss Drives в Україні

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



Офіційний представник в Україні



7-е покоління IGBT

Новий еталон
для електроприводів

www.semikron-danfoss.com

GENERATION
IGBT
7

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

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

Особливості

Нижча напруга насичення $V_{ce,sat}$

Підвищена здатність витримувати перевантаження до 175 °C

Втрати на комутацію і dv/dt оптимізовані для електроприводів

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

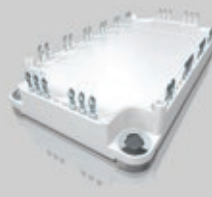
До 20% більша вихідна потужність або на 20% менші втрати потужності



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



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



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

IGBT 7-го покоління – практичний погляд на переваги електроприводів

Райнер Вайс (Rainer Weiss), Штефан Хаузер (Stefan Häuser), Semikron Danfoss
Переклад та редагування: Володимир Павловський, к.т.н, с.н.с.,
Інститут електродинаміки (ІЕД) НАН України

IGBT 7-го покоління на 1200 В є новою «робочою конячкою» у світі силової електроніки. Вони розроблені спеціально для застосування в електроприводах і мають чотири конфігурації виконання.

IGBT 7-го покоління мають чотири основні переваги порівняно з попередніми поколіннями. Окрім вищої надійності завдяки підвищеній стійкості до вологи, це менші статичні втрати ($V_{ce,sat}$), підвищена здатність до перевантаження та менший фізичний розмір чипів.

Завдяки меншому розміру чипів IGBT 7-го покоління для того ж номінального струму, тепер можна дозволити більший номінальний струм чипа в тому самому корпусі модуля. Це дає можливість використовувати IGBT 7-го покоління у двох варіантах: або з тим самим номінальним струмом, але меншою площею чипів, або з тією самою площею чипів, але зі збільшеним номінальним струмом.

Статичні втрати в IGBT 7-го покоління менші, тоді як втрати на перемикання подібні до втрат у модулях 4-го покоління. Тому загальні втрати IGBT 7-го покоління також менші. Однак чип IGBT 7-го покоління має вищий тепловий опір $R_{th(j-c)}$ через менший розмір і, отже, гірше охолоджується. Все ж менші втрати в IGBT підвищують ефективність роботи і полегшують охолодження напівпровідникових модулів.

У цій статті детально розглянуті практичні приклади реалізації IGBT 7-го покоління та підкреслені одержані переваги. Приклади базуються на двох із чотирьох силових модулів SEMIKRON, оснащених IGBT 7-го покоління. Це SEMiX 3 Press-fit і MiniSKiiP; обидва є базовими виконаннями в застосуваннях для електроприводів. В обох варіантах виконання діапазон номінального струму можна розширити шляхом заміни IGBT 4-го покоління на IGBT 7-го покоління.

Максимальний номінальний струм в IGBT 7-го покоління для SEMiX 3 Press-fit становить 600A з напівмостом SEMiX603GB12E4. З використанням IGBT 7-го покоління максимальний номінальний струм збільшується на 16%, до 700 A з напівмостом SEMiX703GB12M7, і також доступна версія напівмосту SEMiX603GB12M7 на 600 A.

У серії MiniSKiiP ми розглянемо найбільш потужні шести-блокові модулі. Модуль SKiiP39AC12T4V1 на основі IGBT 4-го покоління оснащений 3-фазним інвертором з номінальним струмом IGBT 150 A. При переході на IGBT 7-го покоління в одному виконанні стають доступними два варіанти.

Перший полягає в установці того самого номінального струму чипа, щоб зробити SKiiP39AC12T7V1 з номінальним струмом 150 A. Як альтернативу в модуль SKiiP39AC12T7V10 можна вбудувати чип IGBT такої ж площі, але з більшим номінальним струмом. Це робить його силовим модулем, який розрахований на струм у 200 A. Звичайно, MiniSKiiP з IGBT 7-го покоління також доступний в інших типових виконаннях електроприводів, наприклад, таких як CIB (*Converter-Inverter-Brake, конвертер-інвертор-гальмо*) або напівмостові конфігурації.

ЗАСТОСУВАННЯ ЕЛЕКТРОПРИВОДІВ

У застосуваннях електроприводів зазвичай ланкою, що обмежує потужність, є модуль IGBT. Електричні машини, як правило, мають коефіцієнт потужності ($\cos\phi$) від 0.7 до 0.95. Тому під час кожного циклу перемикання в електроприводах електродвигунів струм через модулі IGBT протікає довше, ніж через зустрічно-паралельні діоди зі зворотним увімкненням. Саме тут IGBT 7-го покоління можуть максимально використати свої переваги.

Перш ніж приступити до детального порівняння, давайте ближче розглянемо ще одну перевагу IGBT 7-го покоління: їх покращену електромагнітну сумісність в системах електроприводу. Швидкість зміни напруги (dv/dt) на виході інвертора сучасних IGBT-чипів зазвичай відносно висока через їх швидке перемикання. Разом із ємністю кабелю ця зміна напруги викликає паразитний ємнісний струм витoku I_{cap} . Він протікає через ємність екранів кабелю електродвигуна та ємність обмотки електродвигуна до потенціалу «землі». Цей струм розраховують як $I_{cap} = (C_{cable} + C_{motor}) \cdot dv/dt$; він діє у вигляді сплесків струму при кожному перемиканні модуля.

Це призводить до виникнення кондуктивних електромагнітних завад та завад, що випромінюються електроприводом. Такі завади потрібно зменшити до певних регламентованих значень відповідно до вимог норм і стандартів, яких необхідно дотримуватися. Для цього використовуються спеціальні електромережні протизавадні RFI-фільтри (*Radio Frequency Interference, RFI*). Крім того, достатньо великий ємнісний струм додається до вихідного струму електроприводу електродвигуна, і з-за цього, можливо, доведеться вибрати електропривод з більшим номінальним струмом. До того ж ємнісні струми призводять до додаткових втрат потужності в напівпровідниковому модулі. Нарешті, високе значення dv/dt може також викликати струми в підшипниках

електродвигуна, що призведе до передчасного ламання підшипників і необхідності використання дорогих ізолюваних підшипників.

Зменшення значення dv/dt зменшить ємнісні струми та всі вищезгадані ризики. З іншого боку, повільніше перемикання призведе до збільшення втрат при перемиканні, знижуючи ефективність роботи електропривода електродвигуна. Отже, вигідно застосовувати відносно повільний IGBT з низькими втратами на перемикання. Тут IGBT 7-го покоління серйозно допоможе досягти низьких значень dv/dt і одночасно прийнятних втрат на перемикання.

ПОВЕДІНКА МОДУЛІВ ПІД ЧАС УВІМКНЕННЯ

Коли IGBT увімкнено, струм поступає на цей IGBT від додаткового зворотно увімкненого діода, а коли він вимкнений — навпаки. Тому швидкість перемикання IGBT не тільки впливає на рівень електромагнітних завад, але також на втрати перемикання у діоді та IGBT.

Як правило, швидше увімкнення IGBT зменшує втрати IGBT і водночас збільшує втрати діода. Оскільки втрати діодів набагато нижчі, ніж в IGBT, загальні втрати визначаються втратами в IGBT. Однак втратами у діодах не можна повністю нехтувати. Опір у колі затвора визначає швидкість перемикання IGBT. Щоб знайти швидкість, оптимізовану з точки зору електромагнітної сумісності (EMC), корисно спочатку визначити опір у колі затвора, з яким можна отримати найвищу швидкість перемикання. Як для IGBT 4-го покоління, так і для IGBT 7-го покоління цей параметр визначають для холодного (за кімнатної температури) p - n -переходу та відносно низьких значень струму.

Температурний вплив у IGBT 7-го покоління набагато менший, ніж у його попередника. Для прикладу ми порівняємо швидкість зменшення напруги у двох модулів SEMiX 3 Press-fit з номінальним струмом 600 А та IGBT 4-го і 7-го поколінь. Порівняння стосується системи з напругою ланки постійного струму 600 В і струмом навантаження 300 А. При температурі p - n -переходу 150 °C і резисторі номіналом 2 Ом у колі затвора обидва покоління показують значення dv/dt 2.5 кВ/мкс. При 25 °C швидкість зменшення напруги IGBT 7-го покоління зростає до помірного значення 4.2 кВ/мкс, тоді як в IGBT 4-го покоління вона перевищує 15 кВ/мкс.

Швидкість зменшення напруги $dv/dt = 4.2$ кВ/мкс є прийнятним значенням для застосування в електроприводах загального призначення. Оскільки найвища швидкість має місце при низьких температурах, опір резистора у колі затвора слід вибирати найменшим з можливих за кімнатної температури. Щоб обмежити швидкість зменшення напруги значенням 4.2 кВ/мкс, резистор затвора IGBT 4-го покоління потрібно збільшити з 2 до 4.8 Ом. Втрати на комутацію збільшуються зі збільшенням температури p - n -переходу, тому порівняння таких втрат слід проводити при температурі 150 °C. Тут збільшення опору резисторів у колі затвора збільшує втрати на увімкнення IGBT для IGBT 4-го покоління з 30 до 48 мДж (+60%). Як пояснювалося вище, втрати у діодах зменшуються зі збільшенням втрат при увімкненні IGBT; у цьому випадку з 20 до 17 мДж (-20%).

Через домінування втрат IGBT сумарні втрати на увімкнення одного IGBT 4-го покоління збільшуються на 28%, до 64 мДж для швидкості зменшення напруги 4.2 кВ/мкс, порівняно зі швидкістю 15 кВ/мкс. Це трохи більше, ніж в IGBT 7-го покоління при 62 мДж. На рисунку 1 показано точну

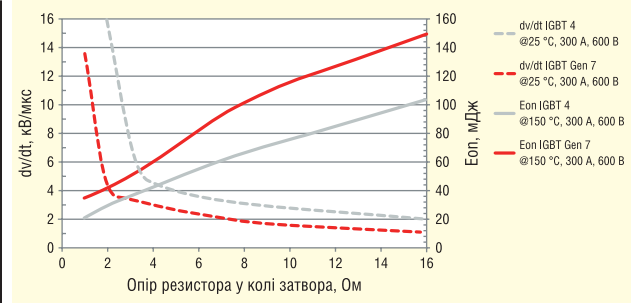


Рис. 1. Залежність швидкості зменшення напруги dv/dt і втрат на увімкнення E_{on} від опору резистора $R_{gate,on}$ у колі затвора силового модуля

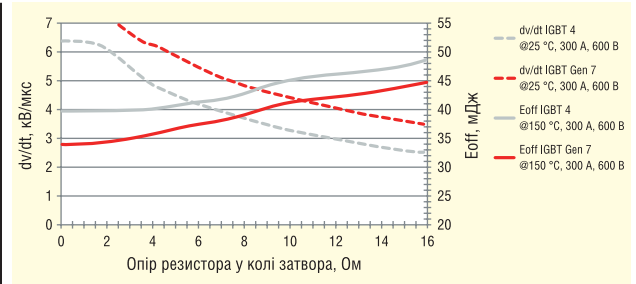


Рис. 2. Швидкість наростання напруги dv/dt і втрати на вимкнення E_{off} залежно від опору резистора $R_{gate,on}$ у колі затвора силового модуля

залежність швидкості зменшення напруги dv/dt при 25 °C і втрат на увімкнення при 150 °C від номіналу резистора у колі затвора.

ПОВЕДІНКА МОДУЛІВ ПІД ЧАС ВИМКНЕННЯ

Під час вимкнення швидкість зростання напруги dv/dt збільшується зі збільшенням струму. Тому великий струм навантаження спричиняє великі електромагнітні завади. З пониженням температури p - n -переходу швидкість зміни напруги збільшується, як це відбувається під час увімкнення IGBT, але під час вимкнення такий ефект набагато менш виражений. Загалом градієнти напруги також менші, коли IGBT вимикається, ніж коли він вмикається. Однак вплив опору затвора на швидкість наростання напруги також дуже обмежений. Підсумовуючи, можна сказати, що умови генерації найбільших електромагнітних завад — це низька температура та великий струм модуля. Це стосується IGBT як 4-го покоління, так і 7-го покоління.

Таким чином, порівнюючи силові модулі SEMiX 3 Press-fit з номінальним струмом 600 А, можна зробити висновок, що швидкість наростання напруги при вимкненні IGBT 7-го покоління приблизно на 20% вища, ніж у IGBT 4-го покоління. Щоб одержати однаковий рівень електромагнітних завад для IGBT обох поколінь, у коло затвора модуля SEMiX603GB12M7 необхідно ставити резистор з більшим опором. Це збільшить втрати на вимкнення. Метою є обмеження швидкості наростання напруги до 4.2 кВ/мкс, щоб урівняти її зі швидкістю зменшення напруги під час увімкнення модуля. Для IGBT 4-го покоління потрібен резистор з опором 7.1 Ом у колі затвора, у порівнянні з опором 12 Ом для IGBT 7-го покоління. Це призводить до близьких значень втрат при вимкненні — 41 мДж для SEMiX603GB12E4 і 42 мДж для SEMiX603GB12M7, як показано на рисунку 2.

МЕНШІ ВТРАТИ, ВИЩА ПОТУЖНІСТЬ

Загальні втрати на перемикання є сумою втрат на вмикання та вимикання IGBT і втрат на перемикання зворотно увімкненого діода. Якщо швидкість зміни напруги обмежена значенням 4.2 кВ/мкс, загальні втрати на перемикання обох поколінь IGBT з однаковим номінальним струмом модуля на 600 А приблизно однакові: 104 мДж для IGBT 7-го покоління і 105 мДж для IGBT 4-го покоління. Однак завдяки нижчій на 20% напрузі насичення $V_{ce,sat}$ загальні втрати потужності IGBT 7-го покоління нижчі. Для прямого порівняння подивимось на втрати потужності з попередньо вибраними резисторами затвора, тактовою частотою ШІМ 2 кГц і максимальною температурою $p-n$ -переходу 150 °С.

Таке порівняння показує, що IGBT 7-го покоління може зменшити втрати на 13% — з 504 Вт на один ключ до 439 Вт на один ключ (SEMiX603GB12M7p), або на 19% — до 409 Вт на один ключ (SEMiX703GB12M7p) (рис. 3).

Ці зменшені втрати безпосередньо перетворюються на економію в рахунку за електроенергію. У наведеному вище прикладі економія на втратах становить 95 Вт на один ключ. Враховуючи, що вартість електроенергії складає ≈ 0.16 євро/кВт-год (з ПДВ, ціна взята з урахуванням тарифів на електроенергію для побутових споживачів (промислових підприємств) на початок 2024 року) і 4000 годин роботи на рік, це призводить до гарантованої економії 365 євро щороку ($6 \cdot 95 \text{ Вт} \cdot 4000 \text{ год/рік} \cdot 16 \text{ центів/кВт-год} \approx 365 \text{ євро/рік}$, з ПДВ). Крім цієї очевидної переваги, також можна зменшити витрати на охолодження. Втрати, яких немає, не нагрівають напівпровідники і не потребують зусиль по їх розсіюванню.

Подальшої економії можна досягти конструкцією радіатора або охолодженням шафи, де встановлено електропривод електродвигуна. В іншому варіанті використання економічна доцільність досягається шляхом зміни конфігурації корпусу і більшої густини потужності на рівні системи: корпус того ж розміру можна розрахувати на більший номінальний струм інвертора, враховуючи рекомендовану температуру $p-n$ -переходу у 150 °С як проєктне обмеження. Струм можна збільшити з 473 А для модуля SEMiX603GB12E4 до 506 А (+7%), використавши модуль SEMiX603GB12M7. З модулем SEMiX703GB12M7 струм навіть збільшується до 536 А (+13%). На рисунку 4 показано детальне порівняння для тактової частоти ШІМ у 2 кГц.

Переходячи до серії MiniSKiiP, ми зробимо пряме порівняння трьох вищезазначених шестиблоккових модулів на основі прикладних даних, яке показує переваги IGBT 7-го покоління: для однакового струму навантаження (тут 100 Arms) більший чип на 200 А зменшує втрати на 12 Вт на один ключ порівняно з меншим чипом на 150 А 7-го покоління. Це складає від 5 до 10% загальних втрат у IGBT залежно від тактової частоти ШІМ (рис. 5).

Потужність розсіювання IGBT 7-го покоління у MiniSKiiP значно нижча, ніж у IGBT 4-го покоління, тобто 15% (12 Вт) при 2 кГц для того самого струму чипа, збільшуючись навіть до 24% (19 Вт) для більшого чипа. Це економить витрати на електроенергію понад 45 євро на рік для одного користувача, на основі вартості електроенергії ≈ 0.16 євро/кВт-год (з ПДВ, ціна взята з урахуванням тарифів на електроенергію для побутових споживачів (промислових підприємств) на початок 2024 року) та 4000 год. роботи на рік ($6 \cdot 19 \text{ Вт} \cdot 4000 \text{ год/рік} \cdot 16 \text{ центів/кВт-год} \approx 73 \text{ євро/рік}$, з ПДВ) порівняно з IGBT 4. Крім того, менша потужність розсіювання дозволяє збільшити струм навантаження або так-

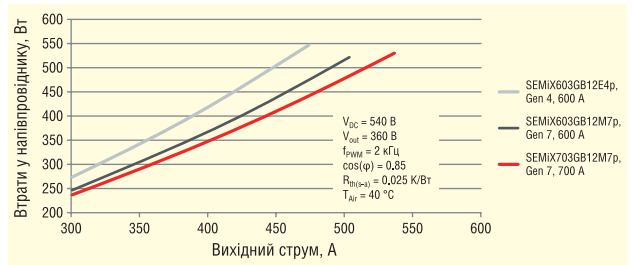


Рис. 3. Втрати у напівпровіднику залежно від вихідного струму

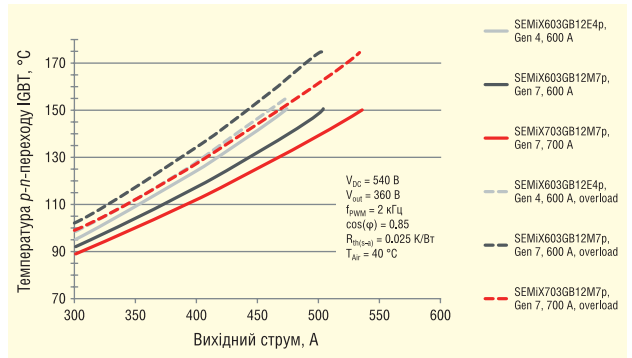


Рис. 4. Залежність температури $p-n$ -переходу IGBT від вихідного струму

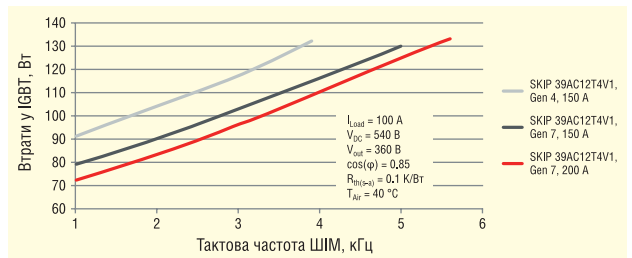


Рис. 5. Залежність втрат у IGBT від тактової частоти ШІМ

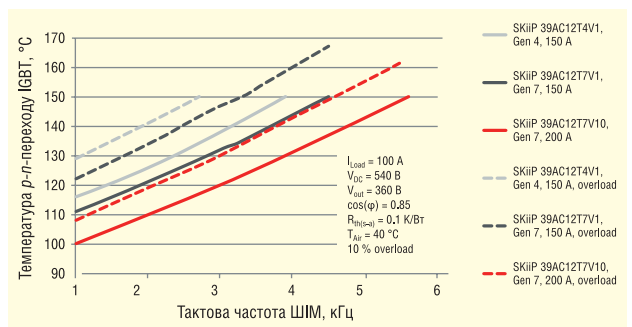


Рис. 6. Залежність температури $p-n$ -переходу IGBT від тактової частоти ШІМ

тову частоту ШІМ. Так, для струму навантаження 100 Arms з IGBT 4-го покоління максимально можлива тактова частота складає лише 3.9 кГц. Для IGBT 7-го покоління, які розраховані на такий же номінальний струм чипа, ця частота підвищується до 4.5 кГц, а з більшим струмом чипа — навіть до 5.6 кГц (рис. 6).

Обмежувальним фактором є максимально допустима температура $p-n$ -переходу 150 °С для безперервної роботи чипа IGBT. Ще однією альтернативою може бути збільшення безперервного струму навантаження зі 115 до 122 А (для 7-го покоління на номінальний струм 150 А), або навіть

до 138 А (для 7-го покоління на номінальний струм 200 А) для тактової частоти ШІМ 2 кГц.

ДОДАТКОВА ПЕРЕВАГА: ПЕРЕВАНТАЖЕННЯ

Використовуючи IGBT 4-го покоління, не можна допускати перевантаження по струму, оскільки з міркувань безпеки не рекомендується перевищувати температуру 150 °С р-п-переходу. Однак для IGBT 7-го покоління можна додатково підвищити температуру р-п-переходу до 175 °С впродовж однієї хвилини. Заміна SEMiX603GB12E4 на IGBT 7-го покоління дає можливість збільшити струм перевантаження до 592 А для SEMiX603GB12M7 та до 632 А для SEMiX703GB12M7 (рис. 7).

Для MiniSKiiP можна впродовж однієї хвилини використовувати додатковий струм перевантаження, який в 1.12 або 1.14 раза перевищує безперервний струм навантаження (рис. 8).

Якщо експлуатація IGBT 4-го покоління передбачає струм перевантаження, безперервний струм необхідно зменшити на 9%, від 115 до 105 А, щоб зарезервувати можливість для 10% короткочасного перевантаження по струму впродовж 1 хвилини.

ВИСНОВОК

IGBT 7-го покоління мають ряд переваг для застосування у електроприводах порівняно з попередніми версіями IGBT. Окрім підвищеної надійності завдяки новій технології чипів, менший розмір, менші статичні втрати та оптимізація процесів увімкнення і вимкнення силового ключа дозволяють досягти вищої густини потужності в заданих корпусах силових модулів.

Зокрема, одним з основних обмежень у розробках електроприводів є швидкість зміни напруги dv/dt на виході інвертора. IGBT 7-го покоління демонструють менші втрати потужності при фіксованому значенні dv/dt порівняно з IGBT 4-го покоління. Як наслідок, це одразу ж економить загальну вартість експлуатації (*Total Cost of Ownership, TCO*). Як альтернатива, у заданій конструкції менші втрати потужності можна перетворити на вищу вихідну потужність або вищу частоту ШІМ. Крім того, у специфікацію інвертора можна додати вбудовану здатність до перевантаження без необхідності мати спеціально спроектований резерв, як у випадку з IGBT 4. Модулі IGBT 7-го покоління наразі доступні у виконаннях SEMiTOP E1/E2 (0.37–30 кВт), MiniSKiiP (0.37–110 кВт), SEMiX 6 Press-fit (15–75 кВт) і SEMiX 3 Press-fit (55–250 кВт і вище) (рис. 9).

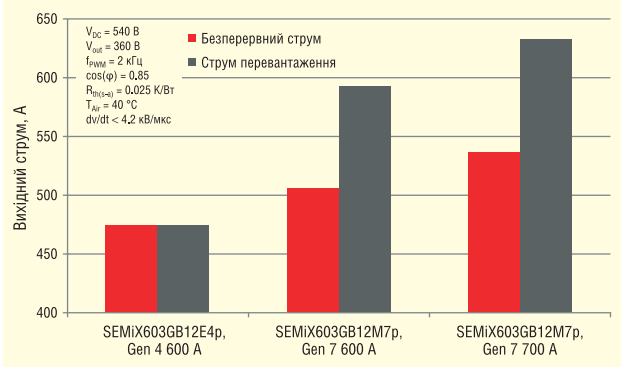


Рис. 7. SEMiX 3 Press-fit: безперервний струм і струм перевантаження для максимальної температури р-п-переходу IGBT

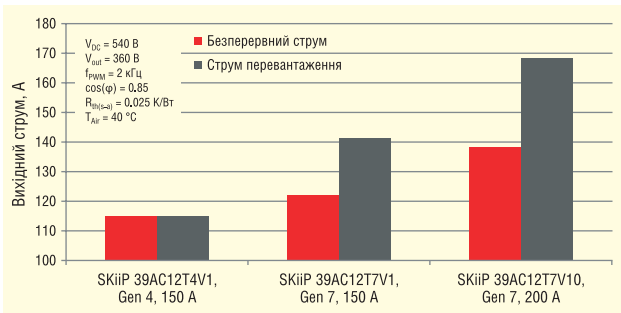


Рис. 8. MiniSKiiP: безперервний струм і струм перевантаження для максимальної температури р-п-переходу IGBT

Варіанти виконання MiniSKiiP і SEMiTOP без базової плати включають шестиблокову і СІВ топології; MiniSKiiP також охоплює напівмостові топології. Модуль SEMiX 6 Press-fit має конструкцію базової плати, яка підходить для СІВ і Sixpack. Модуль SEMiX 3 Press-fit — це напівмостовий модуль, який також має базову пластину. Модулі випрямляча у виконаннях MiniSKiiP і SEMiX доповнюють цей асортимент, щоб запропонувати повне рішення від Semikron Danfoss для електроприводів.

Більш детальну інформацію щодо продукції Semikron Danfoss можна отримати, звернувшись до офіційного дистриб'ютора в Україні — ТОВ НВП «Техносервіспривід»:

03057, м. Київ, пр-т Берестейський, 56, офіс 335, тел. +38 (044) 458-47-66, (067) 463-46-62, (095) 284-96-62,

e-mail: semikron@ukr.net, service_danfoss@ukr.net www.semismart.com.ua, www.tsdrive.com.ua CN



Модулі для електроприводів малої потужності

SEMiTOP E1/E2: 0.37–30 кВт

Модулі для електроприводів з потужністю від малої до середньої

MiniSKiiP: 0.37–110 кВт, SEMiX 6 Press-fit: 15–75 кВт

Модулі для електроприводів з потужністю від середньої до великої

SEMiX 3 Press-fit: 55–250 кВт

Рис. 9. Первинна лінійка продуктів SEMIKRON з використанням IGBT 7-го покоління

Переваги використання АЦП CTSD у прецизійних сигнальних колах

Абхілаша Кавлі (Abhilasha Kawle), Васім Шайх (Wasim Shaikh), Analog Devices

Розробники прецизійних сигнальних кіл стикаються з проблемою забезпечення необхідних характеристик шуму в застосуваннях із середньою смугою пропускання та часто зрештою доходять компромісу між цими характеристиками та точністю. Ми розглянемо проектування схеми сигнального кола на прикладі використання сигма-дельта АЦП з безперервним часом перетворення AD4134, що дає змогу зменшити розмір рішення та скоротити час виведення кінцевої продукції на ринок.

ВСТУП

У багатьох застосуваннях і алгоритмах цифрової обробки даних потреба в покращенні роздільної здатності та точності для всіх технологій перетворювачів зросла за останні два десятиліття. Обмеження роздільної здатності та точності АЦП було подолано завдяки використанню зовнішнього цифрового контролера, який витягував і видавав точніші результати за допомогою програмних методів, до яких належать усе-

реднення та оптимізовані схеми фільтрації. Щоб зменшити обсяг подальшої обробки в цифровому мікроконтролері або DSP, можна скористатися високопродуктивним прецизійним АЦП — це скоротить час оптимізації на цифровій стороні. Крім того, можна також використовувати дешевший мікроконтролер або DSP. Прецизійні АЦП набули широкого поширення в таких застосуваннях (див. рис. 1):

- промислове контрольно-вимірювальне обладнання: вимірювання

вібрацій, динамічних сигналів, вимірювання температури, тиску, механічної напруги, витрати, акустичний аналіз;

- медичне обладнання: електрофізіологія, аналіз крові, електрокардіограми (ЕКГ);
- оборонні застосування: гідроакустичні станції, телеметрія;
- тестування та вимірювання: аудіотести, тестове обладнання, аналіз якості електроенергії.

Вхідний аналоговий сигнал, який обробляється АЦП, є вихідним сигналом напруги або струму датчика або сигналом контуру керування зі зворотним зв'язком зі смугою пропускання до декількох сотень кГц. Формат і швидкість роботи цифрового виводу АЦП залежать від застосування і подальшого оброблення, що здійснюється цифровим контролером. Зазвичай розробники сигнальних кіл програмують швидкість передавання вихідних даних (ODR) АЦП

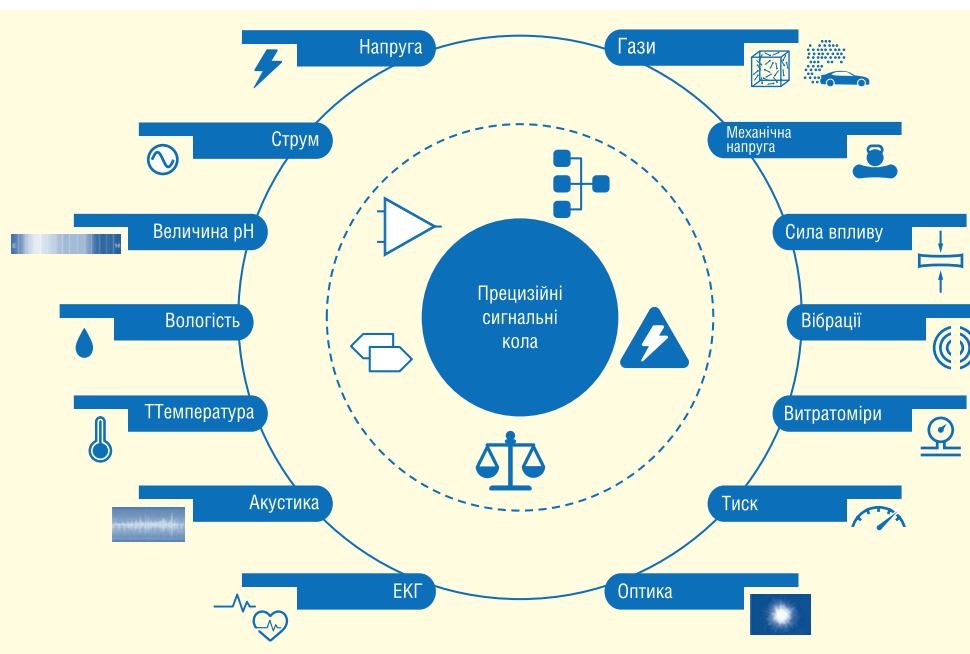


Рис. 1. Приклади використання прецизійних АЦП у сигнальному колі

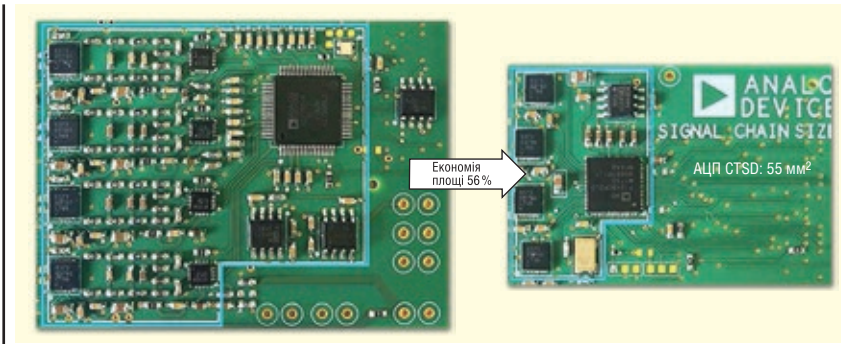


Рис. 2. Компактне рішення з новим і простим у використанні АЦП CTSD від ADI

відповідно до теореми Котельникова так, щоб частота перетворення цифрового контролера щонайменше вдвічі перевищувала частоту вхідного сигналу. Більшість АЦП гнучко підлаштовує швидкість вихідних даних залежно від заданої смуги частот сигналу.

Перед надходженням в АЦП вхідного сигналу він проходить кілька етапів формування. Кола формування сигналу з жорсткими вимогами розробляються і налаштовуються відповідно до конкретних технологій АЦП, що гарантовано забезпечує характеристики перетворювачів, які заявлені в технічному описі. Завдання розробника сигнальних кіл не обмежується тільки вибором АЦП. Для створення та налаштування периферії часто потрібно чимало часу та зусиль. Компанія Analog Devices надає технічну підтримку на найвищому рівні у вигляді інструментів симуляції та моделей, що дають змогу розв'язати більшість завдань проектування.

НОВИЙ ПІДХІД: СПРОЩЕННЯ РОЗРОБКИ ЗА ДОПОМОГОЮ АРХІТЕКТУРИ CTSD

Сигма-дельта архітектура з безперервним часом перетворення (continuous-time sigma-delta, CTSD), яку переважно використовували в аудіо-та високошвидкісних АЦП, адаптована до прецизійних застосувань, забезпечуючи найвищу точність і спрощуючи сигнальне коло. Переваги цієї архітектури дають змогу позбутися розв'язання завдань, пов'язаних із проектуванням периферії.

На рисунку 2 показано приклад того, як спростити та скоротити наявні сигнальні кола АЦП на 56% за допомогою цього нового рішення, що забезпечує високу щільність каналів. Ми розглянемо деякі ключові проблеми, пов'язані з проектуванням сигнального кола для типових застосувань, і покажемо, як сиг-

ма-дельта АЦП із безперервним часом перетворення розв'язують ці завдання.

КРОК 1: ВИБІР АЦП

Необхідно не тільки домогтися високої роздільної здатності й точності кінцевого цифрового вихідного сигналу, а й вибрати правильний АЦП із широкого діапазону компонентів, що важливіше за вибір ширини смуги сигналу, ODR, типу й діапазону обробки сигналу. Як правило, у більшості застосувань цифровим контролерам потрібні свої алгоритми для обробки амплітуди, фази або частоти вхідного сигналу.

Для точного вимірювання необхідно, щоб похибки оцифрування були мінімальними. У таблиці 1 перелічено основні похибки оцифрування та відповідні параметри, результати вимірювання яких зазначено в технічному описі.

Зазначені в таблиці робочі параметри за змінним струмом пов'язані з амплітудою і частотою сигналу. У низько-частотних застосуваннях або системах постійного струму, до яких відносяться системи вимірювання потужності з вхідними сигналами в діапазоні 50–60 Гц, слід враховувати похибки вимірювання АЦП таких параметрів, як зміщення, посилення, INL і фліккер-шум. Ці параметри за постійним струмом також вимагають певного рівня температурної стабільності залежно від передбачува-

ного використання приладу. Компанія ADI пропонує широку низку передових у цій галузі високопродуктивних АЦП для застосувань, які мають забезпечити високу точність, швидкість або роботу за обмеженого бюджету електроживлення. Порівняння одного набору характеристик АЦП з набором іншого перетворювача не можна вважати коректним вибором АЦП, оскільки слід також врахувати загальну продуктивність системи та труднощі проектування. Саме на цьому етапі важливим є вибір технології або архітектури АЦП. Традиційно перевагу віддають двом архітектурам аналого-цифрових перетворювачів. Найпоширенішою з них є АЦП послідовного наближення (SAR), який функціонує відповідно до згаданої теореми Котельникова. Перевагами АЦП послідовного наближення є чудова продуктивність за постійним струмом і малі форм-фактори з малою затримкою та масштабуванням енергоспоживання завдяки зміні параметра ODR.

Другою з двох згаданих технологій є сигма-дельта АЦП з дискретним часом перетворення (DTSD), який працює за принципом забезпечення більшої кількості вибірок для зниження втрат інформації. Оскільки в цьому випадку частота дискретизації набагато вища за частоту Котельникова, дискретизація є надлишковою. Додаткова перевага такої архітектури полягає в тому, що похибки, які додаються під час дискретизації, зводяться до мінімуму в заданій смузі частот. Завдяки цьому в АЦП DTSD — чудова продуктивність за постійним і змінним струмами, але й більша затримка.

На рисунку 3 показано типові значення ширини смуги аналогового вхідного сигналу у випадках використання поширених АЦП SAR і DTSD з різними швидкостями і роздільною здатністю.

Крім того, тепер з'явився новий клас прецизійних АЦП. Вони засновані на технології АЦП CTSD, яка не поступається за своїми характеристиками АЦП DTSD, але унікальна тим, що спрощує

Таблиця 1. Похибки АЦП і показники продуктивності

Похибки АЦП під час оцифрування	Відповідні вимірювані параметри з технічного опису
Тепловий шум і шум квантування	Відношення сигнал/шум (SNR), динамічний діапазон (DR)
Спотворення	Загальні гармонійні спотворення (THD), інтермодуляційні спотворення (IMD)
Звади	Перехресні завади, придушення завад, викликаних накладенням сигналу, придушення пульсацій живлення (PSRR), коефіцієнт придушення синфазного сигналу (CMRR)
Похибка амплітуди і фази	Похибка посилення, амплітуда і фаза зменшуються на заданій частоті
Затримка між вхідним сигналом АЦП і кінцевим цифровим вихідним сигналом	Затримка, час встановлення

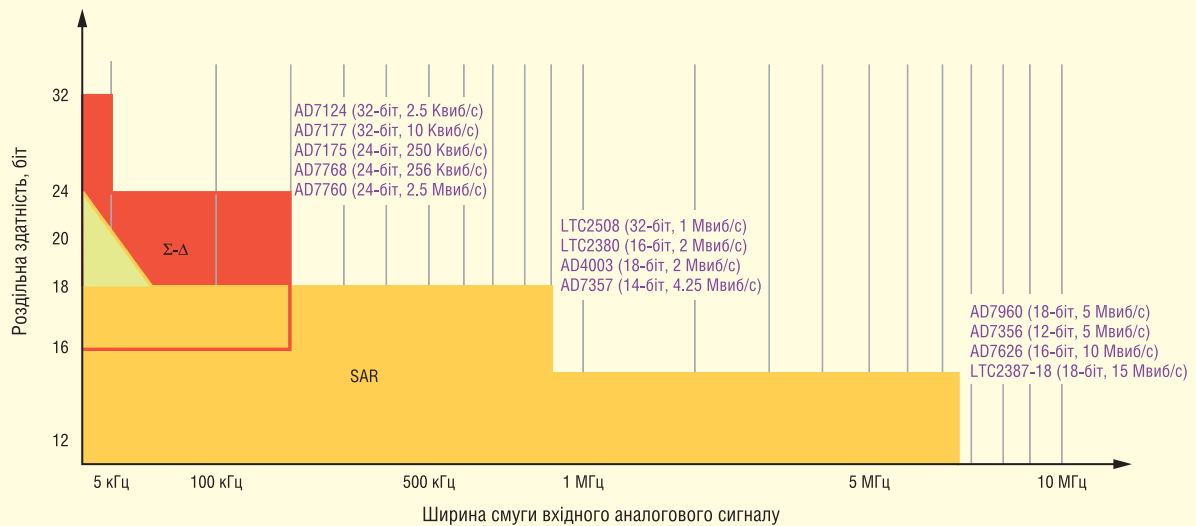


Рис. 3. Приклади використання архітектур прецизійних АЦП

весь процес проектування сигнального кола. Проблеми, які виникають на кількох наступних етапах розроблення сигнального кола, вирішуються за допомогою цього нового сімейства АЦП.

КРОК 2: ВХІДНИЙ СИГНАЛ АЦП

Датчики, вихідні сигнали яких надходять на обробку в АЦП, можуть мати дуже високу чутливість. Розробники мають добре розуміти структуру вхідної схеми АЦП, до якого під'єднується датчик, щоб похибки перетворювача не спотворювали фактичний сигнал датчика.

Вхід традиційних АЦП SAR і DTSD являє собою схему вибірки та зберігання з конденсатором, що перемикається (див. рис. 4). На кожному фронті тактового сигналу вибірки, коли перемикач вибірки змінює свій стан увімкнення/вимкнення, необхідно формувати струм для заряджання або розряджання запам'ятовувального конденсатора вибірки/збереження до нового вхідного дискретного значення. Цей струм забезпечується вхідним джерелом, яким

у розглянутому випадку є датчик. Крім того, у самому перемикачі є паразитні ємності, які повертають деякий заряд у датчик. Цей заряд також повинен поглинатися датчиком, щоб уникнути спотворення власного сигналу.

Більшість датчиків не в змозі забезпечити таку величину струмів, що вказує на їхню нездатність безпосередньо керувати комутаційними схемами. Навіть якщо датчик відповідав би вимогам щодо струму, через його кінцевий імпеданс похибка у вхідному сигналі АЦП збільшилася б. Струм перезаряджання конденсатора вибірки/зберігання є функцією вхідного сигналу. Цей струм спричиняє падіння напруги на імпедансі датчика, що залежить від вхідного сигналу. Як видно з рисунка 4а, вхідний сигнал АЦП має деяку похибку. Для розв'язання цієї проблеми між датчиком і АЦП встановлюють керувальний підсилювач (див. рис. 4б).

Насамперед підсилювач має підтримувати зарядовий струм заряду і розряду конденсатора. Вихідний сигнал підсилювача повинен вийти на стаке значення до кінця циклу вибірки. Це означає, що підсилювач повинен забезпе-

чувати миттєві стрибки струму, відповідні високій швидкості наростання вихідної напруги, і малий час встановлення при цих перехідних процесах, що узгоджується з високою пропускнуою здатністю. У міру збільшення частоти дискретизації та роздільної здатності АЦП виконання цих вимог стає критично важливим.

Великою проблемою для інженерів, особливо тих, хто працює з застосуваннями із середньою шириною смуги пропускання, є правильний вибір підсилювача для АЦП. Як згадувалося, компанія ADI надає набір імітаційних моделей та інструментальних засобів драйвера прецизійного АЦП, які спрощують вирішення цього завдання. Деякі з нових АЦП SAR і DTSD дають змогу пом'якшити цю проблему за допомогою сучасних методів вибірки, які повністю виключають необхідність у вибірці струму, що споживається, у перехідних процесах або допускають наявність інтегрованого підсилювача. Однак будь-яке рішення обмежує смугу частот сигналу або зменшує продуктивність АЦП.

Перевага АЦП CTSD у тому, що вони розв'язують цю проблему, даючи змогу легко керувати вхідною резистив-

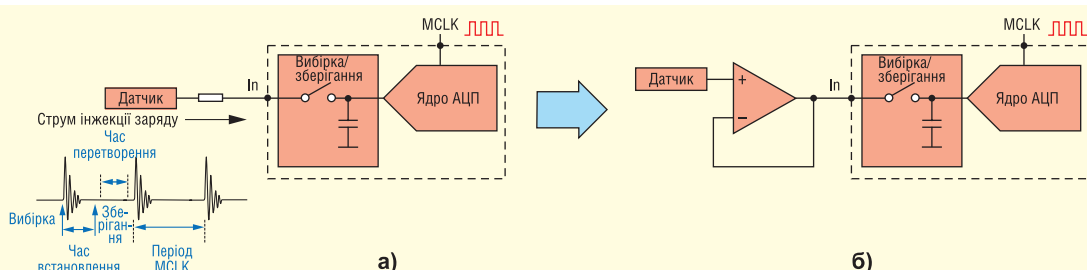


Рис. 4. Зворотнє надходження інжекційного заряду з конденсатора, що перемикається, у датчик (а); блокування заряду, що повертається, за допомогою вхідного буфера (б)

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

APM32 MCU  ARM Cortex  BLE SoC

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

ПОБУТОВА
ЕЛЕКТРОНІКА

ПРОМИСЛОВІ
ЗАСТОСУВАННЯ

МЕДИЧНЕ
ОБЛАДНАННЯ

АВТОМОБІЛЬНА
ЕЛЕКТРОНІКА

РОЗУМНИЙ
ТРАНСПОРТ

РОЗУМНА
ЕНЕРГІЯ



Geehy за роки існування

20 років досвіду в розробці мікросхем

450 мільйонів мікросхем щорічно поставляється

4 офіси
(1 північноамериканський, 3 офшорні)

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

APM32 Загальний MCU промислового класу

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

Bluetooth Low-Energy SoC

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

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

Офіційні поставки
в Україні від компанії
«НВП ЄВРОКОМ КОМПОНЕНТС»

 **EUROCOM
COMPONENTS**

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

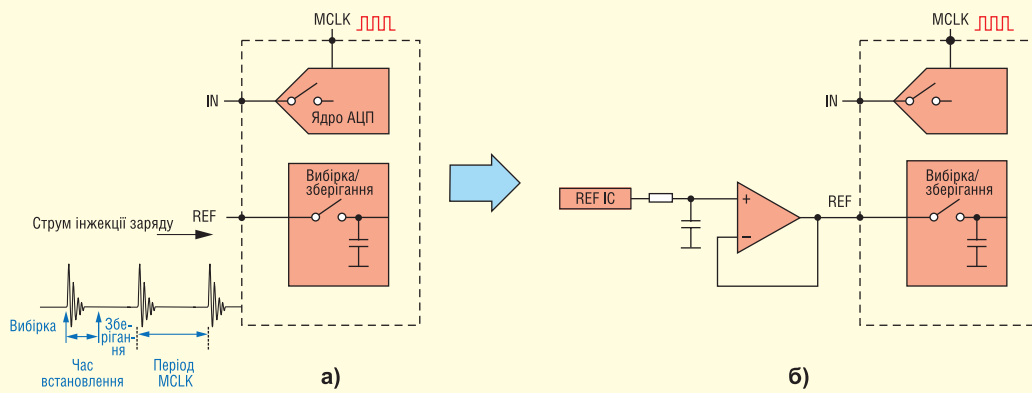


Рис. 5. Зворотнє надходження інжекційного заряду з конденсатора, що перемикається, в ІС опорної напруги (а); блокування заряду, що повертається, за допомогою буфера опорної напруги (б)

ною схемою, а не схемою з конденсатором, який перемикається. Таким чином, знімаються жорсткі вимоги до підсилювачів забезпечити широкую смугу пропускання і високу швидкість наростання вихідної напруги. Якщо датчики безпосередньо керують цим резистивним навантаженням, їх можна безпосередньо під'єднати до АЦП CTSD; в інших випадках між датчиком і АЦП CTSD можна встановити будь-який малощумний підсилювач із малою смугою пропускання.

КРОК 3: ВЗАЄМОДІЯ ДОН З АЦП

Не менш складною є проблема, пов'язана з вибором джерела опорної напруги (ДОН). На вході для підключення зовнішнього ДОН традиційних АЦП також встановлений конденсатор, що перемикається. На кожному фронті тактової частоти дискретизації це джерело повинне заряджати внутрішні конденсатори, що вимагає великого комутованого струму з хорошим часом встановлення.

ІС опорної напруги, що пропонуються на ринку, не підтримують вимогу забезпечити великий комутований струм і мають обмежену смугу пропускання. Друга проблема сполучення полягає в тому, що шум від цих опорних сигналів великий порівняно з шумом АЦП. Для фільтрації шуму цих сигналів використовується RC-коло 1-го порядку. З одного боку, ми обмежуємо смугу пропускання сигналу опорної напруги, щоб зменшити шум, а, з іншого, прагнемо забезпечити малий час встановлення. Це дві взаємовиключні вимоги. З цієї причини для керування опорним виводом АЦП використовується малощумний буфер (див. рис. 5б). Швидкість наростання вихідної напруги і смуга пропускання буфера визначають з огляду на частоту дискретизації та роздільну здатність АЦП.

Як і у випадку з інструментальними засобами для драйвера прецизійного АЦП, у компанії ADI є відповідні інструменти для моделювання та правильного вибору буферів ДОН для АЦП. Крім того, деякі нові АЦП SAR і DTSD оснащені власним буфером опорного сигналу, але у них є обмеження щодо продуктивності та пропускну здатності.

Перевага АЦП CTSD полягає в тому, що цей етап проектування можна повністю пропустити, оскільки перетворювачі такого типу забезпечують новий і простіший спосіб керування резистивним навантаженням, що не потребує широкої смуги пропускання і великої швидкості наростання вихідної напруги буфера. ІС опорної напруги з фільтром нижніх частот можна безпосередньо під'єднувати до опорного виводу.

КРОК 4: ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ НЕСПРИЙНЯТЛИВОСТІ СИГНАЛЬНОГО КОЛА ДО ЗАВАД

Вибірка й оцифрування безперервного сигналу призводить до появи шуму квантування. Частота дискретизації та кількість бітів задають граничне значення продуктивності АЦП. Після розв'язання проблем із продуктивністю, підключення до ДОН і входу необхідно усунути потрапляння високочастотного шуму в задану низькочастотну смугу. Цей ефект називається накладанням спектрів сигналів, або аліасингом. Згідно з теоремою про дискретизацію, будь-який тональний сигнал поблизу частоти вибірки повертається в смугу частот, як показано на рисунку 6, викликаючи появу небажаної інформації або похибки. Відбиті ВЧ-копії або позасмугові джерела завад погіршують у заданій смузі пропускання відношення сигнал/шум (SNR).

Для усунення аліасингу використовується фільтр нижніх частот, або фільтр, що усуває ефект накладення спектрів (AAF), який зменшує величину завади так, що коли вона проникає в смугу, зберігається потрібне відношення сигнал/шум. Цей ФНЧ зазвичай об'єднується з підсилювачем драйвера, як показано на рисунку 7.

Під час розроблення цього підсилювача найбільше утруднення являє собою пошук компромісу між малим часом встановлення і вимогами до фільтрації нижніх частот. Крім того, необхідно здійснити точне налаштування отриманої схеми

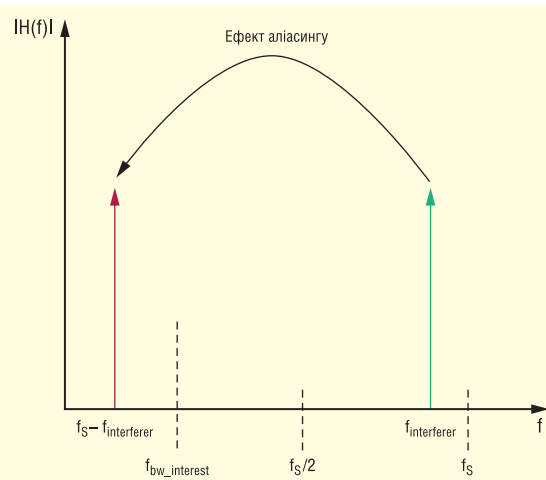


Рис. 6. Накладання спектрів позасмугових джерел завад у заданій смузі частот під час дискретизації

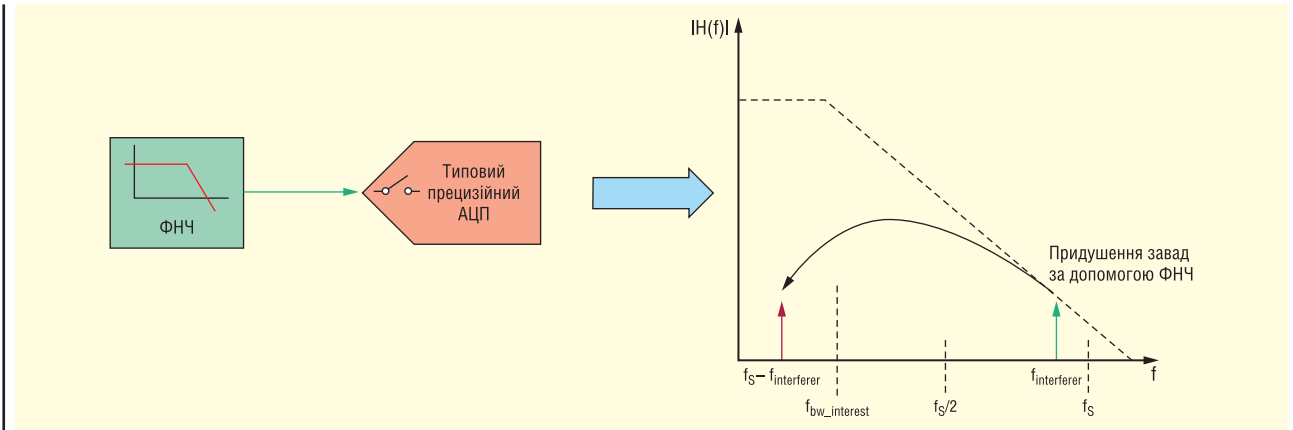


Рис. 7. Використання ФНЧ дає змогу зменшити вплив накладення спектрів на показник SNR усередині смуги

відповідно до потреб кожного застосування, що обмежує використання єдиної платформи для різних систем. Компанія ADI пропонує безліч засобів проектування фільтра згладжування, які полегшують вирішення цього завдання.

Несприйнятливість АЦП CTSD до завад зумовлена здатністю пригнічувати побічні НЧ-складові, яка є унікальною властивістю лише аналого-цифрових перетворювачів цього виду. АЦП з такою технологією не потрібна ААФ-фільтрація. Ця якість дає змогу під'єднувати АЦП CTSD до датчика без особливих зусиль.

КРОК 5: ВИБІР ТАКОВОЇ ЧАСТОТИ АЦП І ШВИДКОСТІ ВИХІДНИХ ДАНИХ

Тепер давайте обговоримо вимоги до тактової частоти традиційних АЦП двох згаданих класів. АЦП DTSD, що являє собою перетворювач із надлишковою дискретизацією, здійснює вибірки з вищою частотою, ніж частота Котельникова. Однак передача таких даних безпосередньо зовнішньому цифровому контролеру перевантажує його великою кількістю надлишкової інформації. У системі з надлишковою дискретизацією вихідний сигнал АЦП піддається децимації за допомогою вбудованих цифрових фільтрів, які забезпечують кінцевий цифровий вихідний сигнал перетворювача з меншою частотою, яка зазвичай удвічі перевищує частоту сигналу.

У випадку з АЦП DTSD потрібно скласти план із забезпечення високочастотної тактової частоти АЦП і запрограмувати швидкість вихідних даних. АЦП видасть готовий цифровий вихідний сигнал за заданої швидкості передавання вихідних даних і заданої тактової частоти. Цифровий контролер використовує сигнал ODR для синхронізації даних.

Далі ми розглянемо вимоги до тактової частоти аналого-цифрових перетворювачів послідовного наближення, принцип роботи яких зазвичай заснований на теоремі Котельникова. У цьому випадку частота дискретизації АЦП забезпечується цифровим контролером, а синхросигнал також є тактовим сигналом у тракті передачі вихідних даних. Однак використання цього сигналу зменшує гнучкість у виборі часового режиму, оскільки часові співвідношення між вибіркою та зберіганням мають добре контролюватися для забезпечення оптимальної продуктивності АЦП. Цей приклад також свідчить про те, що синхронізація цифрового вихідного сигналу має бути добре узгоджена зі згаданими вимогами.

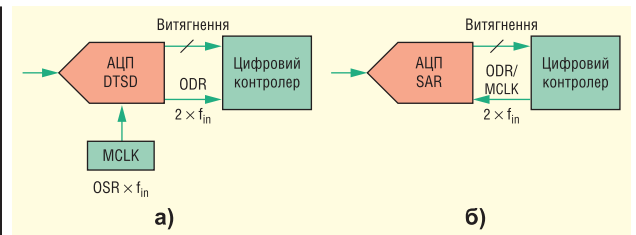


Рис. 8. Вимоги до тактової частоти: АЦП DTSD (а); АЦП послідовного наближення (б)

Розглядаючи вимоги до тактової частоти цих обох архітектур, стає зрозуміло — величина швидкості передавання вихідних даних (ODR) пов'язана з тактовою частотою АЦП, що є обмеженням у багатьох системах, де ODR дрейфує, змінюється динамічно або має відповідати частоті вхідного аналогового сигналу. На рисунку 8 порівнюються вимоги до тактової частоти АЦП DTSD і послідовного наближення

Перевага АЦП CTSD у тому, що він з'єднаний з новим асинхронним перетворювачем частоти дискретизації (ASRC), який повторно дискретизує дані АЦП за будь-якої заданої швидкості передавання вихідних даних. Перетворювач ASRC також дає змогу точно встановлювати ODR на будь-яку частоту і виходити за рамки давнього обмеження цього показника до кратної частоти дискретизації. Вимоги до частоти і часових співвідношень ODR в цьому випадку повністю залежать від цифрового інтерфейсу і ніяк не пов'язані з частотою дискретизації АЦП. Ця функція спрощує проектування цифрової розв'язки під час розроблення сигнальних кіл.

КРОК 6: ПІДКЛЮЧЕННЯ ДО ЗОВНІШНЬОГО ЦИФРОВОГО КОНТРОЛЕРА

Інтерфейси даних працюють у двох режимах, коли АЦП взаємодіють із цифровим контролером. У першому з них АЦП виступає як хост, що надає тактову частоту цифрового сигналу/ODR і вибирає сигнальний фронт синхросигналу такий, щоб цифровий контролер міг синхронізуватися з даними АЦП. Другий режим — режим приймача. У ньому цифровий контролер є хостом, забезпечує тактову частоту ODR і задає фронти синхросигналу, за якими стануть синхронізуватися дані АЦП.

Якщо вибирається АЦП DTSD, то він є хостом для наступного цифрового контролера, оскільки забезпечує тактову частоту ODR. Якщо ж обирається АЦП послідовного наближення, синхронізацію ODR має забезпечити цифровий

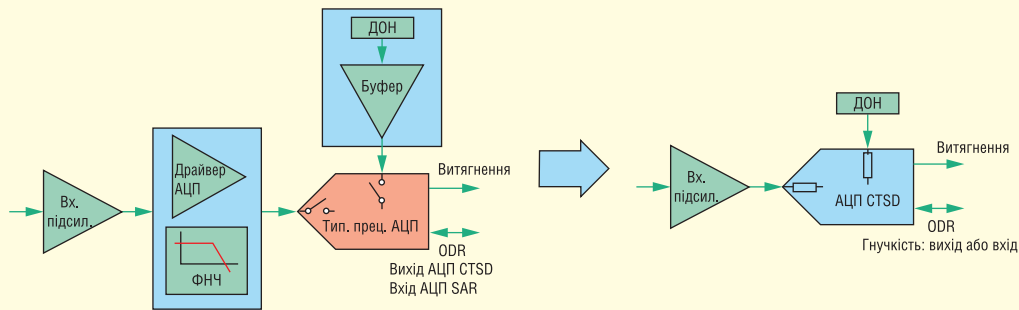


Рис. 9. Сигнальне коло з традиційним прецизійним АЦП порівняно з колом з АЦП CTSD

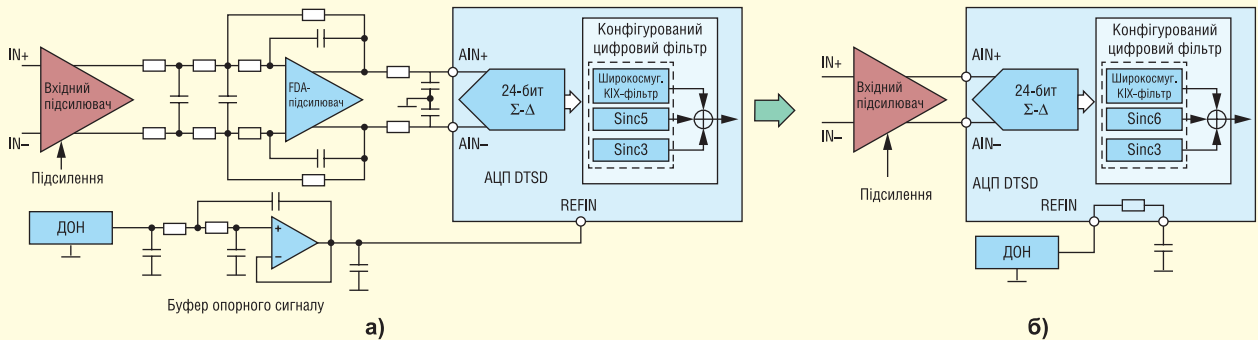


Рис. 10. Сигнальне коло з традиційним прецизійним АЦП порівняно з колом з АЦП CTSD

контролер, оскільки АЦП цього виду завжди конфігуруються як периферійні пристрої. Отже, очевидним обмеженням є те, що після вибору архітектури АЦП цифровий інтерфейс змушений працювати або в режимі хоста, або в керованому хостом режимі. Наразі відсутня гнучкість у виборі інтерфейсу незалежно від архітектури АЦП.

Новий ASRC-перетворювач, під'єднаний до АЦП CTSD, дає змогу незалежно налаштувати режим інтерфейсу даних АЦП. Це відкриває абсолютно нові можливості для застосувань, у яких високопродуктивні АЦП можуть конфігуруватися в будь-якому режимі, що підходить для цифрового контролера, незалежно від архітектури перетворювачів.

СИГНАЛЬНЕ КОЛО

На рисунку 9 показано структурну схему традиційного сигнального кола з аналоговим входом (AFE), у якому є вхідний драйвер АЦП, фільтр придушення побічних НЧ-складових і буфер опорної напруги. Цю схему можна значно спростити за допомогою АЦП CTSD. На рисунку 10а показано приклад сигнального кола з АЦП DTSD, розробка якого потребує значних зусиль для забезпечення точного налаштування та характеристик АЦП, заявлених у технічному описі.

Для полегшення праці розробників компанія ADI пропонує вихідні проекти, які можна повторно використовувати або змінювати залежно від потреб застосувань із цими АЦП.

На рисунку 10б показано сигнальне коло з АЦП CTSD із вхідним аналоговим інтерфейсом, який спростили завдяки виключенню зі схеми дискретизації АЦП конденсатора, який можна перемикає, та ДОН. Схема дискретизації, що перемикається, була перенесена далі в ядро АЦП, що зробило сигнальний і опорний входи суто резистивними. У результаті було отримано АЦП практично без циклу вибірки, або аналого-цифровий перетворювач окремого класу. Крім того, функція передачі сигналу АЦП цього класу імітує характеристику фільтра згладжування. Це означає, що АЦП, за своєю суттю, послаблює джерела завод. Завдяки технології CTSD АЦП перетворився на готовий до використання (plug-and-play) компонент.

Таким чином, АЦП CTSD спрощують проектування сигнального кола, забезпечуючи водночас системне рішення з тим самим рівнем продуктивності, що й традиційне сигнальне коло АЦП, а також такі переваги:

- підвищено надійність сигнального кола, що безпосередньо зумовлено використанням меншої кількості периферійних компонентів;

- відсутність побічних НЧ-складових у смузі, мала затримка і відмінне міжканальне фазове узгодження;
- простіший аналоговий інтерфейс, який не потребує вибору і точного налаштування буферів опорного сигналу драйверів, що підвищує щільність каналів;
- подолано обмеження швидкості передавання вихідних даних (ODR), що є функцією тактової частоти;
- забезпечено незалежне керування інтерфейсом зовнішнього цифрового контролера;
- менший розмір, і на 56% скорочено список матеріалів, що зменшує час виведення продукції на ринок.

Література:

1. Application Note AN-282: Fundamentals of Sampled Data Systems. Analog Devices.
2. Driving Precision Converters: Selecting Voltage References and Amplifiers. Analog Devices.
3. Kester Walt. MT-021 Tutorial: ADC Architectures II: Successive Approximation ADCs. Analog Devices. 2009.
4. Sigma-Delta ADC Tutorial. Analog Devices.
5. Shaikh Wasim and Srikanth Nittala. AC and DC Data Acquisition Signal Chains Made Easy. Analog Dialogue. Vol. 54. No. 3. August. 2020.

Рішення компанії SV Microwave/Amphenol у галузі радіочастотних з'єднань

У статті показано результати робіт з удосконалення радіочастотних з'єднань, виконаних нещодавно американською компанією SV Microwave/Amphenol [1]. Розглянуто конструкцію, електричні параметри та номенклатуру з'єднувачів SMPM з граничною частотою 65 ГГц для роботи в бортовій апаратурі за підвищених вібраційних та ударних навантажень. Показано конструкцію та параметри з'єднання друкованих плат за відстані між ними 3 мм, що стало можливим завдяки застосуванню надмініатюрного адаптера розетка-розетка («bullet»).

Радіочастотні з'єднувачі з інтерфейсом SMPM, розглянуті в цій статті, створені компанією SV Microwave. Ця компанія є світовим лідером у галузі НВЧ-мікроелектроніки, що має понад 50-річний досвід роботи зі створення радіочастотних з'єднувачів, кабельних збірок і різних пасивних компонентів, призначених для військових систем, Інтернету речей, 5G, супутникових, високошвидкісних, аерокосмічних, комерційних і телекомунікаційних застосувань. У травні 2005 року SV Microwave була придбана великою корпорацією Amphenol, і відтоді її називають SV Microwave/Amphenol.

РОЗРОБЛЕННЯ З'ЄДНУВАЧІВ SMPM З ГРАНИЧНОЮ ЧАСТОТОЮ 65 ГГц ДЛЯ РОБОТИ ЗА ПІДВИЩЕНИХ ВІБРАЦІЙНИХ ТА УДАРНИХ НАВАНТАЖЕНЬ

Стандартні з'єднувачі SMPM

У 1990 році компанія Corning Gilbert, США, розробила мікромініатюрні з'єднувачі GPPO з граничною частотою 65 ГГц, що з'єднуються зацепленням (замиканням). Сьогодні ці з'єднувачі випускають десятки компаній усього світу під власними фірмовими назвами: SMPM, MINI-SMP тощо. (далі — SMPM — «sub-miniature push-on, micro»). Розроблено з'єднувачі SMPM з повним і обмеженим зацепленням (замиканням) та ковзним з'єднанням вилки і розетки. Інтерфейс з'єднувачів SMPM відповідає стандарту MILSTD-348A (рис. 1).

На сьогодні існують такі модифікації з'єднувачів SMPM:

- прямі та кутові кабельні та приладово-кабельні з'єднувачі, призначені для роботи з напівжорстким кабелем 0.085" (RG-405) і 0.047", а також із гнучким кабелем, який формується вручну;
- вилки приладів, що монтуються у стінки корпусів виробів з алюмінієвих і титанових сплавів: впаювані, під лазерне зварювання, різьбові та запресовувані в корпуси;
- вилки для встановлення в отвори друкованих плат, для поверхневого монтажу на платі і кінцеві;
- адаптери розетка-розетка, які називають «bullet», для з'єднання «наосліп», що забезпечують гнучкий зв'язок між вилками, встановленими

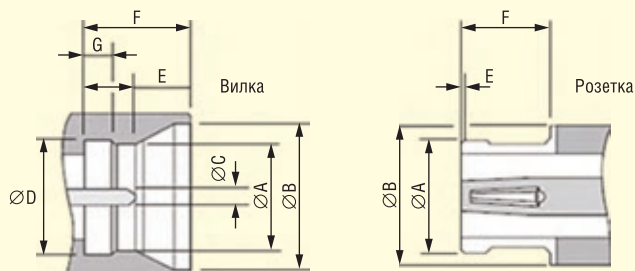
на різних платах, і дають змогу компенсувати неспіввісність між вилками на з'єднуваних платах. Довжина адаптерів «bullet» залежить від необхідної відстані між платами;

- міжсерійні адаптери для сумісності зі з'єднувачами інших типів: SMA, 3.5 мм, 2.92 мм, 2.4 мм і 1.85 мм.

Зовнішній вигляд з'єднувачів SMPM основних модифікацій показано на рисунку 2, а їхні основні параметри наведено в таблиці 1.

Завдяки мініатюрності (вага з'єднувача становить десять частки грама) і високому рівню електричних параметрів ці з'єднувачі знайшли застосування в складних багатофункціональних модулях НВЧ з високою щільністю компонування.

Однак, попри високий рівень параметрів з'єднувачів SMPM, розробники спеціальних бортових систем побоюються, що з'єднання зацепленням (замиканням) може не витримати високої вібраційної та ударної навантаження. Щоб підвищити надійність з'єднувачів, провідні компанії розробили свої власні виробни, в яких з'єднання (сполучення) вилки і розетки зацепленням посилено іншими способами з'єднання (різьбовим, байонетним або другим зацепленням).



	Вилка		Розетка	
	min	max	min	max
A	2.11	2.16	-	2.41
B	2.82	2.92	-	2.79
C	0.28	0.33	-	-
D	2.18	2.24	-	-
E	0.76	1.14	0	0.20
F	2.08	2.13	1.73	-
G	0.53	0.58	-	-

Рис. 1. Інтерфейс вилки (для повного зацеплення (замикання)) і розетки з'єднувачів SMPM



Рис. 2. З'єднувачі SMPM

Таблиця 1. Параметри з'єднувачів SMPM	
Параметр	Значення параметра
Хвильовий опір, Ом	50
Робочий діапазон частот, ГГц (DC — direct current, постійний струм)	DC...65 (прямі з'єднувачі), DC...40 (кутові з'єднувачі)
Робоча напруга, В (на рівні моря)	170...325
Напруга пробою, В (на рівні моря)	500
Максимальний КСХН (у діапазоні частот, ГГц)	1.15 (0...10); 1.25 (10...26.5); 1.35 (26.5...50); 1.50 (50...65)
Величина втрат на частоті f , ГГц	$0.12\sqrt{f}$
Екранне загасання, дБ (у діапазоні частот f , ГГц)	-80 (0...3)
Мінімальний опір ізоляції, МОм	5000
Допустима потужність, що пропускається, Вт (на частоті, ГГц) за температури 25 °С	16 (1)
Робочий діапазон температур, °С	-65...+165
Допустимі радіальне й аксіальне зміщення між осями вилки та розетки під час з'єднання, мм	0.25
Зусилля з'єднання/роз'єднання, Н	11/6.7 — ковзне з'єднання, 20/29 — повне защеплення
Допустима кількість циклів з'єднання/роз'єднання	100 (повне защеплення), 500-1 000 (ковзне з'єднання)

Примітки:
 1. Величини КСХН, втрат і екранного загасання, наведені в data sheet різних виробників з'єднувачів SMPM, помітно відрізняються.
 2. У специфікаціях часто наводять значення напруги з'єднувача без уточнення його виду. Є 3 види напруги з'єднувача: напруга пробою (*Breakdown Voltage*), випробувальна напруга (*DWV — Dielectric Withstanding Voltage*) і максимальна робоча напруга (*Working Voltage*). Напруга пробою — це максимальна напруга, яку може витримати з'єднувач без значного зростання струму витoku і руйнування. Випробувальна напруга — це максимальна напруга, за якої має бути протестований з'єднувач. Вона становить 75 % від напруги пробою з'єднувача. Робоча напруга — максимальна напруга, за якої з'єднувач має працювати із заданими параметрами протягом усього терміну служби. Робоча напруга становить 1/3 від випробувальної напруги і залежить як від конструкції з'єднувача, так і від конкретних умов експлуатації. Зокрема, у разі зазначення робочої напруги в специфікації мають бути наведені значення атмосферного тиску на рівні моря або на висоті 70 000 футів (21.3 км) і температури.

Компанія SV Microwave/Amphenol також розробила лінійку різьбових (нарізних) з'єднувачів SMPM для роботи за підвищеної вібрації з високим рівнем електричних і механічних характеристик.

Різьбові з'єднувачі SMPM

Оскільки під час впливу вібраційних і ударних навантажень надійність з'єднання защепленням поступається різьбовому з'єднанню, запрошувалося рішення об'єднати обидва ці з'єднання в конструкції з'єднувача SMPM. Уперше різьбове з'єднання на додаток до з'єднання защепленням застосувала компанія Astrolab, яка розробила з'єднувачі SMPM-T. У кабельному з'єднувачі-розетці SMPM-T стандартний інтерфейс SMPM доповнили різьбовою втулкою, яку встановлюють на ка-

бель, а приладовий з'єднувач-вилка виконано із зовнішньою різьбою на корпусі (рис. 3).

З'єднувачі SMPM-T вирізняються високою стійкістю до ударів і вібра-

ції, надійною фіксацією і покращеним екрануванням (екранне загасання, в порівнянні зі звичайними з'єднувачами SMPM, вище на 10 дБ). У разі потреби з'єднувачі SMPM-T і SMPM можуть без обмежень з'єднуватися один з одним.

Однак таке конструктивне рішення з'єднувача SMPM-T не універсальне, воно можливе тільки для прямих кабельних з'єднувачів і неможливе для кутових з'єднувачів.

Компанія SV Microwave/Amphenol запропонувала встановити різьбову втулку безпосередньо на кабельний з'єднувач-розетку, а приладову вилку, як і в попередньому випадку, виконати із зовнішньою різьбою на корпусі. Таке рішення універсальне, оскільки може бути застосоване як до прямих, так і до кутових з'єднувачів. Різьбова втулка, виготовлена з нержавіючої сталі, має такі розміри: зовнішній діаметр 4.57 мм, довжина приблизно 6 мм, різьба 0.148-56 UNS (зовнішній діаметр різьби 3,76 мм, крок різьби 0.45 мм).

Було розроблено 8 модифікацій різьбових з'єднувачів SMPM (табл. 2). У таблиці представлені вилки для ковзного з'єднання з відповідною кабельною розеткою (позиції 5 і 6). На замовлення споживача такі вилки можуть бути виготовлені для з'єднання з відповідною кабельною розеткою повним защепленням.

Різьбові кабельні з'єднувачі, в яких використано поєднання ковзного і різьбового з'єднань, мають низькі зусилля стикування і розстикування розетки і вилки. З'єднувачі випробовують за стандартом MIL-STD-202 методами 204 і 213. Ці методи використовують у випробуваннях на вплив вібрації та ударів для виробів авіаційного та космічного призначення. Різьбові з'єднувачі SMPM, природно, коштують дорожче за стандартні аналоги в 1.2-1.8 разів. При цьому найбільш помітно зростає вартість різьбових кабельних з'єднувачів, прямих і кутових.

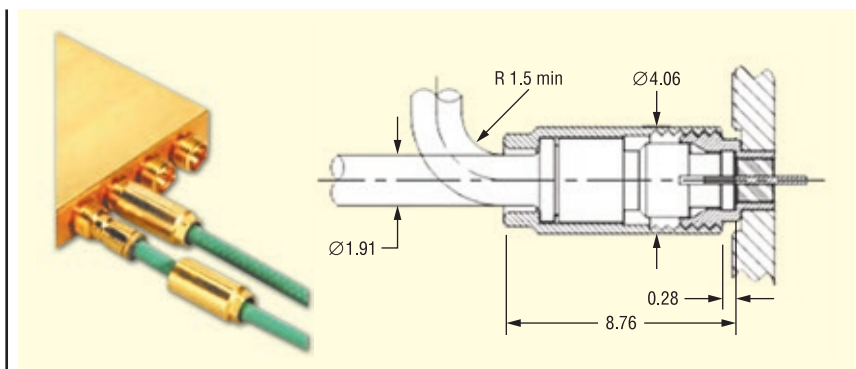


Рис. 3. З'єднувач SMPM-T

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

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

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



MASTEK

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

Авторизований дистриб'ютор
WeEn в Україні

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

Таблиця 2. Різьбові з'єднувачі SMPM компанії SV Microwave/Amphenol				
№ п/п	Позначення з'єднувача	Тип з'єднувач	Параметри	Зовнішній вигляд
1	3221-60016	Пряма кабельна розетка для кабелю 0.085" (RG-405)	Робочий діапазон частот: 0...40 ГГц. КСХН: 1.25 (DC...26.5); 1.3 (26.5...50). Втрати на частоті, f, ГГц — $0.07\sqrt{f}$	
2	3221-60017	Пряма кабельна розетка для кабелю 0.047"		
3	3222-40059	Кутова кабельна розетка для кабелю 0.085" (RG-405)	Робочий діапазон частот: 0...26.5 ГГц. КСХН: 1.1 (DC...26.5)	
4	3222-40060	Кутова кабельна розетка для кабелю 0.047"		
5	3211-60298	Вилка для встановлення в отвори друкованої плати для ковзного з'єднання з розеткою	Робочий діапазон частот: 0...40 ГГц. КСХН: 1.25 (DC...26.5); 1.3 (26.5...40). Втрати на частоті, f, ГГц — $0.07\sqrt{f}$	
6	3211-40121	Кінцева вилка для ковзного з'єднання з розеткою		
7	1132-6108	Адаптер SMPM розетка — 2.92 мм розетка	Робочий діапазон частот: 0...40 ГГц. КСХН: 1.25 (DC...26.5); 1.3 (26.5...40). Втрати на частоті, f, ГГц — $0.07\sqrt{f}$	
8	1132-6109	Адаптер SMPM вилка — 2.92 мм розетка		

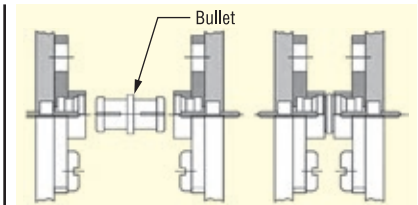


Рис. 4. З'єднання друкованих плат за допомогою адаптера «bullet» і двох з'єднувачів SMPM вилка

плат і модульних конструкцій, оскільки його довжина визначає відстань між друкованими платами, що з'єднуються. Тому для зменшення відстані між платами, що з'єднуються, компанії прагнуть максимально зменшити довжину адаптера «bullet» (табл. 3).

Рекордсменом у сфері мініатюризації адаптерів «bullet» є компанія SV Microwave/Amphenol. Не так давно ця компанія повідомила про створення адаптера «bullet» з довжиною корпусу лише 2.48 мм, що забезпечує з'єднання плат, віддалених одна від одної на відстань біля 3 мм (мін. 2.88 мм, макс. 3.0 мм), для пристроїв із високою щільністю компонування. Однак, на відміну від стандартних адаптерів «bullet» розетка-розетка, розроблений компанією SV Microwave/Amphenol мікромініатюрний «bullet» є адаптером вилка-вилка. Це зумовлено конструктивною і технологічною складністю створення цангових контактів розетки за таких малих розмірів адаптера.

Конструкція адаптера вилка-вилка показана на рисунку 5а. Застосування цього адаптера для з'єднання друкованих плат вимагало повністю змінити конструкцію і технологію з'єднання. Було розроблено корпуси вилок (без ізолято-

З'єднання друкованих плат із застосуванням надмініатюрного адаптера «bullet» компанії SV Microwave/Amphenol

З'єднувачі SMPM привернули увагу розробників виробів НВЧ-мікроелектроніки ще й тому, що вони забезпечують швидке з'єднання друкованих плат без застосування радіочастотних кабелів за допомогою адаптерів розетка-розетка «bullet». Для цього на кожній із друкованих плат, що з'єднуються, встановлюють з'єднувач SMPM вилка, а з'єднання плат здійснюють за допомогою адаптера «bullet» з двома цанговими центральними провідниками, закріпленіми у фторопластовому ізоляторі, встановленому в корпусі адаптера (рис. 4).

Адаптер «bullet» забезпечує надійне з'єднання і компенсує радіальну та осьову неспіввіднесеність до 0.25 мм з'єднувачів

SMPM вилка, встановлених на друкованих платах. Він є ключовим елементом при створенні компактного з'єднання

Таблиця 3. Розміри адаптерів «bullet»					
Зовнішній вигляд	Компанії-виробники				
	SV Microwave/Amphenol	Corning Gilbert	Micro Mode	Cristek	Delta
<p>Адаптер «bullet» розетка-розетка</p>	Розміри «bullet», мм				
	№ 3290-4003 A=2.74, L=8.3	L=5.3...16.4	L=4.5...22.9	L=4.1...16.5	L=5.33...8.0
	№ 3290-4002 A=2.74, L=5.36				
	№ 1132-4021 A=2.41, L=4.57				
	№ 1132-4010 A=2.31, L=4.22				
<p>Адаптер «bullet» вилка-вилка</p>	№ 1180-4010	-	-	-	-
	A=2.86, L=2.48				

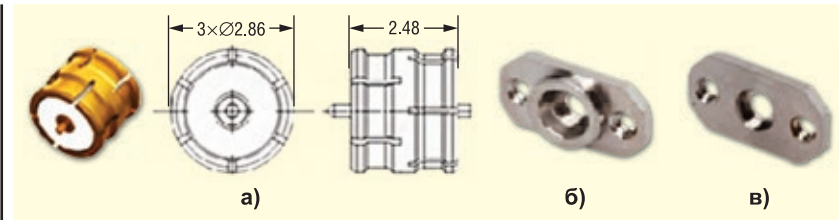


Рис. 5. Адаптер «bullet» № 1180-4010 компанії SV Microwave/Amphenol (а), Shroud FD № 012-80-487/020 (б), Shroud SB № 012-80-488/020 (в)

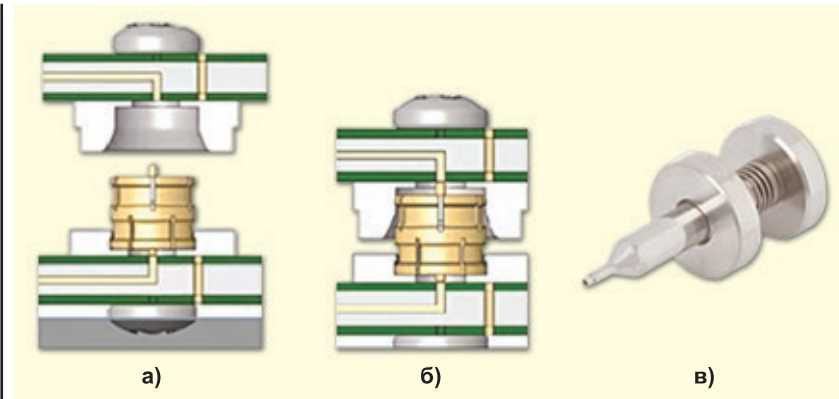


Рис. 6. Ковзне з'єднання адаптера «bullet» з нижньою друкованою платою (а), повне защеплення адаптера «bullet» з верхньою друкованою платою (б), інструмент для роботи з адаптером «bullet» (в)

рів і цангових центральних провідників), що імітують інтерфейси повного защеплення і ковзного з'єднання, названі Shroud: Shroud FD (Full Detend — повне защеплення) і Shroud SB (Smooth Bore — ковзне з'єднання). Корпуси Shroud виготовлено з пасивованої нержавіючої сталі, вони мають різьбові отвори для кріплення гвинтами на друковані плати (рис. 5б,в).

Shroud для ковзного з'єднання встановлюють на одній друкованій платі, а Shroud для повного защеплення (замикання) — на протилежній. Процес з'єднання плат ілюструють рисунку 6а, бб. Для роботи з адаптером «bullet» компанія SV Microwave/Amphenol розробила спеціальний інструмент № 500-80-014 (рис. 6в). Під час з'єднання плат центральний провідник адаптера «bullet» безпосередньо контактує з мікросмужковими лініями друкованих плат. Ковзне з'єднання забезпечує легке роз'єднання плат без застосування спеціального інструменту. Тому під час роз'єднання плат адаптер «bullet» залишається на платі з'єднаним із Shroud FD (для повного защеплення).

З'єднання плат, відстань між якими 3 мм, за допомогою адаптера «bullet» компанії SV Microwave/Amphenol має такі електричні параметри:

- робочий діапазон частот DC...40 ГГц;
- коефіцієнт стоячої хвилі напруги (КСХН) становить у діапазоні частот

DC...18 ГГц — 1.10, у діапазоні частот 18...40 ГГц — 1.30.

- величина внесених втрат 0.30 дБ на частоті 18 ГГц і 0.60 дБ на частоті 40 ГГц;

Запропоноване з'єднання забезпечує зазначені електричні параметри за осьового зсуву Shroud і адаптера до 0.127 мм і радіального зсуву — до 0.18 мм за мінімальної міжцентрової відстані між сусідніми з'єднувачами 3.81 мм. Допустима кількість з'єднань і роз'єднань — 500. Робочий діапазон температур — від -65 до +165 °С. Таке з'єднання не вимагає операції паяння, і тому не пошкоджує плати і забезпечує низькі зусилля з'єднання і роз'єднання плат.

З'єднання плат з мінімальною відстанню між ними (3 мм) ідеально підходить для використання в проектах із високою щільністю розміщення друкованих плат.

ВИСНОВОК

Представлена в цій статті інформація про з'єднувачі компанії SV Microwave/Amphenol є прикладом активної роботи провідних компаній з удосконалення радіочастотних з'єднань.

Література:

1. <https://www.svmicrowave.com>

ЗАХИЩЕНИЙ РОЗ'ЄМ USB3CFTV

Компанія **Amphenol Socarrex** випустила захищений роз'єм USB3CFTV, USB Type-C, заснований на стандарті MIL-DTL-38999 серії III. Це захищене рішення, призначене для використання в суворих умовах і складних сферах застосування, таких як військовий зв'язок, військові літаки, аерокосмічна галузь, комерційна авіація та військово-морська техніка.

З'єднувач оснащений механізмом з'єднання з різьбою Tri start, що забезпечує стійкість до ударів, вібрації та натягу кабелю. Роз'єм Amphenol Socarrex USB3CFTV призначений для захисту від рідин і пилу з класом захисту IP68, що забезпечує надійну роботу навіть в екстремальних умовах.

Роз'єм USB3CFTV є ідеальним рішенням для розробників, яким потрібна гнучкість стандарту USB Type-C і надійність роз'ємів Amphenol Socarrex. За допомогою цього роз'єму розробники можуть створювати широкий спектр конфігурацій для передачі даних, живлення та відео. Завдяки захисту від електромагнітних завод і 500 циклам з'єднання штекера з розеткою, роз'єм Amphenol Socarrex USB3CFTV забезпечує надійне і безпечне з'єднання в складних умовах експлуатації. Він також стійкий до соляного туману, має покриття, що відповідає вимогам ROHS, ударостійкий і працює в широкому діапазоні темпера °F, що робить його придатним для різноманітних складних застосувань.

В цілому, роз'єм Amphenol Socarrex USB3CFTV є міцним і надійним рішенням для передачі даних в суворих умовах, що робить його кращим вибором для військових, аерокосмічних і загальнопромислових застосувань, де довговічність, продуктивність і герметичність від факторів навколишнього середовища є критичними вимогами.

Роз'єм USB3CFTV вже доступний у Amphenol Socarrex та її авторизованих дистриб'юторів

Компанія Amphenol Socarrex з 1947 року розробляє, проектує і виробляє надійні та інноваційні рішення для з'єднання в суворих умовах, спеціалізуючись на стандартних і індивідуальних електричних і волоконно-оптичних роз'ємах, аксесуарах і кабельних рішеннях.

www.amphenol.com

ЕЛЕКТРОННІ КОМПОНЕНТИ

від провідних виробників світу,
зі складу та під замовлення

Гнучкі ціни



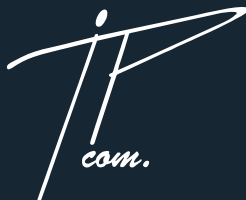
ТОВ "АДС ТІМ"

Україна, 03680, м. Київ
пров. Ю. Матушняка, буд. 3
+38 (044) 361-46-78, 206-22-52
+38 (067) 249-77-58, (050) 464-22-52
zapros@adcgr.com www.adcgr.com

ТОВ Аіронікс КОМПОНЕНТС

тел.: +38 044 384-17-55
+38 044 501-07-29
+38 044 501-80-09
info.aironics@gmail.com

- електронні компоненти
- друковані плати
- виготовлення дослідних зразків приладів
- контрактне виробництво
- перетворювачі частоти до 11 кВт (Україна) до 220 кВт (Китай)

м. Київ, вул. О. Довженка, 3
www.aironics.com.ua
www.aironics.prom.ua

ТОВ «АЙПІ-КОМ»

Гуртове постачання електронних компонентів, плівкових клавіатур, світлодіодної комунікаційної продукції, роз'ємів тощо

моб.: 098-980-48-38

ill1982
ill82@ukr.net
ip-com.net.uaAltway Electronics, Inc
5970 Unity Drive Suite E,
Norcross, GA 30071, USA
www.altwaygroup.comОПЕРАТИВНІ ПОСТАВКИ
ЕЛЕКТРОННИХ КОМПОНЕНТІВТел. 044-3-922-911
E-mail: sales.int@altwaygroup.com

ТОВ «НВП АСТЕРА»
директор **ТЕРЕЙКОВСЬКИЙ Артем Семенович**
Феритові осердя, аксесуари, індуктивні елементи

61072, Україна, Харків, вул. Тобольська 42 оф. 222
тел.: 057-757-2859, факс: 057-728-1808
050-323-3763, 067-575-4440, 068-616-7777
http://www.ferrite.com.ua E-mail: ferrite@ukr.net

• Електронні компоненти

• Світлодіодне освітлення

• Друковані плати

• Контрактне виробництво

bis_electronics @BISelectronic bis@bis-el.kiev.ua | bis-el.com
+38 (044) 490-35-99

ВЕРІКОМ КОМПОНЕНТС

- Виробництво друкованих плат від 1 шт
- Контрактне виробництво
- Власний склад електронних компонентів
- Покриття плат лаком і компаундами
- Відповідаємо вимогам стандарту ISO 9001:2015

Україна, м. Київ
вул. Марії Калніст, 2а, оф. 114
URL: www.verikom.kiev.uaтел./факс: (+380) 44-501-9335
(+380) 67-508-0229
E-mail: sales@temys.kiev.ua

ДП «Гальванотехніка» ПАТ «Київський завод "Радар"»

ТОВ «НВЦ друкованих плат»

Виготовлення друкованих плат:

- одно-, дво- та багатопарових 3^{го}- 5^{го} класів складності;
- жорсткогнучких друкованих плат, гнучких кабелів;
- друкованих плат на металі (алюміній, мідь).

Швидке виготовлення (від 3-х днів).

Висока якість. Оптиміальне співвідношення ціна/якість.

Послуги по монтажу плат.

03680, м. Київ, вул. Предславинська, 35
тел.: (044) 592-5467, 528-2068, 528-3656http://plata.com.ua
order@plata.com.ua**WINTEX** (044) 5036112
Професійний ремонт (067) 2983455
(050) 2665517

- Електронні компоненти
- Модулі та датчики для розробників електроніки
- Модулі для ремонту ТВ, комп'ютерів, планшетів, комп'ютерів
- Роз'єми та конектори
- Розробка елементів альтернативної енергетики
- Ремонт усіх видів електроніки та побутової техніки

03150, Київ, вул. Велика Васильківська, 80

www.wintex.com.ua



Прямі поставки від виробника

FLUKE

AEDgroup

Biomedical

ALTIMETRIC

JET

Комплексні поставки
електронних комплектуючих38 (044) 239-96-06
38 (044) 498-01-68www.grandelectronic.com
office@grandelectronic.comБульвар Вацлава Гавела, 8
м. Київ, 03124

- Автоматика
- Датчики
- Джерела живлення
- Компоненти і модулі СВЧ
- Мікросхеми
- Рознімачі
- Реле
- Системи бездротового зв'язку
- Системи відображення інформації
- Хімічні джерела струму



ТОВ "ДЕЛЛІ"
МОНТАЖ SMT ТА SHT
ЕЛЕКТРОННИХ
КОМПОНЕНТІВ

79060, м. Львів,
вул. Наукова, 5-А, корп. Е
Тел.: +38 (032) 245-75-72
+38 (067) 672-27-40
E-mail: basarab@delly.info



Незалежний постачальник
електронних компонентів

EVOCOM
www.evocom.ua

- Швидкі терміни поставок (до 7 днів)
- Безкоштовна доставка по Україні
- Більш ніж 6 млн. товарів в каталозі

www.evocom.ua email: info@evocom.ua
Тел. (044) 520 19 13

Де
Ко


ДРУКОВАНІ ПЛАТИ
ТЕРМІНОВЕ ВИРОБНИЦТВО ВІД 1-ГО ДНЯ!
Одно-, дво-, багатшарові друковані плати,
плати на алюмінієвій основі з технологічними
показниками відповідно до вимог
міжнародного стандарту IPC-A-600

Мембранні клавіатури
– мембранні клавіатурні панелі
– лицеві і накладні панелі

www.pcbetal.com

ТОВ «PCB-ЕТАЛ»
28000, Кіровоградська обл.,
м. Олександрія, вул. Заводська, 1

Для замовлення:
Тел.: +38 (050)268-95-73
e-mail: pcb@etal.ua

3 питань ціноутворення:
Тел.: +38 (066)872-60-65
e-mail: sb10@etal.ua



**EUROCOM
COMPONENTS**

дистрибуція електронних компонентів
контрактне виробництво

08298, смт. Коцюбинське
вул. Пономарьова, 7

Тел. +38 044 33 44 575

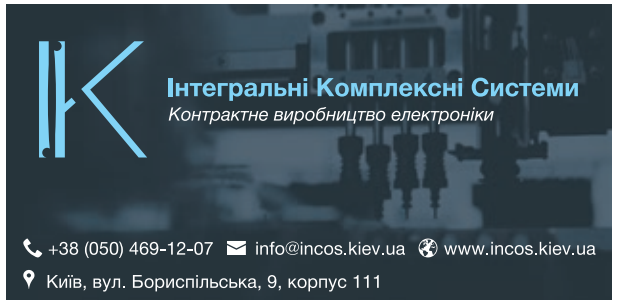
www.eurocom-c.com E-mail: info@eurocom-c.com

ВЧ- та НВЧ-КОМПЛЕКТУЮЧІ І КОМПОНЕНТИ

мікросхеми • транзистори • коаксіальні фільтри
коаксіальні з'єднувачі • коаксіальні кабелі
матеріал для ВЧ-плат • теплорозподільчі матеріали



ЄВРОКОНТАКТ
www.eurocontact.kiev.ua
т/ф +380 44 500 7991
info@eurocontact.kiev.ua



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!



**Усе для розробки,
ремонту та виробництва
електроніки!**

Від резистора до мікропроцесора, радіомонтажний
інструмент та вимірювальні прилади, підбір аналогів
та консультації.

www.ims.kh.ua тел.: (073) 757 25 22 (23), (098) 028 89 17
e-mail: imskharkov@gmail.com (057) 732 04 50, 732 01 76



K206
Електронні компоненти

Все для виробництва
та ремонту зі складу
та на замовлення

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



ТОВ "КОМПАНІЯ ОЛЬВІЯ"
Корпуса пластиків. Клавіатура плівкова.
Кабельно-провідникова продукція.

☎ [044].599.7550 📠 [044].503.3323 ✉ KORPUS.KIEV@GMAIL.COM
ICO: 268-782-777
📍 03113, м. Київ, вул. Дружківська, 12 А 🌐 korp.us.kiev.ua



**КОМПАНІЯ
СП-ТЕКНО**
контрактне виробництво

- контрактне виробництво
- друковані плати
- монтаж
- комплектація

http://spcb.com.ua
e-mail: info@spcb.com.ua
тел./факс: (044) 369-53-67



http://melsys.com.ua



- контрактне виробництво електроніки
- монтаж і виготовлення друкованих плат
- виготовлення трафаретів

ТОВ "Мелсис"
Київ, вул. Новозабарська, 2/6, оф. 204
info@melsys.com.ua

+38 044 578 18 15
+38 096 926 70 69
+38 063 435 68 10

Партнерство в електроніці



03142, м. Київ, вул. Омеляна Прицака, 4, офіс 101
Тел.: 044 392-93-86, Факс: 044 392-93-87
www.micropribor.com.ua sales@micropribor.com.ua

МІКРО ПРІЛАД

Pcb24 — сервіс з експрес виробництва прототипів і невеликих партій одна- та двошарових друкованих плат



За 24 години виготовимо Ваше замовлення

Власне виробництво у м. Львів

ТОВ «Крейтив Лоджикс»
www.pcb24.com.ua
pcbprint24@gmail.com
068 614 38 28



Зручний онлайн РСВ-калькулятор мінімальне замовлення - 5 шт.

Постачання:
- друковані плати FR-4;
- алюмінієві друковані плати;
- трафарети для паяльної пасту;
- паяльна паста;
- припій.

Сайт: pcbtut.com
e-mail: pcbtut@pcbtut.com
+38 (067) 674 99 14



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

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

Авторизований дистриб'ютор
NXP, AMPLEON, WeEn в Україні

Microdis Electronics GmbH
Rheinauer Straße 1
68766 Hockenheim
Germany



Дистриб'ютор електронних компонентів

Роман Прокопець
Менеджер з продажу

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

www.microdis.net

www.otlodka.com.ua

- Автоматизований SMD монтаж друкованих плат
- Фрезерування панелей, корпусів та пластику
- 3D-друк

+38 050 447-12-58 +38 098 661-97-97

Ф.О.П. Савієв Р.Б.

КОНТРАКТНИЙ ВИРОБНИК ЕЛЕКТРОНІКИ ПІД ЗАМОВЛЕННЯ



+38 044 338 97 73
info@pcba.com.ua
pcba.com.ua

вбудовані процесорні плати

COMexpress
Qseven
PC-104
ETX



промислові комп'ютери та системи

www.proxis.ua
+380(44)4675977
+380(44)5995977

RADIODETAILI

- Паяльне обладнання
- Вентилятори
- Трансформатори
- Реле
- Конденсатори
- Резистори
- Світлодіодне обладнання
- Акумулятори
- Блоки живлення
- Мобільні аксесуари

КУПУЙ ВИГІДНО

radiodetali.com.ua

РАДІОМАГ
МЕРЕЖА МАГАЗИНІВ РАДІОДЕТАЛЕЙ

Львів Київ Харків
Одеса Дніпро

www.rcscomponents.kiev.ua
+38(044)299-77-55 sales@radiomag.com.ua

- мікросхеми
- транзистори
- діоди і діодні містки
- GSM, GPS, GPRS
- паяльне обладнання
- вимірвальне обладнання
- блоки живлення
- роз'єми
- інструмент
- пасивні компоненти
- батарейки та акумулятори та багато іншого

ДЛЯ ПРОФЕСІОНАЛІВ І РАДІОАМАТОРІВ

www.radio-tech.com.ua
radiotech@ukr.net

Радио точка

- світлодіодна продукція
- радіодеталі
- акустичні дроти
- реле
- роз'єми
- вимірвальні прилади
- паяльне обладнання

м. Черкаси, вул. Бєлгородна, 172,
тел.: (073) 547-63-47, (067) 547-63-47

RAINBOW TECHNOLOGIES

Rainbow Technologies – офіційний дистрибутор і постачальник в Україні:

MICROCHIP, MAXIM, INFINEON, WINBOND, ALTERA, SAMSUNG (LED), LEDIL, VISHAY, ANALOG DEVICES, TEXAS INSTRUMENTS

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

www.rainbow.com.ua

Rich E1 electronic components

ТОВ "РИЧЕЛ"

Поставки електронних компонентів
Асортимент зі складу та технічна підтримка

вул. Семена Скляренка, 9, оф. 201
04073, м. Київ
info@rekkon.kiev.ua
http://rekkon.kiev.ua

тел.: +38 (044) 490-92-50
факс: +38 (044) 494-27-08

Промислові та ІТ-шафи, щити, електронні системи, системи контролю мікроклімату, струморозподільче обладнання, всепогодні шафи та комплексні рішення для ЦОД, ПЗ EPLAN

Ріттал ТОВ - вул. Київська, 68, 08132, Вишневе, Київська обл.
Тел. +380 (44) 536 99 44 E-mail: office@rittal.com.ua
www.rittal.com.ua

RIITAL

SEA ІННОВАЦІЯ ТА ЕФЕКТИВНІСТЬ 30

м. Київ, вул. Кравківська, 13-Б
тел. +38 (044) 330-00-88
sea.com.ua, info@sea.com.ua

Постачання: Електронні компоненти • Джерела живлення • Світлодіодна продукція та оптоелектроніка Індикатори, дисплеї • Обладнання для енергетики • Електротехнічна продукція • Кабельно-провідникова продукція • Обладнання для промислової автоматизації • Бездротові компоненти Вимірвальні прилади Паяльне обладнання і матеріали для пайки • Сонячна енергетика

Виробництво: Світлоформи та технічні засоби управління дорожнім рухом • Автоматизована система обліку та контролю енергоресурсів • Паркувальне обладнання і системи • WIM - системи динамічного зв'язування транспорту • Світлодіодні екрани та медіафасади SEA • Система керування міським освітленням Комплексна система диспетчеризації ліфтів • Джерело безрезервнийого живлення

Послуги: Великоузлове складання обладнання • Прокрутування друкованих плат Виробництво друкованих плат • Контрактно виробництво електроніки • SMD і DIP монтаж компонентів • Комерційні розробки • Прокрутування, монтаж, модернізація, технічне обслуговування паркувальних комплексів, світлофориків та WIM об'єктів

Харків: khar@sea.com.ua Дніпро: dnipro@sea.com.ua Львів: lviv@sea.com.ua

Semisvit
Create with us

ТОВ "СЕМІСВІТ"
вул. Б. Хмельницького, 16-22, оф. 504-Г
01601, м. Київ, Україна
тел./факс: +380 44 586-2580
www.semisvit.com.ua
info@semisvit.com.ua

Електронні компоненти зі всього світу.
Створюйте з нами!

ЕЛЕКТРОННІ КОМПОНЕНТИ ТА КОНТРАКТНЕ ВИРОБНИЦТВО

SMD UKRAINE

03057, м. Київ, вул. Желязова, 2-А,
корт. 7, кім. 303

тел.: (044) 223-12-42
(073) 705-70-05
(096) 705-70-05

info@smdua.in.ua www.smdua.in.ua

SOFTPROM
VALUE ADDED IT DISTRIBUTOR

Дистрибутор Altium в Україні
www.softprom.com/ua/vendor/altium
altium@softprom.com

Altium Designer

ТОВ "Софтпром Солонська"

НВП ТЕХНОСЕРВІСПРИВІД**ВСЕ ДЛЯ СИЛОВОЇ ЕЛЕКТРОНИКИ ТА ЕЛЕКТРОТЕХНІКИ**

Діоди та містки,
діодні, тиристорні, IGBT модулі,
силові напівпровідники (**SEMİKRON**),
конденсатори косинусні, імпульсні, моторні
(**ELECTRONICON**)

Продаж, ремонт перетворювачів частоти,
пристроїв плавного пуску (**DANFOSS**)

Для пошти: 04211, Київ-211, а/с 141
Тел./факс: (044) 458-47-66, 456-19-57
E-mail: tsdrive@ukr.net, Web: www.tsdrive.com.ua

**TMS PROJECT**

Контрактне виробництво
Сертифіковано ISO9001
Постачання електронних компонентів



Україна, Київ
вул. Марії Капніст, 2а, оф. 114
тел./факс: (044) 501-9335
URL: www.tmsproject.com.ua
E-mail: sales@temys.kiev.ua

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

ELFA DISTRELEC
ПОСТАВКИ ЕЛЕКТРОННИХ КОМПОНЕНТІВ
ЗІ СКЛАДУ У ЄВРОПІ

ТОК ЕЛЕКТРОНІК
офіційний дистрибутор в Україні

04080, м. Київ
вул. Вікентія Хвойки, 18/14
склад 10/В

www.distrelec.biz
e-mail: ula@tok-el.com
oksana@tok-el.com

Тел. +38 066 781 66 11
+38 093 896 40 88



Полімерні трафарети для SMD монтажу

www.trafaret.net.ua

e-mail: order@trafaret.net.ua

тел. 063-851-12-76, 098-871-58-76



phoenixcontact.com



Електронні компоненти
Електротехнічна продукція
Технологічне обладнання, інструмент, матеріали

1-й пов., вул. Попудренка, 22/14, м. Київ
тел. 044 495 75 75, моб. 068 496 75 75

www.filur.net
office@filur.net



ТОВ «ЮНІТЕСТ»
вул. Олеся Гончара, 6
04053, м. Київ, Україна
тел: +38 (044) 272-60-94
тел./факс: +38 (044) 272-60-95
e-mail: web@unitest.com
http://www.unitest.com

КОНТРОЛЬНО-ВИМІРЮВАЛЬНІ ПРИЛАДИ

АВТОРИЗОВАНИЙ ДИСТРИБ'ЮТОР В УКРАЇНІ
продаж • навчання • сервіс



Автоматизований дистрибутор

ЮСТАС
Електронні компоненти провідних світових виробників:
конденсатори всіх типів, транзистори, теристори,
мікросхеми, діоди, діодні мости, кварци,
індикаторна продукція всіх типів, вентилятори,
механічні елементи, кабельна продукція

justas@ipm.lviv.ua
justas_k@ukr.net

Магазин "Електронних компонентів"
79018, м. Львів, вул. Героїв УПА, 40,
т/ф (032) 237-31-82, (032) 238-94-41
поведінка - субота з 10.00 до 18.00

http://justas-electronics.com.ua
+38 (093) 020-40-51

ЕЛЕКТРОНІКА • ЕЛЕКТРОТЕХНІКА • АВТОМАТИКА

CHIP NEWS

НАУКОВО-ТЕХНІЧНИЙ ЖУРНАЛ

ВИДАЄТЬСЯ З 2001 РОКУ

03061, Київ,
просп. Відрадний, 10

t.me/chipnewsua
info@chipnews.com.ua
www.chipnews.com.ua



СВІТЛО

спеціалізована виставка

- Технічне освітлення
- Джерела світла
- Світлодіодне освітлення
- Архітектурне та дизайнерське освітлення
- Автоматизовані системи керування освітленням

24-26 КВІТНЯ 2024



Київ, МВЦ, Броварський пр.-т, 15,
Павільйон 1

LIGHTEXPO.COM.UA



Генеральний інформаційний
партнер



Офіційний інформаційний
партнер



XXII МІЖНАРОДНИЙ ПРОМИСЛОВИЙ ФОРУМ-2024

МІЖНАРОДНІ СПЕЦІАЛІЗОВАНІ ВИСТАВКИ



Генеральний
інформаційний партнер:



28-30 травня

IEC МІЖНАРОДНИЙ
ВИСТАВКОВИЙ ЦЕНТР
м. Київ, Броварський пр-т, 15
станція метро «Лівобережна»

☎ +38 (095) 268-05-85, (096) 505-52-66
✉ lilia@iec-expo.com.ua,
plast@iec-expo.com.ua
🌐 www.iec-expo.com.ua



Київ Травень 28-30
Україна 2024



Виставка систем охорони та безпеки

Expert Security

БЕЗПЕКА ЗОВСІМ ПОРЯД



МІЖНАРОДНИЙ
ВИСТАВКОВИЙ ЦЕНТР

м. Київ, Броварський пр-т, 15
станція метро «Лівобережна»



+38 (050) 403-66-91

+38 (050) 770-36-75



expert@iec-expo.com.ua



www.expert-security.com.ua



ВИСТАВКИ 2024

Назва	Сайт	Організатор	Місто	Дата проведення*
Kyiv Maker Faire	https://kyiv.makerfaire.com/	ГО «Мейкер Хаб»	Київ	02.03.2024
СВІТЛО	www.lightexpo.com.ua	Поток-Центр	Київ	24.04 - 26.04.2024
Міжнародний промисловий форум	www.iec-expo.com.ua/pf-2024.html	МВЦ	Київ	28.05–30.05.2024
Addit EXPO 3D	www.iec-expo.com.ua/addit-2024.html	МВЦ	Київ	28.05–30.05.2024
Expert Security	https://expert-security.com.ua/	МВЦ	Київ	28.05–30.05.2024
ELECTRO INSTALL	www.iec-expo.com.ua/ei-2024.html	МВЦ	Київ	15.10–17.10.2024
E-Comps+DigiTec	www.iec-expo.com.ua/ecom-2024.html	МВЦ	Київ	15.10–17.10.2024
EcoEnergy Expo	www.iec-expo.com.ua/ee-2024.html	МВЦ	Київ	15.10–17.10.2024
Енергетика в промисловості	www.iec-expo.com.ua/ep-2024.html	МВЦ	Київ	15.10–17.10.2024

* Інформація отримана від організаторів виставок. Можливі зміни в залежності від ситуації.

РОЗМІРИ РЕКЛАМНИХ БЛОКІВ

1 сторінка (200×270 мм)*
 2/3 сторінки (112×240 мм)
 1/2 сторінки (170×120/83.5×240 мм)
 1/3 сторінки (54×240/112×120/170×80 мм)
 1/4 сторінки (112×100 мм)
 1/6 сторінки (54×120/112×60/127×55 мм)
 «Візитка» (80×40 мм)

* Для усунення неточностей при обрізанні, розмір реклами, яка подається, повинен бути 210×280 мм (дообрізний формат з урахуванням «вильотів» по 5 мм з кожного боку, які краще заповнити основним фоном реклами). Значимі символи (текст, логотип та інші елементи оформлення, які гарантовано не повинні потрапити під обрізку) не повинні підходити до краю сторінки менш ніж на 10 мм (післяобрізний формат сторінки 200×270 мм).

Редакція журналу «CHIP NEWS» приймає до розміщення тільки повнокольорові рекламні блоки, розміри яких повинні в точності відповідати розмірам, наведеним у таблиці.

Текст реклами повинен бути виключно українською мовою.

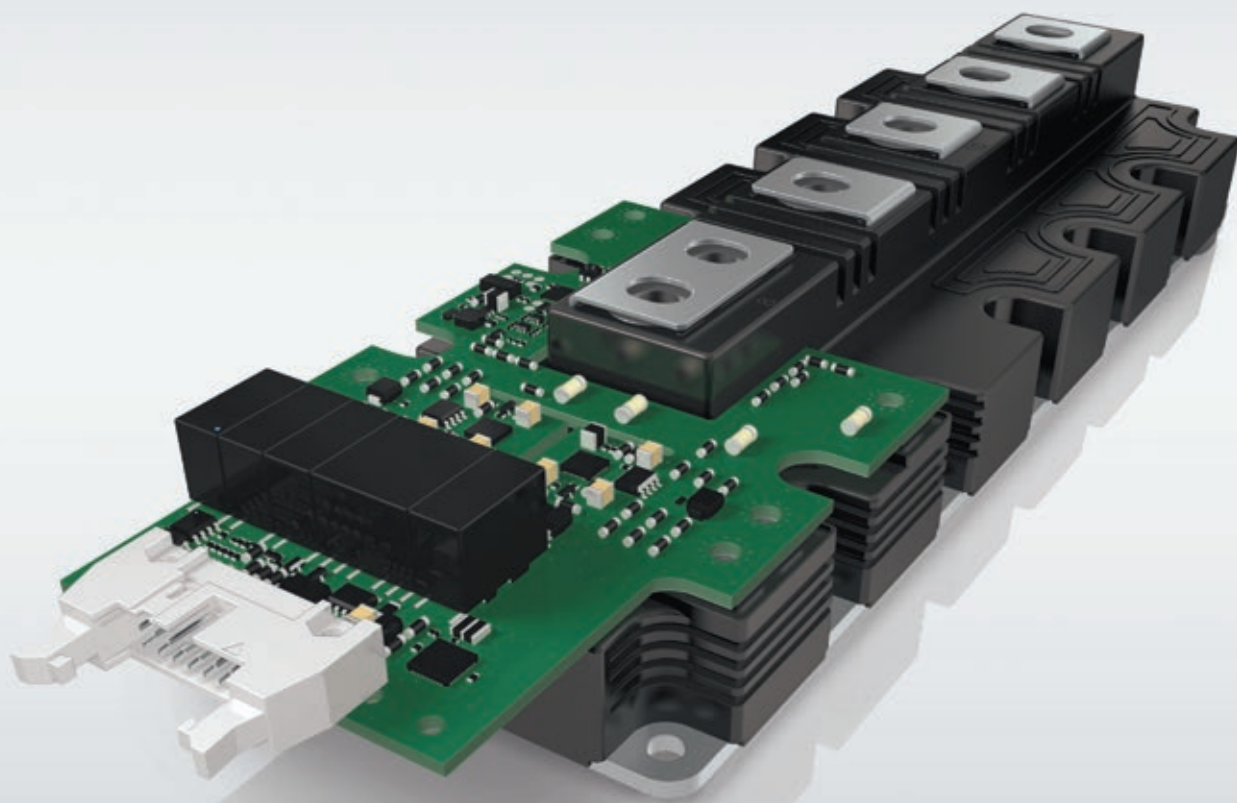
ВИМОГИ ДО РЕКЛАМНИХ І АВТОРСЬКИХ МАТЕРІАЛІВ

Рекламні матеріали приймаються **тільки українською мовою в форматах «.eps» або «.tif» (300 dpi)**. Кольорова модель — **СМΥК**. Сумарний процент фарб — не більше 300%. Якщо в форматі «.eps» є впроваджені растрові зображення, вони також повинні мати роздільну здатність 300 dpi і кольорову модель СМΥК. **Всі шрифти обов'язково повинні бути переведені в криві.**

Авторські матеріали. Текст статті приймається в форматі «.doc» (Microsoft Word). Всі рисунки повинні бути підготовлені **тільки в форматах «.eps»**, фотографії — в форматі **«.tif» (300 dpi)**, кольорова модель — **СМΥК** і надані окремими файлами. Кожний рисунок повинен мати підписувачий підпис і посилання на нього в статті. Якщо в статті є таблиці, то кожна таблиця повинна мати назву, посилання на неї в статті і надаватись в форматах «*.doc» або «*.xls».



Нове покоління модулів SEMITRANS 10 і цифрових драйверів SKYPER PRIME



Діапазон потужностей 500 кВт–1,5 МВт

Модулі IGBT в стандартному промисловому корпусі

Висока стійкість до термоцикування

Цифровий драйвер із наднизьким рівнем джиттеру та вихідним струмом 50 А

Два ізольованих канали передачі сигналів сенсорів з ШІМ-модуляцією

Волоконно-оптичний інтерфейс (опціонально)



Моторні
приводи



Альтернативні
джерела енергії



Перетворювачі
потужності



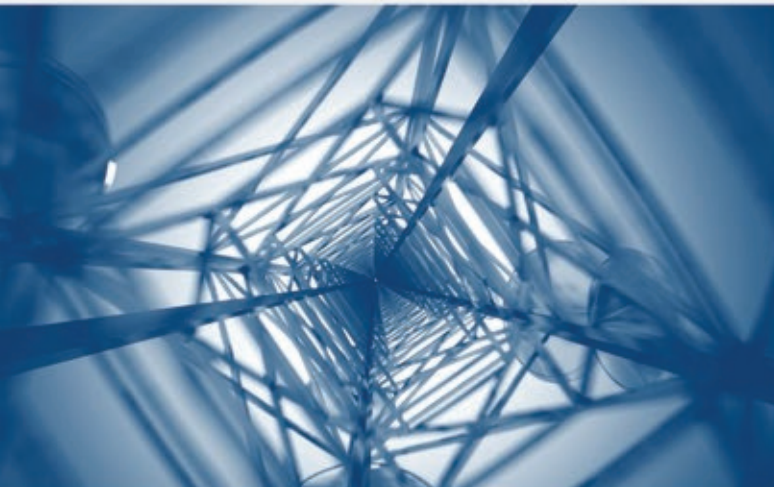
Електротранспорт



www.semikron-danfoss.com



AMPLEON



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

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



MASTEK

Авторизований дистриб'ютор
Ampleon в Україні

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

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