

CHIP NEWS

100



PHOENIX CONTACT

- 100 років Phoenix Contact ... стор. 10
- Перехід від 2G/3G до LTE ... стор. 14
- Точне землеробство ... стор. 16

- Високонадійні транзистори ART ... стор. 22
- Altium Designer 23.0. Що нового? ... стор. 28
- SiC MOSFET для транспорту ... стор. 44

- 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 WLCSFP	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						

№ 09-10 (219-220), 2022 р.

Науково-технічний журнал
Видається з 2001 р.
ТОВ «Булавів-Посад л.т.д.»Зареєстрований
Міністерством юстиції України.
Свідоцтво про державну реєстрацію
друкованого засобу масової
інформації
Серія КВ № 25055-14995Р
14.12.2021 р.**Головний редактор:**

Сірич О. В.

E-mail: editor@chipnews.com.ua

Редакційна колегія:Войналович М. Ю., Крючатов С. Д.,
Куничак Н. К., Кураєв П. П.,
Макаренко В. В., Олещенко Н. І.,
Поліщук С. І., Рентюк В. К.,
Стецюк Л. В., Чорний В. М.,
Шаріпова Т. В., Шевченко В. Л.**Розповсюдження, передплата**

Руднева О. Ю.

E-mail: peredplata@chipnews.com.ua

Адреса редакції:03061, Київ,
просп. Відрадиний, 10тел./факс: (044) 490-74-99,
(044) 490-74-30E-mail: info@chipnews.com.ua
http://www.chipnews.com.uaПередплатний індекс за каталогом
ДП «Преса» (Укрпошта) — 21934Передплата і доставка по Україні
за каталогами провідних
передплатних агенцій

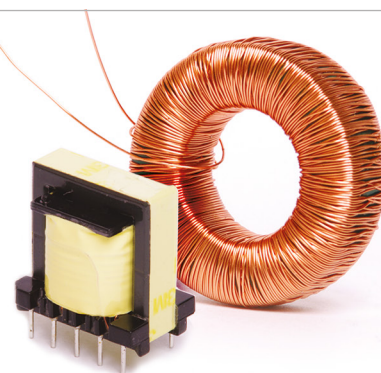
© «CHIP NEWS».

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

ЗМІСТ

НОВИНИ**Новини світу електронних компонентів. 4****ПОДІЇ****Історія компанії Phoenix Contact.****Пориньте у 100-річну історію нашої компанії 10****ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЇ****Чи готові ви до майбутнього?****Захистіть свої розробки від впливу****відключення 2G/3G за допомогою LTE 14****СИСТЕМИ ПОЗИЦІЮВАННЯ***Набіль Хан (Nabeel Khan)***Нагодувати світ за допомогою точного землеробства 16****ДАТЧИКИ****Інфрачервоні детектори VIGO System 19****ТРАНЗИСТОРИ***Том Деккер (Tom Dekker)**Адаптований переклад українською**та технічне редагування: Роман Горелков***Вдосконалені високонадійні транзистори ART****від компанії Ampleon. 22****СИСТЕМИ ПРОМИСЛОВОЇ
АВТОМАТИЗАЦІЇ***Чень Ю Шан**Переклад: Володимир Рентюк***Рішення Advantech для роботизованого****виробництва автомобілів 26****ДРУКОВАНІ ПЛАТИ***Адаптований переклад українською**та технічне редагування: Яна Зінгер***Altium Designer 23.0. Що нового? 28**

www.adcgr.com

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

Ілля Лейтес

**Основні напрямки розвитку технологій
для виробництва друкованих плат** 32

ВИМІРЮВАЛЬНА ТЕХНІКА

**Моделювання перехідних процесів і завад
джерел живлення під час розроблення
та тестування систем супутникового
зв'язку та систем оборонного призначення.
Рекомендації щодо застосування.** 39

ТРАНСПОРТ

Вілл Стюарт (Will Stewart)

**Готові до експлуатації надійні роз'єми
для електромобілів.
Революція електромобілів потребує
надійної зарядки** 42

СИЛОВА ЕЛЕКТРОНІКА

Сінін Чжан (Xuning Zhang), Томаш Кречек (Tomas Krecek),
Найтеш Сатіш (Nitesh Satheesh)

**Рекомендації компанії Microchip Technology
щодо вибору SiC MOSFET для транспортних
і промислових застосувань.** 44

Клайс Vogель (Klaus Vogel), Ян Бауріхтер (Jan Baurichter),
Віталі Вайс (Vitali Weiss), Крістіан Стенінгер (ChristianSteininger),
Фабіан Северін (Fabian Severin)
Переклад: Євген Карташов

**Модулі серії Infineon EconoDUAL 3 Black:
добре відомі переваги та нові особливості** 46

Пол Дрексхейдж (Paul Drexhage),
Стефан Хаузер (Stefan Houser)
Переклад і коментарі: Андрій Колпаков

**Вплив вологості та конденсації на роботу
силових електронних систем** 53

МІКРОКОНТРОЛЕРИ

Переклад: Андрій Лебедев

**Мікроконтролер Renesas RA4W1 з Bluetooth Low Energy
для поліпшення якості медичного обслуговування.** 64

Тетяна Колеснікова

**Робота з мікроконтролерами STM32 сімейства Cortex-M3
у програмному середовищі Proteus 8.11.
Частина 3** 68

СИСТЕМИ НА КРИСТАЛІ

Віктор Алексєєв

Адаптований переклад українською
та технічне редагування: Андрій Мовчанюк

**Нова інтегральна система на кристалі onsemi
для діапазону частот 27–1 050 МГц.** 82

«CHIP NEWS»-2022 (зміст журналу за 2022 рік) 92

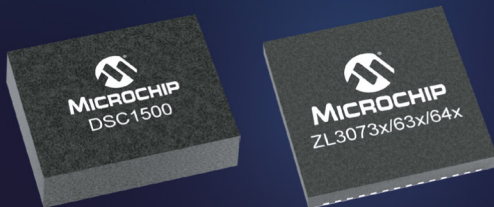
ВІЗИТКИ 98

ІНФОРМАЦІЙНА СТОРІНКА. 104

Microchip це...

Джерела тактових сигналів та пристрої синхронізації

- Атомні годинники <
- Тактові генератори <
- Синхронізація для PCIe® <
- Годинники реального часу <
- Тактові та синхронізуючі пристрої на основі мікроелектромеханічних систем (MEMS) <



- Зв'язок 5G
- Центри опрацювання даних
- Електроенергетика
- Телекомунікація
- Генерація та перетворення енергії
- Аерокосмічна галузь
- Промисловість
- Авіація
- Автомобільна техніка
- Транспортування та перевезення
- Оборонний сектор



microchip.com/clock-timing



Назва і логотип Microchip та логотип Microchip є зареєстрованими товарними знаками компанії Microchip Technology Incorporated в США та інших країнах. Всі інші товарні знаки є власністю їх зареєстрованих власників.
© 2022 Microchip Technology Inc. Всі права захищені.
MEC2459A-UK-12-22

Новини світу електронних компонентів

НОВИЙ ГІБРИДНИЙ СИЛОВИЙ МОДУЛЬ «ВСЕ-В-ОДНОМУ»

Виробники літаків, які розробляють більш електричні літаки (MEA), прагнуть перевести системи управління польотом з гідравлічних на електричні, щоб зменшити вагу і складність конструкції. Щоб задовольнити потреби в інтегрованому та конфігурованому силовому рішенні для авіаційних застосувань, компанія **Microchip Technology Inc.** анонсувала новий комплексний гібридний силовий модуль, перший варіант, представлений в новій лінійці силових пристроїв, які будуть доступні в 12 різних варіантах з карбідом кремнію (SiC) MOSFET або біполярними транзисторами з ізольованим затвором (IGBT).

Ці гібридні силові модулі є високоінтегрованими силовими напівпровідниковими пристроями, які зменшують кількість компонентів і спрощують загальну конструкцію системи. Конфігуровані силові пристрої включають тримостову топологію, які доступні в напівпровідникових технологіях SiC або Si. Пропонуючи компактну конструкцію, малу вагу і профіль, ці високонадійні силові пристрої допомагають зменшити розмір і вагу MEA.

Інші ключові можливості цих гібридних силових модулів включають численні допоміжні силові пристрої, які полегшують функцію обмеження пускового струму. Додаткові можливості включають плавний пуск, електромагнітний інтерфейсний привід, рекуперативний гальмівний вимикач і термодатчики для використання зовнішніх схем моніторингу. Силові модулі також забезпечують генерацію електроенергії з високою частотою перемикання, що дозволяє створювати більш компактні та ефективні системи.

Стандартна напруга силових модулів становить від 650 В до 1200 В, з можливістю налаштування до 1700 В за запитом. Пристрій розроблений для низьких індуктивностей для високої щільності потужності з силовими і сигнальними роз'ємами, які припаюються безпосередньо на друкованій платі користувача.

«Microchip прагне розробляти продукти, які слугують бу-

дівельним блоком для реалізації легких, компактніших та високо-ефективних системних рішень в авіації, — сказав Леон Гросс (Leon Gross), корпоративний віце-президент підрозділу дискретного керування живленням компанії Microchip. — Гібридні силові модулі забезпечують комплексне енергетичне рішення для наших клієнтів, які розробляють більш електричні літаки».

Компанія Microchip є перевіреним постачальником комплексних рішень в галузі енергетики. Ці гібридні силові модулі легко конфігуруються з іншими продуктами та компонентами Microchip, такими як програмовні вентильні матриці (ПЛІС), інтегральні схеми пам'яті, контролери електроприводів та інтегральні схеми моніторингу електроприводів.

www.microchip.com

ПРИСТРІЙ КЕРУВАННЯ ЖИВЛЕННЯМ

Комерціалізація низької навколосферної орбіти (НОО) трансформувала космічні дослідження і супутниковий зв'язок на висоті приблизно 1200 миль над Землею. Щоб супутники успішно працювали і досягали місця призначення, важливо вибрати компонент, здатний витримати суворе космічне середовище. Спираючись на існуючий портфель радіаційно-стійких компонентів, компанія **Microchip Technology Inc.** (Nasdaq: MCHP) оголошує про випуск свого першого комерційного готового до використання радіаційно-стійкого пристрою живлення зі стабілізатором напруги MIC69303RT 3A з низьким падінням напруги (LDO). Новий сильноточний низьковольтний регулятор напруги MIC69303RT — це рішення для керування живленням, призначене для низькоорбітальних та інших космічних застосувань. Пристрій доступний для створення прототипів як у пластиковому, так і в герметичному керамічному корпусі, що відповідає вимогам місії.

MIC69303RT базується на перевірених COTS-пристроях, що полегшує проведення попередньої оцінки та ранньої розроб-

ки. Працюючи від одного низьковольтного джерела живлення від 1.65 до 5.5 В, пристрій може забезпечувати вихідну напругу до 0.5 В за великих струмів, пропонуючи високу точність і наднизьку напругу падіння до 500 мВ в екстремальних умовах. MIC69303RT — це супутнє джерело живлення для радіаційно-стійких мікроконтролерів Microchip, призначених для космічних застосувань, таких як SAM71Q21RT і ПЛІС PolarFire®, включаючи RTPPF500TLS.

«MIC69303RT — це перший радіаційно-стійкий пристрій керування живленням Microchip з герметичним керамічним корпусом, захистом від замикання та стійкістю до загальної дози 50 Крад, — сказав Боб Вампола (Bob Vampola), віце-президент аерокосмічного та оборонного підрозділу компанії Microchip. — Компанія Microchip має більш ніж 60-річний досвід космічних польотів, що дозволяє клієнтам обирати продукти, призначені для спільної роботи та прискорення процесів проектування».

«Це стійке до випромінювання COTS рішення для керування живленням відкриває нові можливості для проектування космічних систем, — говорить Кіт Пазул (Keith Pazul), директор з маркетингу підрозділу аналогових джерел живлення та інтерфейсів компанії Microchip. — Клієнти можуть з упевненістю проектувати свої космічні системи, вибравши космічну частину COTS MIC69303RT для живлення космічних мікроконтролерів і ПЛІС Microchip».

Розроблений для жорстких умов експлуатації в аерокосмічній галузі, MIC69303RT працює в діапазоні температур від -55 °C до +125 °C. Він пропонується у 8- та 10-контактних корпусах з допуском до радіації до 50 Крад. Низький рівень шуму на виході є критично важливим для чутливих радіочастотних ланцюгів, пост-регулювання імпульсних джерел живлення та промислових систем живлення.

Пристрій MIC69303RT є новітнім космічним продуктом компанії Microchip і виготовляється відповідно до наступних вимог MIL Class Q або Class V: скрінінгові випробування, кваліфікаційні ви-

пробування і специфікації TCI/QCI. Пластина MIC69303RT відповідає високонадійним вимогам до якості пластмас, що випливають з автомобільних вимог AEC-Q100, а також специфічним додатковим випробуванням, необхідним для космічних застосувань.

www.microchip.com

БАЙСІВСЬКИЙ ПРОЦЕСОР ДЛЯ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ

За минулі кілька років технології глибокого машинного навчання та інші технології, що лежать в основі штучного інтелекту, здійснили якісний ривок з погляду їхньої продуктивності та функціональності. Однак, процес навчання та експлуатації нейронних мереж все ще вимагає великих кількостей часу, енергії та обчислювальних потужностей. Тому вчені та інженери в усьому світі намагаються розробити альтернативні апаратні засоби, що можуть забезпечити більш швидку та ефективну роботу моделей штучного інтелекту, що збільшить їхню стабільність і дасть змогу використовувати їх повсюдно.

До таких груп належить і зведена група з кількох французьких наукових установ, яка нещодавно закінчила створення так званого байсівського процесора, що забезпечує роботу деяких з алгоритмів штучного інтелекту, заснованих на теоремі Байєса. І найцікавішим є те, що в основу цього процесора лягла матриця з мемристів, що дало цьому процесору найвищу енергоефективність порівняно з традиційними методами.

Нагадаємо нашим читачам, що мемристори є одним з відносно нових видів базових електронних компонентів. Їхньою відмінною рисою є те, що вони здатні запам'ятовувати у вигляді їхнього електричного опору значення струму, що протікав через них раніше. Таким чином, мемристори можуть виступати одразу у двох ролях — як комірки пам'яті, і як обчислювачі, що виконують обробку інформації, що, своєю чергою, дає змогу реалізувати за їхньою допомогою принципи зберігання та обробки інформа-

www.chipnews.com.ua

ції, схожі з принципами роботи людського мозку.

Новий байєсівський процесор містить 2048 мемристорів з оксиду гафнію і 30080 традиційних кремнієвих польових транзисторів (MOSFET). Роботу цього процесора було оцінено на досить поширеному завданні з розпізнавання жестів. І новий процесор впорався з цим завданням, використавши в тисячі разів меншу кількість енергії, ніж традиційне рішення на основі мікроконтролера.

Наразі французькі дослідники закінчили проектування і запустили етап виробництва нового варіанту байєсівського процесора, що має значно більшу кількість ресурсів. Паралельно з цим ведеться робота з адаптації інших підходів машинного навчання до нових апаратних засобів. І, цілком імовірно, що в недалекому майбутньому нові процесори стануть основою медичних пристроїв, систем безпеки та різноманітних датчиків, здатних контролювати всі аспекти життя, що нас оточує, починаючи від стану здоров'я людини до перебігу промислових виробничих процесів.

<https://techxplore.com>

З'ЄДНУВАЧІ ДЛЯ АВТОМАТИЗОВАНОГО ВИРОБНИЦТВА

Нова серія обтискових з'єднувачів провідник-плата Connexis для підготовки кабелів від компанії **Phoenix Contact** оптимізує автоматизоване виробництво, забезпечуючи швидкість і точність з'єднання друкованих плат.

Оптичне маркування на штекері значно спрощує монтаж на власному виробництві або в польових умовах. Клієнти також можуть вибирати з широкого спектру індивідуальних маркувань. Для запобігання неправильному підключенню компанія Phoenix Contact пропонує штекери та основні колодки з механічним кодуванням. Також можна вибирати до трьох варіантів кодування.

Асортимент Connexis складається зі з'єднувачів та основ колодки для горизонтального або вертикального з'єднання, а також прохідних панелей. Це дозволяє реалізувати підключення пристроїв, а також вільнопідвищені з'єднання за допомогою штекера та гнізда. В асортименті обтискові контакти для провідників від AWG 28 до AWG 14. Завдяки кроку

2.5 мм, 3.81 мм і 5.08 мм з'єднувачі серії D21, D31 і D32 придатні до застосування з різними джерелами сигналів та низької напруги.

www.phoenixcontact.com

ДЖЕРЕЛА ЖИВЛЕННЯ TRIO POWER

Надійні джерела живлення Trio Power зі ступенем захисту IP67 від **Phoenix Contact** підходять для децентралізованого живлення в польових умовах.

Стійкий до впливу погодних чинників литий алюмінієвий корпус захищає пристрій від потрапляння пилу й води. Таким чином, джерела живлення забезпечують високу експлуатаційну готовність системи навіть у жорстких умовах навколишнього середовища.

Нові пристрої мають сертифікат UL 1310 і дозволяють будувати електричні кола класу 2 згідно з Національними електротехнічними нормами та правилами (NEC) з обмеженим енергоспоживанням. Джерела живлення призначені для невеликих навантажень або чутливих споживачів, як-от контролерів, датчиків і виконавчих меха-

нізмів. Вони доповнюють наявний асортимент продукції чотирма різними варіантами підключення пристроїв і таким чином пропонують ще більшу гнучкість монтажу.

Джерела живлення Trio Power характеризуються високою стійкістю до ударів і вібрацій та високою електричною міцністю. Міцний литий алюмінієвий корпус забезпечує високу експлуатаційну готовність системи в екстремальних умовах навколишнього середовища (температура, пил і вода). Температурний діапазон від -25 до $+70$ °C підвищує гнучкість застосування просто неба. Встановлення безпосередньо на споживач у полі економить кабель і звільняє місце в шафі керування. Світлодіоди DC OK та AC OK розширюють можливості безпосередньої діагностики в польових умовах, запобігаючи відмовам системи. Завдяки ККД понад 93% лише невелика кількість електричної енергії перетворюється на непотрібну теплову енергію, що забезпечує ефективну роботу системи.

Джерела живлення також можна конфігурувати з використанням чотирьох різних типів з'єднувачів: круглих з'єднувачів



Все для інфраструктури зарядки електричних транспортних засобів

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

За детальнішою інформацією,
звертайтеся:

ТОВ "Фенікс Контакт"
(044) 594 55 22

https://phoe.co/E-mobility_Infrastructure

M12-L, M12-A або 7/8", а також прохідних панелей IPD із пружинним з'єднанням Push-in. Це додатково підвищує гнучкість під час монтажу.

www.phoenixcontact.com

DC/DC-ПЕРЕТВОРЮВАЧІ З УЛЬТРАШИРОКИМ ВХОДОМ 250–1500 В

Останнім часом пришвидшення змін клімату спонукає країни по всьому світу брати на себе зобов'язання досягти нульових викидів. У поєднанні зі зростанням вартості та дефіцитом природних ресурсів різко зріс попит на відновлювані джерела енергії, такі як фотоелектричні модулі та на накопичувачі енергії. Прагнучи задовольнити зростаючий попит, **MEAN WELL** запустив виробництво нових DC/DC-перетворювачів потужністю 150 Вт та 300 Вт із входом 250–1500 В постійного струму — серії RSDH-150 та RSDH-300.

Новинки виконані в корпусі без вентилятора, можуть працювати за температури від -40 до +80 °C і на висоті до 5000 м, мають високий рівень ізоляції 4KVAC, комплекс захистів входу і виходу, чудові характеристики EMC і відповідають IEC/EN62109-1. Все це робить їх чудовим вибором для використання в накопичувачах енергії, зарядних станціях та інших застосуваннях, де треба перетворення постійного струму з високої напруги на низьку.

www.meanwell.com

DC/DC ПОТУЖНІСТЮ 30 ВТ

Нові 30-Вт DC/DC-стабілізатори REC30E-Z виробництва

компанії **RECOM** пропонують чудове поєднання питомої потужності, продуктивності та вартості за номінальної потужності 30 Вт у корпусі розміром всього 25.4 × 25.4 × 10 мм. Пропонуються два широкі діапазони вхідної напруги: 9–36 В і 18–75 В, що охоплюють широкий спектр номінальних значень і їх допусків. Доступні повністю регульовані одинарні та подвійні виходи: 3.3 В, 5 В, 12 В, 15 В, 25 В, ±12 В і ±15 В постійного струму.

Завдяки використанню передової схемотехніки та теплового дизайну RECOM, пікова ефективність деталей перевищує 90%, що дозволяє їм працювати за високих температур навколишнього середовища без зниження продуктивності. При зменшенні потоку повітря або навантаження вихідна потужність обмежується максимальною температурою корпусу 105 °C. Криві ККД залишаються практично рівними приблизно до 20% навантаження, що забезпечує низькі втрати в режимі очікування, а мінімальне навантаження не потрібне. Для переведення пристроїв у стан з низьким рівнем розсіювання передбачено керування вимиканням, а для окремих вихідних елементів передбачено підлаштування ±10%.

Номінальна ізоляція серії REC30E-Z становить 2 кВ/1 хв, а деталі мають сертифікати безпеки відповідно до IEC/EN 62368-1. Стандарт електромагнітної сумісності EN 55032 класу А виконується без зовнішніх компонентів, тоді як межі класу В можуть бути досягнуті за допомогою простої додаткової мережі фільтрів. Надійність деталей цієї серії, як правило, перевищує 500 тис. годин згідно з MIL-HDBK 217F, GB за 25 °C.

Серія наскрізних виводів REC30E-Z пропонується в мід-

ному металевому корпусі для екранування і відмінних теплових характеристик, а також в герметичній оболонці для використання в суворих умовах забруднення 2 ступеня.

Ці продукти, як правило, застосовуються на промислових ринках, але вони знайдуть застосування в будь-якому продукті, де простір на платі є преміум-класу і надійність, а також потрібна висока продуктивність за доступною ціною.

www.recom-power.com

ПРИСТРІЙ, ЩО ВИПРОМІНЮЄ РАДІОХВИЛІ ПРАКТИЧНО БЕЗ СПОЖИВАННЯ ЕНЕРГІЇ

Група вчених та інженерів зі Стенфордського та Вашингтонського університетів розробила нову технологію малопотужних радіокомунікацій, яка, на перший погляд, порушує деякі з базових законів фізики. Інформація в цій системі передається шляхом замикання і розмикання електронного ключа, транзистора, який з'єднує резистор з антеною певної конфігурації. При цьому, в саму передавальну антену не подається ніякої додаткової енергії.

У звичайних радіосистемах також присутні подібні ключі або їхні складніші аналоги, звані модуляторами. Ці ключі з'єднують виходи генераторів синусоїдальних сигналів великої частоти з передавальною антеною або проміжним підсилювачем потужності.

Але в новій системі генератор сигналу не потрібен, натомість використовуються випадкові теплові перешкоди, що виникають у кожному електронному компоненті внаслідок теп-

лового руху вільних електронів. У цьому разі роль електронного компонента виконує спеціальний резистор, а як ключ використовується транзистор, що не має рухомих частин, тож усі витрати енергії на боці передавача полягають у дуже малих кількостях, потрібних лише для перемикання транзистора.

Усе це має настільки неймовірний вигляд, що під час проведення експертної оцінки цього досягнення, рецензенти попросили дослідників надати пояснення того, як робота цієї системи не порушує другого закону термодинаміки. Бо в разі порушення цього закону вийшло б так, що було б винайдено новий вид вічного двигуна, що, як нам добре відомо, принципово неможливо.

І тут же розкрилася інша особливість цієї системи. Згідно з однією з інтерпретацій другого закону термодинаміки, тепло довілно може перетікати від більш гарячого об'єкта до більш холодного. У цьому разі роль потоку тепла відіграє переданий сигнал, що несе інформацію, а приймач сигналу працює як холодильник. І якщо передавач практично не споживає енергію, то на стороні приймача вона витрачається в досить значущих кількостях, приблизно у двох ватах.

Так що з точки зору фізики нова система зовсім не є вічним двигуном. А з урахуванням того, що всі витрати енергії відбуваються на стороні приймача якоїсь базової станції, де зазвичай немає проблем з енергією, то дана технологія виглядає цілком собі життєздатно.

І якщо об'єднати здатність такої низькоенергетичної передачі даних з методами отримання енергії з навколишнього середовища, то відкриваються абсолютно нові можливості для створення мі-

SOFTPROM

Дистриб'ютор Altium в Україні
softprom.com/ua/vendor/altium
altium@softprom.com

ТОВ "Софтпром Солюшнз"

Altium Designer

ніатурних датчиків, безконтактних кредитних карток, медичних пристроїв, які можна імплантувати, тощо, які не потребують батареї або інших джерел живлення.

У своїй подальшій роботі дослідники планують підвищити швидкість передачі даних, збільшити дальність роботи системи і перевірити все це на реальних пристроях, першими з яких будуть медичні імпланти. Як джерело сигналу в таких пристроях буде використовуватися вже не окремий резистор, а теплові шми, що виникають прямо в живих тканинах.

<https://techxplore.com>

ПЕРША НЕЙРОМОРФНА ОБЧИСЛЮВАЛЬНА СИСТЕМА

Група дослідників з японського Інституту фізико-хімічних досліджень RIKEN розробила і виготовила перший дослідний зразок нейроморфної обчислювальної системи, тобто такої, що працює на принципах, подібних до принципів роботи головного мозку, яка здатна розпізнавати руко-

писний текст. У цьому б не було нічого особливого, якби ця система не використовувала як носії інформації квазічастинки, звані скірміонами, що являють собою критичні локальні завихрення магнітних полів у матеріалі.

Головний мозок містить складні мережі з нейронів, з'єднаних синапсами, через які відбувається передача електрохімічних сигналів. На схожих принципах функціонують і штучні нейронні мережі, які вже здатні вирішувати такі складні завдання, як розпізнавання об'єктів на зображеннях, розпізнавання природної мови тощо.

Але коли штучні нейронні мережі реалізуються на традиційних кремнієвих чипах, вони виявляються надзвичайно ненажерливими щодо енергії. Тому дослідники в різних куточках земної кулі розробляють альтернативні апаратні платформи, що найкраще підходять для реалізації нейроморфних обчислень.

У пристрої, створеному дослідниками з RIKEN, реалізовано тип штучної нейронної мережі, відомий, як резервуарна обчислювальна модель (reservoir computing model). Особливістю цієї моделі є наявність корот-

кочасної пам'яті, а результати її роботи залежать однаковою мірою від проведеного раніше навчання і поточних значень вхідних даних.

Скірміони ідеально підходять для реалізації такої обчислювальної моделі, завдяки ефекту полягає в тому, що структура і поведінка окремих скірміонів відображає всі попередні впливи магнітних полів на них. Ба більше, для «роботи» скірміонів не потрібно великих кількостей енергії. «Управління скірміонами можна реалізувати, використовуючи струм всередині малих значень» — пишуть дослідники.

Розроблений японцями пристрій містить серію прямокутних елементів, покритих плівкою зі сплаву платини, іридію і кобальту, в товщині якого можуть формуватися скірміони, шириною в кілька мікрометрів.

Для введення даних у пристрій дослідники з RIKEN кодували інформацію в декількох параметрах магнітного поля, яке впливає на скірміони. А вихідним сигналом у даному випадку був електричний потенціал, що виникає в результаті взаємодії

скірміонів, який залежить від їхніх розмірів і кількості.

Тренування пристрою було проведено на 13 тисячах зображень рукописних символів, цифр від 0 до 9. Ці зображення були використані для «кодування» магнітного поля, а сам пристрій регулювався в процесі тренування так, щоб він давав правильний результат. Потім учені взяли ще 5 тисяч зображень, які не були використані в процесі тренування, і система зуміла їх розпізнати з 95-відсотковою точністю, істотно вираючи в інших нейроморфних пристроях.

У майбутньому вчені мають намір розробити ще один подібний пристрій, у якому для введення даних буде вже використовуватися не магнітне поле, а електричний струм. Це, на думку вчених, має збільшити продуктивність і ще більше знизити енергоспоживання пристрою загалом. «Якщо ми доб'ємося в цьому успіху, ми зможемо реалізувати розв'язання більш складних завдань, таких, як розпізнавання природної мови і відстеження рухів» — пишуть дослідники.

<https://techxplore.com>

ADVANTECH

Інтелектуальні вбудовані комп'ютери Платформи для автоматизації на основі IoT

Роботизований/
Автоматично
керований
транспортний засіб



Машинний автоматизований
оптичний контроль



Керування рухом



Спрощення
розгортання IoT
для розумних
фабрик

Промислові порти
введення-виведення
з гальванічною
розв'язкою



Широкий
температурний
діапазон
від -20 до +60 °C



Плати та камери
для «машинного зору»



Граничні модулі AI



Плати контролю руху
та карти відеозахоплення



ПРОКСИС

www.proxis.ua
sales@proxis.ua

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

ШІ-«ІНЖЕНЕР» — РОЗРОБНИК ЧИПІВ

Процес проектування нових чипів є досить складною роботою, результат якої багато в чому залежить від людського фактора — кваліфікації фахівця, який її виконує. Однак, ця тенденція вже почала змінюватися з появою системи штучного інтелекту під назвою DSO.ai від відомої компанії Synopsys. Дана система призначена для проведення повного циклу проектування чипів різного рівня, починаючи від чипів для пристроїв Інтернету речей, смартфонів і закінчуючи чипами процесорів для серверів датацентрів. Ба більше, система DSO.ai вже є розробником понад 100 чипів, і ця кількість з часом буде тільки збільшуватися.

Система DSO.ai з'явилася на світ завдяки замовленню від кількох відомих компаній, включно зі STMicroelectronics та SK Hynix. Поштовхом до цього став попит на чипи, що піднявся останнім часом, в умовах жорсткого дефіциту кваліфікованих кадрів, вартості матеріалів, що злетіла, і витрат, що збільшилися. І впровадження системи на кшталт DSO.ai є кроком в

останньому випадку для зниження витрат на розробку нових чипів.

Система DSO.ai бере на себе найскладнішу частину процесу розроблення — розміщення окремих компонентів на поверхні чипа для одержання оптимального співвідношення кількості споживаної енергії, продуктивності та займаного простору. Більша частина зі 100 вже розроблених чипів демонструє 25-відсоткове зниження кількості енергії, необхідної для роботи, а продуктивність праці інженерів-розробників збільшилася в цілих три рази. Представники SK Hynix повідомили, що використання системи DSO.ai дало змогу скоротити площу одного осередку пам'яті на 15 відсотків, скоротивши, при цьому на 5 відсотків кількість виробничого браку.

За словами представників компанії Synopsys, система DSO.ai не претендує на зайняття і скорочення людських робочих місць. Вона лише дає змогу максимально ефективно автоматизувати найбільш тяжку й одноманітну частину роботи, даючи змогу людям сконцентруватися на істинних інноваціях і нових проектах.

Ба більше, система дасть змогу проектувати нові чипи на-

віть невеликим компаніям, які не можуть дозволити собі мати численний штат кваліфікованого інженерного персоналу. Тут виходить зворотна ситуація — поява подібних систем штучного інтелекту спровокує створення нових робочих місць для спеціалістів, які працюватимуть з ними.

<https://www.extremetech.com>

МЕТАПОВЕРХНІ, ЗАДАТНІ РОЗВ'ЯЗУВАТИ НАЙСКЛАДНІШІ МАТЕМАТИЧНІ ЗАДАЧІ

Група вчених із кількох американських наукових установ досягла успіху в створенні наноструктурованих поверхонь, метаповерхонь, які можна використовувати для розв'язання складних математичних рівнянь за допомогою світла. Це досягнення є великим кроком у розвитку галузі так званих оптичних аналогових обчислень, які зможуть у майбутньому взяти на свої плечі розв'язання ресурсомітких завдань зі швидкістю, недосяжною для традиційних обчислювальних систем.

Оптична аналогова обробка відрізняється від традиційної аналогової обробки тим, що в ній використовується світло замість електричного струму. За рахунок цього оптика здатна працювати набагато швидше, оскільки обчислення виконуються буквально зі швидкістю світла, що відбивається від поверхонь зі складною нанорозмірною структурою.

Крім цього, оптична аналогова обробка буде здебільшого ефективнішою з точки зору кількості використовуваної енергії. Це робить оптичну обробку велими підходящим методом для систем, в яких має важливе значення одночасно і швидкість обчислень, і енергоефективність. «Наприклад, у безпілотних автомобілях-роботах завдання виявлення об'єктів на відео і подальша обробка вимагають досить великої обчислювальної потужності» — пишуть дослідники.

Завдання виявлення країв об'єктів на зображенні було першим, яке дослідникам вдалося успішно вирішити за допомогою спеціальної оптичної метаповерхні. Це завдання є першим кроком у багатьох алгоритмах обробки зображень, і виконання



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

цього кроку оптичним способом дає змогу заощадити безліч обчислювальних ресурсів та енергії.

Продовжуючи роботи в цьому напрямі, дослідники зрозуміли, що аналогічним способом можна використовувати метаповерхні і для розв'язання інших математичних задач. Для цього метаповерхню необхідно накрити напівпрозорим дзеркалом, через яке на поверхню подається світло і проводиться зчитування результатів обчислень.

Звісно, структура метаповерхні суворо розраховується для виконання будь-якої однієї математичної задачі або рівняння. Але цілком можливо створити поверхні з кількома паралельними структурами, за допомогою яких можна буде вирішувати системи лінійних або навіть інтегральних рівнянь.

Комуś може здатися, що виготовляти щоразу замовну матрицю метаповерхні для розв'язання лише однієї математичної задачі є чистим марнотратством. Однак, швидкість роботи такого обчислювача виправдовує це, наприклад, результати обчислень задачі універсальної матричної інверсії видаються через 349 фемтосекунд після подачі вихідних даних. Тобто самі обчислення проводяться зі швидкістю буквально недосяжною для традиційних обчислювальних систем.

«Ми продемонстрували новий вид «альянсу» між нанотехнологіями та аналоговими обчисленнями, який зможе стати основою гібридної оптоелектронної обчислювальної системи, — пишуть дослідники. — Розвиваючи наші ідеї далі, ми, врешті-решт, дійдемо до можливості розв'язання математичних задач підвищеної складності з такою швидкістю та ефективністю, які зараз можуть видатися чимось із розряду наукової фантастики».

<https://phys.org>

НОВИЙ МЕТАЛ-ПОЛІМЕРНИЙ КОМПОЗИТ

Наразі технології тривимірного друку використовуються не тільки в будівництві, машино- і авіабудуванні. За їх допомогою також друкуються наноструктури, настільки крихітні, що їх неможливо побачити неозброєним оком, і нещодавно розроблений композитний матеріал може забезпечити більш швидкий друк

таких наноструктур, а самі наноструктури будуть набагато твердішими і міцнішими, ніж це було можливо раніше.

Розроблений вченими зі Стенфордського університету композитний матеріал складається зі сполучної основи — полімерної смоли, в об'ємі якої містяться крихітні металеві частинки, що складаються з невеликої кількості атомів і називаються металевими нанокластерами.

Використовуваний процес друку є стандартним процесом двофотонної літографії. Світло двох лазерів спрямоване всередину об'єму рідкої смоли, і коли два промені сходяться в одній точці, там відбувається хімічна реакція і смола полімеризується, набуваючи твердості. Переміщаючи промені лазерів і фокусуючи їх у заданих точках, можна створювати крихітні об'єкти з будь-якою складною формою і внутрішньою структурою.

За такого методу тривимірного друку елементи створюваних об'єктів не є монолітними, вони являють собою тривимірні решітки з крихітних елементів. Решітки з нового композитного матеріалу, як показали проведені випробування, виявилися здатними до поглинання вдвічі більшої кількості енергії від зовнішнього впливу, ніж решітки з простих полімерних матеріалів, які зазвичай використовуються для такого процесу тривимірного друку.

Залежно від типу решітки, елементи наноструктур витримували підвищені навантаження без деформації, а інші деформувалися, поглинаючи енергію впливу, а потім поверталися до своєї первісної форми.

Додатковим бонусом стало те, що металеві нанокластери виступили своєрідним катализатором, який значно прискорив реакцію полімеризації. У середньому ці реакції відбувалися в 100 разів швидше, ніж за відсутності катализатора, і це дало змогу істотно прискорити сам процес друку.

«Наразі є великий інтерес до проектування і створення різних структур, призначених для виконання механічної роботи, — пишуть дослідники. — Наш новий матеріал ідеально підходить для цього. Плюс, його здатність до опору зовнішнім впливам дасть змогу виготовляти з нього свого роду захисні оболонки для великих елементів, вироблених з інших і менш міцних матеріалів».

<https://newatlas.com>

gembird®

Марочні кабелі та адаптери для передачі даних і зарядки



Electronic Components

TRANSFER MULTISORT ELEKTRONIK

ДИСТРИБ'ЮТОР ЕЛЕКТРОННИХ КОМПОНЕНТІВ

Устронна 41, 93-350 Лодзь, Польща
тел. +48 42 645 54 44, export@tme.eu, tme.eu

tme.eu

facebook.com/TME.eu

instagram.com/tme.eu

youtube.com/TMElectroniComponent

Історія компанії Phoenix Contact

Пориньте у 100-річну історію нашої компанії

З моменту заснування у 1923 році в Ессені ми багато чого пережили й змінили. Пропонуємо короткий огляд майже 100-річної історії Phoenix Contact — шлях до інноваційних технологій під керівництвом відповідальних людей. Погляньте на деякі важливі етапи на нашому шляху від сімейної компанії до глобального гравця в галузі технологій з'єднання.

1923. Початок діяльності компанії з електротехнічного та промислового постачання Phönix Elektro- und Industrie Bedarfsgesellschaft

Після Першої світової війни Гуго Кньюманн (рис. 1), засновує компанію з електротехнічного та промислового постачання Phönix Elektro- und Industrie Bedarfsgesellschaft (рис. 2). Основним напрямком діяльності компанії є «торгівля з магазинами електротехніки й виробництво промислових товарів».

1928. Винайдення клемного блока

У 1928 році відбувається доленосна зустріч: Гуго Кньюманн знайомиться з ін-

женером RWE Хайнцем Мюллером. Той розповідає йому про 10-полюсні керамічні блоки, які є дуже негнучкими через свою блочну конструкцію. Це нашолюб хує Кньюманна на ідею розділити блоки й об'єднати окремі блоки в клемні колодки на DIN-рейці. Створено клемний блок (рис. 3). Оригінальний патентний опис не зберігся. Однак пізніші патентні описи посилаються на старішу версію й називають «винахідником» Гуго Кньюманна.

1943. Війна і переїзд до Бломберга

У 1930-х роках у компанії Кньюманна, яка на той час називається Phönix Elektrizitätsgesellschaft, вже пра-



Рис. 1. Гуго Кньюманн, засновник підприємства

цює близько десятка людей. Але Phönix, як і багато інших компаній, не оминули потрясіння нацистської епохи. Війна доходить і до Ессена: 13 березня 1943 року під час бомбардування по-



Рис. 2. Спочатку головний офіс компанії був розташований на вулиці Гуйзеналеє міста Ессен. Ще в 1920-х роках компанія переїжджає в приміщення під аркадами залізничного вокзалу Ессена

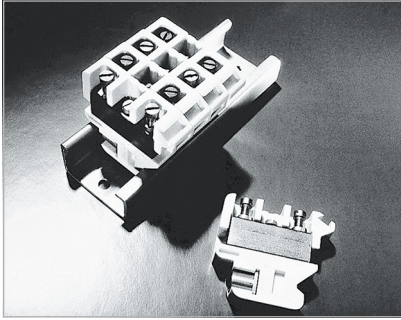


Рис. 3. Перший клемний блок для електростанцій, який можна встановлювати на DIN-рейку

страждала будівля компанії. Кньюманн вирішує перевести компанію в інше місце: через родича він натрапляє на спокійне містечко Бломберг у Східній Вестфалії-Ліппе. У будинку культури маленького містечка розпочинається тимчасове виробництво (рис. 4).

1953. Початок нової ери

Після війни через спільного патентного агента Гуго Кньюманн знайомиться з інженером високовольтного обладнання Йозефом Айзертом. Після смерті Кньюманна в 1953 році керівниками компанії стають Айзерт й Урсула Лампманн, яка у 1937 році приєдналась до компанії і працювала на посаді торгового клерка. У наступні десятиліття вона відіграла вирішальну роль у формуванні компанії.

Під керівництвом Йозефа Айзерта компанія зазнає кардинальних змін: із суто торговельної фірми вона стає компанією з власним виробництвом (рис. 5). Компанія самостійно виготовляє майже все необхідне для своєї продукції — від верстатів до інструментів і навіть гвинтів.

1957. Між Ессенем і Бломбергом

У 1957 році на території ринку Флаксмарт у Бломберзі відкрито перший виробничий цех (рис. 6). Тут спочатку розмістили цех пресування термореактивних пластмас, токарно-гвинторізний цех, складальний цех і службу відвантажень. Так було ухвалено рішення про те, щоб залишитися у Бломберзі. У 1966 році адміністрація, яка до цього залишалася в Ессені, також переїжджає на Флаксмарт.

1974. Початок ери «зеленої» електроніки

У 1974 році мініклема МКДС (рис. 7) для друкованих плат, що була представлена на виставці elektronica в Мюнхені, стає зразком стандартного гвинтового з'єднання з друкованими платами.



Рис. 4. Невеликий колектив Rhönlіх перед будівлею будинку культури містечка Бломберг, де тимчасово розташовується компанія

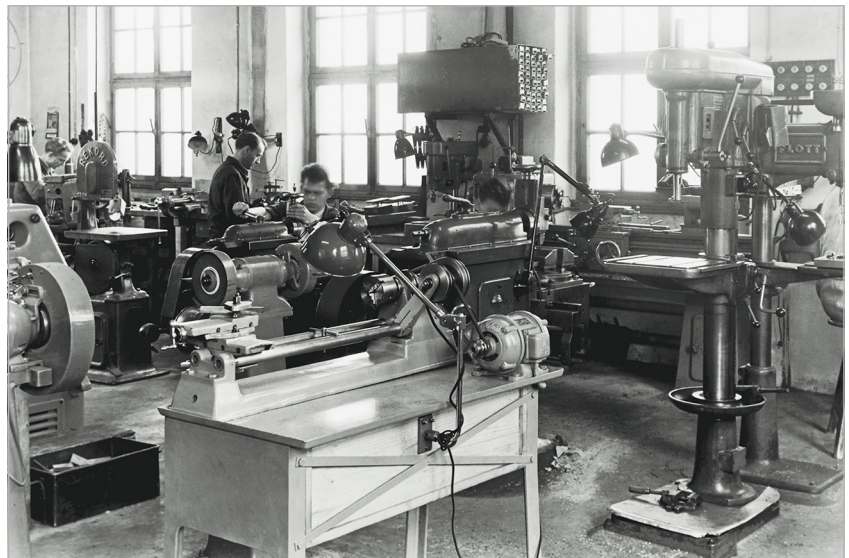


Рис. 5. Інструментальне виробництво, припл.1960 р.

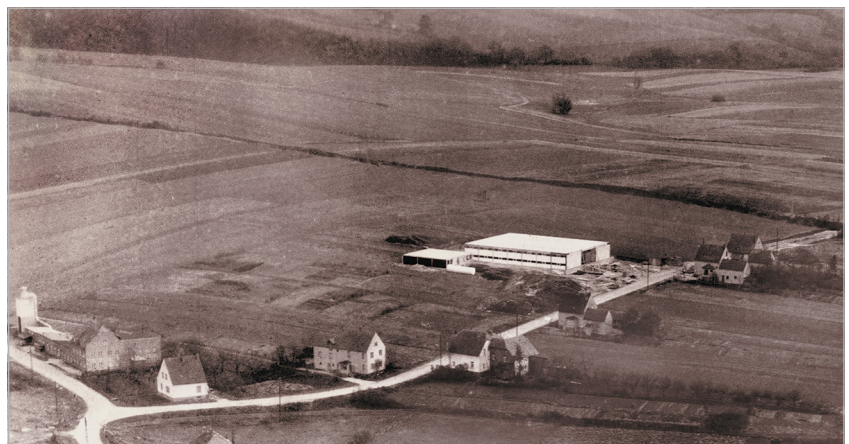


Рис. 6. Збудований перший виробничий цех у Бломберзі

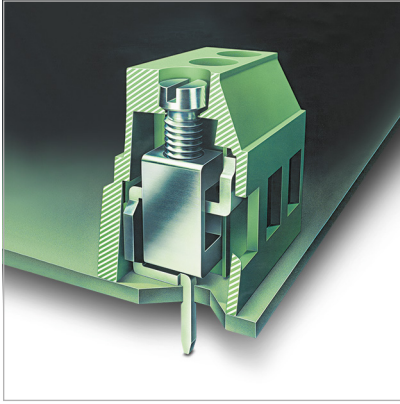


Рис. 7. Мініклема MKDS для друкованих плат, 1974 рік

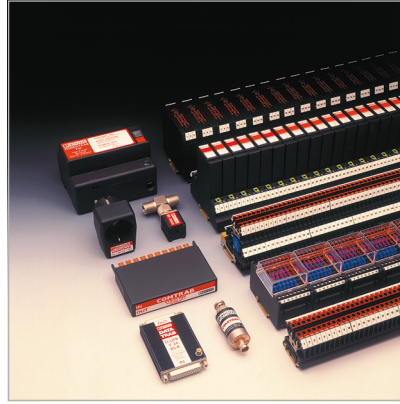


Рис. 8. Технологія захисту від перенапруг TRAVECH

Успіх МКДС знаменує собою початок ери програми «зеленої» електроніки. Асортимент продукції дедалі все більше розширюється електронними виробами. У каталозі продукції з'являються клеми для друкованих плат, з'єднувачі для друкованих плат, реле, перетворювачі та багато інших електронних виробів.

Для захисту чутливих електронних компонентів приладів і систем від перенапруг Phoenix Contact розробляє пристрої з технологією абсорбції, що встановлюються на DIN-рейку, які з 1985 року продаються під торговою маркою TRAVECH (рис. 8).

У 1981 році компанія Phönix Klemmen змінює назву на Phoenix Contact (рис. 9). Нова назва дає змогу досягти однорідного сприйняття бренду. Англomовна назва чітко вказує на міжнародну орієнтацію компанії.

1987. Презентація системи польової шини INTERBUS на виставці Hannover Messe

У 1987 році на виставці Hannover Messe презентовано систему польової шини INTERBUS (рис. 10). Завдяки цьому у Phoenix Contact створюється основа для промислових мереж. Мережа для послідовної передачі даних пропонує повністю відкриту систему — від датчика до контролера й сприяє автоматизації виробничого обладнання. З INTERBUS Phoenix Contact влучає у самий нерв часу: разом з іншими підприємствами середнього бізнесу компанія засновує «Альянс промислових мереж», щоб спільно розвивати цю тему далі.

1990. Група Phoenix Contact розширюється

У 1990-ті роки компанія стабільно росте. Після воз'єднання Німеччини німецька мережа продажів поширюється на нові федеративні землі. Після відкриття першої закордонної філії у США в 1981 році торгівлі компанії було створено на всіх континентах.

У 1994 році Phoenix Contact відкриває власний завод із виробництва електроніки в Бад-Пірмонті (рис. 11). Дочірнє підприємство в курортному містечку спеціалізується на розробці та виробництві електронних модулів і систем автоматизації.

З 1996 року тут застосовується технологія монтажу на поверхні (SMT) як нова виробнича технологія комплектування друкованих плат компонентами.

Навесні 2005 року в Україні було засновано дочірнє підприємство ТОВ



Рис. 9. Компанія Phönix Klemmen змінює назву на Phoenix Contact



Рис. 10. Система польової шини INTERBUS (Стенд компанії Phoenix Contact на виставці Hannover Messe у 1994 році)



Рис. 11. Завод із виробництва електроніки в Бад-Пірмонті

«Фенікс Контакт» з офісом та складом у місті Києві. На той час українське дочірнє підприємство складалось з 6 співробітників, в тому числі 2-х регіональних представників, один з яких відповідав

за правобережну Україну, а другий — за лівобережну. За досить короткий період підприємство впевнено зайняло стабільні позиції на ринку електротехнічного обладнання й компонентів

автоматизації. На сьогоднішній день в компанії працює 21 співробітник, включаючи 5 регіональних представників у Києві, Харкові, Дніпрі, Одесі та Тернополі (рис. 12).



Рис. 12. Українська команда компанії Phoenix Contact

Чи готові ви до майбутнього?

Захистіть свої розробки від впливу відключення 2G/3G за допомогою LTE

ЧОМУ ОПЕРАТОРИ ВІДКЛЮЧАЮТЬ 2G/3G?

Основним фактором, що призводить до відключення 2G/3G мереж є те, що дохід, який генерується цими мережами, не відповідає вартості підтримання цих мереж в робочому стані. У деяких регіонах світу мережі 2G/3G є збитковими. Одночасна робота мереж 2G/3G/4G та 5G значно збільшує витрати операторів на обслуговування поточної інфраструктури та розширення мережі у майбутньому. Крім того, мережне обладнання технологій 2G/3G є застарілими і споживає багато енергії, що не відповідає вимогам щодо низького рівня викидів вуглецю та енергозбереження. Крім того, 2G/3G займає широку смугу радіодіапазону, але використовує її з малою ефективністю, що приводить до значного гальмування впровадження нових технологій і послуг, таких, як 5G.

ПОТОЧНА СИТУАЦІЯ У СВІТІ

Згідно з останнім звітом GSA, станом на кінець червня 2022 року 135 опе-

раторів у 68 країнах і регіонах світу завершили, планують або закривають мережі 2G і 3G, з яких на європейських операторів припадає майже дві третини всіх операторів, а на азіатських — одна п'ята (рис. 1).

ЩО РОБИТЬ LTE ІДЕАЛЬНОЮ ЗАМІНОЮ 2G/3G?

Оскільки відключення 2G/3G прискорюється, вже з'явилися технології, які пропонують хороші альтернативи для потреб підключення IoT. LTE, безумовно, є однією з найкращих заміни для 2G/3G. Очікується, що вона залишиться основною мережею принаймні протягом наступних 20 років, а це означає, що пристрої, розроблені зараз з використанням технологій LTE, будуть мати життєвий цикл набагато більший, ніж пристрої, які базувалися на технології 3G. Таким чином, навіть з урахуванням витрат додаткових коштів на розробку нового прилада з LTE модемом, перехід на технологію LTE є економічно доцільним. Також треба зазначити, що ціна трафіку в LTE мережі

значно нижча за ціну в 2G/3G. Крім того, LTE є більш енергоефективною, ніж 2G/3G, тому вона більше підходить для проєктів, важливою вимогою до яких є ефективне споживання енергії. Таким чином технологія LTE допоможе поліпшити енергоспоживання, що робить її кращим вибором для пристроїв з автономним живленням.

ЩО КОНКРЕТНО МОЖЕ ЗАПРОПОНУВАТИ LTE?

Що ще важливіше, LTE також забезпечує покращену функціональність і зв'язок порівняно з 2G/3G, що дозволяє пристроям Інтернету речей працювати більш керовано, забезпечуючи кінцевому користувачеві більшу прозорість щодо стану пристрою і більший контроль над його роботою. Існують різні технології на базі LTE, які можуть стати ефективною заміною для GSM/GPRS, це, наприклад Cat.1, NB-IoT та Cat.M. Вони створені для IoT пристроїв, які не потребують швидкої, за теперішніми стандартами, передачі інформації, але які мають бути максимально дешевими, повинні

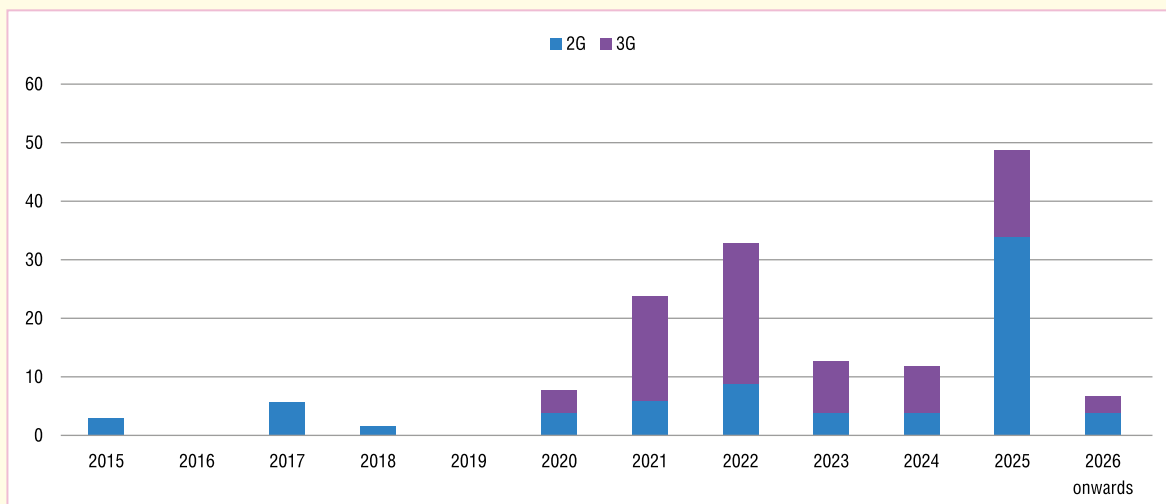


Рис. 1. Швидкість відключення 2G/3G (Джерело: GSMA)

Таблиця 1. Порівняння LTE Cat1/Cat.M/NB-IoT

Capability	LTE-M devices		NB-IoT devices		
	R12 Cat 0	R13 Cat M1	R14 Cat M2	R13 Cat NB1	R14 Cat NB2
DL peak rate	1 Mbps	1 Mbps	4 Mbps	<170 kbps	<634 kbps
UL peak rate	1 Mbps	1 Mbps	6 Mbps	<250 kbps	<634 kbps
No. of Rx chfins	1	1	1	1	1
Duplex mode	Full or half (type B)	Full or half (type B)	Full or half (type B)	Half (type B)	Half (type B)
Bandwidth	20 MHz	1.4 MHz	5 MHz	180 kHz	180 kHz
Max Tx power	23 dBm	20/23 dBm	20/23 dBm	14/20/23 dBm	14/20/23 dBm

мати незначне споживання енергії та тривалий час автономної роботи. Крім того, NB-IoT і Cat.M є частиною стандартів 5G, а це означає, що вони будуть підтримуватися навіть тоді, коли кінцевий користувач перейде на 5G.

ВІДМІННОСТІ МІЖ NB-IOT ТА CAT.M

Обидві технології NB-IoT та Cat.M є хорошим вибором для IoT пристроїв, що вимагають високої енергоефективності та широкого покриття, але між ними є відмінності (див. табл. 1). NB-IoT може відігравати важливу роль у стаціонарних сценаріях застосування IoT, таких як розумні лічильники, розумні охоронні датчики, вуличне освітлення (див. CHIP NEWS, № 7, 2022) та інші пристрої, які можуть працювати у віддалених районах або навіть під землею завдяки хорошему розповсюдженню сигналу та малій швидкості передачі. А от Cat.M є хорошою альтернативою для рухомих пристроїв, таких як автомобільні трекери, а також може підтримувати передачу голосу, що є ідеальним варіантом для портативних пристроїв, медичних або побутових систем сигналізації тощо.

CAT.1 МОЖЕ ЗАПРОПОНУВАТИ ТРОШКИ БІЛЬШЕ

Однак, 2G/3G проекти мають багато прикладів систем, які вимагають реагування в режимі реального часу, мобільності, певної пропускної здатності і навіть підтримки голосового зв'язку одночасно, наприклад, пристрої, що встановлюються на транспортних засобах, смарт-терміналах та промислових системах автоматики. LTE Cat.1, який також орієнтований на ринок IoT, ідеально відповідає таким потребам. LTE Cat.1 адаптований до існуючої мережі LTE і підходить для пристроїв, які вимагають економічної ефективності, низької затримки передачі інформації, глобаль-

ного покриття і більш високої швидкості передачі даних, ніж це може запропонувати NB-IoT і LTE Cat.M.

РІШЕННЯ SIMCOM ДЛЯ ПЕРЕХОДУ ВІД 2G/3G

Треба зазначити що відмова від 2G/3G не може статися миттєво й цей процес відбувається по-різному у різних країнах, в залежності від стану економіки та потреб населення/бізнесу. Також існує багато галузей, де головною запорукою успішного існування проекту є мінімальна ціна пристрою. В першу чергу це стосується проектів, де електронні системи намагаються витіснити з ринку старі системи, які взагалі не мали електроніки (наприклад, системи пломбування контейнерів, де електронні системи вимушені конкурувати з клаптиком паперу та синім маркером). Такі проекти завжди базувались на GSM/GPRS технологіях, бо 3G/4G модеми виходили за межі бюджету. Щоб допомогти своїм клієнтам перейти від 2G/3G до LTE без значного підвищення ціни кінцевого продукту SIMCom пропонує широкий спектр рішень, включаючи модулі Cat.1, Cat.M і NB-IoT з високою продуктивністю і технічними інноваціями, але за помірні гроші. Всі розуміють, що створення окремого пристрою для існуючої мережі 2G і окремого для LTE Cat.1, на яку планується перехід в майбутньому, може значно підвищити

кошторис такої розробки, тому більшість модулів SIMCom LTE Cat.1 підтримують зворотну сумісність з 2G/3G, що дає можливість поступово підготуватися до майбутнього відключення 2G/3G вже зараз й здійснити плавний перехід тоді, коли в цьому виникне необхідність. Також треба відмітити те, що більшість LPWA модулів компанії SIMCom підтримують як NB-IoT, так і Cat.M, що забезпечує гнучкість під час розробки й експлуатації пристроїв. Також слід зазначити, що компанія SIMCom при розробці нових модемів завжди керувалася принципом pin-to-pin, що дозволяє зберегти майже всю топологію друкованої плати, що значно спрощує розробку. Нижче наведено перелік модулів, на які ви можете здійснити перехід зараз або в майбутньому:

- NB-IoT Only — SIM7022
17.6×15.7×2.3 мм
(форм-фактор SIM800C/SIM7020);
- NB-IoT + Cat.1 — SIM7080G
17.6×15.7×2.3 мм (форм-фактор SIM800C/SIM7020);
- NB-IoT + Cat.M1 + GPRS — SIM7070G
24×24×2.3 мм (форм-фактор SIM900/SIM800/SIM7000);
- Cat.1 + GSM + GPRS — A7682E
19.6×19.6×2.4мм;
- Cat.1 + GSM + GPRS + GNSS — A7672E; 24×24×2.3мм (форм-фактор SIM900/SIM800);
- Cat.1 + GSM + GPRS — SIM7600G
30×30×2.9, глобальний частотний діапазон.

Завдяки 20-річному досвіду розробки і виробництва, та численним реалізованим проектам в різних галузях промисловості, модулі LTE SIMCom забезпечують надійну роботу, мають універсальні радіочастотні можливості, продуманий дизайн апаратної частини (включно з pin-to-pin модулями), а також глобальні та локальні сертифікати відповідності, що значно полегшить міграцію від 2G/3G до LTE. **CN**



Євгеній Рахно

технічна підтримка
моб. +38 (050) 14-00-345



evgenij.rakhno@simcom.com

Нагодувати світ за допомогою точного землеробства

Набіль Хан (Nabeel Khan), u-blox

В цій статті йде мова про те, як група технічно підкованих фермерів використовує технології з відкритим вихідним кодом, щоб пожинути плоди точного землеробства та зробити їх доступною для фермерів у всьому світі.

Ціни на паливе та добрива досягли історичного максимуму, і фермери в усьому світі намагаються знайти способи зберегти прибутковість своєї діяльності. Великі комерційні фермерські господарства використовують штучний інтелект і новітнє обладнання для планування своїх операцій і автоматизації завдань. Широка мережа датчиків для моніторингу якості ґрунту, дрони, що використовують комп'ютерний зір для спостереження за станом посівів, та автономні трактори — все це інструменти, які використовуються для значного підвищення ефективності праці. Однак ці системи можуть бути непомірно дорогими, і їхню вартість важко відшкодувати невеликим фермерським господарствам. Переважна більшість з понад 570 мільйонів фермерських господарств у світі — це малі господарства: ферми розміром менше двох гектарів. Багато з цих фермерів не мають доступу до капіталу, щоб інвестувати в нове обладнання, і значною мірою покладаються на старі машини та людську працю. Щоб допомогти подолати розрив у технологіях точного землеробства і зробити їх більш доступними для більшої кількості фермерів, спільнота фермерів бере участь у проєкті під назвою AgOpenGPS, щоб вирішити деякі з цих проблем за допомогою доступної технології з відкритим вихідним кодом.

Водіння по прямій лінії може здатися простим завданням (рис. 1), але коли ви керуєте трактором годинами без жодного навігаційного обладнання, всі ці незначні відхилення на кожному проході призводять до збільшення витрат ресурсів. Традиційно, фермери використо-

ували глиняні диски на кожному кінці поля для створення віртуальних ліній, за якими вони йшли під час першого проходу. Наступні проходи слідують за попереднім краєм, але в залежності від типу обладнання, що використовується, огляд може бути обмеженим, а керування може бути не точним. Вам дійсно доводиться покладатися на периферійний зір, одночасно керуючи кількома іншими системами. Системи навігації, подібні до навігаційного додатку вашого мобільного телефону, використовувалися для надання оператору даних щодо його місцезнаходження в режимі реального часу, а найновіші системи забезпечують повну автономію з автоматичним

керуванням. AgOpenGPS намагається вирішити цю проблему, використовуючи GPS, опціонально об'єднаний з даними додаткових датчиків, для автоматичного керування трактором. Рішення може підтримувати точність від проходу до проходу до декількох сантиметрів, виконуючи автоматичні повороти та інтелектуально контролюючи швидкість подачі насіння або добрив. І все це без ручного втручання оператора.

ЗРОБИТИ ТОЧНЕ ЗЕМЛЕРОБСТВО ДОСТУПНИМ ДЛЯ ШИРОКИХ МАС

Проєкт AgOpenGPS (AOG) починався як рішення з відкритим вихідним кодом для автоматичного керування, створене канадським фермером і розробником програмного забезпечення Брайаном Тішлером (Brian Tischler). Брайан був розчарований пропрієтарним (запатентованим) характером ко-

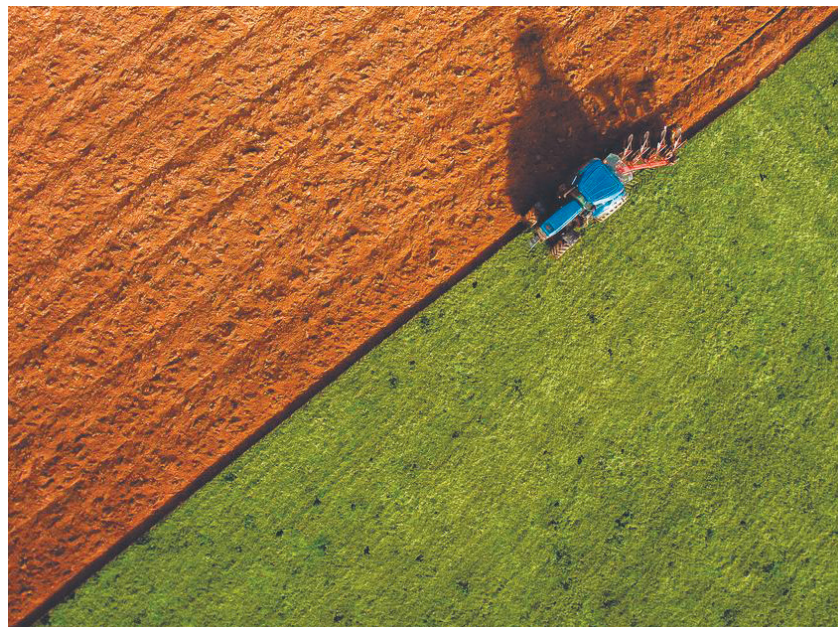


Рис. 1. Водіння по прямій лінії може здатися простим завданням

мерційних рішень, тому він створив своє власне. AOG пропонує повне рішення для автоматичного керування, включаючи файли проектування, прошивку мікроконтролера в реальному часі та програмне забезпечення, яке працює на ПК, і яким може користуватися будь-хто, хто вміє поводитися з паляником і знає основи програмування. Проект вимагає певних доопрацювань залежно від типу обладнання, яке автоматизується, але спільнота AOG інвестувала тисячі годин у те, щоб зробити платформу доступною для широких верств населення. Деякі фермери прикріпили двигуни до рульових коліс замість того, щоб використовувати електронні системи управління. Інші витратили сотні годин на реінжиніринг комунікаційних протоколів, щоб підключитися до сучасних тракторів.

Джейк, фермер і механізатор, один з багатьох учасників, який використовує свій вільний час для роботи над проектом AgOpenGPS. Він не є інженером-електроніком за фахом, але він навчився самостійно проектувати і виготовляти друковані плати і був частиною команди, яка розробила універсальний контролер автоматичного керування AgOpenGPS. Джейк вже багато років користується перевагами систем автоматичного керування і прагне зробити цю технологію доступною для фермерів, які не можуть дозволити собі дорогі комерційні системи. Роздрібні рішення для автоматичного керування можуть коштувати від \$5 000 до \$30 000, тоді як вартість створення системи AOG

починається від \$700. Один із фермерів, якому він допоміг встановити обладнання для автоматичного керування, спочатку витрачав на добрих \$100 000 на рік. У перший рік впровадження системи вони скоротили споживання на 20%. «Деякі фермери, які використовують AgOpenGPS, мають модернізовані трактори, які ви навіть не знайдете на аукціоні. Я говорю про фермерів у країнах, що розвиваються, які використовують трактори 1960-х років, вкриті іржею, але вони розуміють, що, вклавши близько 700 доларів, вони можуть повернути ці гроші за один сезон».

Джейк каже, що незважаючи на численні економічні переваги обладнання з автоматичним керуванням, одним з дуже важливих факторів є зменшення втоми оператора. До використання автоматичного керування його руки зводило судомою після довгого робочого дня, і він був фізично виснажений. Тепер це більше не проблема, оскільки він може зосередитися на тому, що робить його техніка, замість того, щоб намагатися утримувати її на прямій лінії годинами.

ЧИМ ВІДРІЗНЯЄТЬСЯ AGOPENGPS

Комерційні комплекти автокерування доступні сьогодні для всіх типів транспортних засобів, незалежно від того, чи потребують вони післяпродажного встановлення, чи пропонуються як преміум-опція від OEM-виробників, але ці рішення пов'язані з багатьма

проблемами. Для досягнення сантиметрової точності від проходу до проходу GNSS-приймачі, що використовуються в прецизійних рішеннях, покладаються на так звані дані GNSS-корекції. Це потік даних, який приймач може використовувати для підвищення точності від метрів до сантиметрів. Те, як ці дані надходять до приймача, яку пропускну здатність вони споживають і скільки коштує їхнє застосування, створює додаткові витрати на впровадження цих систем. Сьогодні вони покладаються на низку методів бездротового зв'язку для передачі корегувальних даних на транспортні засоби. Фермери можуть розгорнути локальну базову станцію, яка використовується для моніторингу умов навколишнього середовища та генерування даних для коригування. Потім ці дані передаються на транспортний засіб за допомогою радіостанцій ISM-діапазону, Wi-Fi або Bluetooth-радіостанцій дальнього радіусу дії. Супутникові приймачі також доступні, але, як правило, вони мають високу ціну, оскільки апаратне забезпечення та передача даних є дорогими.

Рішення AOG використовують модулі позиціонування сантиметрового рівня u-blox ZED-F9P і ZED-F9R для забезпечення системи надійними і точними даними про місцезнаходження. Ці модулі забезпечують точність геодезичної зйомки за ціною, яка масштабується для масового використання, що дозволяє таким проектам, як AgOpenGPS, надавати доступне рішення для фермерів у всьому світі.

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

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



ZED-F9R поєднує в собі інерційний блок вимірювання (IMU) та вхідний сигнал від коліс для виконання інтегрованого об'єднання датчиків, що покращує роботу в зонах з високим рівнем багатопроменевих віддзеркалень, наприклад, поблизу дерев або споруд. ZED-F9R може бути налаштований як автономний ровер, що надає дані про позиціонування трактору, або як базова станція для генерування локальних поправок по радіоканалу. Додаткові витрати та складнощі, пов'язані зі встановленням та управлінням локальною базовою станцією, є причиною для розгляду системи на основі SSR-RTK.

Зважаючи на випадки використання точного землеробства, u-blox запустив PointPerfect, континентальний потік корекції SSR-RTK, що забезпечує масштабоване точне позиціонування на континентальній частині США і Європи, а незабаром з'являться й інші ринки. Завдяки SSR-RTK існує єдиний потік корекції для всього континенту, на відміну від локальної базової станції, яка може забезпечити корекцію лише на відстані до 10 кілометрів. Базова станція не потрібна, оскільки поправки передаються через IP або супутниковий зв'язок. Встановлення бази може не бути проблемою для фермерів, які мають відповідну інфраструктуру, але PointPerfect є чудовою альтернативою там, де локальна база неможлива. Найпоширеніші методи зв'язку, які використовуються для отримання поправок PointPerfect, — це або через локальний стільниковий модуль, наприклад, стільниковий модем u-blox LARA-R6 Cat-1, або через супутник за допомогою приймача u-blox NEO-D9S L band. Супутниковий варіант ідеально підходить для випадків, коли доступ до Інтернету через Wi-Fi або стільниковий зв'язок недоступний.

РЕВОЛЮЦІЙНЕ ПІДВИЩЕННЯ ПРОДУКТИВНОСТІ З МІНІМАЛЬНИМИ ІНВЕСТИЦІЯМИ

Доступ до позиціонування на сантиметровому рівні дозволяє такі випадки використання, як автоматичне керування та автономні газонокосарки. Фермери на ринках, що розвиваються, не мають доступу до технологічних досягнень у сільському господарстві, і продуктивність їхньої праці залишається низькою. На багатьох ринках все ще експлуатується обладнання, якому десяти років. AgOpenGPS може під-

ТЕХНОЛОГІЯ GPS САНТИМЕТРОВОГО РІВНЯ З ОБ'ЄДНАННЯМ ДАТЧИКІВ СПРОЩУЄ ТОЧНЕ ПОЗИЦІОНУВАННЯ ДЛЯ РОБОТИЗОВАНИХ ГАЗОНОКОСАРОК ТА ЕЛЕКТРОСАМОКАТІВ

Компанія u-blox, провідний світовий постачальник технологій і послуг у галузі позиціонування та бездротового зв'язку, випустила оновлення прошивки для свого модуля позиціонування ZED-F9R, що забезпечує надійне позиціонування на сантиметровому рівні для повільно рухомих пристроїв, таких як роботи-газонокосарки, електросамокати та спільні велосипеди. Заснований на високоточному модулі ZED-F9R, u-blox ZED-F9R-02B був розроблений для використання в автономних і промислових рішеннях, які вимагають простого і ефективного впровадження і де швидкий доступ до високоточних даних позиціонування є ключовим фактором, навіть в умовах складного сигналу, наприклад, в густонаселених містах.

ZED-F9R використовує багатодіапазонну платформу приймача глобальної навігаційної супутникової системи (GNSS) u-blox F9 для одночасного відстеження до чотирьох сузір'їв GNSS. Застосовуючи кінематичні методи в реальному часі (RTK), модуль може отримувати дані позиціонування з сантиметровою точністю. Високоточні GNSS-вимірювання об'єднуються з даними інерціального вимірювального блоку (IMU) модуля, даними GNSS-корекції, інформацією щодо пробігу і моделлю динаміки транспортного засобу, щоб забезпечити високу точність позиціонування в ситуаціях, де одна лише GNSS не дала б результату. Приймач включає динамічні моделі для роботизованих газонокосарок, електросамокатів та автомобілів.

ZED-F9R-02B інтегрує службу корекції даних GNSS u-blox, що транслюється у високомасштабованому форматі SSR (state-space representation), що полегшує швидке виведення на ринок рішень для точного позиціонування.

Роботи-газонокосарки досягають покращеної точності позиціонування завдяки здатності модуля калібрувати свою систему при відсутності супутникового сигналу (dead reckoning system) навіть на низьких швидкостях. Високоточні дані про положення модуля дозволяють кінцевим користувачам точно визначити зону косіння за допомогою програмного забезпечення, а не обмежувальних дротів, і використовувати газонокосарки-роботи на газонах складної форми, не зачіпаючи при цьому дерева і чагарники. Вирівнювання кожного проходу газонокосарки з наступним більш точне, ніж це було можливо раніше, і забезпечує професійний вигляд смугастого газону.

Поєднання цих функцій дозволяє розробникам продуктів використовувати модуль для створення обладнання для косіння, яке забезпечує «роботизоване косіння як послугу», здатне працювати в складних умовах без попередніх витрат і умов на кшталт встановлення обмежувальних дротів.

Новий високоточний модуль ZED-F9R-02B — це готове рішення, що працює при відсутності супутникового сигналу, і яке дозволить розробникам виводити на ринок продукти, що потребують технології «мертвої точки» (dead reckoning), швидше, ніж якби їм довелося впроваджувати її з нуля. Це також дозволить компаніям, що працюють на нішевих ринках, використовувати технології «мертвої точки» без необхідності проходити і підтримувати експертизу в цій сфері.

ZED-F9R-02B пропонує підтримку цілого ряду сервісів корекції, включаючи формат SPARTN, що спростить розповсюдження даних GNSS-корекції на великі географічні території.

тримувати майже будь-який трактор з деякими незначними модифікаціями, що може призвести до революції в продуктивності з мінімальними інвестиціями. Ці рішення можуть звільнити ресурси фермерів для виконання інших обов'язків, які можуть мати більший вплив на їхній бізнес, замість традиційно нудних і небезпечних завдань.

Спільнота AOG продовжує працювати над рішеннями наступного покоління, щоб допомогти фермерам у всьому

світі отримати доступ до технологій, які допоможуть підвищити продуктивність і розвинути свій бізнес. Спільнота AOG налічує понад 2500 членів, які постійно покращують функціональність та доступність проекту.

Компанія u-blox має широке портфоліо радіомодулів GNSS, стільникового зв'язку та радіозв'язку малого радіусу дії, а також послуг корекції та зв'язку, які дозволяють масово впроваджувати автономні рішення на ринку.

CN

Інфрачервоні детектори VIGO System

У широкому сенсі, в електроніці датчики інфрачервоного випромінювання (або «світла») знаходять безліч вже добре відомих застосувань. На цій технології засновані системи бездротового зв'язку, навіть такі прозаїчні як пульти дистанційного керування (RTV). На цій технології заснована робота пірометрів і тепловізійних камер. Тим часом прецизійні інфрачервоні детектори мають попит у багатьох вузьких галузях. Наочним прикладом у цьому відношенні є застосування, пов'язані зі спектроскопією.

Кожна речовина поглинає електромагнітне випромінювання характерним для себе чином. Це явище використовується в датчиках газів, наприклад у популярних недисперсних інфрачервоних датчиках (non-dispersive infrared, NDIR), що виявляють вуглекислий газ. Однак аналогічні детектори, що використовують ІЧ-випромінювання, мають значно ширше застосування. Насамперед, ці пристрої перевіряють якість повітря та склад газів, що викидаються промисловими підприємствами та автомобільними двигунами внутрішнього згорання. Оскільки інфрачервона спектроскопія дає змогу аналізувати речовини без кольору та запаху, її також використовують у сучасних системах безпеки, наприклад, у газовій промисловості (виявлення витоків) або гірничодобувній галузі, де ІЧ-детектор виявляє метан та інші небезпечні хімічні речовини. Той самий метод застосовується для контролю якості на заводах, що виробляють аерозольні засоби для чищення та косметики (дезодоранти), для перевірки герметичності ємностей.

Аналіз, що виконується за допомогою інфрачервоного лазерного променя, не обмежується газами. Однією зі сфер застосування також є перевірка якості води (водопровідні станції, очисні споруди). Інші, але засновані на тих самих принципах, рішення відносяться до медицини (наприклад, дослідження кровообігу в капілярах), мікробіології, а також метеорології та кліматології. ІЧ-детектори є ключовим елементом сучасних систем безпеки на залізницях, де вони контролюють довговічність механічних компонентів. Крім того, ці датчики широко використовуються в системах протипожежного захисту, в т.ч. в нафтохімічній промисловості.

ІНФРАЧЕРВОНІ ДЕТЕКТОРИ VIGO SYSTEM

Компанія VIGO System веде свою історію з 1980-х рр., починаючи з досліджень, які проводили в той час польські вчені у Військово-технічній академії. Нині фірма, створена на основі тієї експериментальної діяльності, є світовим лідером у виробництві фотонних інфрачервоних детекторів. Виробничий процес, який використовує VIGO, заснований на хімічному осадженні з парової фази методом розкладання металоорганічних сполук (MOCVD). Цей процес дає змогу виготовляти детектори, що вирізняються чудовою точністю. Найкращим підтвердженням якості модулів, пропонує виробником, є їхнє використання в дослідницьких програмах NASA і Європейського космічного агентства. Детектори виробництва VIGO System наразі перебувають на Марсі: вони входять до числа бортових приладів американського марсохода Curiosity і європейського посадкового модуля Schiaparelli.

Типовий термін поставки продукції VIGO становить близько двох тижнів. Цей період може бути подовжено в разі замовлення більш спеціалізованих модулів, великих обсягів виробів і продукції, адаптованої до індивідуальних вимог клієнтів.

ІЧ-ДЕТЕКТОРИ В ПРОМИСЛОВИСТІ ТА НАУКОВИХ ДОСЛІДЖЕННЯХ

Пропоновані компанією TME модулі використовуються і в наукових дослідженнях, і в промисловому обладнанні. У той же час, вони прості в застосу-

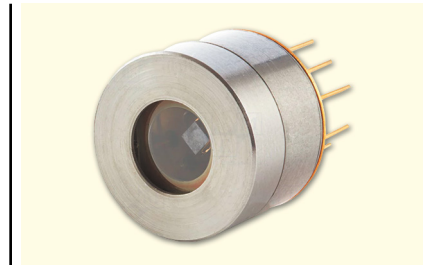


Рис. 1. Фотоелектричний датчик, призначений для монтажу в наскрізні отвори на друкованих платах

ванні. Нижче ми представляємо зразок нашого асортименту, до якого входять вузькоспеціалізовані модулі, а також універсальні рішення, призначені для багатьох галузей промисловості.

За допомогою онлайн-каталогу можна ознайомитися з повним асортиментом марки VIGO System. Крім представлених нижче модулів, до нього входять фотоелектричні датчики, призначені для монтажу в наскрізні отвори на друкованих платах (рис. 1).

ЛАБОРАТОРНІ ІНФРАЧЕРВОНІ ДЕТЕКТОРИ LABM-I-10.6

Модуль LABM-I-10.6 адаптований до застосувань у лабораторіях (див. рис. 2). Налаштування виконується за допомогою безкоштовного програмного забезпечення Smart Manager. Користувач може змінювати параметри пристрою: посилення (до 40 дБ), робоча частота (1.5; 15; 100 МГц), температуру тощо. Датчик чутливий до поляризації променя. Оптимальна довжина хвилі становить 10.6 мкм (про що свідчить



Рис. 2. Параметри модуля LABM-I-10.6 можуть налаштуватися користувачем

число в символі артикулу), тоді як повний діапазон виявлення випромінювання становить 2–12 мкм. Завдяки широкій шкалі модуль можна застосовувати для калібрування лазерних випромінювачів. Він також використовується у виробництві інтегральних схем, під час моніторингу вмісту глюкози (діабетологія) і в стоматології.

ДЕТЕКТОРИ СЕРЕДЬОГО ІЧ-ДІАПАЗОНУ, МОДЕЛЬ LAVM-I-6

Як і модель, описана вище, LAVM-I-6 — це прилад, призначений насамперед для лабораторних робіт. Його програмне забезпечення теж можна конфігурувати. Різниця між модулями полягає насамперед у діапазоні виявлення, який у даному випадку є вибірконим і охоплює довжини хвиль 3–7.5 мкм (оптимально — 6 мкм), що визначаються як середній ІЧ-діапазон (MWIR). LAVM-I-6 також забезпечує більш високу частоту дискретизації (до 200 МГц). Завдяки цим характеристикам детектор використовується, головним чином, для аналізу складу газів, наприклад для дослідження повітря, що видихається (медицина), визначення компонентів вихлопних газів (автомобільна промисловість, екологія) або виявлення витоків (газова, нафтохімічна промисловості).

МІНІАТЮРНІ МОДУЛІ MICROM-10.6 ДЛЯ ВИЯВЛЕННЯ ІЧ-ВИПРОМІНЮВАННЯ

Це мініатюрний модуль, призначений для застосувань в обмеженому просторі (див. рис. 3). Він характеризується широким кутом огляду (прийнятний кут падіння променя) близько 85°. У ньому немає вбудованого монітора напруги та охолоджувального елемента — тільки передпідсилювач, що працює в режимі постійного струму, що має бути вра-



Рис. 3. Мінімодуль виявлення ІЧ-випромінювання microM-10.6

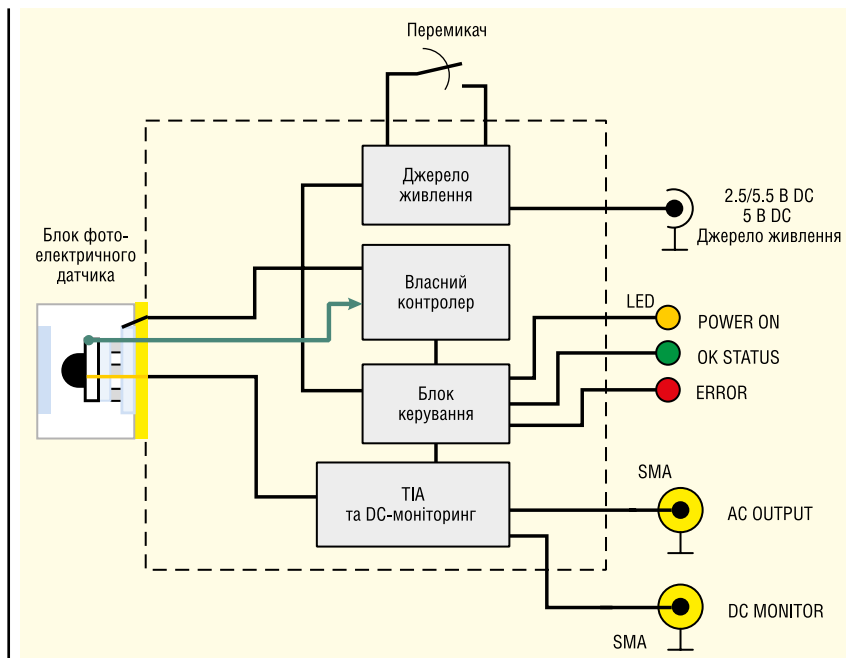


Рис. 4. Структурна схема детекторів VIGO System

ховано в проекті. Це виріб загального призначення (калібрування лазера, вимірювання CO₂), який працює в широкому спектрі (приблизно 2–12 мкм), але оптимізований для «довгого інфрачервоного» (LWIR) діапазону.

ДЕТЕКТОРИ ЗАГАЛЬНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ UM-10.6 І UM-I-10.6

Ті самі параметри виявлення, що у модуля microM-10.6, є у моделях UM-10.6 і UM-I-10.6 (див. рис. 4). За прикладом усіх представлених виробів VIGO System, пристрій має вікно із селеніду цинку з антивідблисковим покриттям. Спектр пропускання лінз, виготовлених із цієї сполуки, становить 2–22 мкм, що ідеально відповідає характеристикам інфрачервоних детекторів. Модулі оснащені монтажним кронштейном (отвір із різьбленням M4), роз'ємом живлення (2.5–5.5 В; тип.: 5 В DC), вихідним роз'ємом (сигнал змінного струму, який подають на концентричну розетку SMA) та роз'ємом для моніторингу напруги, що подають на передпідсилювач (для точної компенсації офсету). Для охолодження модуля використовують термопару з радіатором і вентилятором (живлення від того ж джерела, що й система детектора). Така комплексна і компактна конструкція полегшує впровадження рішень VIGO System і знижує вартість їх встановлення.

ДЕТЕКТОРИ UVЧ ІЧ-ВИПРОМІНЮВАННЯ UHSM-10.6 І UHSM-I-10.6

UHSM-10.6 — ультрависокочастотний детектор, оптимізований для променів із довжиною хвилі 10.6 мкм (див. рис. 5). Параметри цього детектора забезпечують завдяки використанню фотоелектричного елемента розміром 0,05×0,05 мм (у розглянутих вище моделях довжина сторони становить 1 мм). Модуль з робочою частотою 1 ГГц використовується для вимірювання відстані за допомогою лазера (також 3D-сканування) та інтерферометрії. Таким чином, це рішення підходить для низки галузей, починаючи зі зв'язку, точного контролю якості в промисловості та закінчуючи науковими застосуваннями (метрологія, сейсмологія, астрономія, хімія). Детектори цієї специфікації використовуються в подвійній



Рис. 5. Ультрависокочастотні модулі UHSM-10.6

гребінчастій спектроскопії (dual-comb spectroscopy).

У разі моделі UHSM-I-10.6 ми маємо справу зі схожими параметрами і сферою застосування. Різниця в конструкції полягає в тому, що в об'єктив вставлено повнорозмірний фотоелектричний датчик, на що вказує буква I в назві моделі. У результаті забезпечується більш високе відношення сигнал/шум (SNR) з невеликим обмеженням максимальної частоти (700 МГц) і допустимого кута падіння променя (з 80° до 36°).

ГАЗОВА СПЕКТРОМЕТРІЯ З ІНФРАЧЕРВОНИМ ДЕТЕКТОРОМ UM-I-6

Модуль UM-I-6 за конструкцією нагадує описані вище вироби. Його відмінною особливістю є оптимізація для випромінювання з довжиною хвилі 6 мкм, що робить його універсальним варіантом лабораторного детектора LABM-I-6, адаптованим для роботи в промислових умовах. Пристрої з такими параметрами використовують для контролю денітрифікації димових газів (зниження викидів оксидів азоту), а також для виявлення чадного газу та аміаку (насамперед, у промислових холодильних установках).

ЗАМОВЛЕННЯ І ДОСТАВКА ДЕТЕКТОРІВ VIGO SYSTEM

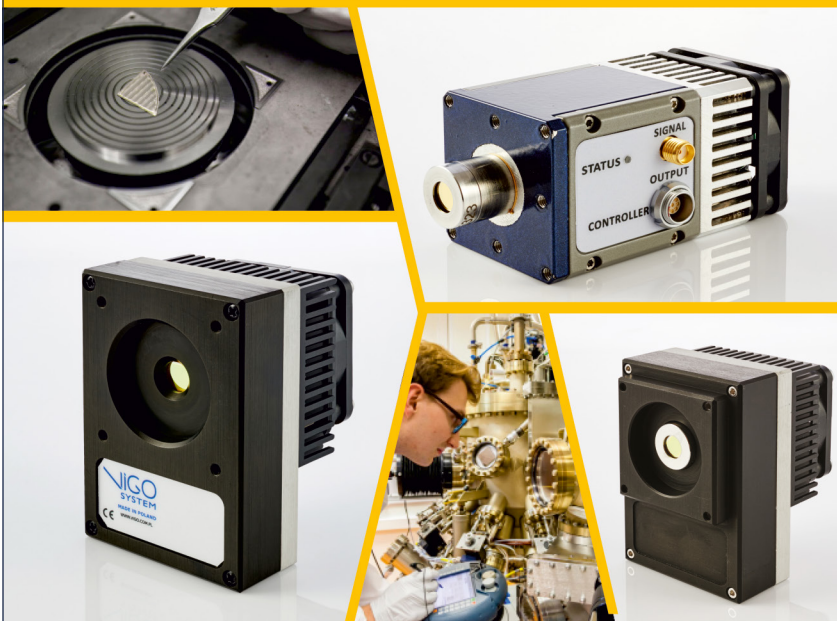
Компанія TME завжди піклується про те, щоб пропоновані нею товари чекали покупців на складах. Статус, що відображається в нашому каталозі, означає кількість товарів, що зберігаються на полиці логістичного центру. Ми максимально скорочуємо час доставки замовнику. Однак у випадку детекторів VIGO System ми зробили виняток. Це вузькоспеціалізовані вироби, які найчастіше замовляються з урахуванням конкретного застосування. Крім того, виробник пропонує можливість адаптації модулів під зазначені покупцем вимоги та його проєкт.

Звичайно, ці товари можна придбати звичайним способом, зробивши замовлення через онлайн-каталог. Проте всіх зацікавлених запрошуємо зв'язатися з нашим експортним відділом (export@tme.eu) або інженерами, які займаються пропозицією виробів.

**Текст підготовлено компанією
Transfer Multisort Elektronik
Sp. z o.o. (TME) (www.tme.eu) CN**

VIGO
SYSTEM

ІНФРАЧЕРВОНІ ДЕТЕКТОРИ ДЛЯ БЕЗПЕКИ І КОНТРОЛЮ ЯКОСТІ



Electronic Components


tme.eu / tme.com

TRANSFER MULTISORT ELEKTRONIK
ДИСТРИБ'ЮТОР ЕЛЕКТРОННИХ КОМПОНЕНТІВ

Устронна 41, 93-350 Лодзь,
Польща
тел. +48 42 645 54 44,
export@tme.eu, tme.eu

 facebook.com/TME.eu

 youtube.com/TMElectroniComponent

 instagram.com/tme.eu

Вдосконалені високонадійні транзистори ART від компанії Ampleon

Том Деккер (Tom Dekker), директор з маркетингу, Multi-Market AMEC, Ampleon
Адаптований переклад українською та технічне редагування: Роман Горелков

Компанія Ampleon нещодавно випустила серію транзисторів підвищеної надійності, розроблених спеціально для промислового, наукового та медичного застосування, які забезпечують надійний захист від КСХН (коефіцієнт стоячої хвилі за напруженістю або VSWR), маючи при цьому найкращі показники радіочастотної потужності, коефіцієнту підсилення та ефективності. Цю серію було названо «ART», скорочено від «Advanced Rugged Transistor» (вдосконалений високонадійний транзистор).

Оригінальна конструкція кремнієвого LDMOS-вузла ART була розроблена з метою отримання високої стійкості на пробій стік-витік, утримуючи при цьому низьке значення вихідної ємності, щоб забезпечити високу надійність транзистора з високою провідністю в діапазоні частот від ВЧ до УВЧ. Транзистори серії ART є у 2-х версіях: ART1K6 (робоча напруга V_{DS} 50 В/напруга пробою V_{DS} 177 В) та ART2K0 (робоча напруга V_{DS} 65 В/напруга пробою V_{DS} 200 В). Високе значення напруги пробою V_{DS} забезпечує поріг стійкості

до неузгодженого навантаження зі здатністю протистояти КСХН до 65:1. На додаток, низьке значення вихідної ємності дає можливість роботи у діапазоні частот до 450 МГц з високим коефіцієнтом підсилення та ефективністю. У таблиці 1 наведені основні характеристики у порівнянні з популярним транзистором BLF188XR (поточного покоління, що виробляється великими партіями), а також у порівнянні з конкурентними платформами.

Транзистори ART1K6 і ART2K0 (рис. 1) пропонуються у промислових стандарт-

них корпусах — як керамічних з повітряною порожниною, так і в формованих пластикових, придатних для кріплення безпосередньо на радіатор підсилювача, або на вбудовану в плату мідну теплопровідну площину типу «сорсер коін» з використанням корпусів типу «крило чайки» (gull-wing). Транзистор ART2K0 підтримує роботу в режимі Class-E за напруги живлення 50 В. Він знаходиться у межах безпечної області роботи при компресії до 6 дБ. Наразі проводяться випробування з метою розширення можливості роботи в Class-E за напруги 50 В та компресії до 10 дБ.

Всі пристрої сімейства ART мають внутрішню схему стабілізації, вбудовану в кристал. Результатом роботи цієї схеми є майже необмежена стабільність роботи з малими сигналами на низькій частоті без необхідності використання зовнішніх компонентів.

ПРИКЛАДИ ЗАСТОСУВАННЯ ТРАНЗИСТОРІВ ART

Робота транзисторів ART може бути продемонстрована на прикладі їх застосування у різноманітних еталонних проєктах, які показують ефективність роботи за різних технічних та частотних умов. На рисунках 2–4 показані деякі з реалізованих проєктів, список додаткових з параметрами наведено

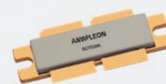
Таблиця 1. Порівняння 50 В/65 В Si LDMOS підвищеної надійності з Si VDMOS					
Особливості	BLF188XR	ART1K6	ART2K0	Competitive LDMOS	Competitive VDMOS
$V_{DS}(\text{Max})$ Volts	50	55	65	65	50
RF Power (Watts)	1400	1400	2000	1800	800
Min BV_{DSS} (Volts)	135	177	203	179	170
C_{oss} @ V_{DS} (Typ) pF	213	193	181	203	1000
VSWR With-stand	65:1	65:1	65:1	65:1	70:1
Swing Voltage/Safety Margin	2.7	3.5	3.1	2.8	3.4

ART2K0: $V_{DS} \sim 65$ V | $P_{OUT} \sim 2$ kW | $G_p \sim 25$ dB | Drain Efficiency < 85 %



SOT539A (ART2K0FE)

ART1K6: $V_{DS} \sim 50$ V | $P_{OUT} \sim 1.4$ kW | $G_p \sim 25$ dB | Drain Efficiency < 85 %



SOT539A (ART1K6FH)

Рис. 1. Транзистори ART Si LDMOS у керамічному корпусі SOT539A

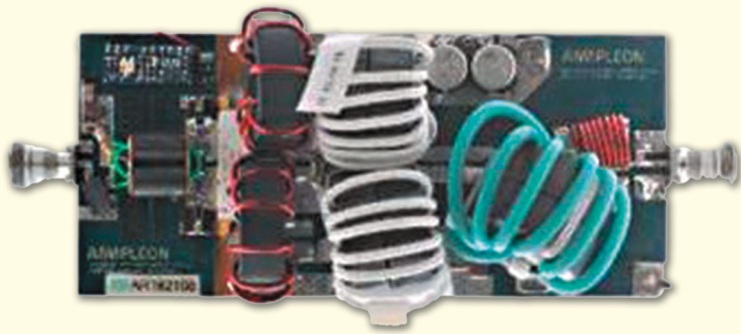


Рис. 2. На базі дротяного балуна з феритовим осердям (ART192168)

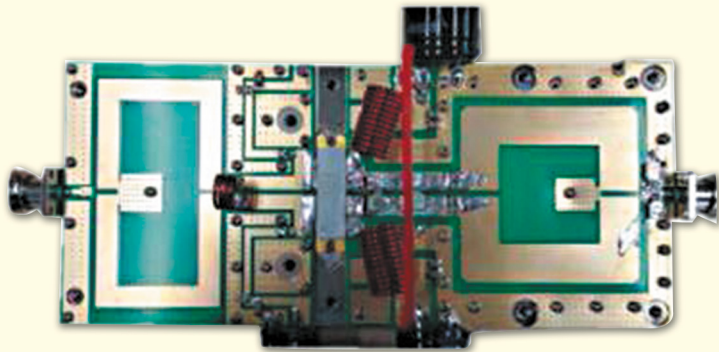


Рис. 3. На базі планарного 64-МГц балуна (ART201106)

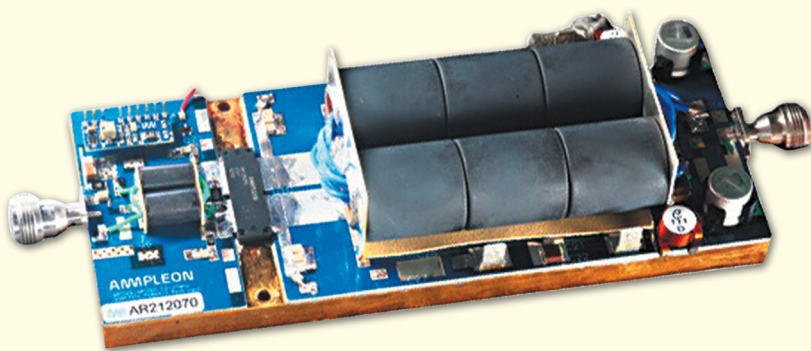


Рис. 4. Підсилювач високої потужності з бінокулярними балунами 13 МГц і 27 МГц

в таблиці 2 (одночастотні) та таблиці 3 (багаточастотні), додаткові ще знаходяться у стадії розробки.

ДРАЙВЕРИ ДЛЯ ТРАНЗИСТОРІВ ART

Щоб забезпечити можливість використання спільної шини напруги між драйвером і вихідним транзистором, Ampleon випустив 65-вольтні драйвери ART потужністю 150 Вт і 35 Вт (ART150 і ART35). Ці транзисторні драйвери пропонують аналогічні показники надійності та виконані в стандартному корпусі SOT467C (рис. 5) для підтримки необхідної топології підсилювача. На додаток, компанія Ampleon пропонує низку недорогих 50-вольтних драйверів серії BLP15H в корпусі TO-270 (рис. 5), що мають в основі техпроцес Gen9HV з підтримкою захисту КСХН до 40:1. У таблиці 4 приведені основні параметри драйверів ART та BLP15H з їх основними параметрами, в той час як в таблиці 5 — перелік еталонних проєктів драйверів, що базуються на драйверах ART150/ART35 з робочими параметрами.

ВИКОРИСТАННЯ ТРАНЗИСТОРА ART2K0FE НА ПРИКЛАДІ ПРОЄКТУ ART192168 НА ЧАСТОТІ 13 МГц

Вконструкції підсилювача на 13 МГц використовується конструкція трансформатор-балуна із зосередженими елементами (рис. 2), разом з ART2K0FE встановленими на друкованій платі на базі Taconic 30RF35 (товщина 30 мм, товщина міді 1 oz), з радіатором, припаяним до нижньої сторони друкованої плати. Також була використана схема подавлення нестабільності парного типу, підключена до затворної сторони підсилювача.

Графіки передачі демонструють ефективність в залежності від вихідної потужності за різних значень тривалості робочого циклу — 10%, 25% і 50% (рис. 6). Графіки коефіцієнта підсилення демонструють стабільність коефіцієнту підсилення на частоті 13 МГц, що поширюється на широкий діапазон значень вихідної потужності P_{OUT} (рис. 7). Ефект температурної компресії є більш домінуючим в умовах насичення при 50% робочому циклі, ніж при 25% і 10%, як це і можна було б очікувати. Продуктивність, досягнута за напруги живлення 62 В, становить: $C_p > 28.5$ дБ, $P_{3dB} > 2$ кВт, досягаючи $> 80\%$ при P_{sat} .

Таблиця 2. Одночастотні еталонні проєкти на базі транзисторів ART

Device Type	Application Report#	Frequency, MHz	P_{OUT} , W	Efficiency, %	Application
ART2K0FE	AR192168	13	2000 (pulse)	82	Plasma Gen
ART2K0PE	AR212070	13	1700	>80	Plasma Gen
ART2K0FE	AR192168	27	1900 (pulse)	70	Plasma Gen
ART2K0PE	AR212040	27	1700	81	Plasma Gen
ART2K0FE	AR201104	41	1600	78.5	Plasma Gen
ART2K0FE	AR201024	41	1600	79	Plasma Gen
ART2K0FE	AR194008	60	>1800 (pulse)	>82	Plasma Gen
ART2K0FE	AR201106	64	2100	>80	MRI
ART2K0FE	AR211018	81	1750	>80	CO ₂ Laser
ART2K0FE	AR192069	128	1900 (pulse)	65/75	MRI
ART2K0FE	AR201203	325	1600	75	Scientific
ART2K6PH	AR201041	325	1500	>73	Scientific
ART2K0PE	AR201203	352	1600	75	Scientific
ART2K0PE	In Progress	433	1500 (pulse)	65	Medical

Таблиця 3. Багаточастотні еталонні проекти на базі транзисторів ART

Device Type	Application Report#	Frequency, MHz	P_{OUT} W	Efficiency, %	Application
ART1K6FE	AR212082	2–30	1000	60	
ART2K0FE	AR201008	13–41	> 1100	> 55	Plasma
ART2K0FE	AR192131	20–100	> 1300	> 58	Comm's/EW
ART2K0FE	AR201042	88–108	1700	83	FM Broadcast
ART1K6FH	AR211050	88–108	1200	> 82	FM Broadcast
ART2K0FE	AR201083	170–240	> 250 P_{AVG} 1400 P_{PEAK}	> 45	Doherty for VHF TV
ART2K0PE	In Progress	400–450	1400 (pulse)	60	Radar

Таблиця 5. Еталонні схеми драйверів на базі ART150/ART35

Device Type	Application Report#	Frequency, MHz	P_{OUT} W	Efficiency, %	Application
ART150FE	AR201141	64	200 (pulse)	79	MRI, CO ₂ Laser
ART150FE	AR201142	128	180	76	MRI
ART150FE	AR211048	128	160	84	MRI
ART150FE	AR211049	64	160	82	MRI
ART150FE	AR201141	100–140	190 170 (wide)	75	MRI, CO ₂ Laser
ART35FE	AR201140	10–54	45	80	Plasma Gen
ART35FE	AR201131	60–130	50	81	MRI / Plasma

Таблиця 4. Драйвери для транзисторів ART

Part Number	V_{DD} V	P_{OUT} W	G_{PR} dB	Package
ART150FE	65–50	100	28	SOT467C
ART35FE	65–50	35	28	SOT467C
BLP15H9S010S	50	10	24	TO-270
BLP15H9S030S	50	30	24	TO-270
BLP15H9S100S	50	100	24	TO-270

ВИКОРИСТАННЯ ТРАНЗИСТОРА ART2K0FE НА ПРИКЛАДІ ПРОЕКТУ ART201106 НА ЧАСТОТІ 64 МГц

Цей підсилювач на 64 МГц використовує копланарний балун, виготовлений на друкованій платі (рис. 3). Це дозволяє отримати можливість отримання високої потужності завдяки повторюваному процесу виготовлення друкованої плати. Цей підсилювач демонструє рівень вихідної потужності $P_{OUT} > 2180$ Вт при рівні ефективності P_{sat} 80% (рис. 9), забезпечуючи при цьому коефіцієнт підсилення потужності 27 дБ (рис. 8).

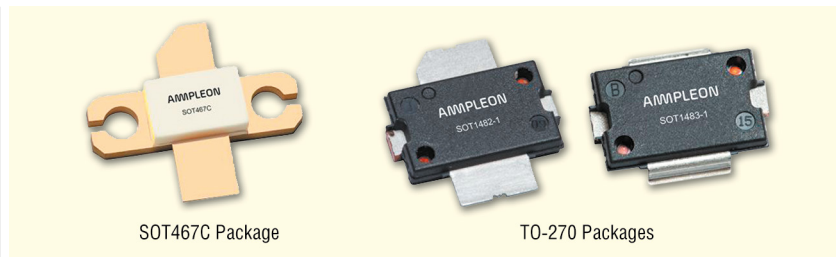


Рис. 5. Драйвери для транзисторів ART

ПЕРЕКОНЛИВІ ПЕРЕВАГИ ТРАНЗИСТОРІВ ART

Переваги транзисторів ART можуть розглядатися у двох вимірах: у порівнянні з конкурентними Si LDMOS, або ж у порівнянні з конкурентними VDMOS транзисторами. У кожному випадку транзистори ART мають переконливі переваги.

Порівнюючи з конкурентними 50 В/65 В Si LDMOS:

- Найвища стійкість на пробій V_{DS} на ринку, що дозволяє підтримувати найжорсткіші умови неузгодженості КСХН та пропонує найбільший запас міцності при роботі в умовах неузгодженості при 50 Ом і нижче.
- Вищий коефіцієнт підсилення, підтримує недорогі та малопотужні драйверні каскади з підсиленням потужності на 2–3 дБ.
- Вища потужність: на 10% більше величина вихідної потужності. У порівнянні з конкурентними 50 В Si VDMOS:
- Вища вихідна потужність: у 2.5 рази більша вихідна потужність, що забезпечує більші можливості з нарощування потужності при побудові потужних підсилювачів на десятки кіловат. Фактично потребується в 2.5 рази менше пристроїв, які треба розділяти та поєднувати для досягнення необхідного рівня вихідної по-

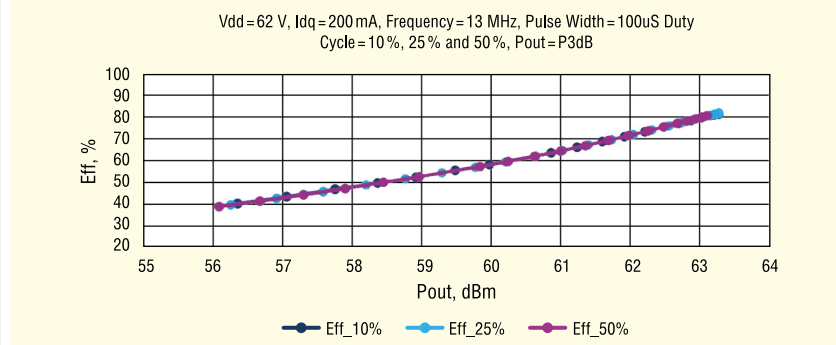


Рис. 6. Ефективність (%) в залежності від P_{OUT} (дБм) при різних робочих циклах

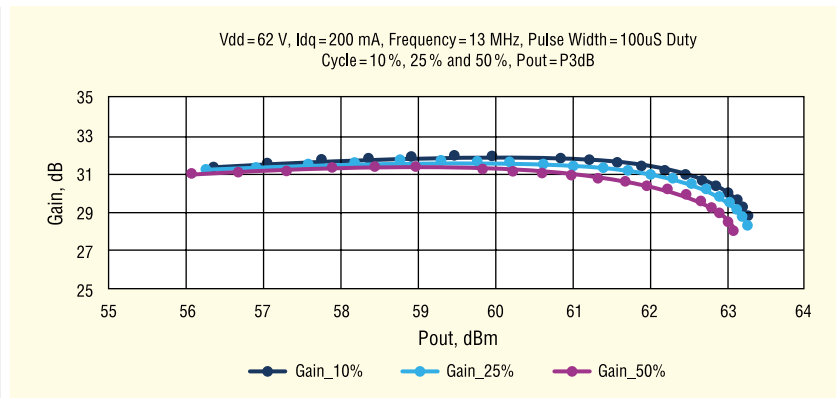


Рис. 7. Коефіцієнт підсилення (дБ) в залежності від P_{OUT} (дБм) при різних робочих циклах

тужності. Це важлива особливість, що дозволяє досягти оптимального розміру, ваги та вартості кінцевого продукту (SWaP).

- Вищий коефіцієнт підсилення: на 7–8 дБ більше підсилення, що дозволяє використовувати драйвери з меншим рівнем потужності.
- Вища ефективність: значно, майже в 2 рази вища ефективність (45% VDMOS у порівнянні з 80% LDMOS). Це важливо на багатьох рівнях.

Системні переваги у порівнянні з 50 В Si VDMOS приладами:

- Рівень потужності, споживаної від джерела живлення у 2 рази менший при використанні LDMOS транзисторів.
- Рівень потужності, що розсіюється на схемах терморегуляції LDMOS транзисторів, є в 4 рази меншим.
- Експлуатаційні витрати для промислових застосувань, які працюють цілодобово й неперервно: економія при використанні LDMOS-підсилювача вдвічі більша порівняно з VDMOS. Сума щорічної економії на комунальних витратах на одному підсилювачі може наблизитися до \$10000.

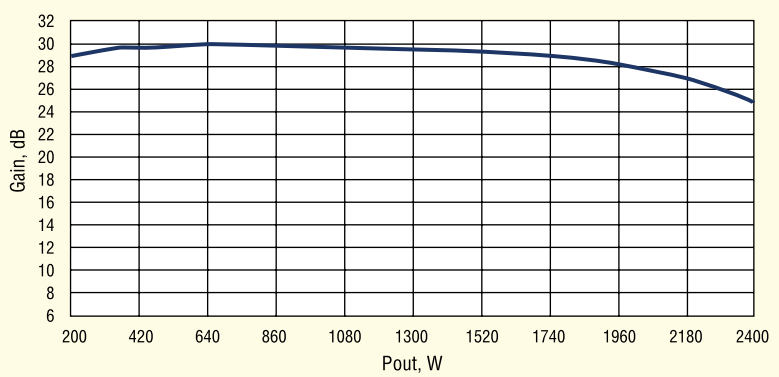


Рис. 8. Імпульсний коефіцієнт підсилення в залежності від P_{out} (живлення 63 В, 10 мкс, 20%)

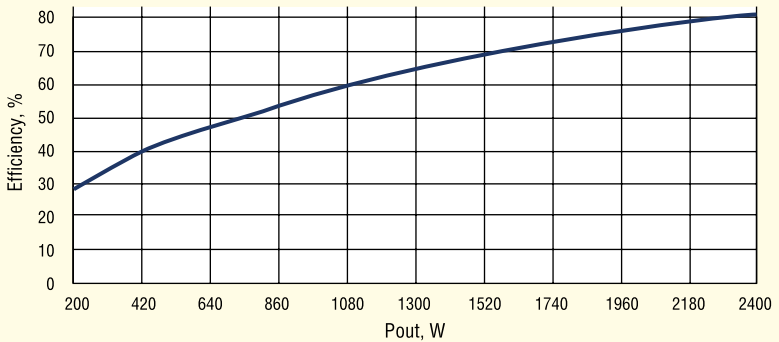
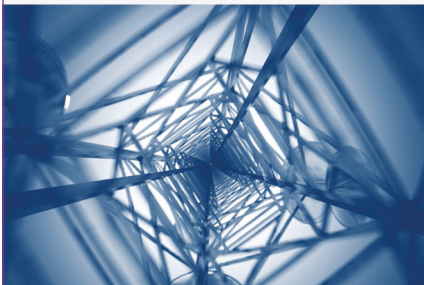


Рис. 9. Ефективність в залежності від P_{out} (живлення 63 В, 10 мкс, 20%)

AMPLEON



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



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



MASTEK

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

Авторизований дистриб'ютор Ampleon в Україні

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

Рішення Advantech для роботизованого виробництва автомобілів

Чень Ю Шан

Переклад: Володимир Рентюк

У статті наведено приклад використання вбудованого безвентиляторного комп'ютера ARK-2250 компанії Advantech на сучасному автоматизованому складальному підприємстві виробника автомобілів зі світовим ім'ям. Комп'ютер було впроваджено в систему управління виробничими та технологічними процесами. Його завдання полягає в наданні докладної інформації про деталі, які необхідно встановити, а для контролю якості кінцевої продукції він забезпечує облік випуску всіх необхідних комплектуючих.

ВСТУП

В автомобільній промисловості вже є досвід успішного використання автоматизованих роботизованих систем, хоча це стосувалося лише найбільших підприємств. На таких виробництвах потужні маніпулятори з великою вантажопідйомністю та великим радіусом дії вільно переміщуються, можуть захоплювати та встановлювати частини кузова автомобіля, монтувати вітрове скло або колеса, а роботи меншого розміру застосовуються для зварювання та монтажу вузлів, таких як, наприклад, кріплення.

Водночас із впровадженням робототехніки пов'язана важлива проблема: багато хто стурбований тим, що автоматизоване виробництво позбавить людей робочих місць і, відповідно, призведе до соціальної напруженості. Однак якщо з іншого боку, то ці роботи захищають робітників від контактів зі шкідливими для здоров'я речовинами та вдихання токсичних газів та випарів, гарячого лиття та інших небезпек, типових для автомобільного виробництва. Крім того, роботи виключають людські помилки, що виникають внаслідок втомлюючих монотонних операцій та недбалості, викликані втому, що накопичується до кінця робочої зміни, а тим більше в нічних змінах в умовах

безперервного виробництва. Постійно зростаючі темпи виготовлення та водночас висока точність при виробництві продукції, досягнуті завдяки роботизованим технологіям, дали автовиробникам важливу конкурентну перевагу, підвищивши якість продукції. Резюмуючи сказане, відзначимо, що основними причинами впровадження робототехніки є забезпечення безпеки персоналу, підвищення якості продукції і зростання продуктивності, що в результаті знижує собівартість кінцевої продукції.

Однак управління автоматизованим виробництвом є дуже непростим завданням, особливо з огляду на те, що для виготовлення легкового автомобіля необхідні тисячі деталей, а на заводі за день потрібно виготовляти тисячі таких машин. Тим більше виробники, щоб не відставати від попиту покупців автомобілів, змінюють моделі на нові кожні кілька років. Нові моделі автомобілів часто вимагають нових матеріалів, тому, як наслідок, необхідно застосовувати нові інструменти, а також вносити ті чи інші зміни до виробничих і технологічних процесів. Для досягнення високої якості продукції та зростання продуктивності за таких умов необхідна система планування виробництва, керована комп'ютером. Саме вона є основою для забезпечення гнучкості процесу виробництва і, що дуже важливо, безшовної

інтеграції виробничих ліній навіть із зовсім різними технологічними базами.

ВИМОГИ ДО РІШЕННЯ

У проєкті, в якому взяла участь компанія Advantech, окрім управління виробничими та технологічними процесами, а також відображення інформації, були вимоги до збору даних, інтелектуальних функцій та функцій дистанційного моніторингу. Наприклад, коли контролер виявляє потенційну проблему — на основі даних, які він збирає з датчиків та виконавчих механізмів, — він повинен автоматично зупинити процес і видати при цьому відповідні попередження та аварійні сигнали, а також надіслати повідомлення на віддалені комп'ютери, смартфони або інші мобільні пристрої, що використовуються відповідальним персоналом. Таким чином, контролер повинен бути оснащений відповідною обчислювальною потужністю і можливостями зберігання даних, а для інтеграції функцій «Інтернету речей» (Internet of Things, IoT) потрібна відповідна програмна платформа.

Крім того, оскільки комп'ютер передбачалося встановити на кронштейні з монітором, щоб він надавав інформацію про завдання кожної робочої станції з можливістю перегляду цих відомостей операторами, в системі необхідно було передбачити відповідні інтерфейси і кріплення для підключення дисплея. Враховуючи сферу застосування, кабелі живлення для забезпечення надійності та стабільності роботи, локальна мережа (LAN) та всі інші дроти повинні бути надійно підключені та зафіксовані. Також, що цілком природно, для роботи в жорстких виробничих умовах автомобільного заводу була потрібна гарантована надійність індустріального класу з можливістю функціонування в широкому діапазоні напруги живлення та робочих температур.

РІШЕННЯ КОМПАНІЇ ADVANTECH

Для виконання перелічених вище завдань компанія Advantech використовувала комп'ютер ARK-2250 з інтерфейсами LAN та HDMI та відповідним живленням, який був встановлений на кожній робочій станції складального цеху (рис. 1). Він був закріплений на роботизованих маніпуляторах для моніторингу та підключений до джерела живлення, LAN, датчиків моніторингу та виконавчих механізмів за допомогою фіксованих защіпок проводів та кабелів, які були організовані так, щоб жоден провід чи кабель не потрапив у робочу зону, викликавши збій чи аварійну зупинку робочого процесу. Для того щоб забезпечити збирання та відображення даних та функції віддаленого моніторингу, ARK-2250, а також внутрішній сервер були розгорнуті на програмній платформі IoT WISE-PaaS/RMM¹, що також надається компанією Advantech.

Завдяки названому апаратному та програмному забезпеченню систему можна буде використовувати для надання інформації про кожен наступний елемент, який необхідно встановити в процесі збирання, та відображення цих відомостей на встановленому моніторі для перегляду операторами безпосередньо на місці збирання автомобіля. Крім того, комп'ютер збиратиме та експортуватиме дані до бази даних SQL Server (система керування реляційними базами даних) для архівації виробничих записів (накопичення історичних даних) та агрегування великих даних для подальшого поліпшення процесів та передиктивного технічного обслуговування обладнання.

У разі виявлення будь-якої проблеми на підставі даних, зібраних з датчиків безпеки, контролер ARK-2250 негайно зупинить процес. Це дозволить уникнути пошкодження обладнання чи складального вузла та зменшити пов'язані з цим збоєм фінансові втрати.

Для відображення інформації ARK-2250 забезпечений інтерфейсами HDMI, VGA і, додатково, сторонніми спеціалізованими інтерфейсами дисплея, що робить його гнучким, придатним для різних сценаріїв застосування.

Оснащений сучасним процесором компанії Intel 6-го покоління Intel Core U-series (i3/i5/i7), ARK-2250 забезпечує високу продуктивність обчислень, а його

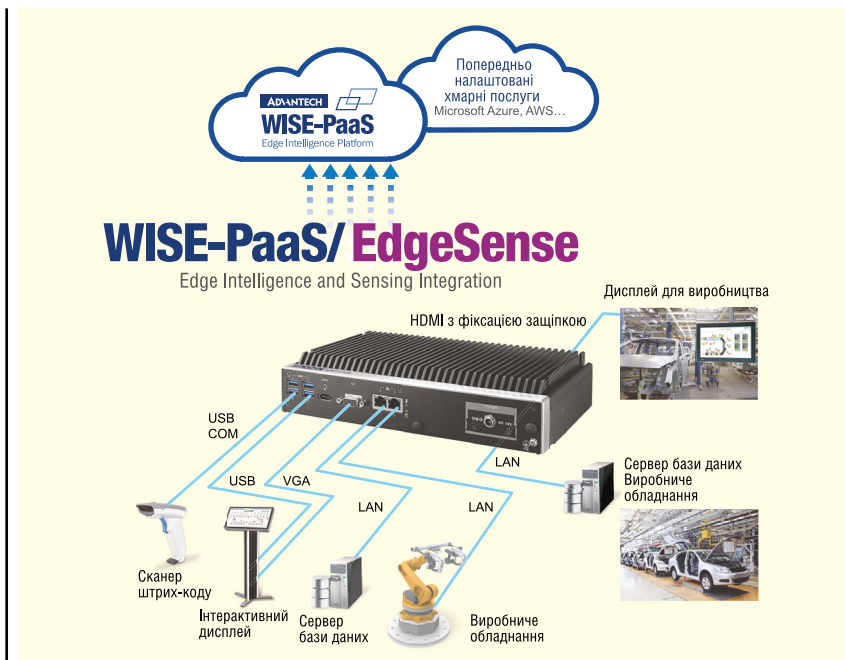


Рис. 1. Схема системи

компактне конструктивне виконання з розмірами всього 260×54×140.2 мм (10.24"×2.13"×5.52") є дуже зручним для інтеграції на високошвидкісних автоматизованих виробничих лініях.

За рахунок підтримки унікального модуля розширення ARK-plus та модулів вводу/виводу (I/O) i-Doog систему ARK можна легко розширити з метою збільшення обсягу збирання даних та додавання промислових інтерфейсів. Таким користувачам, як виробники автомобілів, при модернізації виробничих ліній для випуску нових моделей буде зручно використовувати комп'ютери ARK, конфігурація яких може бути налаштована або оновлена з мінімальними додатковими капітальними вкладеннями.

Щодо підтримки програмного забезпечення, на всіх комп'ютерах ARK компанії Advantech розгортається програмна платформа Advantech WISE-PaaS, яка об'єднує та інтегрує всі програмні ресурси, необхідні замовникам для розробки власних промислових систем управління, IoT або хмарних програм.

Для створення програм віддаленого моніторингу та IoT, що також було частиною вимог, було застосовано програмне забезпечення WISE-PaaS/RMM. Воно є дуже простим у використанні засобом створення інструментальних панелей, що дозволяє системному інтегратору

розробити власну кросплатформну і міжплатформну інструментальну панель. Тепер менеджери заводу можуть переглядати дані та швидко оцінювати стан виробничих ліній з будь-якого комп'ютера (через браузер), смартфона чи іншого мобільного пристрою у будь-який час та в будь-якому місці.

Можна виділити такі переваги рішення компанії Advantech:

- надійний комп'ютер без примусового охолодження (безвентиляторний) з широким діапазоном напруги живлення та робочих температур, наділений можливістю блокування кабелів (установка з фіксацією защіпкою);
- забезпечуються надійність та стабільність індустріального класу для промислового застосування;
- наявність VGA, HDMI та можливість (опціонально) використання додаткових спеціальних інтерфейсів для досягнення гнучкості та універсальності підключення дисплея;
- висока обчислювальна потужність, багатий вибір інтерфейсів задовольняють вимогам збору та аналізу даних;
- встановлене програмне забезпечення WISE-PaaS/RMM для забезпечення збору даних та віддаленого моніторингу з простим підключенням та швидким розгортанням;
- довготривала підтримка з гарантованою доступністю продуктів та сервісів Advantech.

Матеріал надано ПРОКСИС™,
www.proxis.ua

СН

¹ Рішення WISE-PaaS (платформа як сервіс) компанії Advantech є програмним забезпеченням для «Інтернету речей» та хмарною платформою, яка є інфраструктурою для створення, розгортання та конфігурації додатків та сервісів. Використовуючи WISE-PaaS, розробники IoT-рішень можуть швидко будувати та запускати програми, розгортати хмарні інструменти на SaaS-платформах (програмне забезпечення як послуга), забезпечуючи швидкий вихід продукту на ринок. — Прим. перекл.

Altium Designer 23.0. Що нового?

Адаптований переклад українською та технічне редагування:
Яна Зінгер, к.т.н., доцент кафедри ПРЕ, РТФ, КПІ ім. Ігоря Сікорського

Компанія Altium анонсувала вихід нової версії Altium Designer 23.0 — найпопулярнішої САПР друкованих плат. У цій статті детально розглянемо вдосконалення, що були додані розробником в даний реліз. Поряд з низкою функціональних нововведень, які розвивають і вдосконалюють існуючі технології Altium Designer, кожне оновлення програми також включає значні виправлення та вдосконалення, ґрунтуючись на відгуках користувачів через систему BugCrunch спільноти AltiumLive.

ПОКРАЩЕННЯ В ПРОЦЕСІ РОЗРОБКИ ПЛАТИ (PCB)

Підготовка шовкографії

Щоб допомогти у вирішенні поширених проблем, пов'язаних із проектуванням для виробництва (*Design for Manufacture (DFM)*), з якими розробники стикаються при розміщенні шовкографії, яка перекриває відкриту мідь, отвори та/або виходить за межі плати, у цьому випуску реалізовано спеціальну функцію для підготовки та виправлення шовкографії на ваших платах. Тепер ці проблеми можна ефективно вирішити за допомогою:

- автоматичного вирізання ліній та дуг шовкографії;
- автоматичного відсікання або переміщення заливок та областей;
- автоматичного переміщення тексту в шовкографії та позначок компонентів.

Функція доступна як у редакторі посадкових місць (*PCB library*, але лише для активного елемента), так і в редакторі друкованої плати (*PCB*, для всіх або для вибраних об'єктів на одному чи обох шарах шовкографії), за допомогою діалогового вікна *Silkscreen Preparation*, доступ до якого можна отримати через команду **Tools => Silkscreen Preparation** в головному меню (рис. 1).

Покращений інтерфейс користувача для інформації про електричне коло (Net Information)

Область **Net Information** на панелі *Properties* тепер відображає всі електричні кола, диференціальні пари та швидкісні лінії (*xSignals*) для вибраного елемента/примітива. Ви можете розгорнути розділи, щоб переглянути всю перераховану інформацію (рис. 2).

ПОКРАЩЕННЯ КЕРУВАННЯ ДАНИМИ

Керування відсутніми та втраченими файлами

Раніше відсутні файли видалялися з відповідним сповіщенням на панелі *Messages*, а проєкт позначався як змінений в панелі *Projects*. Цей реліз включає розширений підхід до керування файлами, визначеними у файлі проєкту, але не знайденими в папці проєкту. Замість простого видалення посилань на такі файли та позначення проєкту як зміненого, ці файли тепер позначаються як загублений (*missing*). Вони залишаються визначеними у файлі проєкту та все ще відображаються в структурі проєкту панелі *Projects*, але

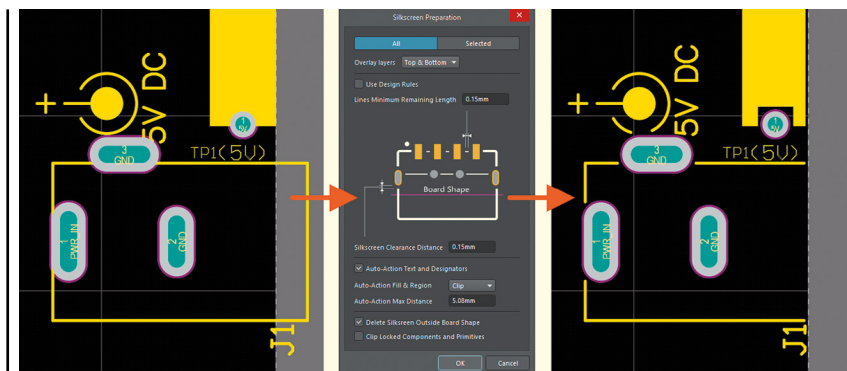


Рис. 1. Підготовка шовкографії

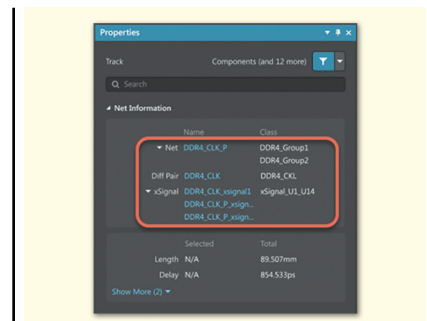


Рис. 2. Покращений інтерфейс користувача для інформації про електричне коло (Net Information)

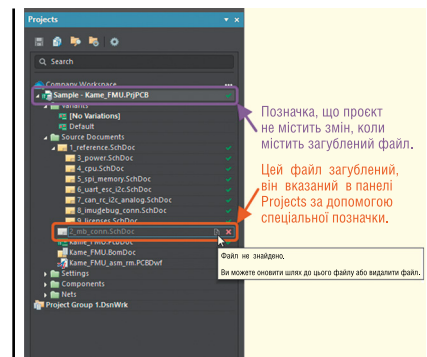


Рис. 3. Керування загубленими або втраченими файлами

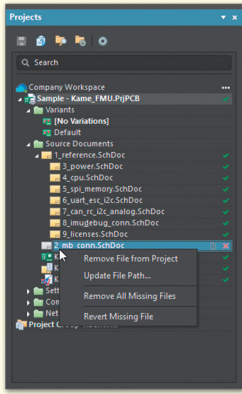


Рис. 4. Відновлення відсутнього файлу

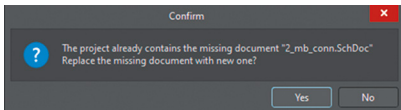


Рис. 5. Заміна відсутнього файлу існуючим

тепер вони неактивні та мають відповідну позначку (рис. 3).

Доступні відповідні команди, які дають вам повний контроль над обробкою відсутніх документів. За допомогою контекстного меню відсутнього файлу на панелі проєктів *Projects* ви можете видалити вибраний або всі відсутні файли з проєкту або оновити шлях до файлу (тобто замінити відсутній файл вибраним). Для проєкту, який перебуває під *Version Control System (VCS)*, ви також можете скасувати локальні зміни, щоб відновити відсутній файл із сховища *VCS* проєкту (рис. 4).

Якщо ви додаєте існуючий файл до проєкту за допомогою команди **Add Existing to Project** з контекстного меню (яке відкривається правою кнопкою миші), а ім'я та шлях до файлу, що додається збігаються з ім'ям та шляхом до відсутнього файлу (що можливо, наприклад, коли відсутній файл було додано до папки проєкту після відкриття проєкту в Altium Designer), відкриється діалогове вікно для підтвердження запиту на заміну відсутнього файлу вибраним (рис. 5).

Ця функція доступна у відкритій бета-версії та ВИМКНЕНА за замовчуванням. Вона доступна, якщо параметр *WSM.ManageMissingFiles* ввімкнений в *Advanced Settings dialog*.

Створення звіту про історію проєкту

Тепер для проєкту *Workspace* можна створити PDF-звіт про історію проєкту (рис. 6). У файлі *OutputJob (*.OutJob)* клацніть правою кнопкою миші на записі *[Add New Report Output]*, що знахо-

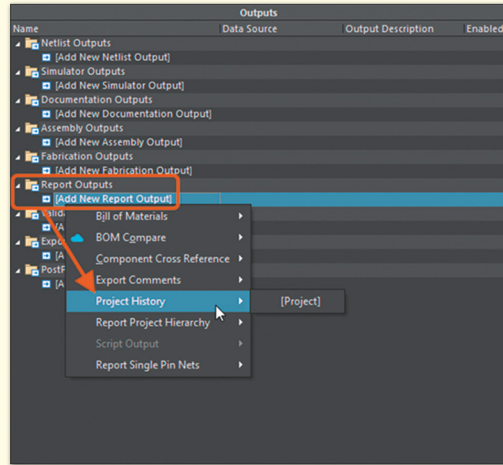


Рис. 6. Створення звіту про історію проєкту

диться в *Report Outputs*, а потім виберіть *Project History*.

Щойно створений вихідний звіт *Project History* можна під'єднати до відповідного PDF контейнера з даними.

Клацніть правою кнопкою миші на створений результат, а потім виберіть *Configure*, щоб отримати доступ до діалогового вікна *Project History Report Configuration*, у якому можна встановити *Period*, за який слід експортувати звіт: або всю історію проєкту, або з і до

певного періоду, або до останньої збереженої версії проєкту (рис. 7).

Коли звіт буде додано та під'єднано до необхідного вихідного PDF контейнера і налаштовано належним чином, натисніть **Generate content** або *generate output* у рамках процесу публікації проєкту (*project release*), щоб експортувати історію проєкту (рис. 8).

Зауважте, що функція експорту звіту про історію проєкту не підтримується стандартною підпискою Altium Designer.

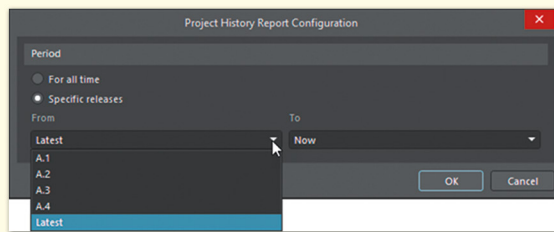


Рис. 7. Створення звіту про історію проєкту. Вибір періоду експорту звіту

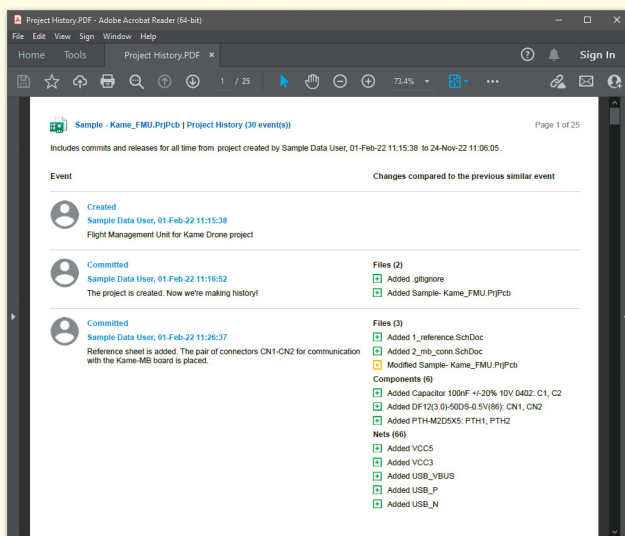


Рис. 8. Створення звіту про історію проєкту. Експорт історії проєкту

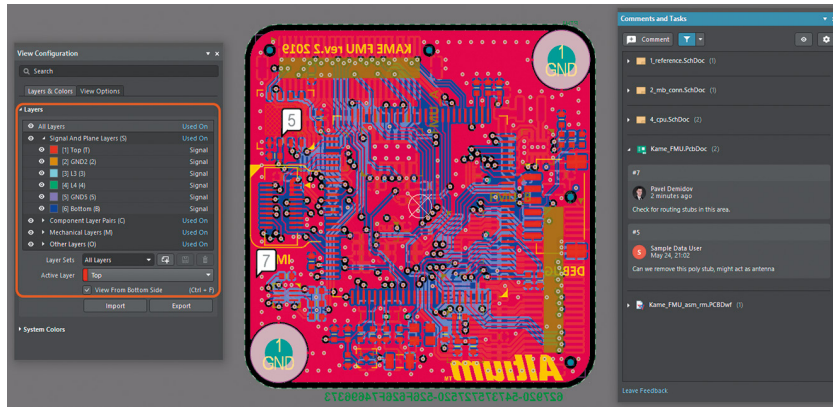


Рис. 9. Показано конфігурацію перегляду до натискання курсором на коментар

Коментарі до характеристик шару

Додано підтримку коментарів для конкретних шарів на друкованій платі у режимі 2D. Натискання курсору на коментар призведе до автоматичного перемикавання на той самий вигляд, який мав на увазі коментатор (видимі шари, активний шар, вид зверху/знизу) (рис. 9).

Можливість видалення робочого сховища (Workspace Repository)

Репозиторій *Workspace*, який з'являється на сторінці *Data Management — Design Repositories* діалогового вікна *Preferences* після переміщення проекту, керованого зовнішньою системою VCS, до *Altium 365 Workspace VCS*, тепер можна видалити, якщо сховище не має посилання на проект *Workspace* (рис. 10).

Після успішної міграції проекту із зовнішнього VCS до *Workspace VCS* репозиторій буде автоматично видалено з *Workspace*.

Примітки:

- Ви повинні бути адміністратором *Workspace*, щоб мати можливість видалити сховище.
- Якщо проект було м'яко видалено (переміщено до кошика), його потрібно видалити назавжди, щоб можна було видалити репозиторій, на який він посилається.
- *Workspace Versioned Storage* не може бути видалений.

Проектування джгутів (Harness Designs)

В цьому випуску вперше реалізовано функцію *Harness Design* (рис. 11). Цей новий інструмент дозволяє новим інженерам різних типів (залучених до процесу розробки продукту) працювати в Altium Designer. Він забезпечує комплексну підтримку проектування джгутів в тому ж середовищі, що й проектування друкованої плати та системи, усуваючи попередню сильну залежність від програмного забезпечення сторонніх розробників.

Інструмент *Harness Design* дозволяє створити повну конструкцію джгута проводів, від окремих контактних з'єднань до виробничої документації. Конструкцію джгута можна створити як окремий проект або як частину проекту *Multi-board*. В останньому випадку логічні з'єднання між друкованими платами в проекті *Multi-board* використовуються для визначення зв'язку всередині джгута.

Цей випуск містить зразок проекту дизайну джгутів (*Harness_Demo_Prj.PrjHtr*), який пов'язано з новим демонстраційним проектом із кількома платами (*Harness_Demo_MB.PrjMbd*).

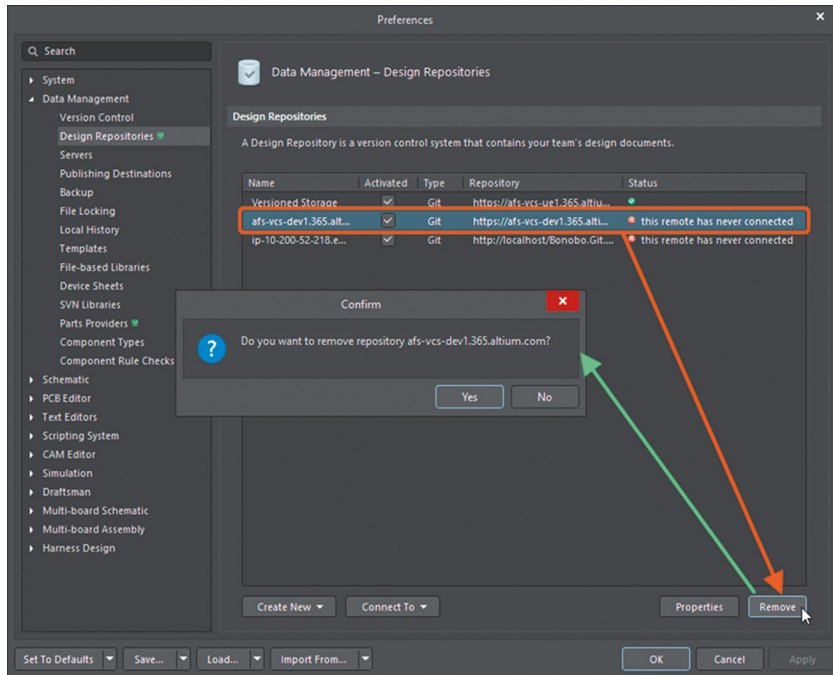


Рис. 10. Видалення робочого сховища (Workspace Repository)

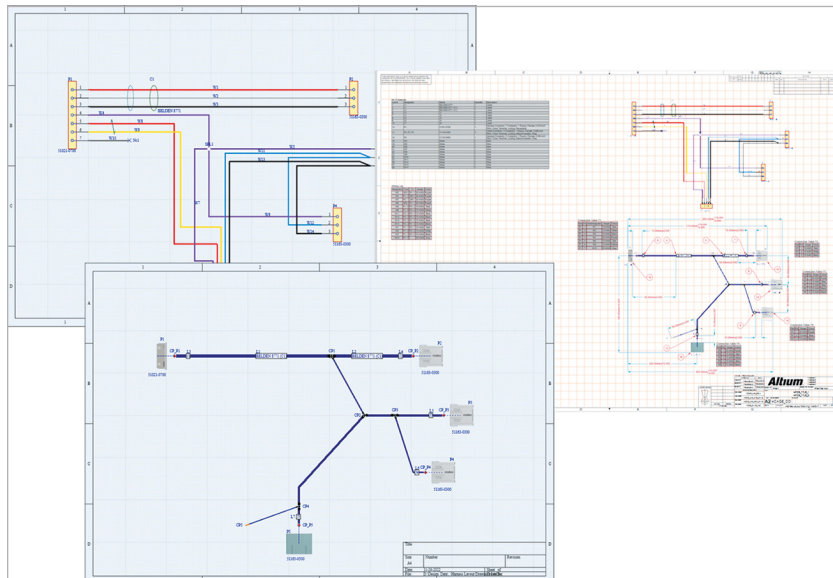


Рис. 11. Реалізація функції Harness Design

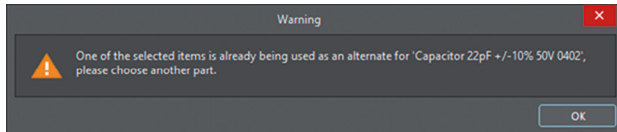


Рис. 12. Запобігання заміні альтернативного компонента на вже використаний

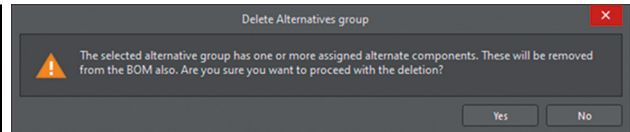


Рис. 13. Підтвердження видалення альтернативної групи з альтернативними компонентами

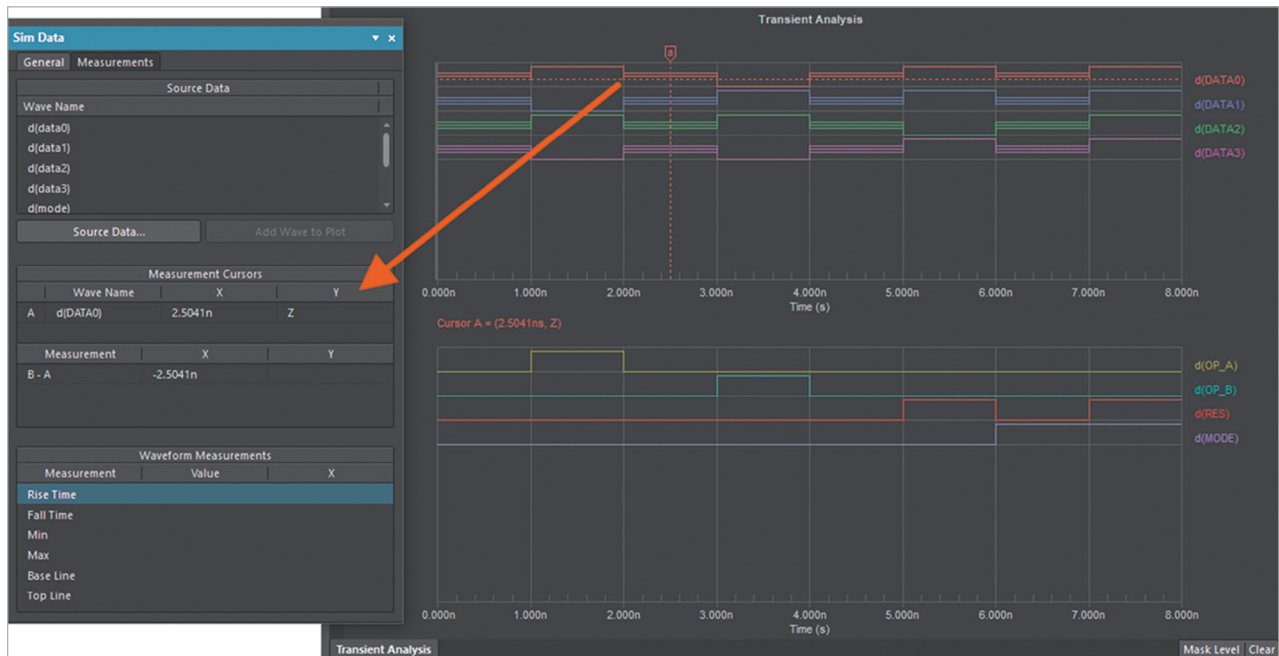


Рис. 14. Можливість перегляду високоімпедансного дослідження

ПОКРАЩЕННЯ АКТИВЕВОМ

Цей випуск містить кілька вдосконалень під час роботи з альтернативними компонентами в *ActiveBOM*.

Збереження фільтрів і значень у діалоговому вікні Add Alternative Item Dialog

Діалогове вікно *Add Alternative Item*, яке відкривається натисканням правою кнопкою миші на компоненті робочої області та вибором команди **Operations => Add Alternative Item** у контекстному меню, тепер запам'ятовує використані фільтри та значення під час доступу до діалогового вікна для різних компонентів одного типу.

Запобігання заміні альтернативного компонента на вже використаний

При спробі заміни альтернативного компонент компонентом, який вже використовується як альтернативний, з'являється діалогове вікно з попередженням (рис. 12).

Підтвердження видалення альтернативної групи з альтернативними компонентами

Під час спроби видалити групу альтернатив, якщо компонентам у цій групі

призначено альтернативний компонент, з'являється діалогове вікно з попередженням, яке попереджає вас і запитує підтвердження на видалення групи (рис. 13).

ПОКРАЩЕННЯ МОДЕЛЮВАННЯ СХЕМИ

Високо-імпедансне дослідження

Додано можливість перегляду високоімпедансного дослідження для цифрових сигналів у редакторі *SimData* (рис. 14).

ПОКРАЩЕННЯ PSPICE

У цьому випуску додано підтримку наступних елементів PSpice:

- LOGICEXP;
- цифрова лінія затримки;
- Digital Pullup та Pulldown;
- DFF;
- JKFF;
- DFFDE;
- JKFFDE.

Крім того, до бібліотеки *Simulation Generic Components* було додано компоненти для наступних елементів PSpice:

- Standard gates;

- Tristate gates;
- Digital stimulus.

ФУНКЦІЇ, ПОВНІСТЮ ДОСТУПНІ В ALTIUM DESIGNER 23.0

У цьому випуску наведені нижче функції вилучено з відкритого бета-тестування та перенесено на загальнодоступний:

- автоматичне оновлення десігнаторів у правилах проектування — доступно з версії 22.0;
- додано діалогове вікно «New Library» — доступне з версії 22.5;
- нестандартні форми панелей — доступні з версії 22.8;
- можливість додавати та редагувати коментарі в документах BOM — доступна з версії 22.09;
- круглі прямокутники та нова форма прямокутника зі скошеними фасками з користувацькими налаштуваннями — доступні з версії 22.11.

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

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

Основні напрямки розвитку технологій для виробництва друкованих плат

Ілля Лейтес

Основним міжнародним напрямком розвитку в галузі виготовлення радіоелектронної апаратури (РЕА) є її мініатюризація. У частині технології, обладнання та матеріалів для виготовлення друкованих плат (ДП) це призвело до формування трьох основних напрямків розвитку: прецизійного травлення з використанням тентинг-методу (або субтрактивного методу), широкого поширення прямої металізації, а також прямого формування рисунка ДП. У статті розглянуто також питання використання 3D-принтерів у технології виготовлення ДП.

ВСТУП

Напевно, ні для кого з фахівців нашої галузі, я маю на увазі технологів виробництва друкованих плат (ДП) і електронних модулів (ЕМ), не є секретом, що основним напрямком розвитку в галузі виготовлення РЕА стає її мініатюризація (зменшення масогабаритних характеристик РЕА або прагнення доповнити наявні обсяги більшими функціями). Викликано це появою на міжнародному і вітчизняному ринку таких компонентів, як QFP з кроком виводів 0.5–0.4 мм і менше, BGA і QFN з кроком виводів 0.5–0.4 мм і менше, чип-компонентів 0402, 0201 і менше (за номенклатурою, прийнятою на Заході, або 0.6 × 0.3 мм і менше — у звичних для нас метричних величинах). Необхідність монтажу настільки мініатюрних компонентів призвела до появи в конструкції РЕА ДП з параметром провідник/зазор до 50/50 мкм і значно більшим функціональним наповненням.

Конструктивне прагнення до мініатюризації РЕА в частині технології, обладнання та матеріалів для виготовлення ДП призвело до формування наступних трьох основних напрямків розвитку:

- Прецизійного травлення з використанням методу «тентинг», або субтрактивного методу. При цьому відбулося руйнування широко поширеного нині міфу про те, що прецизійний рисунок можна формувати тільки позитивним методом.

- Широкого поширення прямої металізації, що вимагало чіткого розуміння, коли слід застосовувати пряму металізацію, а коли хіміїд.
- Прямого формування рисунка ДП.

ПРЕЦИЗІЙНЕ ТРАВЛЕННЯ З ВИКОРИСТАННЯМ ТЕНТИНГ-МЕТОДУ, АБО СУБТРАКТИВНОГО МЕТОДУ

Тентинг завжди дуже приваблював виробників, оскільки він має безліч переваг, основними з яких є:

- короткий маршрут (при тентингу немає етапів нанесення і зняття металорезисту, що означає малу трудомісткість, знижену ймовірність виникнення дефектів, дешевизну);
- висока якість осаду (при тентингу висока пластичність осаджуваної міді обумовлена тим, що у ваннах хіміко-гальванічних установок (ХГУ) немає органіки у вигляді фоторезисту);
- висока якість поверхні під паяльну маску (ПМ) (поверхня міді бездоганно чиста, немає слідів від зняття металорезисту (МР) на відміну від позитивного методу, коли не завжди вдається якісно видалити МР);
- постійна величина струму джерел живлення ХГУ (адже площа завжди однакова — це вся площа заготовки, що дуже зручно з точки зору організації виробництва);

- єдина методика травлення (субтрактивна) на всіх етапах виробництва — при виготовленні і внутрішніх, і зовнішніх шарів;
- відсутність свинцю і олова в стоках (оскільки немає металорезисту);
- одна програма свердління (кріпильні отвори свердяться у єдиній програмі з перехідними, а потім під час травлення не тентуються, і металізація в них страплюється).

Однак широке впровадження його на виробництвах гальмувалося такими недоліками:

- необхідністю застосування високо-технологічного обладнання;
- ускладненим формуванням малих зазорів (оскільки доводиться травити великі товщини міді);
- наявністю розкиду товщини міді по площі заготовки, що виникає при гальванічному нанесенні (актуально при формуванні прецизійного рисунка);
- збільшеною витратою анодів («оборот міді») — багато міді наноситься і багато страплюється.

Усунення цих недоліків відкрило останнім часом шлях тентингу на виробництві ДП. Яким же чином можливо усунути подібні труднощі, що заважають впровадженню тентингу?

Фізичною основою травлення прецизійного рисунка, що визначає точність травлення, є формування вертикальних стінок провідників, або фактора (показника) травлення (рис. 1). При цьому було відомо, що отримати під час тентингу фактор травлення більш ніж 3–3.5 з огляду на різні ефекти та насамперед на необхідність травлення великої товщини міді (фольга + гальваніка, що наноситься під час металізації), не вдавалося.

Тому для створення прецизійного рисунка орієнтувалися на позитивний метод, за якого основна товщина провідного рисунка виконувалася в канавках фоторезисту, фізичні властивості якого дають змогу формувати канавки

- При формуванні шару попередньої металізації методом осадження хімії міді можуть виникнути проблеми з адгезією до стінок отвору.
- Хімія є бар'єром для епітаксiального зрощування кристалічних решіток міді внутрішніх шарів і гальванічної міді основної металізації, і за товщини понад 1–1.5 мкм повного епітаксiального зрощування між мідною фольгою внутрішніх шарів, що виходять в отвір (торцевим контактом), і гальванічною міддю основної металізації не відбувається, що значною мірою знижує надійність, насамперед торцевого контакту в МДП, і погіршує адгезію «мідь–до–міді» на поверхні ДП (тобто потрібен суворий контроль за товщиною хімії, яку наносять).
- Техпроцес хіміювання дає багато шкідливих відходів, сильно впливаючи на екологію, якій останнім часом приділяється особлива увага. розчинах хімії іони міді пов'язані в міцні комплекси з органічними лігандами (сегментетовою сіллю, ЕДТА та ін.), що створює великі проблеми для вилучення міді з відпрацьованих розчинів. Крім цього, робочі розчини хімії містять формальдегід — речовину першого класу небезпеки.

Дотримуючись загальносвітових тенденцій компанія Dow (DuPont) пропонує своїм партнерам розроблені нею процеси попередньої металізації. Уся хімічна продукція для виробництва друкованих плат, що поставляється компанією Dow, базується на досвіді виробництва хімікатів компанії Shipley, а також подальших розробок концерну Rohm and Haas та інноваційних власних досліджень підрозділу Dow EM. Серед них процес хімічного міднення серії Circuposit (зокрема, для виготовлення складних МДП з великим Н:д пропонується хімічне міднення наскрізних і глухих отворів Dow (DuPont) — Circuposit 3000-1).

Наразі у виробництві ДП для створення попереднього провідного шару крім хіміювання широко використовують пряму металізацію, яка, з огляду на її незаперечні екологічні та організаційно-виробничі переваги, завойовує все більшу популярність.

Процеси прямої металізації відносяться до так званих «зелених» технологій через відсутність у них комплексуювальних речовин, формальдегідів та інших речовин, що ускладнюють проблеми, пов'язані з очищенням стіч-

них вод. Низка процесів прямої металізації більш стійка у виробництві за неминучих коливань режимів (тобто, як тепер висловлюються, «має широкі операційні вікна»).

Отже, пряма металізація набагато полегшує розв'язання екологічних проблем, стійкіша в керуванні, забезпечує хорошу адгезію металізації до всіх відомих діелектриків.

Таким чином, до основних переваг прямої металізації слід віднести:

- відсутність шкідливих речовин у зливах;
- відсутність необхідності розгону ванн після технологічних перерв;
- відсутність імовірності появи розділового шару хімії в торцевому контакті.

Головним же недоліком, що обмежує застосування прямої металізації, пов'язаним з напівпровідниковою провідністю шару попередньої металізації, є можливість її використання для виготовлення ДП з Н:д не більше 10:1. (Шар попередньої металізації має напівпровідникову провідність, і через це зростання основної гальваніки відбувається від зовнішньої частини отвору до центру, забезпечуючи найгірший порівняно з хімією розподіл, що становить не більше ніж 75%).

У виробничій практиці нині зустрічаються такі варіанти прямої металізації:

- Токопровідний шар на основі графіту. Сутність процесу полягає в обробці ДП у тонкодисперсній суспензії графіту. Частинки графіту, що мають розміри від декількох десятків до декількох сотень нанометрів, адсорбуються на оброблюваній поверхні та після висушування набувають провідності за рахунок наявності металевого зв'язку між атомами вуглецю. Спосіб має вузьке технологічне вікно і обмеження щодо використання в ДП для спеціального застосування.
- Провідний шар на основі провідного полімеру. Провідність створюється шляхом полімеризації мономерів органічних речовин, причому через особливості процесу полімеризації провідний шар формується тільки на ділянках діелектрика всередині отвору. На торцевому контакті шар відсутній. Метод мало вивчений і не дуже поширений.
- Токопровідний шар на основі палладію. Цей метод найпоширеніший для виготовлення МДП і використовується, зокрема, для виготовлення МДП підвищеної надійності. Існують техпроцеси з різними механізмами

формування каталітичних палладієвих центрів. При цьому палладієві системи прямої металізації в будь-яких варіантах дають більш стійкі та якісні результати, ніж хімія.

Компанія Dow рекомендує процес прямої металізації Crimson на основі палладію (свого виробництва). Він забезпечує відмінну адгезію струмопровідного шару і провідність, достатню для ефективного гальванічного нанесення міді (без затяжки). Для виготовлення МДП, які на професійному жаргоні називаються «побутівка», компанія Dow пропонує дешевий процес прямої графітової металізації Graphite 2000.

Що ж стосується прямої металізації на основі провідних полімерів, цей складний і дорогий процес, що вимагає постійних ретельних коригувань, проходить лабораторні випробування і поки що як комерційний продукт компанією Dow не пропонується.

Скажемо кілька слів і про гальванічне затягування та основну гальваніку. Взагалі, гальванічне затягування для представлених процесів не є обов'язковим і використовується лише для запобігання окисленню шару попередньої металізації, яке, як правило, виникає під час значних міжопераційних простоїв. При цьому для неї розподіл не важливий, оскільки вона має малу товщину (всього 5 мкм).

Ванна основної гальваніки містить дві основні добавки: Brightner — блискоутворювальну і Leveler — вирівнювальну, що забезпечує достатній розподіл.

Коригування добавок може здійснюватися за допомогою комірки Хулла або вольт-амперометрією (CVS) (більш сучасне, але досить дороге задоволення). Деякі процеси коригуються тільки за допомогою CVS.

Розподіл, як було сказано раніше, є основним значущим параметром при досягненні товщини міді, необхідної НТД для забезпечення експлуатаційної надійності (20–25 мкм — середня товщина міді).

Але є ще один важливий параметр металізації отворів. Це пластичність міді, що забезпечує надійність під час термоударів і термоциклів (компенсує різницю температурного розширення міді та діелектрика за Z). Контроль пластичності може проводитися двома методами:

- Замір на розривній машині зразків («лопаток»), показаний на рисунку 3, дає інтуїтивно зрозумілий результат подовження, що відповідає закону Гука (допустимо не менше 12–14%).

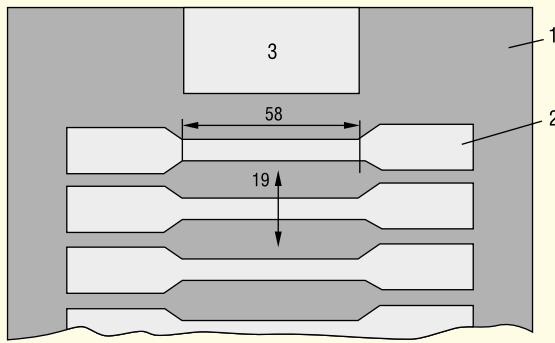


Рис. 3. Пластина для виготовлення тест-зразків для вимірювання пластичності гальванопокриттів: 1 – фоторезист; 2 – оголена металева поверхня для осадження півки гальванопокриття; 3 – металева поверхня для приєднання до катодної штанги

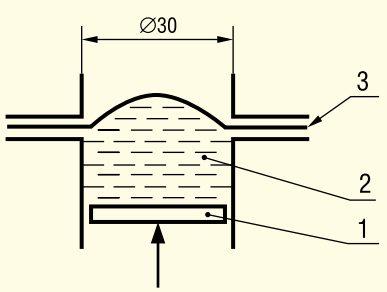


Рис. 4. Принцип випробування на гальванічне видавлювання: 1 – поршень; 2 – вода; 3 – випробуваний зразок

Але цей метод вимагає проведення додаткових фотолітографічних операцій, що не дуже зручно в реальному виробництві.

- Ductility test (гідравлічне видавлювання фольги в кулясту форму) зручний для оперативних перевірок у рамках поточного виробництва. Метод не вимагає проведення додаткових фотолітографічних операцій, але дає опосередковані значення пластичності (допустимо не менше ніж 22 (28)%). Цей метод внесено до IPC TM 650 (п. 2.4.2.), (рис. 4).

Розглянемо обладнання, що використовується для металізації отворів ДП.

Хіміко-гальванічні лінії

Обладнання для реалізації будь-яких процесів металізації мало відрізняється за своєю суттю. Йдеться про кількість ванн і матеріал ванн залежно від того, який процес передбачається використовувати, їхнього технічного оснащення і розмірів.

Для забезпечення металізації ДП високого класу точності в гальванічних лініях я пропоную використовувати такі передові технологічні процеси:

- підготовку стінок отворів перед металізацією;
- різні способи прямої металізації або нанесення хімічної міді;
- нанесення гальванічної міді;
- нанесення гальванічного олова та олова-свинцю, гальванічного срібла тощо.

При цьому лінії можуть бути оснащені інноваційними технічними пристроями:

- джерелами постійного струму, а також імпульсними джерелами з реверсом;
- процесами із заповненням отворів;
- пристроями вібрації та безповітряного перемішування;
- фільтрацією;
- автоматичним дозуванням і коригуванням складів.

Для прототипного і дрібносерійного виробництва є ХГЛ розробки і виробництва компанії Walter Lemmen (модель Comrasta) як у ручному, так і в автоматичному виконанні під технологічний процес замовника. Залежно від вимог технології в цих лініях застосовуються ті самі інноваційні технічні пристрої, що впливають на якість обробки плат. Модульна конструкція системи Comrasta забезпечує, крім того, можливість інтеграції додаткових технологічних процесів у концепцію системи, як-от видалення наволакування смоли після свердління (перманганатна обробка) або нанесення адгезійного покриття (підготовка поверхні перед пресуванням).

ПРЯМЕ ФОРМУВАННЯ РИСУНКА ДП

Третьою темою сучасної тенденції технології виготовлення ДП є пряме формування рисунка і застосування

3D-принтерів для професійного виготовлення друкованих плат. Тема ця відносно нова, і навколо неї багато, на мій погляд, непотрібного і недостовірного шуму. А тому в цій статті я хотів би викласти свій погляд і на цю проблематику.

Для початку домовимося про терміни: що таке пряме формування (ПФ)? При прямому формуванні:

- рисунок шарів друкованих плат створюється шляхом формування необхідних елементів рисунка на робочому полі друкованої плати (тільки там, де визначено конструкторською документацією). За рахунок цього істотно скорочується кількість використовуваних технологічних і базових матеріалів і, відповідно, кількість відходів, які необхідно утилізувати;
- скорочується кількість операцій у технології виготовлення ДП;
- зменшується кількість необхідного обладнання для його реалізації та пов'язані з цим інвестиційні та експлуатаційні витрати.

На відміну від ПФ, за традиційного методу виготовлення ДП попередньо наносять суцільний шар відповідного матеріалу, а потім із суцільного шару методами фотолітографії (субтрактивними) прибирають усе непотрібне. Причому для виготовлення кожного типу друкованої плати необхідна значна кількість різноманітного матеріального оснащення (головним чином ФШ і трафаретів). В умовах багатонаменклатурного виробництва необхідність такої кількості матеріального оснащення спричиняє безліч організаційно-технічних проблем, пов'язаних із технологією його виготовлення, атестації, зберігання, контролю, а також із необхідністю врахування та мінімізації дефектів, які воно може внести в ДП, що виготовляються.

Саме тому широко впровадження техніки прямого формування, що переносить необхідне оснащення з матеріальної області у віртуальну, доцільно впроваджувати насамперед у багатонаменклатурному виробництві, а також на стадії прототипування.

Почну з того, що вже можна вважати таким, що відбулося, впроваджено і набуло широкого поширення.

Пряме експонування

Історично в порядку появи на ринку технологічних операцій і обладнання для виробництва ДП першим було пряме експонування (ПЕ). Це експонування фоторезисту за програмою сфокусованим променем лазерного або світлодіодного джерела.

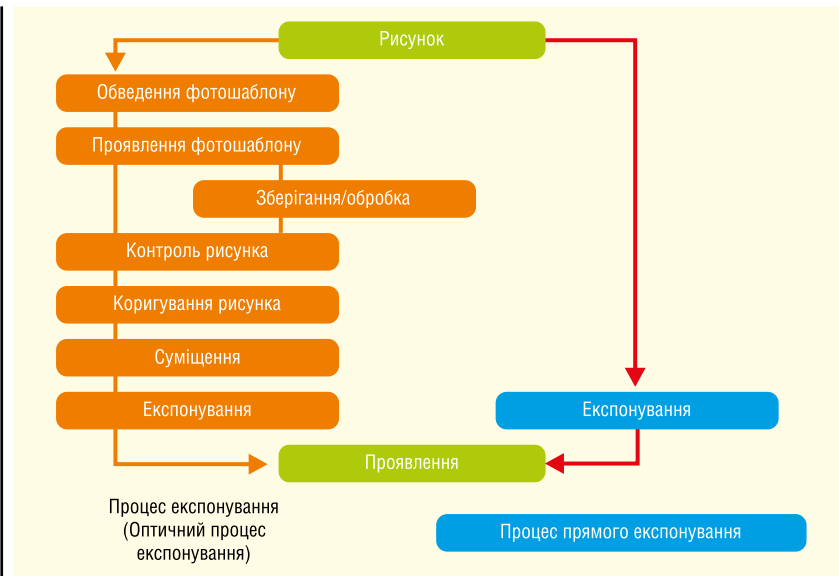


Рис. 5. Порівняння необхідної кількості операцій при ПЕ і традиційному оптичному експонуванні

При використанні прямого експонування в техпроцесі виготовлення ДП необхідно виконати кілька додаткових операцій, властивих традиційному процесу виготовлення ДП — його фотолітографічному етапу. Необхідно попередньо нанести суцільний шар світлочутливого матеріалу (травильного резисту або паяльної маски). І після виконання прямого експонування провести технологічні операції прояву, а потім травлення (для струмопровідних шарів) або задублювання (для паяльної маски). Тому віднести його повною мірою до ПФ було б неправильно — це такий собі початковий, перехідний процес.

На рисунку 5 показано різницю в необхідній кількості операцій для ПЕ і

традиційного оптичного експонування. Зліва представлений процес традиційного оптичного експонування, що складається з великої кількості операцій: виготовлення фотошаблонів (відрисовування і проявлення), зберігання фотошаблонів, їхній періодичний контроль (він потрібен, якщо перевищено нормативний термін зберігання) і експонування. Праворуч — процес прямого експонування, для якого потрібні тільки відповідні програми.

Таким чином техніка прямого експонування дає змогу позбутися набору обладнання та технологічних операцій виготовлення матеріальних фотошаблонів у виробництві друкованих плат.

Як технологічна операція ПЕ з'явилася в минулому десятилітті, але на по-

чатковому етапі не набуло широкого поширення, оскільки вимагало використання спеціальних, дорогих на той час фоторезистів. Удосконалення обладнання ПЕ йшло у двох напрямках:

- створення джерел випромінювання, здатних експонувати стандартні фоторезисти (використовувані при традиційному оптичному експонуванні);
- відпрацювання конструктивних схем установок у частині застосування більш зручних в експлуатації та обслуговуванні джерел випромінювання (перехід від лазерних джерел експонування на світлодіодні).

Щойно цих цілей було досягнуто, стався різкий сплеск поширення цього виду обладнання.

Добре зарекомендувала себе на ринку обладнання установка прямого експонування Ledia компанії Screen (рис. 6а). Вона замінює кілька етапів технології виготовлення ДП, від процесу виготовлення фотошаблонів до експонування. Завдяки використанню світлодіодів із різними довжинами хвиль і можливістю регулювання інтенсивності випромінювання кожного світлодіода на установці можна підібрати оптимальні режими експонування різних марок і травильного резисту та особливо паяльних масок. Це високопродуктивна і технічно досконала установка ПЕ. У неї висока прецизійність і точність позиціонування, велике робоче поле (до 610 × 661 мм). Використання цієї установки дає змогу знизити інвестиційне та експлуатаційне навантаження на обладнання, особливо для багатоменшкатурного виробництва. Крім того, немає необхідності купувати та утримувати обладнання для виготовлення,



Рис. 6. Обладнання ПЕ: установка Ledia компанії Screen (а); установка UV-P50 компанії Limata (б)

зберігання та атестації великої кількості фотошаблонів.

Для лабораторних умов виробництва є установка ПЕ UV-P50 від компанії Limata (рис. 6 б). Особливістю установки є робота з відносно маленькими заготовками (18 × 12") і відносно невисока продуктивність. Але це єдина у своєму роді бюджетна система для виготовлення прототипів і малих серій в умовах, коли не потрібна висока продуктивність.

Струменевий друк

Операції прямого формування рисунка друкованих плат виконують технікою струменевого друку, і на відміну від прямого експонування, про яке розказано раніше, вони дають змогу обійтися взагалі без етапу фотолітографічних операцій. Однак на сьогодні повною мірою освоєною і впровадженою можна вважати тільки техніку струменевого друку рисунка маркування.

Типовий процес маркування вимагає наявності трафарету для кожного типу друкованої плати. Для виготовлення цих трафаретів потрібно зробити кілька технологічних операцій і використати досить великий комплект обладнання. Для принтера маркування знадобиться лише програма маркування та установка термодублення.

Струменеві принтери для маркування відомі досить давно. Але популярними вони стали тільки після того, як були освоєні виробництва спеціальних маркувальних фарб для струменевих принтерів великими відомими світовими фірмами (Electra, Peters, Taiyo та ін.). Раніше ці фарби виготовляли виробники принтерів у дуже невеликих обсягах, і замовник був приречений купувати фарбу за високою ціною і без гарантій регулярних поставок.

При цьому розробники методу довгий час не могли усунути «ореол розбризкування» — дрібні крапельки фарби навколо основної краплі, що утворюються при падінні на підкладку (рис. 7). І тільки коли принтери змогли позбутися «ореолу розбризкування», тобто з'явилися маркувальні фарби, що мають малу в'язкість і водночас містять мінімум розчинника, і був знайдений спосіб точного контролю кожної краплі фарби, що потрапляє на плату, за об'ємом, оскільки вдалося сконструювати відповідні головки, вони стали завойовувати популярність на ринку друкованих плат.

Як варіант, є принтери фірми Wingate, яка випускає кілька моделей принтерів, що розрізняються за продуктивністю.

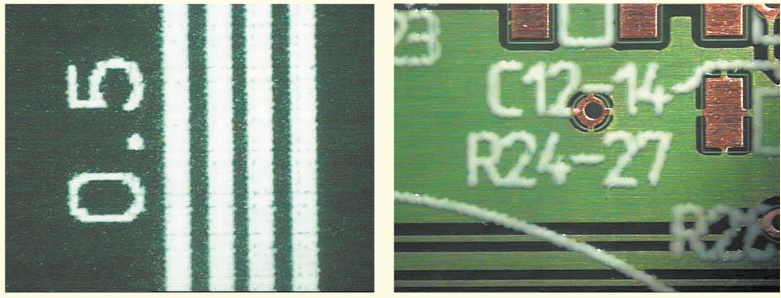


Рис. 7. «Ореол розбризкування»

Крім звичайних графічних програм, які використовуються в побутових і офісних принтерах, струменевий друк активно намагаються адаптувати для нанесення різних функціональних матеріалів, які використовуються у виробництві ДП, тим паче, що він дає змогу створювати структури з високою роздільною здатністю.

Не так давно на одній з виставок у Мюнхені було представлено кілька установок струменевого друку паяльної маски. Одна з них, розроблена фірмою Meyer Burger, показана на рисунку 8.

Фірма знайшла цікаве рішення однієї зі складних проблем процесу струменевого друку саме ПМ. Річ у тім, що при нанесенні ПМ необхідно покрити до ≈90% площі заготовки (на відміну від 3–5% для маркування), що істотно збільшує трудомісткість процесу.

Компанія Meyer Burger розробила технологію нанесення паяльної маски

прецизійними краплями по контуру рисунка з подальшим заповненням контуру великими краплями, що значно зменшує трудомісткість і, відповідно, збільшує продуктивність цієї операції.

Відомо, що суттєвим фактором, який дає змогу використовувати конкретну операцію в реальному виробництві, є доступність витратного матеріалу. Ця проблема вже згадувалася на прикладі маркування.

Meyer Burger активно співпрацює в розробці матеріалу з такими великими виробниками ПМ, як Electra і Agfa Chemichy. На IPEX APEX фірма Meyer Burger отримала премію за інновації, презентувавши один із нових процесів струменевого друку з використанням Agfa DiPaMat Solder Mask. DiPaMat Solder Mask — це паяльна маска ультрафіолетового затвердіння для струменевого друку, що не містить розчинників. У неї найкраще збалансовані власти-

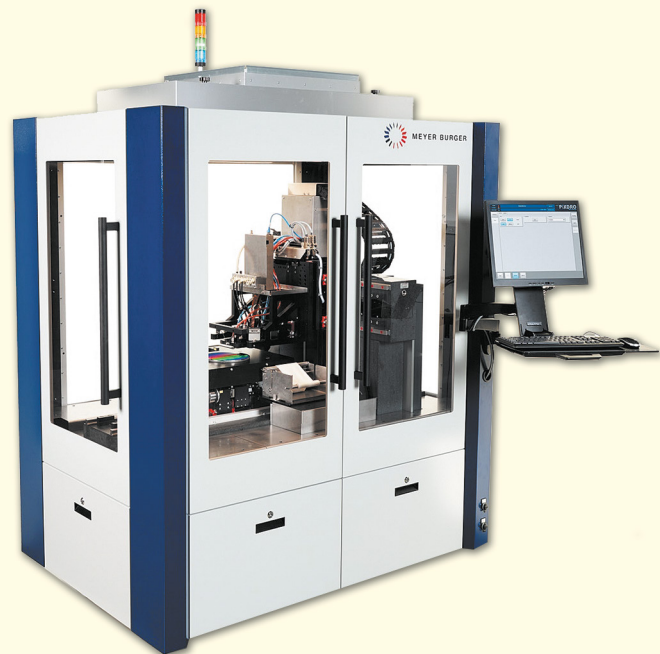


Рис. 8. Установка струменевого друку ПМ Meyer Burger

вості в'язкості та затвердіння для забезпечення гнучкого налаштування та швидкої інтеграції з більшістю основних струменевих друкарських машин.

3D-принтери для виробництва ДП

Ще одним цікавим нововведенням на одній із виставок «Продуктроніка» був представлений ізраїльською фірмою Nano Dimension 3D-принтер для виготовлення МДП, що об'єднує надзвичайно точний 3D-принтер струменевого друку, інноваційну нанохімію та складне програмне забезпечення, здатне задовольнити потреби швидкого макетування. Цей принтер, використовуючи два типи нанохімічних складових (провідний і ДЕ), може виготовляти макет ДП шляхом пошарового нарощування (з мінімальним кроком 2 мкм), повністю відтворюючи необхідну структуру МДП.

В даний час навколо цього методу виготовлення ДП поширюється багато недостовірної інформації. З того, що пропонується в Інтернеті, мені здається, можна вважати такими, що повною мірою працюють за адитивною технологією і є більш-менш професійними, 3D-принтери, створені фірмами Nano Dimension, nScript і Optomec.

Оскільки перший із названих бачив сам і розмовляв із представником компанії-розробника Nano Dimension на «Продуктроніці» на їхньому стенді, розповідь про нього детальніше.

Незважаючи на представлені на стенді фірми зразки реальних ДП, цей процес, на мою думку, поки не можна вважати придатним для впровадження в реальне виробництво.

Провідний склад виготовлено на базі дорогого срібла, а діелектрик має низьку термостійкість, і для паяння доводиться використовувати тільки низькотемпературні припої. Та й ці складові не цілком ясного походження. Таким чином, установка на сучасному етапі розробки може бути корисною розробникам електронних модулів для макетування і перевірки ефективності ідей. А після підтвердження працездатності для виготовлення ДП і електронних модулів, які можна експлуатувати в реальних умовах і з забезпеченням загальноприйнятими надійнісних стандартів, проєкт ДП має бути перероблено з урахуванням вимог нормативно-технічної документації (НТД) до матеріалів і процедури початку виробництва (мабуть, з використанням традиційних технологій формування рисунка). Схоже, та сама історія з 3D-принтером від компанії Optomec.

Підсумовуючи все сказане, хочу сказати, що вже впроваджені і готові до використання в реальному виробництві (тобто забезпечено апаратно, ПЗ, витратними матеріалами і пропонуються як комерційний продукт) установки прямого експонування і принтери маркування.

Найближчою перспективою (забезпечений апаратно і програмно, а витратні матеріали перебувають у стадії активного розроблення і скоро будуть представлені як комерційний продукт) є принтер паяльної маски.

Перебуває в якійсь віддаленій перспективі (обладнання, ПЗ і витратні матеріали в стадії розробки) 3D-принтер для виготовлення МДП.

Звичайно, процес подальшого просування струменевого друку, безумовно, принесе свої плоди в майбутньому як альтернатива традиційним технологіям формування рисунка, насамперед у сфері прототипів і малих серій. Поки ж пропозиції виробників обладнання струменевого друку для інших операцій виготовлення ДП (крім принтерів маркування і паяльної маски), тим більше 3D-принтера, не виглядають придатними для впровадження в реальне багатонаменклатурне виробництво друкованих плат.

Проте багато фірм ведуть активні дослідження в галузі 3D-формування ДП, серед яких визначилися основні найперспективніші напрямки:

- пряме формування струменевим друком;
- мікродозування (мікродиспенсінг);
- аерозольне нанесення.

Одне з головних очікувань від цих технологій — істотне скорочення часу розроблення РЕА і за рахунок цього зниження загальної вартості проєктів.

Найбільшу активність у цій галузі проявляють Nova Centrix, nScript, Ероху Technology, Optomec, Інститут Фраунгофера, Nano Dimension.

Так, компанія nScript працює у військовій програмі Dakkra і випускає лінійку обладнання для мікродиспенсування, у співдружності з розробниками матеріалів їй вдалося створити термостійкий матеріал — бромований ABS (Acrylonitrile Butadiene Styrene) — пластик, придатний для використання в якості підкладки для ДП. Але доступні провідні складові поки виготовляються тільки на основі срібла (наприклад, ЕРО-ТЕК Н20е).

На Fraunhofer IZM (Berlin) організовано виробництво електронних модулів з вбудованими компонентами.

Реальні зразки МДП показала тільки Nano Dimension.

СТВОРЕНО ПЕРШИЙ ТИТАН-САПФІРОВИЙ ЛАЗЕР, ЯКИЙ МОЖНА ПОМІСТИТИ НА КРИСТАЛ ЧИПА

Коли з'явилися перші титан-сапфірові лазери, це зробило буквально революцію в науці. Сапфір з домішкою іонів титану має досить високий коефіцієнт посилення світла, що забезпечило новим на той момент лазером велику потужність і широку смугу генерованого випромінювання. Пізніше, завдяки появі титан-сапфірових лазерів було зроблено масу фундаментальних відкриттів і для них знайшлося безліч сфер практичного застосування у фізиці, біології, хімії тощо.

Настільні варіанти титан-сапфірових лазерів і донині є необхідним атрибутом безлічі наукових і промислових лабораторій. Однак, це досить складні і громіздкі пристрої, що споживають значну кількість енергії. Але якби була можливість створення такого лазера масштабу кристала чипа, то вигоду з цього могли б отримати розробники атомних годинників, портативних датчиків і навіть квантових обчислювальних і комунікаційних систем.

І ось нещодавно групи вчених з Єльського університету вдалося створити і продемонструвати перший у світі титан-сапфіровий лазер, об'єднаний з оптичною схемою на кристалі фотонного чипа. І цей крихітний лазер має всі ті ж самі позитивні риси і характеристики, що і його великі побратими, за винятком, звісно, потужності променя світла, що виходить.

Ключовим моментом у цьому досягненні є зниження порога мінімальної потужності. Тоді як у звичайних титан-сапфірових лазерів цей поріг потужності становить щонайменше 100 міліват, то вченим з Єля вдалося домогтися значення цього порога в 6.5 міліват. А подальші удосконалення цієї технології дадуть змогу знизити цей поріг ще більше, до значення в 1 міліват.

Зазначимо, що створена вченими лазерна система повністю сумісна з сімейством оптоелектроніки на основі нітриду галію, яка використовується в сучасних світлодіодах і напівпровідникових лазерах. І це дасть змогу використовувати новий лазер на практиці вже в найближчому майбутньому в складі нових типів спектроскопічних датчиків і, як уже згадувалося вище, в атомних годинниках, квантових технологіях тощо.

<https://phys.org>

Моделювання перехідних процесів і заваг джерел живлення під час розроблення та тестування систем супутникового зв'язку та систем оборонного призначення

Рекомендації щодо застосування

На лабораторному столі звичайне джерело живлення часто розглядають як акумулятор із ручкою регулювання вихідної напруги, який забезпечує живлення для розроблюваної системи або підсистеми. Однак для комплексного дослідження, оцінювання й усунення неполадок у роботі вузлів пристроїв, що використовуються в супутникових системах і системах оборонного призначення, вигідніше використовувати досконаліший вимірювальний прилад, здатний імітувати безліч можливих електричних завад.

Аналізатор живлення постійного струму N6705 компанії Keysight має все необхідне для моделювання перехідних процесів і шумів, які можуть виникнути в ланцюгах живлення на борту літаків, кораблів, наземних транспортних засобів або супутників. Приклади перехідних процесів включають процеси, що виникають унаслідок пуску двигуна, перемикання режиму роботи джерела живлення, змін навантаження, ударів блискавки, впливу імпульсів систем радіоелектронної боротьби, сонячних спалахів і високоенергетичних частинок. Приклади небажаних шумів включають пульсації від мережі живлення змінного струму (наприклад, на частоті 400 Гц) і паразитні зв'язки з електромеханічними пристроями.

У рекомендаціях щодо застосування описуються можливі проблеми, у загальних рисах викладаються потенційні недоліки типових рішень, пропонуються схеми можливих рішень, а також наводяться приклади результатів моделювання.

ПРОБЛЕМИ: ПЕРЕХІДНІ ПРОЦЕСИ ТА ШУМИ

Перехідні процеси та шуми на шинах живлення можуть викликати неспо-

дівані та небажані ефекти в системі або підсистемі. У цих рекомендаціях щодо застосування ми використовуємо такі визначення цих термінів:

- **Перехідний процес:** перехідний процес джерела живлення — це ненавмисна зміна величини напруги або сили струму. Це одноразовий, неперіодичний сигнал або подія. Такі події часто називають викидами, сплесками, випадіннями або перериваннями.
- **Шум:** шум джерела живлення — це модуляція внаслідок впливу одного і декількох небажаних сигналів, накладена на рівень постійного струму. Як правило, це безперервний періодичний сигнал. Такі шуми часто називають пульсаціями.

Перехідні процеси можуть створюватися передбачуваними й непередбачуваними джерелами. Одним із прикладів передбачуваного джерела перехідних процесів є різка зміна імпедансу навантаження (Z_{load}), коли система з великою потужністю вмикається (Z_{load} різко зменшується) або вимикається (Z_{load} різко зростає). Іншим прикладом є різкі, динамічні зміни, що виникають у пристроях і системах, які випромінюють імпульсні сигнали.

МОДУЛІ ДЖЕРЕЛ ЖИВЛЕННЯ СЕРІЇ N6700

Серія N6700 включає чотири типи модулів джерел живлення постійного струму: базові, продуктивні (з високими характеристиками), прецизійні, а також модулі джерел/вимірювачів. Базові джерела живлення постійного струму для N6705 включають модулі з вихідною потужністю 50, 100 і 300 Вт за напруги до 150 В і сили струму до 20 А. Джерела живлення з високими технічними характеристиками N6750 включають модулі з вихідною потужністю 50, 100, 300 і 500 Вт за напруги до 60 В і сили струму до 50 А. Прецизійні джерела живлення N6760 включають модулі з вихідною потужністю 50, 100, 300 і 500 Вт за напруги до 60 В і сили струму до 50 А. Модулі джерел/вимірювачів N6780 забезпечують вихідну потужність 20 Вт за напруги до 20 В і сили струму до 3 А.

Перехідні процеси також виникають, коли, наприклад, літак перемикається з наземного джерела електроживлення на бортове джерело, що живиться від двигуна.

Непередбачувані джерела містять у собі природні явища, такі як удари блискавок і сонячні спалахи. Антропогенні джерела включають запуск електромеханічних пристроїв, такі, наприклад, як двигуни і генератори, або випромінювання систем радіоелектронної боротьби.

Причиною шумів є зазвичай внутрішні або зовнішні джерела. У пристроях, які використовують джерело живлення змінного струму, недостатня

фільтрація може призвести до наведення перешкод у ланцюгах постійного струму на частотах мережі живлення 50, 60 або 400 Гц.

ПРОБЛЕМИ: ТИПОВІ РІШЕННЯ ДЛЯ ДЖЕРЕЛ ЖИВЛЕННЯ ПОСТІЙНОГО СТРУМУ

Для моделювання перехідних процесів і шумів джерел живлення зазвичай потрібні різноманітні вимірювальні прилади: один або кілька джерел живлення постійного струму, цифровий мультиметр, осцилограф і генератор сигналів довільної форми. Крім того, часто потрібен персональний комп'ютер (ПК), забезпечений програмним забезпеченням для створення сигналів, яке здатне завантажувати файли в генератор сигналів довільної форми.

Незважаючи на значну гнучкість такого підходу, його недоліком є складність використання, що пов'язано з низкою аспектів: під'єднання приладів один до одного та до пристрою, що випробовується, установлення параметрів вимірювання для кожного приладу, створення сигналу в ПК та передання його в генератор сигналів довільної форми і так далі. Крім того, якщо виникають проблеми, пов'язані з вимірами, знадобляться час і зусилля, щоб точно визначити, що є їхньою причиною — випробувальна система або пристрій, що тестується.

ПРОПОНОВАНЕ РІШЕННЯ

Аналізатор живлення постійного струму N6705 спрощує проведення комплексного тестування. Ядром приладу є 4-слотове шасі, в яке може бути встановлено від 1 до 4 модулів джерел живлення постійного струму із сумарною потужністю до 600 Вт. Шасі сумісне з усіма модулями джерел живлення серії N6700 компанії Keysight (див. врізку).

Вбудовані дигітайзери підтримують вимірювання напруги та сили струму, не вимагаючи використання струмових шунтів, струмових пробників або струмочутливих резисторів. Вбудована функція осцилографа дає змогу відображати оцифровані дані на великому кольоровому дисплеї.

Функція генератора сигналів довільної форми дає змогу моделювати перехідні процеси та шуми засобами аналізатора N6705. Створення сигналу спрощується завдяки простоту у використанні інтерфейсу користувача, а якість сигналів підвищується за рахунок широкої смуги пропускання.

За допомогою аналізатора N6705 сигнали можуть генеруватися за допомогою задання тільки невеликої кількості точок, оскільки використовується алгоритм кодування довжин серій (кодування повторів): кожну точку сигналу визначають за допомогою встановлення значення напруги і часу витримки. Наприклад, для визначення імпульсу потрібно задати тільки три точки. У таблиці 1 наведено повний список можливих варіантів форм сигналів, пропонує аналізатором N6705. Кожен сигнал може бути налаштований на постійне повторення або на задану кількість повторів. Визначені користувачем форми сигналів можуть бути введені з передньої панелі приладу або завантажені в прилад у вигляді файлу формату CSV (значення, розділені комами). Файли можуть бути завантажені через інтерфейс введення-виведення або за допомогою пристроїв запам'ятовування даних з інтерфейсом USB.

Прикладна програма управління та аналізу 14585A компанії Keysight, що поставляється з приладом, забезпечує

Таблиця 1. Повний список можливих варіантів форм сигналів, пропонує аналізатором N6705	
Форма сигналу	Число точок на сигнал
Синусоїдальний	100 точок
Ступінчастий	2 точки
Лінійно змінюваний	100 точок
Імпульсний	3 точки
Лінійно змінний за кроками	Визначається числом кроків
Експоненціальний	100 точок
Визначувані користувачем форми сигналів напруги (вихід поводить як джерело напруги)	До 512 точок з регулюванням для кожної точки окремо часом витримки
Визначувані користувачем форми сигналів струму (вихід поводить як джерело струму)	До 64000 точок з програмовним часом витримки (однакова тривалість для всіх точок)

управління роботою до чотирьох шасі N6705 з одного екрана ПК. За рахунок графічного інтерфейсу користувача ця програма надає поліпшені можливості візуалізації та управління даними. Програма також підтримує створення складних сигналів довільної форми за допомогою захоплення і завантаження реальних сигналів для подальшого відтворення до 16 сигналів (потрібні чотири аналізатори живлення постійного струму N6705).

РЕЗУЛЬТАТИ: ГЕНЕРАЦІЯ СИГНАЛУ ПЕРЕХІДНОГО ПРОЦЕСУ

Як приклад, Ви можете застосовувати N6705 для імітації переривання живлення, як це визначено в стандарті RTCA DO-160F для випробувань електронного устаткування, застосовуваного в літаках. Ключові параметри:

- номінальне значення напруги = 28 В;
- мінімальне значення напруги = 4.2 В;
- час лінійного спаду напруги (T_f) = 17 мс;
- час витримки (T_r) = 8 мс;
- час лінійного наростання напруги (T_r) = 4 мс.

Ці параметри можуть бути введені з використанням інтерфейсу передньої панелі приладу і вбудованої функції «trapezoid waveform» (трапецеїдальний сигнал), як показано на рисунку 1. Результуючий сигнал, представлений на рисунку 2, було захоплено з використанням N6705 у режимі осцилографа.

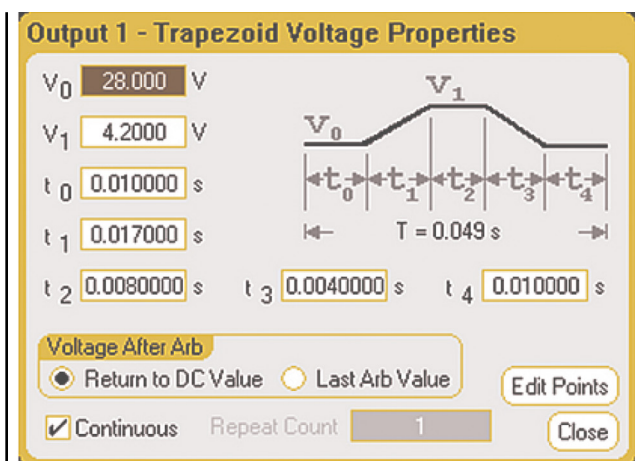


Рис. 1. Інтерфейс передньої панелі полегшує створення різних типів сигналів

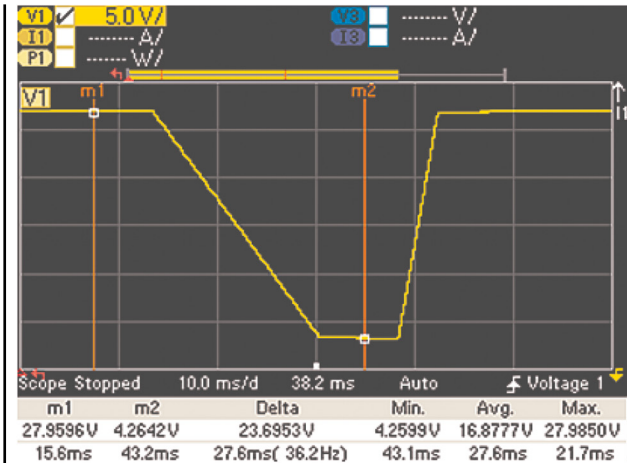


Рис. 2. Маркери вимірювань показують рівні напруги сигналу з перериванням

Дуже складні сигнали перехідних процесів також можуть бути створені за допомогою функції генератора сигналів довільної форми. Наприклад, функція осцилографа може бути використана для захоплення перехідного процесу в ланцюзі живлення, що виникає під час запуску двигуна. Захоплені реальні сигнали можна потім зберегти у вигляді файлу формату CSV у пристрої запам'ятовування даних з інтерфейсом USB і передати в аналізатор N6705 для подальшого відтворення в якості випробувального сигналу.

РЕЗУЛЬТАТИ: ГЕНЕРАЦІЯ ШУМОВОГО СИГНАЛУ

Пулсації від мережі живлення змінного струму, накладені на рівень постійного струму, можна легко змоделювати. На рисунку 3 наведено приклад такого сигналу, заданого з передньої панелі аналізатора N6705. На рисунку 4 показано сигнал постійного струму з пульсаціями, захоплення та вимірювання параметрів якого були виконані з використанням N6705.

ВИСНОВОК

N6705 є єдиним, багатофункціональним приладом, що дає змогу легко моделювати широкий діапазон перехідних процесів і шумових сигналів, від найпростіших до складних. Різні прості сигнали можуть бути швидко визначені з передньої панелі приладу, а складні сигнали довільної форми можуть бути завантажені як файли формату CSV без написання

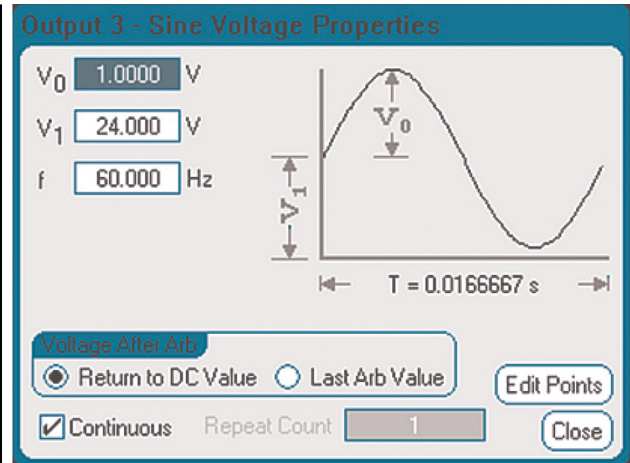


Рис. 3. Здається синусоїдальний сигнал з амплітудою 1 В і частотою 400 Гц, накладений на сигнал постійного струму з напругою 24 В

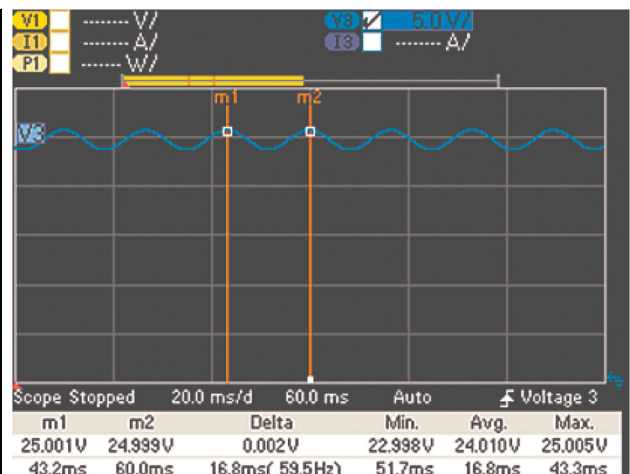


Рис. 4. Дельта-маркери показують амплітуду і період шуму, джерелом якого є мережа живлення змінного струму

будь-якого коду. Такі можливості спрощують процес комплексного тестування, випробування та перевірки залежності характеристик вузлів і субблоків, що використовуються в супутникових, аерокосмічних системах і системах оборонного призначення, від мережі живлення.

Для отримання більш детальної інформації, будь ласка, звертайтеся на сайт компанії Keysight за наступним посиланням: www.keysight.com/find/14585.

CN

КОНТРОЛЬНО-ВИМІРЮВАЛЬНІ ПРИЛАДИ
АВТОРИЗОВАНИЙ ДИСТРИБ'ЮТОР В УКРАЇНІ
продаж • навчання • сервіс

ТОВ «ЮНІТЕСТ»
вул. Олеся Гончара, 6
04053, м. Київ, Україна
тел: +38 (044) 272-60-94
тел./факс: +38 (044) 272-60-95
e-mail: web@unitest.com
<http://www.unitest.com>

Авторизований дистриб'ютор

Готові до експлуатації надійні роз'єми для електромобілів

Революція електромобілів потребує надійної зарядки

Вілл Стюарт (Will Stewart), Технологічна група HARTING Technology Group

Електричні транспортні засоби (EV) — це найважливіша транспортна революція за останні десятиліття. І для того, щоб EV мали найширше розповсюдження, їм потрібна надійна зарядка. Електромобільність у поєднанні з виробництвом відновлюваної енергії може значно скоротити глобальні викиди CO₂, і позитивно вплинути на наше здоров'я та комфорт за рахунок зменшення забруднення та шуму. Технологічна група HARTING Technology Group є ідеальним постачальником для індустрії електромобілів (EV) з багаторічним досвідом, знанням в галузі проєктування та ноу-хау в галузі технології електричного підключення, що об'єднує дані, сигнали та живлення.

ПЛАНИ СПОЛУЧЕНИХ ШТАТИВ ВІДНОСНО ЕЛЕКТРОМОБІЛІВ (EV)

Згідно з даними Міжнародного енергетичного агентства (IEA), у 2020 році в США було зареєстровано майже 1.8 мільйона електромобілів, що більш ніж удвічі більше, ніж у 2016 році, а найшвидше зростаюча категорія — повністю електричні транспортні засоби. Президент США Джо Байден підписав указ, який передбачає, що половина всіх нових автомобілів, проданих до 2030 року, будуть транспортними засобами з нульовим рівнем викидів, в основному електромобілями та вантажівками, щоб скоротити викиди парникових газів до 2030 року принаймні удвічі у порівнянні з рівнем 2005 року. Байден закликає витратити до 174 мільярдів доларів державних коштів на збільшення кількості електромобілів, включаючи 100 мільярдів доларів для стимулювання споживачів. Крім того, позапартійний проєкт Закону Сенату США щодо інфраструктури передбачає 7.5 мільярдів доларів на

зарядні станції для електромобілів. Ford, GM і Chrysler, материнська компанія Stellantis, у спільній заяві оголосили про спільну мету, якою є досягнення 40–50% річних продажів електромобілів у США до 2030 року.

НАДІЙНІСТЬ ТА ДОСТУПНІСТЬ

У відношенні електромобілів важливо розрізняти надійність і доступність. Доступність вимірює здатність обладнання функціонувати, коли це необхідно, тоді як надійність вимірює здатність компонента виконувати свою призначену функцію протягом певного періоду часу без збоїв.

Люди очікують від своїх автомобілів високої надійності та доступності. На висококонкурентному ринку електромобілів надійність кожного компонента має вирішальне значення для успіху бренду. Проєктування та виробництво кабелів і роз'ємів має бути ретельним та точним, оскільки це безпосередньо впливає на задоволеність користува-

чів електромобілів. Проблеми під час проєктування виникають щодо підключення та від'єднання зарядних кабелів принаймні один раз на добу протягом усього терміну експлуатації автомобіля за будь-яких погодних умов. У найгіршому випадку низька якість потенційно може бути зоною відповідальності виробників електромобілів щодо виникнення таких проблем, як електрична дуга під час підключення або від'єднання зарядних кабелів.

З 1945 року HARTING спеціалізується на електричних з'єднаннях і враховує всі важливі фактори заряджання електромобілів AC та DC в аналізі проєкту та досконалості виробництва, щоб забезпечити надійну та відтворену якість за найнижчої загальної вартості життєвого циклу та задоволення користувачів, включаючи:

- Якість підключення — HARTING рекомендує електричні контакти Lamella у формі тюльпана, які забезпечують належне заряджання навіть після тисяч циклів сполучення.
- Провідність — продукти HARTING містять матеріали з чудовими характеристиками струму та напруги для заряджання електромобілів, стійкі до довготривалих пошкоджень під час використання.
- Довговічність — елемент, на який часто не звертають уваги, це зарядний пістолет. HARTING рекомендує пластикові роз'єми, армовані скловолокном, для забезпечення легкості та стійкості до пошкоджень у разі падіння.
- Естетика — HARTING поєднує надійні інженерні рішення з естетичним дизайном.

100 ДНІВ У ПОДОРОЖІ З HARTING

Компанії HARTING і Volkswagen взяли участь і спонсорували рекордний у світі маршрут із найдовшою поїздкою на електромобілі. За 100 днів VW ID.4 проїхав більше 35 000 миль і побував у 48 штатах. Цей виклик довів, що Сполучені Штати мають інфраструктуру для підтримки електромобілів, незалежно від того, чи водій проїжджає лише кілька миль, чи вирушає в далеку подорож. Дізнатися більше щодо цієї поїздки можна з відео, що розміщено за наступним посиланням: www.youtube.com/watch?v=zwaqONARDKpo.

КОМПАНІЯ HARTING AUTOMOTIVE

Компанія HARTING Automotive розробляє та виробляє зарядні пристрої для електричних та гібридних транспортних засобів типу «plug-in». Продукція має схвалення та сертифікати, що відповідають усім ринковим секторам і юридичним вимогам у всьому світі.

HARTING Automotive має довгу історію створення рішень для широкого спектру застосувань, включаючи електромобільні системи: рульове управління, технології блокування та безпеки, які повинні безпечно та надійно працювати в автомобілях. HARTING Automotive пропонує зарядні кабелі, які відповідають усім світовим стандартам, із комплектами кабелів типу 1 потужністю від 4 до 20 кВт. HARTING також є лідером на європейському ринку у розробці кабельних комплектів DC з рідинним охолодженням.

Компанія готова до вдалого майбутнього таких автомобілів, про що свідчить співпраця з кількома виробниками щодо впровадження однопарного Ethernet у рішеннях LiDAR.

СИЛЬНИЙ ГАЛУЗЕВИЙ ПАРТНЕР

Клієнти з багатьох галузей, включаючи Автомобільну, залізничну, машинобудівну, енергетичну, IT та сільське господарство, покладаються на HARTING. Відповідаючи вимогам щодо надійності

ланцюгів постачання, щоб забезпечити виробничі потоки для клієнтів, HARTING має виробничі потужності, які обслуговують галузь електромобілів у Німеччині, Румунії та Мексиці.

Хочеться підкреслити, що досконалість компанії HARTING Automotive також підтверджується отриманням нагороди Volkswagen Group Award 2020 у категорії «E-Mobility». Нагорода від Volkswagen Group відзначає виняткові досягнення та інновації, якими HARTING Automotive сприяє успіху Volkswagen AG, про що свідчить подяка. Вітальний сертифікат охоплює широкий спектр автомобільних зарядних кабелів HARTING, які забезпечують міжгалузеву/міжзаводську доставку зарядного кабелю Mode-3 і швидку реакцію на короточасні коливання обсягу та незаплановані потреби. У Volkswagen AG додали, що HARTING Automotive є важливою та надійною частиною ланцюжка поставок VW, що забезпечує рішення в галузі зарядних пристроїв, зокрема модульної матриці електроприводу Volkswagen (MEB), Audi e-tron і Porsche Taycan.

CN



Рис. 1. За 100 днів VW ID.4 проїхав більше 35 000 миль і побував у 48 штатах

Рекомендації компанії Microchip Technology щодо вибору SiC MOSFET для транспортних і промислових застосувань

Сінін Чжан (Xuning Zhang), Томаш Кречек (Tomas Krecek),
Найтеш Сатіш (Nitesh Satheesh), Microchip Technology

У статті розглядаються вимоги до силових SiC MOSFET для транспорту та промислових застосувань. Описуються тести, які повинні проходити такі ключі.

ВСТУП

Ми всі, так чи інакше, у своєму повсякденному житті пов'язані з транспортом, починаючи з перевезення товарів і закінчуючи подорожами або діловими поїздками. Збій у транспортному ланцюжку здатний породити ефект доміно. Тому особливу увагу під час розроблення транспортної електроніки слід приділити її надійності та стійкості. Ця вимога насамперед стосується силових перетворювачів, особливо перетворювачів на основі силових ключів із використанням карбіду кремнію (SiC).

Щоб оцінити стійкість роботи SiC MOSFET у жорстких умовах, що супроводжують експлуатацію транспортних і промислових систем, недостатньо обмежитися вивченням тільки довідкової

інформації від виробника — необхідно «поглянути в корінь», як радив Козьма Прутков. У цій статті ми виконаємо подібний досвід із SiC MOSFET виробництва компанії Microchip Technology, а також із драйверами затворів для цих ключів тієї ж компанії.

СТАБІЛЬНІСТЬ І ТЕРМІН СЛУЖБИ SiC MOSFET

Стійкість роботи SiC MOSFET у широкому діапазоні зовнішніх впливів необхідна для надійного функціонування допоміжних блоків (APU), які живлять у т. ч. аварійні вузли та модулі. Під час визначення стабільності та терміну служби потрібно перевірити якість шару оксиду затвора, стабільність вну-

трішнього діода SiC MOSFET і стійкість до лавинних пробіів.

Стійка робота перетворювача багато в чому визначається стабільною пороговою напругою SiC MOSFET, яка повинна мати мінімальний зсув протягом терміну служби і за всіх умов експлуатації. Стабільність порогової напруги визначається якістю оксиду затвора. Його термін служби можна визначити шляхом прискорених випробувань за допомогою підвищеної температури та напруженості електричного поля.

На рисунку 1 показано результати прискорених випробувань за різних напруг затвор-стік V_{GS} . Після випробування протягом 1000 год за температури 175 °C порогова напруга не повинна значно змінитися. Оксид затвора транзистора для промислових застосувань може прослужити до 100 років навіть за високих навантажень!

У деяких топологіях силових каскадів використовується внутрішній діод, що дає змогу зменшити вартість виробу та його розміри, а також збільшити на-

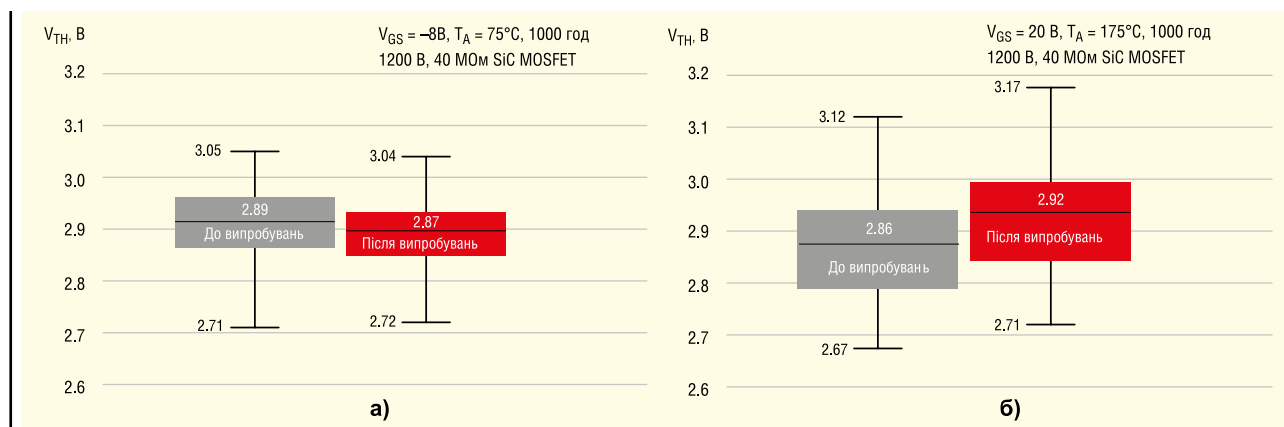


Рис. 1. Результати прискорених випробувань протягом 1 000 год за температури 175 °C і: негативній (а); позитивній напрузі затвор-стік (б)

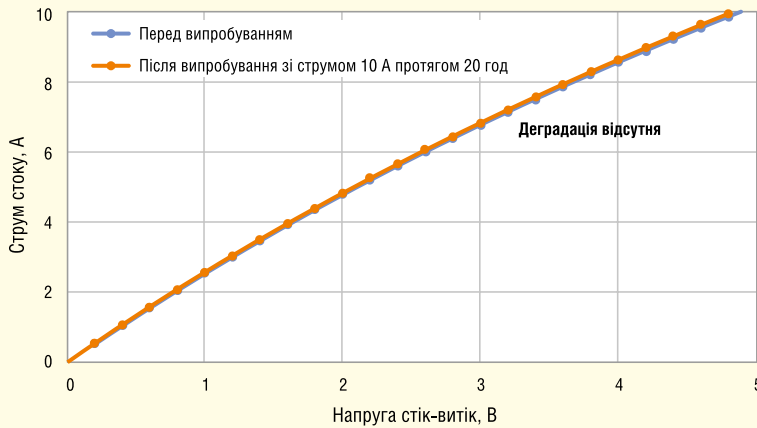


Рис. 2. Результати тесту SiC MOSFET за струму стоку 10 А протягом 20 год

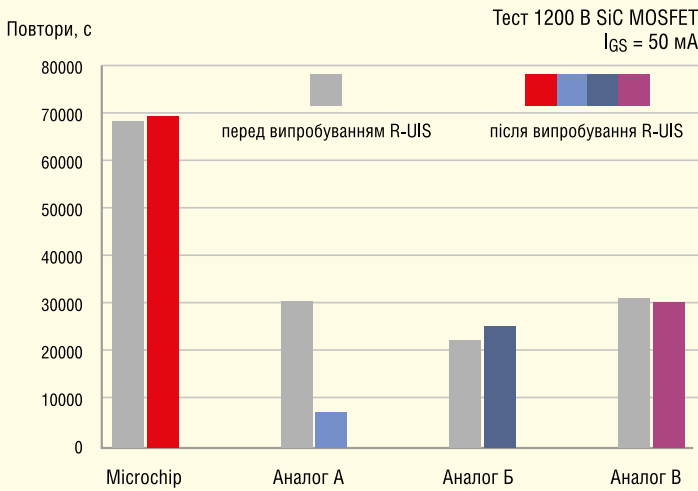


Рис. 3. Результати тесту SiC MOSFET різних виробників на лавинний пробій

дійність завдяки відмові від додаткових діодів. З цих причин так важлива надійність і стабільність внутрішнього діода. Крім того, слід врахувати, що його деградація може спричинити збільшення опору каналу у відкритому стані $R_{DS(ON)}$ і нагрівання ключа.

Необхідно також проводити додаткове тестування внутрішнього діода. На рисунку 2 наведено приклад тесту SiC MOSFET за струму стоку 10 А протягом 20 год. У цьому випадку тест пройшов успішно: подіння напруги на відкритому каналі до і після тесту не

змінилося; отже, опір $R_{DS(ON)}$ також залишився колишнім.

Ще однією важливою вимогою до SiC MOSFET для промислових і транспортних застосувань є стійкість до лавинного пробію. Він може виникати під час вимкнення ланцюгів з індуктивним навантаженням у разі відсутності або некоректно розрахованих снабберних ланцюгів і обмежувачів перенапруги. Лавинний пробій призводить до надмірного нагрівання ключа і зменшення терміну служби.

У документації виробників нечасто наводяться результати випробувань на лавинний пробій. Подібні тести дають змогу судити про якість SiC MOSFET і зробити прогноз щодо їхньої довговічності. Повторюваний тест комутації індуктивного навантаження без обмежувачів перенапруги (R-UIS) визначає стійкість діелектрика залежно від часу (TDDDB) до і після 100 тис. циклів R-UIS. Його результати наведено на рисунку 3: вони показують досить різну стійкість ключів різних виробників до лавинного пробію. Подібні дані навряд чи можна знайти в документації виробника, хоча їхня важливість велика для низки застосувань.

ІНТЕЛЕКТУАЛЬНІ ДРАЙВЕРИ ЗАТВОРА

Надійність драйверів затвора та можливість їхньої адаптації до конкретних умов є необхідною складовою стабільної та стійкої роботи силового перетворювача. Інтелектуальні драйвери компанії Microchip Technology (див. рис. 4) відповідають усім цим вимогам — їх оснащено всім необхідним захистом, а їхні параметри можна задавати за допомогою людино-машинного інтерфейсу (див. рис. 5) і встановлювати програмно через комунікаційні інтерфейси драйвера. **СН**

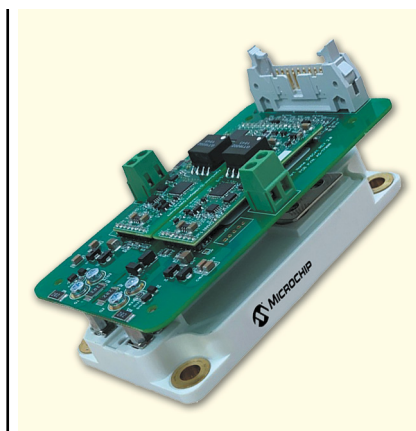


Рис. 4. Інтелектуальні драйвери компанії Microchip Technology

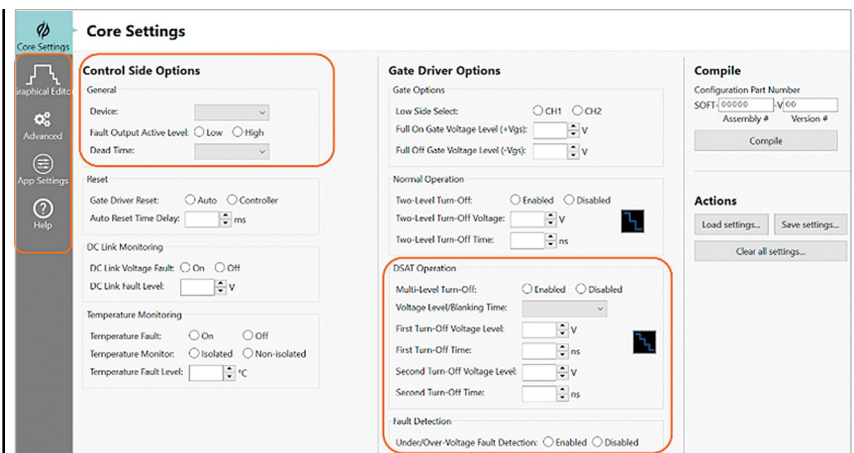


Рис. 5. Інструмент конфігурування драйвера затвора

Модулі серії Infineon EconoDUAL 3 Black: добре відомі переваги та нові особливості

**Клайс Вогель (Klaus Vogel),
Ян Бауріхтер (Jan Baurichter),
Віталі Вайс (Vitali Weiss),
Крістіан Стенінгер (Christian Steininger),
Фабіан Северін (Fabian Severin)**
Переклад: Євген Карташов

У статті представлено оновлений модуль Infineon EconoDUAL 3 Black, описано, як забезпечується баланс між впровадженням нових функцій та збереженням перевірених і випробуваних властивостей. Аналізуються параметри нового модуля FF600R12BE7_B11(BE7), в якому використані технології IGBT 1200 В TRENCHSTOP IGBT7, та діодів EC7 з керованим емітером.

Модуль Infineon EconoDUAL 3 (ED3) є одним із найпопулярніших конструктивів електронних силових приладів на ринку. З 2005 року дані модулі використовуються у таких важливих пристроях, як загальнопромислові приводи (GPD), електричні автобуси та вантажівки, інвертори сонячних та вітряних електростанцій, джерела безперебійного живлення (UPS), зарядні пристрої та тягові приводи. Сьогодні цей конструктив доступний з різними технологіями IGBT та топологіями схем, а також з інтегрованими струмовими шунтами. Крім практичної геометрії, що спрощує конструкцію інвертора, корпус EconoDUAL славиться високою щільністю потужності, простотою складання, великим монтажним простором для встановлення плат драйверів та зручністю паралельного з'єднання.

Через 15 років настав час модернізації конструктиву, що дозволяє адаптувати його до сучасних вимог ринку. Корпус було удосконалено для використання в автоматизованих виробничих лініях, що стало можливим завдяки спрощенню процесу запресування сильноточних друкованих плат (PCB). Він розроблений для майбутніх поколінь IGBT і має оптимальне співвідношення ціни та продуктивності. Не слід забувати про формулу успіху, що пра-

цює понад десять років: розмір модуля залишився таким самим, як у нинішнього EconoDUAL 3 з його добре відомими перевагами. Все це відповідає сучасним тенденціям суспільства, спрямованим на економію ресурсів та забезпечення стабільності життя.

ДИЗАЙН КОРПУСУ

Мета модернізації дизайну модуля EconoDUAL 3 Black полягає у подальшому спрощенні виробництва (порівняно з попередньою моделлю) та підготовці корпусу для наступних поколінь чипів. Крім того, з урахуван-

ням вимог щодо екологічності та економного витрачання природних ресурсів вміст міді в новому конструктиві знижено через усунення мідної базової плати. Це дозволяє стабілізувати ціну, оскільки вартість міді виявилася дуже волатильною, вона зазнала величезного зростання в недавньому минулому. Було розроблено нову складну комбінацію керамічних корпусів для підключення радіатора без використання мідної базової плати.

Автоматизована виробнича лінія

Все більше виробників силових перетворювачів замінюють ручне складання повністю автоматизованими виробничими лініями, тому одним із напрямків розробки нових IGBT-модулів є спрощення такого підходу. Для реалізації цього завдання компоненти серії EconoDUAL 3 Black осн ашені чотирма технологічними напрямними елементами (два зверху та два знизу, рис. 1). Це дозволяє позиціонувати модуль під

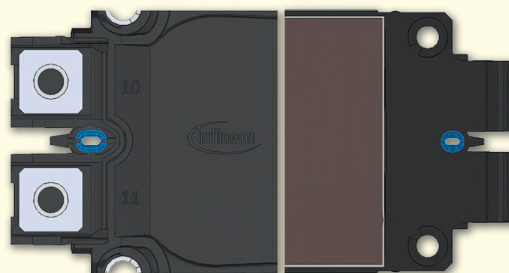


Рис. 1. Модуль серії EconoDUAL 3 Black: два з чотирьох технологічних елементів виділені синім кольором, ліва сторона модуля — вид зверху, права сторона модуля — вид знизу. Елементи введені для спрощення автоматизованого виробництва інверторів

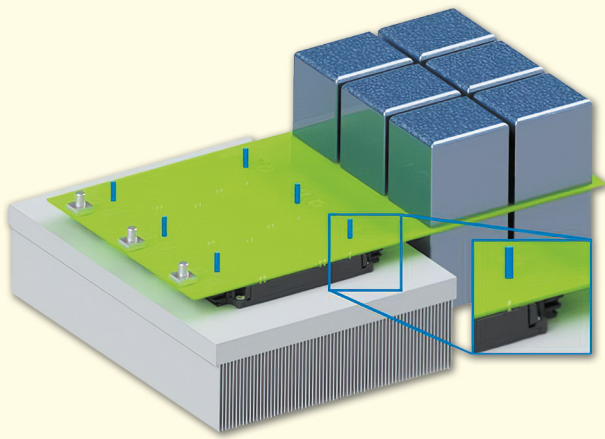


Рис. 2. Три модулі серії EconoDUAL 3 Black та конденсатори ланки постійного струму з'єднані з сильноточною PCB (виділена зеленим кольором) методом запресування. Позиціонування PCB проводиться за допомогою штифтів (виділені синім кольором) та нових опорних елементів. Модулі можна встановити на пристосуванні для запресування за допомогою нижніх опорних елементів (тут не показано)

час збирання інвертора, забезпечуючи його точну установку на автоматизованій виробничій лінії.

Опорні точки формують систему відліку, будучи найкращим засобом позиціонування. Завдяки цій особливості стандартні дюбельні штифти (відповідно до ISO 2338) можуть використовуватися у вантажних захватах, на радіаторах або у будь-якому ручному, напівавтоматичному або навіть високоавтоматизованому процесі. Крім автоматизації, високоточне позиціонування модуля дозволяє виробникам застосовувати у своїх виробках менш дорогі шини з більш високим допуском.

Процес запресування

П'ятнадцять років тому класична конструкція інвертора середнього діапазону потужності передбачала гвинтове з'єднання мідних шин із DC та AC силовими терміналами модуля IGBT та паяне з'єднання друкованої плати (PCB) драйвера з його сигнальними виводами. Це, звичайно, вимагало великого відсотка ручного складання, оскільки ці виробничі етапи складно автоматизувати. Поява процесу пресової посадки, що замінив пайку PCB, та впровадження сильноточних друкованих плат з трасами замість зовнішніх шин спростило процес складання та скоротило кількість виробничих операцій для перетворювачів у діапазоні потужності ED3.

При складанні трифазного інвертора плата управління запресовується на 1–3 модулі, після чого вони встановлюються на радіатор. На рисунку 2 показаний приклад такої кон-

струкції: три модулі встановлені на тепловідведення та підключені до сильноточної PCB з конденсаторами DC-шини.

Чотири нові технологічні елементи (рис. 1) спрощують процес запресування, оскільки позиціонування самих модулів, а також модулів і сильноточної друкованої плати або PCB-драйвера буде виконуватися з високою точністю. Можливий автоматизований процес монтажу, оскільки взаємне становище компонентів щодо один одного тут чітко визначено. Слід враховувати ще один момент — допуск по висоті чотирьох пристроїв, підключених до друкованої плати та радіатора. Висоти повинні бути

однаковими, щоб уникнути механічних напруг між деталями, що з'єднуються, і забезпечити правильне підключення кожного виводу до PCB. Висота модулів нової серії EconoDUAL 3 Black визначається тільки пластиковим корпусом, що гарантує невеликий розкид за цим параметром.

Адаптація до нових поколінь IGBT

Нові покоління IGBT зазвичай розраховані на більш високі робочі температури в порівнянні з попередніми генераціями. Модулі EconoDUAL 3 Black почнуть випускати з номінальних параметрів 600 А 1 200 В на чипах Trench-stop IGBT 7.

Усі матеріали, що використовуються, — пластик, гель, кераміка і висновки — вибрані з урахуванням очікуваного теплового навантаження поточного і майбутніх поколінь кристалів.

Керамічна підкладка з високою механічною міцністю

Керамічна DBC-підкладка виконує безліч різних функцій. Вона захищає внутрішній простір модуля, формує електричну ізоляцію тепловідведення, на ній встановлюються чипи. Підкладка забезпечує з'єднання з радіатором з низьким тепловим опором «кристал–тепlostок» (R_{TH_DN}). Багато з вищезазначених характеристик модуля залежать від матеріалу та товщини DBC-кераміки.

Ізолювальна підкладка модулів серії EconoDUAL 3 Black забезпечує най-

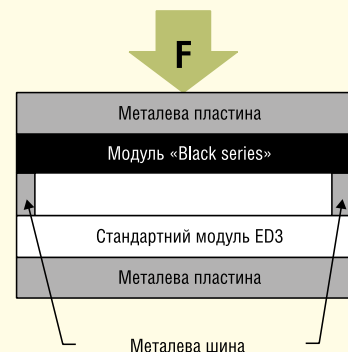


Рис. 3. Ліворуч: установка для перевірки механічної міцності. Праворуч: ескіз тестової установки з EconoDUAL 3 (внизу) та EconoDUAL 3 Black Series (вгорі). Модулі з'єднані за допомогою металевої шини на силових терміналах, зусилля прикладено по центру зверху (зелена стрілка)

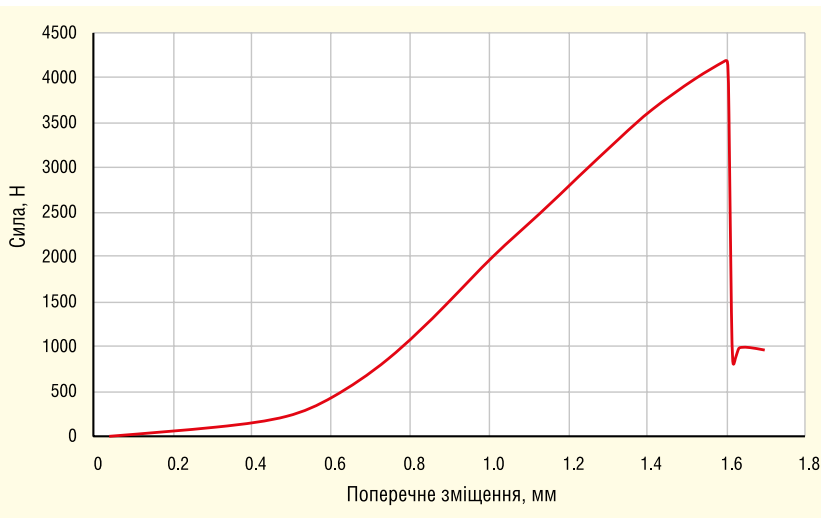
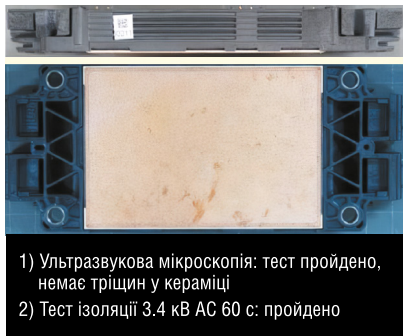


Рис. 4. Зразкове співвідношення «сила–зміщення» при випробуваннях на механічну міцність (перевищує допустимі значення специфікації)



- 1) Ультразвукова мікроскопія: тест пройдено, немає тріщин у кераміці
- 2) Тест ізоляції 3.4 кВ АС 60 с: пройдено

Рис. 5. Модуль Black Series після тесту на механічну міцність (рис. 3). Жодних видимих пошкоджень немає, підкладка зберегла цілісність

проведені випробування з додатком високого зусилля одночасно до стандартного ED3 та нового модуля ED3 Black. Пристосування для тестування та умови випробувань показано на рисунках 3 та 4.

У ході випробувань до модулів докладаються зусилля, що набагато перевищують допустимі за специфікацією значення. Це робиться для демонстрації високого рівня надійності нових компонентів у порівнянні з попереднім поколінням, яке є досить надійним. Зусилля понад 4000 Н впливає доти, доки не станеться пошкодження корпусу EconoDUAL 3. У модулів нової серії Black немає відмов, що демонструє їх високу надійність. На рисунку 5 показано пристосування для перевірки та результати тестування. Таким чином, компоненти серії Black витримують твердий тест на механічну міцність.

менший тепловий опір «кристал-тепlostок» для даної конструкції, а також високу механічну міцність. Для підтвердження високих механічних характеристик керамічної DBC-підкладки були

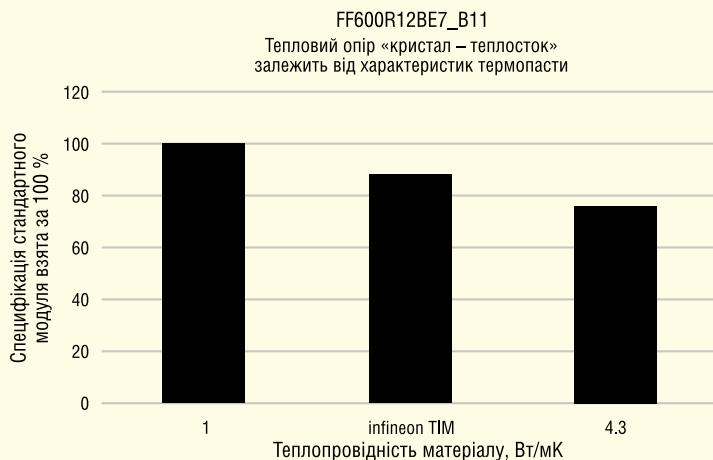


Рис. 6. Порівняння теплового опору «кристал–тепlostок» при використанні різних матеріалів термопаст (TIM)

Модулі EconoDUAL 3 Black підходять для всіх варіантів виробництва — від повністю автоматизованого до звичайного ручного збирання перетворювачів.

Матеріали теплового інтерфейсу

Матеріали, використані під час виготовлення модуля, забезпечують високу площинність підкладки. Тому важливо уважно стежити за процесом нанесення термопаст, щоб запобігти погіршенню характеристик через порушення правил застосування. Крім того, матеріал TIM дуже впливає на теплові характеристики; на рисунку 6 показано величини теплового опору R_{TH_JH} для різних типів паст.

Специфікація Infineon є справедливою для термопаст з теплопровідністю 1 Вт/м·К. Використання матеріалу Infineon TIM [1] або іншого з більш високою теплопровідністю покращує R_{TH_JH} на 12 та 24 % відповідно.

ЕЛЕКТРИЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ

У цьому розділі проводиться порівняння нового модуля FF600R12BE7_B11 (600 A, 1 200 V) із чипами IGBT 7, з попереднім FF600R12ME4_B72.

Видалення мідної базової плати та зменшення розміру чипів [2] мають бути скомпенсовані за рахунок удосконалення конструкції DCB та запровадження нової технології IGBT, спрямованих на покращення розподілу тепла та зниження комутаційних та статичних втрат.

Електричні втрати

Ключова мета розробки силових модулів, призначених для інверторів у діапазоні високої потужності, — розміщення паралельних напівпровідникових чипів, що забезпечує симетричні ланцюги комутації струму між ними. Чим вони симетричніше, тим швидше може відбуватися перемикання без ризику короткого замикання та струмового навантаження.

У новому модулі вся схема розташована на одній підкладці. Якщо порівнювати з варіантами з використанням двох або трьох підкладок, така топологія не потребує додаткового місця для з'єднувальних провідників, що знижує паразитну індуктивність та розподілений опір.

Розміщення чипів може проводитись із високим ступенем свободи. У новому корпусі ED3 Black покращено топологію з'єднань IGBT та діодів, що

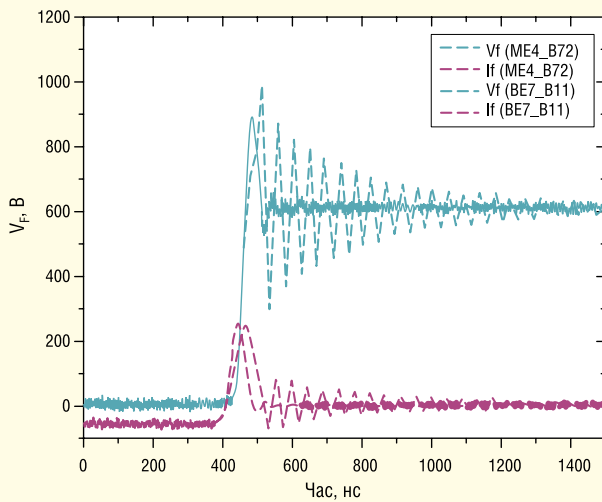


Рис. 7. Характеристики відновлення FF600R12ME4_B72 при швидкості комутації IGBT 5 кВ/мкс та 2.4 кА/мкс ($R_{G_EXT} = 1 \text{ Ом}$) та FF600R12BE7_B11 при 7 кВ/мкс та 7 кА/мкс ($R_{G_EXT} = 0.5 \text{ Ом}$)

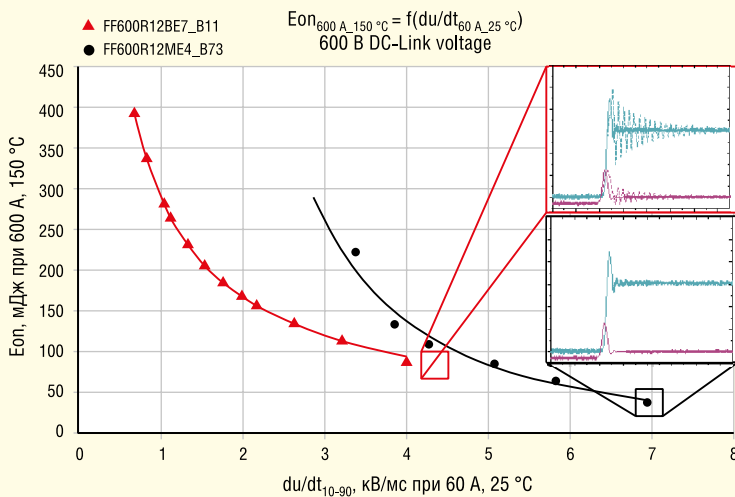


Рис. 8. Втрати включення при 600 А та +150 °С залежно від du/dt_{10-90} при 60 А та +25 °С для обох приладів

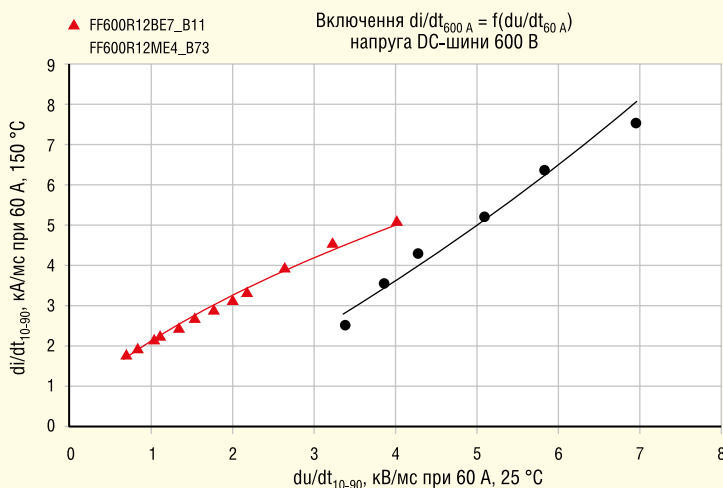


Рис. 9. di/dt_{10-90} при 600 А та +150 °С залежно від du/dt_{10-90} при 60 А та +25 °С для модулів двох поколінь

забезпечує більш швидке включення і, отже, зниження втрат IGBT. Детальна інформація про вплив топології DCB на втрати та швидкість комутації дана в [2]. На рисунку 7 наведено порівняння колишнього та нового 600-А модуля щодо характеристик відновлення діода.

Граничні можливості ME4_B72 стають видимими. При зовнішньому резисторі затвора (R_{G_EXT}) менше 1.5 Ом та швидкості наростання напруги (du/dt_{10-90}) 4.3 кВ/мкс виникають осциляції, які можуть створювати проблеми щодо електромагнітних завад (EMI). Модуль нового покоління забезпечує швидший перемикач без впливу осциляцій до du/dt_{10-90} 7 кВ/мкс. На рисунку 8 втрати включення при 600 А та +150 °С показані залежно від du/dt при 60 А та +25 °С для обох приладів.

Модуль FF600R12ME4_B72 здатний працювати при du/dt_{10-90} до 4 кВ/мкс при 60 А та +25 °С без виникнення осциляцій. FF600R12BE7_B11 може перемикатися зі швидкостями до 7 кВ/мкс без осциляцій, що надає користувачам високий рівень свободи, якщо в додатку допустима швидка комутація. Новий модуль із чипами IGBT 7 має хорошу керуваність у широкому діапазоні du/dt_{10-90} із центральним значенням близько 5 кВ/мкс. При швидкості, наприклад, 4 кВ/мкс видно, що прилад Black Series з чипами IGBT 7 має вищі втрати включення, ніж ключі попереднього покоління, IGBT 4. Це можна пояснити за допомогою рисунку 9.

При тій же швидкості наростання струму (di/dt_{10-90}), номінальному струмі та температурі +150 °С величина du/dt_{10-90} при 10% номінального струму та +25 °С у модулів BE7_B11 вище, ніж у ME4_B72. Причиною цього є вплив внутрішньої компоненти модуля на характер відновлення діодів. У приладах BE 7_B11 відновлення йде швидше, що призводить до збільшення du/dt_{10-90} при включенні IGBT. Докладне пояснення цього ефекту можна знайти у [2]. Описані переваги, покращені показники статичних втрат та зниження опорів терміналів R_{CC+EE} узагальнені на рисунку 10.

Завдяки використанню однієї DCB-підкладки та оптимізації положення чипів IGBT 7 втрати включення зменшено більш ніж у 2 рази порівняно з попереднім поколінням. Продовжуючи це порівняння, зазначимо, що втрати на відновлення діода більш ніж на 20% нижчі, а статичні втрати при +150 °С аналогічні. Втрати вимкнення знаходяться на тому ж рівні, у той час як статичні втрати IGBT покращені на 18%. Крім

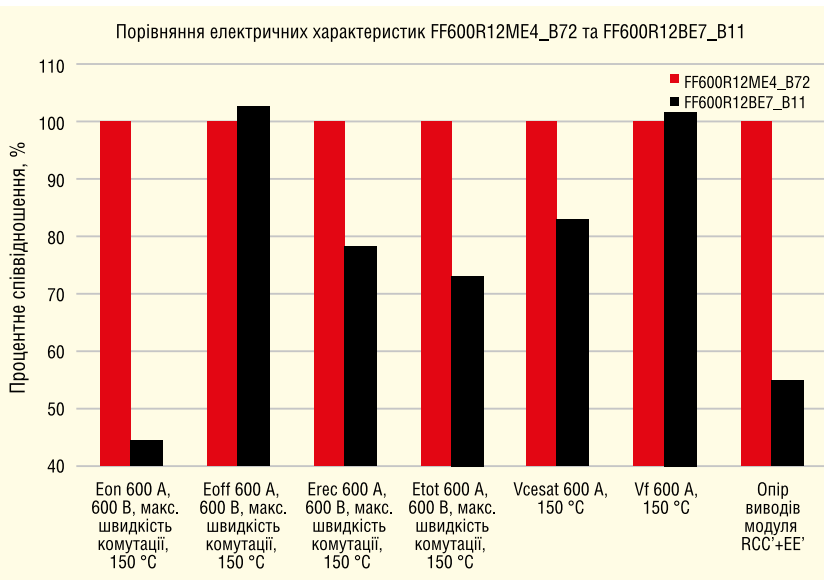


Рис. 10. Порівняння статичних втрат модулів ME4_B72 та BE7_B11 (резистор затвора обраний для максимальної швидкості комутації без осциляцій при +25 °C та 60 А); порівняння статичних втрат та опору виводів ($R_{CC+EE'}$)

того, рішення з одним DCB у поєднанні з ультразвуковим зварюванням терміналів дозволяє знизити опір виводів модуля з 1 до 0.55 мОм. При струмі навантаження 450 А це призводить до зменшення втрат на 92 Вт, які повинні розсіюватися за допомогою радіатора.

Силкові термінали

У першому десятилітті XXI століття напівпровідникові чипи IGBT з були найсучаснішими, вони добре функціонували в недавно розробленому корпусі EconoDUAL 3. У той же час щільність струму нових технологій IGBT дозволяє подвоїти номінальний струм даного приладу. Якщо, з одного боку, підвищується продуктивність чипів, то з іншого боку, силкові термінали модуля можуть стати обмежувачим фактором з точки зору допустимого струмового навантаження.

У модулях серії EconoDUAL 3 Black використовуються найкращі з доступних технологій зниження теплового опору виводів без зміни зовнішніх розмірів. Це досягається за рахунок застосування ультразвукового зварювання для підключення мідних терміналів до підкладки замість сполучних дротів. У той же час ультразвукове зварювання дозволило покращити охолодження цієї частини приладу. Площа основи виводів на підкладці збільшено на 350% порівняно з проводимим з'єднанням. Вплив такого рішення на продуктивність модуля розглянемо у наступному розділі.

ПРОДУКТИВНІСТЬ

Для оцінки ефективності застосування силових ключів у конкретній програмі модулі нового і попереднього покоління були протестовані в інверторному режимі. Оскільки компоненти серії Black оснащені кришкою, яка є частиною притисної конструкції DCB, вимірювання температури IGBT та діода проводиться за допомогою термопар.

Для оцінки температури силових терміналів модуля використовується інф-

рачервона камера. На рисунку 11 показана вимірювальна установка та точки підключення датчиків.

Модулі розміщені на радіаторі із повітряним охолодженням. Опір затвора для FF600R12ME4_B72 становив 1.5 Ом, а для FF600R12BE7_B11 — 0.5 Ом. Це відповідає максимальній швидкості перемикання IGBT відповідно до критеріїв, описаних у попередньому розділі. На першому етапі температура терміналів оцінювалася під час подачі постійного струму, результати представлені на рисунку 12.

Завдяки покращеній конструкції виводів значно знижена температура всередині та зовні модуля. Зона максимальної температури, що вимірюється, тепер знаходиться на шині інвертора, а не всередині IGBT.

На другому етапі проводиться АС-тест за умов, показаних на рисунку 11. Температура чипів вимірюється за допомогою термопар, розташованої у

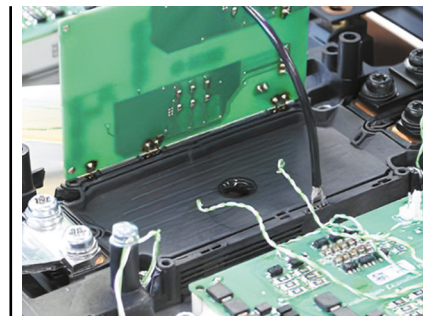


Рис. 11. Установка для вимірювання параметрів

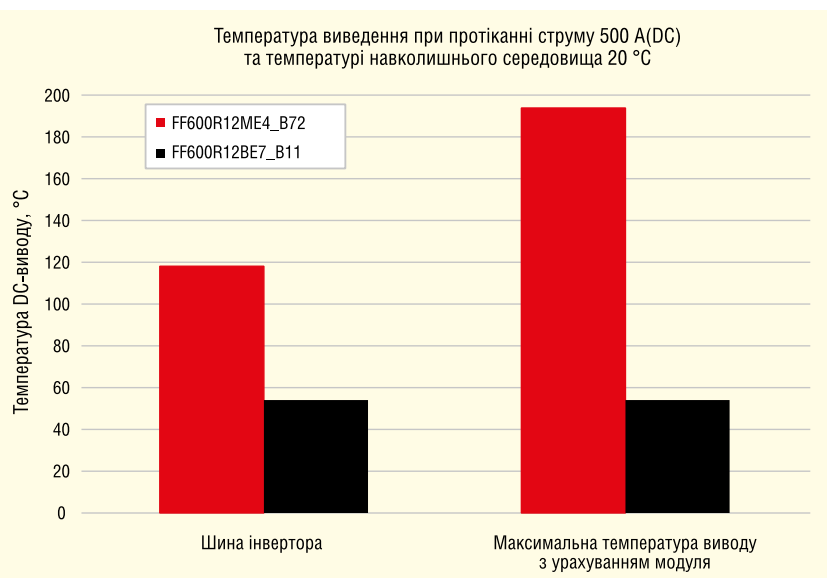


Рис. 12. Температура силового термінала, виміряна на DC-шині у місці розташування виведення модуля. Зліва: шина інвертора у місці розташування виведення. Праворуч: максимальна температура термінала з урахуванням модуля

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), високовольтних транзисторів, компонентів на базі SiC та інших елементів, що широко використовуються в промисловості, автомобілебудуванні, телекомунікації, освітленні, побутовій електроніці тощо. Ця продукція народжується безпосередньо у NXP.

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



MASTEK

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

Авторизований дистриб'ютор
WeEn в Україні

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

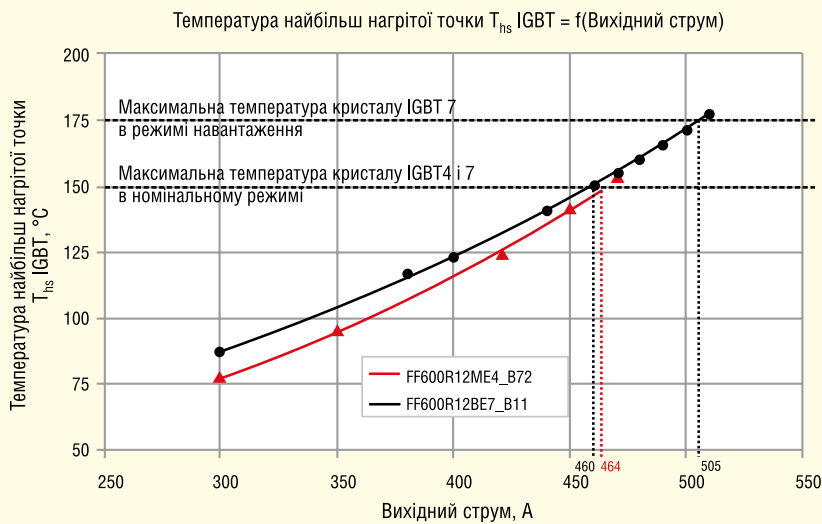


Рис. 13. Температура кристала IGBT залежно від струму в інверторному режимі (для умов, показаних на рис. 11)

центрі найбільш нагрітого IGBT. Таким чином, результати вимірів, представлених на рисунку 13 відносяться до цієї точки, що має максимальну температуру T_{hs} .

Модулі нової серії Econodual 3 Black працюють аналогічно FF600R12ME4_B72, вони здатні забезпечити такий самий вихідний струм при температурі IGBT $T_{hs} = +150$ °C. Зменшення розміру чипа та видалення базової плати можуть бути компенсовані за рахунок оригінальної концепції модуля та нової технології IGBT. Якщо система дозволяє використовувати режими перевантаження, допустимі для IGBT 7 [3], компоненти BE7_B11 перевищують попереднє покоління на 9%.

Подальше підвищення вихідного струму модулів серії Black можна досягти за високою теплопровідністю. Оскільки FF600R12BE7_B11 має значно менші динамічні втрати, ніж FF600R12ME4_B72, то компоненти серії EconoDUAL 3 Black є кращими для застосування з більш високою частотою перемикачів.

ВИСНОВОК

Модулі серії EconoDUAL 3 Black відрізняються великою кількістю нових можливостей, що відповідають останнім вимогам ринку, і зберігають при цьому позитивні властивості конструктиву EconoDUAL 3. Новий прилад призначений для високоточного позиціонування, тобто для автоматизованого виробництва інверторів. У той же час він забезпечує рівень надійності,

що дозволяє будь-який варіант ручного складання.

Новий EconoDUAL 3 поєднує передові технології IGBT 7 та EC7, покращений дизайн DCB, ефективне підключення до радіатора та продуманий вибір матеріалів, при цьому в ньому використовується менше частин та менше міді порівняно з попереднім поколінням.

Нові модулі дозволяють забезпечити добре відому високу продуктивність ED3 або навіть перевершити її залежно від умов застосування. Всі впроваджені поліпшення відповідають сучасним тенденціям щодо збереження ресурсів та безпеки. Крім того, застосування цих компонентів забезпечує виробникам інверторів економічні переваги, що виражаються у кращому співвідношенні ціни та ефективності.

Література:

1. AN2012-07, Module with pre-applied thermal interface material. www.infineon.com/dgdl/Infineon-AN2012_07_Modules_with_pre_applied_Thermal_Interface_Material-ANv02_01-EN.pdf?fileId=db3a30433af3614c013af3c70cf10025
2. Baurichter J. et al. Higher output performance despite chip shrinkage: New FF600R12ME7_B11 outperforms former generation, PCIM Europe. Nuremberg, Germany, 2021.
3. Vogel K. et al. New, best-in-class 900-A 1200-V EconoDUAL 3 with IGBT 7: highest power density and performance, PCIM Europe. Nuremberg, Germany, 2019.

РОЗРОБЛЕНО РІДИННИЙ КРАПЕЛЬНИЙ ЛАЗЕР, ЩО ПРАЦЮЄ ПРЯМО В ПОВІТРІ ТА РЕГУЛЮЄТЬСЯ ЗА ДОПОМОГОЮ ВІТРУ

Група вчених з Цукуби, Японія, розробила і продемонструвала метод виробництва мікрокрапель зі спеціальної іонної рідини, які слугують основою гнучких і регульованих за допомогою потоку повітря лазерів. Зазначимо, що подібні «краплинні лазери» існують вже досить давно, але жоден з них не може працювати в умовах відкритого повітря. Японським же дослідникам вдалося домогтися стабільної роботи такого лазера на відкритому повітрі протягом місяця, а допомогла їм сама природа, підкинувши ідею у вигляді структури поверхні квітки лотоса, небесно-білий колір якого отримують через крапельки води, закріплені на мікроскопічних виступах.

Як іонну рідину дослідники використовували складну хімічну сполуку EMIBF₄, до якої додали спеціальний барвник, що надав рідині необхідних для лазера оптичних властивостей. Цю сполуку було обрано через дуже малу швидкість випаровування і через відносно великі сили поверхневого натягу.

В якості «пелюстки лотоса» виступала кремнієва основа, яка була покрита наночастинками з фторованого кварцу, що надали всій поверхні водовідштовхувальних властивостей. Коли на таку поверхню капають зі спеціальної мікропіпетки рідиною EMIBF₄, крапельки набувають ідеальної сферичної форми і залишаються стабільними протягом 30 діб.

Коли на такі крапельки спрямовується світло від джерела накачування, в них виникає оптичний резонанс, і вони генерують монохромне лазерне випромінювання. Обдув усього цього газоподібним азотом дає змогу змінювати довжину хвилі лазерного випромінювання в межах 645–662 нанометра завдяки невеликим спотворенням форм крапельок.

Отримавши перші позитивні результати, японські вчені адаптували звичайний струменевий принтер для друку більш в'язкою рідиною EMIBF₄. За допомогою цього принтера стало можливим друкувати з високою точністю впорядковані масиви «лазерних крапельок», які, за спільної роботи, стали дуже високочутливими датчиками вологості, швидкості потоку повітря тощо.

<https://phys.org>

Вплив вологості та конденсації на роботу силових електронних систем

Пол Дрексхейдж (Paul Drexhage), Стефан Хаузер (Stefan Houser)
Переклад і коментарі: Андрій Колпаков

Загальновідомо, що вода в рідкій формі може негативно впливати на роботу електричних ланцюгів через наявність електропровідності та корозійної активності. Менш відомі, але не менш важливі ефекти, створювані водою в газоподібному стані. Тут ми більш детально розглянемо питання про те, як вологість і утворення конденсату впливає на роботу силових електронних систем, а також надамо рекомендації, що дають змогу мінімізувати цей вплив. У статті триває обговорення теми, розпочатої в нашому журналі в № 9, 2016 та № 1, 2017 [1].

ВПЛИВ УМОВ ЕКСПЛУАТАЦІЇ

Вологість — природне явище, яке на макрорівні варіюється залежно від місця розташування і погодних умов. У мікросередовищі (наприклад, шафа з обладнанням) величина RH залежить від температури та тиску, відповідно, конструкція шафи має проектуватися з урахуванням цих двох чинників.

Вважається, що на Землі є особливо вологі регіони (наприклад, тропіки). Од-

нак навіть у відносно помірному кліматі можуть спостерігатися області з підвищеною вологістю, що залежить від висоти місцевості, близькості водойм і сезонних ефектів. Незалежно від цього завданням конструктора є забезпечення відповідного мікроклімату всередині обладнання та безпосередньо поруч із ним.

Силові електронні системи, що перевозяться на великі відстані або зберігаються протягом тривалого часу, будуть накопичувати водяну пару всере-

дині пакування, що може призвести до катастрофічних наслідків під час подачі напруги. Для невеликих збірок хорошим рішенням стають вакуумні пакети з алюмінієвого композитного матеріалу, що містять сикативи (осушувачі), здатні зменшити рівень вологості. Також необхідне дотримання спеціальних процедур при введенні виробу в експлуатацію, більш докладно про це розказано далі.

Зміни відносного тиску та температури

Під час опису макросередовища найбільш важливими факторами вважають температуру та вологість, тому впливом атмосферного тиску на роботу конкретної системи, як правило, можна знехтувати. Однак у герметизованих корпусах (наприклад, із класом захисту IP65) зміна внутрішнього тиску повітря (зазвичай пов'язана зі зміною температури) може призвести до підвищення RH. Відповідно, виникає необхідність у вирішенні таких питань:

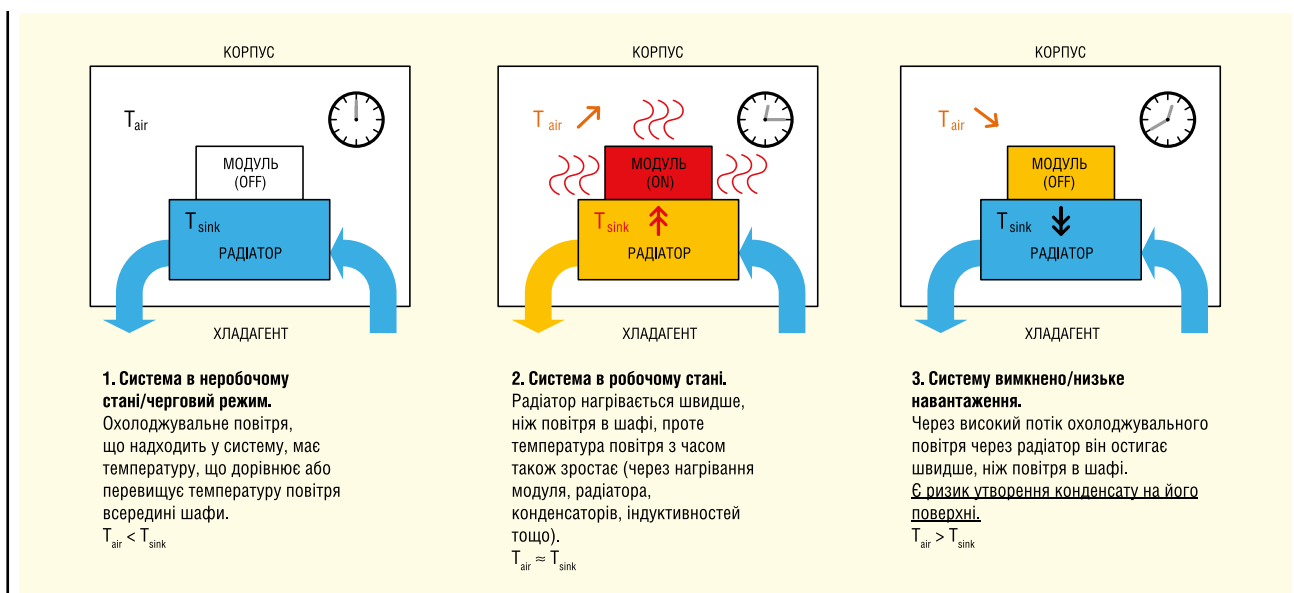


Рис. 9. Утворення різниці температур під час роботи системи

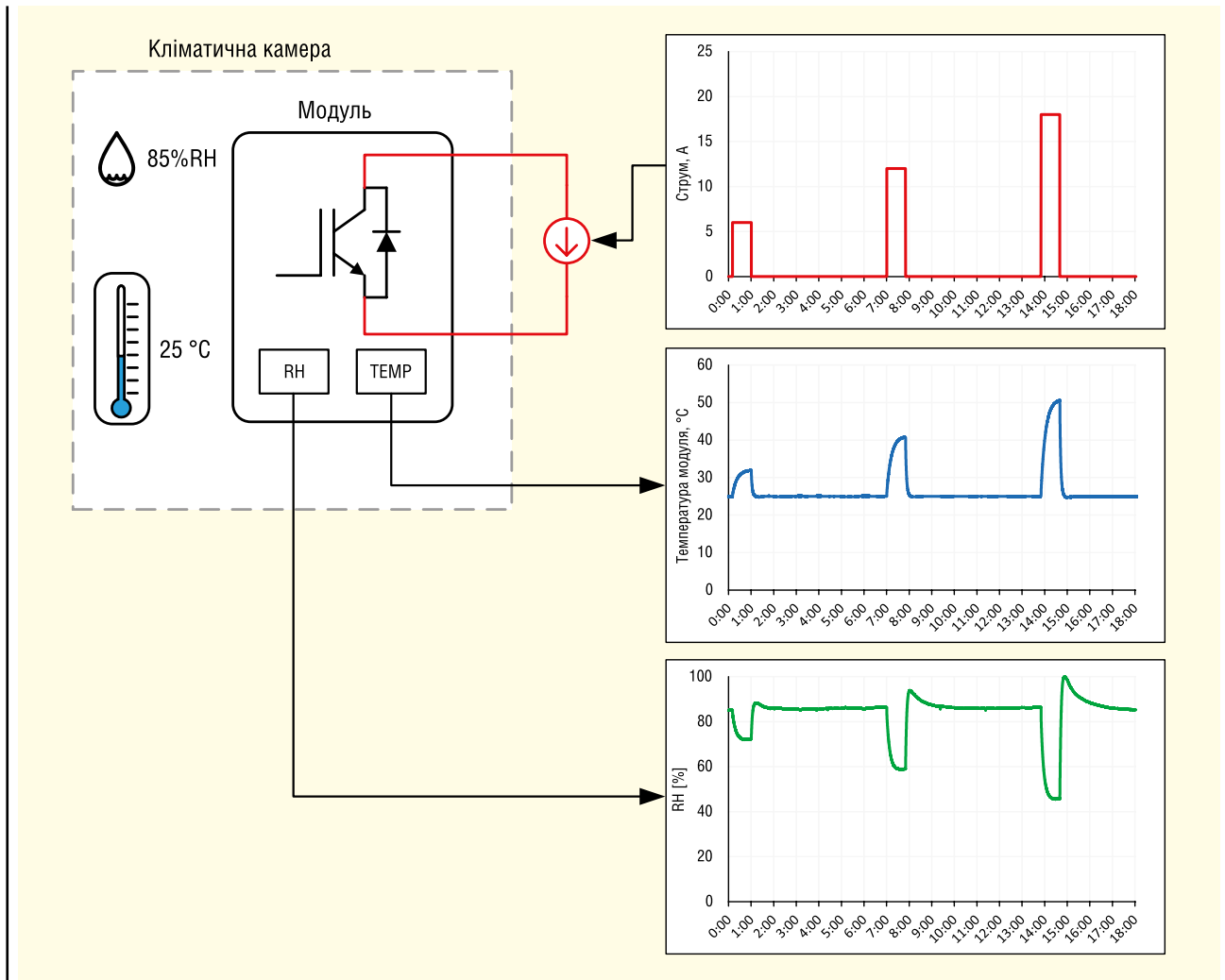


Рис. 10. Імпульсний режим роботи за високої вологості

1. Як мінімізувати або обмежити можливість утворення водяної пари всередині шафи?
2. Як унеможливити падіння температури всередині шафи нижче за точку роси і подальше утворення конденсату?

У герметичних системах перепади тиску повітря можуть бути зменшені за допомогою вентиляційних отворів і клапанів.

Однією з причин різниці температур всередині та поза електронною системою є її функціонування. Робота силових модулів та інших компонентів підвищує температуру повітря в шафі з обладнанням. Раптова зміна умов експлуатації може призвести до того, що радіатор охолоджуватиметься набагато швидше, ніж повітря у внутрішньому просторі, у такий спосіб створюються умови для охолодження тепловідводу нижче точки роси. Тому дуже важливо враховувати будь-яке зниження потужності, зокрема:

- падіння навантаження;
- перехід у режим чергування;

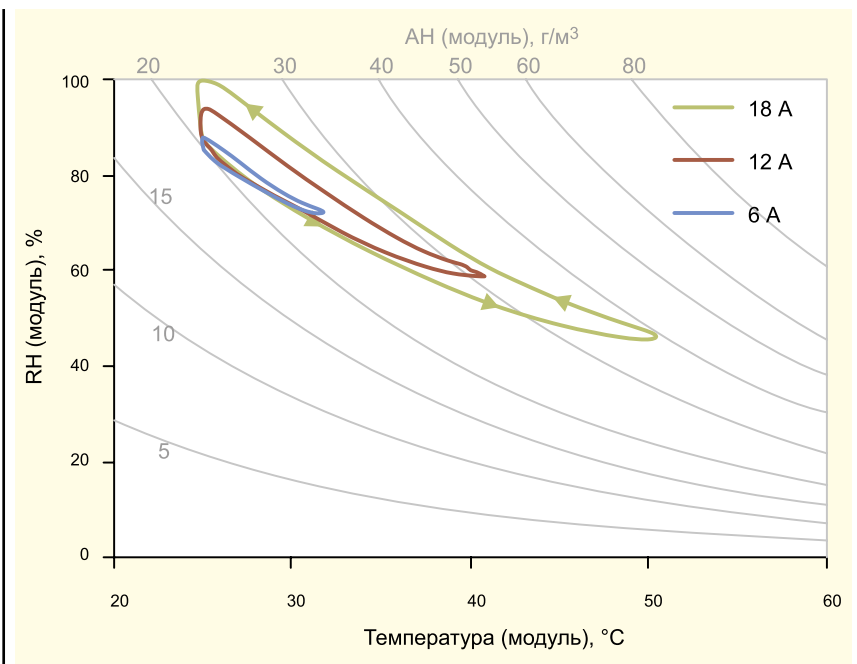


Рис. 11. Зміна вологості і температури під час впливу трьох різних імпульсів струму (+25 °C)

- несподіване переривання роботи, наприклад, через несправність системи.

Зазначимо, що ризик також присутній під час зміни дня і ночі. Якщо температура повітря, що надходить на вхід системи охолодження, падає з настанням вечора, радіатор може охолонути нижче точки роси (рис. 3). Механізми описаних вище сценаріїв пояснюються на рисунку 9.

Імпульсний режим роботи модуля

Фахівцями SEMIKRON було проведено тестування спеціально підготовлених компонентів із сенсором RH,

встановленим на DBC-підкладці поруч із чипами (під гелем). Силовий модуль на радіаторі з примусовим повітряним охолодженням поміщено в камеру (рис. 10) з фіксованою температурою повітря +25 °C і відносною вологістю 85%. На діод, найближчий до датчика вологості, подають імпульси струму фіксованої тривалості, за яким слідують періоди охолодження, які дають змогу модулю повернутися у вихідний стан (за T і RH). Для дослідження впливу різних градієнтів температури використовуються імпульси, що відрізняються за амплітудою.

На рисунку 11 показано, що величина RH падає під час нагрівання приладу під дією прикладеного імпульсу потужності. У міру охолодження відносна вологість зростає і в кінцевому підсумку перевищує початкове значення, а ступінь цього перевищення залежить від зміни температури. Якщо початкове значення RH досить високе (наприклад, RH = 85%), то існує ймовірність, що таке перевищення призведе до утворення конденсату (RH = 100%) всередині модуля.

Залежно від струму навантаження силіконовий гель усередині модуля

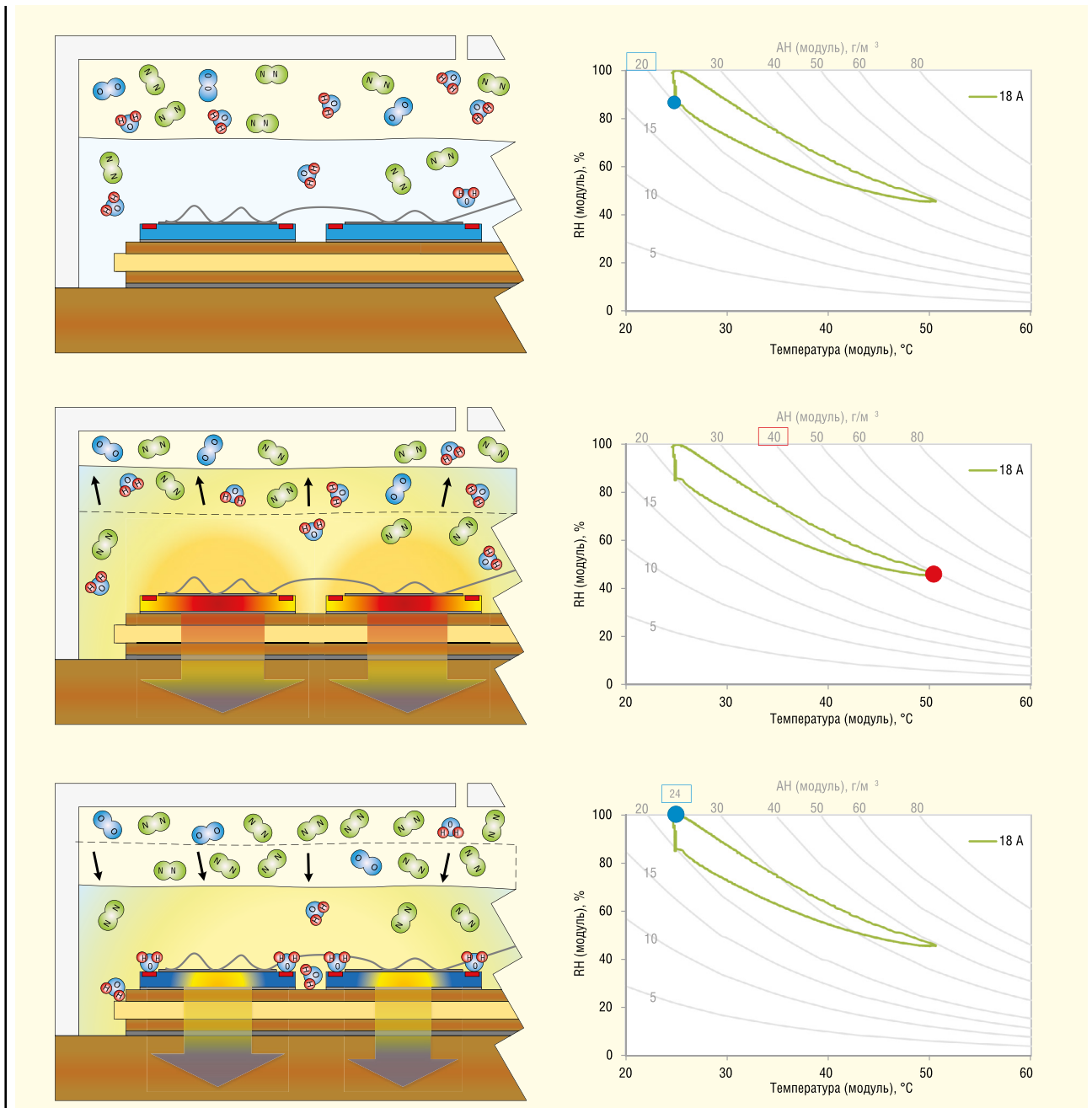


Рис. 12. Поглинання гелем води після нагрівання

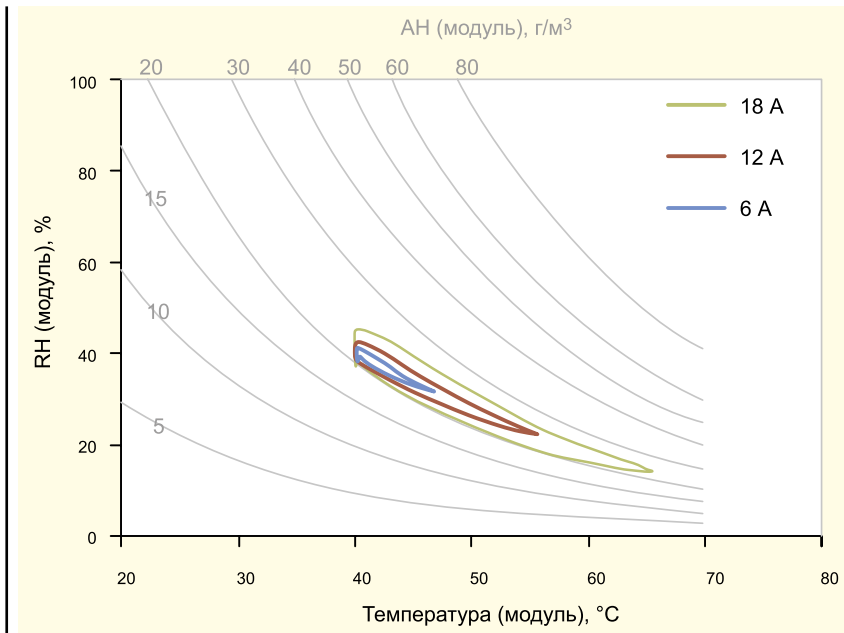


Рис. 13. Зміна вологості і температури під час впливу трьох різних імпульсів струму (+40 °C)

нагрівається і розширюється (рис. 12), поглинаючи більше водяної пари. Чим він тепліший, тим більшою мірою відбувається розширення і поглинання пари. Цей ефект також можна побачити на рисунку 11, де абсолютна вологість всередині гелю вища за струм навантаження 18 А (40 г/м³), ніж за 12 А (30 г/м³) або 6 А (25 г/м³).

Конструкція силового модуля має забезпечувати максимально ефективний тепловий потік від чипа до радіатора. Одна з характеристик цього потоку — теплова постійна часу. Якщо кристал охолоджується з постійною часу набагато меншою, ніж константа дифузії силіконового гелю (що визначає, наскільки швидко гель може виділяти вологу в навколишнє середовище), то існує ризик падіння температури чипа нижче точки роси (аналогічно прикладу з охолодженою пляшкою, рис. 3). Інакше кажучи, кристал у цьому випадку охолоджується швидше, ніж гель, що його оточує. Зрештою надлишкова волога буде виділятися з гелю в навколишнє середовище до настання рівноважного стану між внутрішньою вологістю/температурою в модулі і зовнішньою вологістю/температурою в кліматичній камері.

Початкова абсолютна вологість на рисунку 13 така сама, як і на рисунку 11, проте початкова температура в цьому випадку становить +40 °C за RH = 40%. Величина АН однакова за кінцевої температури кожного імпульсу струму. Проте тут, як і раніше, спостерігається перевищення вологості,

що корелює зі струмом навантаження, проте воно менше, ніж у попередньому випадку. Висновок із цього такий: перед першим пуском виробу після його транспортування, зберігання або вимкнення живлення бажано прогріти силові модулі (наприклад, через нагрівання радіатора). Це призводить до зниження відносної й абсолютної вологості та сприяє подовженню терміну служби системи.

Граденти температури в шафі

Залежно від умов експлуатації або особливостей конструкції конденсація може відбуватися на певних ділянках обладнання. Найбільшому ризику піддаються такі елементи:

- холодні впускні отвори;
- зовнішні (металеві) стінки шафи;

- впускні колектори та трубопроводи охолоджувальної рідини;
- радіатори та компоненти, що мають з ними тепловий зв'язок;
- зони з низьким рівнем повітряного потоку стосовно інших частин шафи;
- великогабаритні металеві деталі з великою тепловою постійною часу.

Якщо краплі вологи, що утворилися на верхній панелі та стінках шафи внаслідок конденсації, потрапляють на силові модулі, електронні схеми та шини, це призводить до коротких замикань і пошкодження компонентів.

Описані механізми підвищення вологості можуть відбуватися в системі перед її доставкою та встановленням. Під час перевезення силових електронних блоків на великі відстані або їхнього тривалого зберігання водяна пара накопичується всередині пакування, що надалі призводить до катастрофічних наслідків під час подавання напруги живлення. З цієї причини в транспортному пакуванні мають бути передбачені вентиляційні отвори або осушувачі, про що й піде мова далі. Крім того, для видалення будь-якої водяної пари, наявної в системі, рекомендується попереднє просушування перед увімкненням.

ТЕХНОЛОГІЧНІ ПРИЙОМИ ВИРІШЕННЯ ПРОБЛЕМИ ВОЛОГСТІ

Існує два основні підходи до розв'язання проблеми вологості та/або запобігання конденсації вологи всередині корпусу (рис. 14):

1. Зниження АН: видалення водяної пари (сушіння) за допомогою осушувачів, сиккативів або шляхом тривалого нагрівання з циркуляцією повітряного потоку.

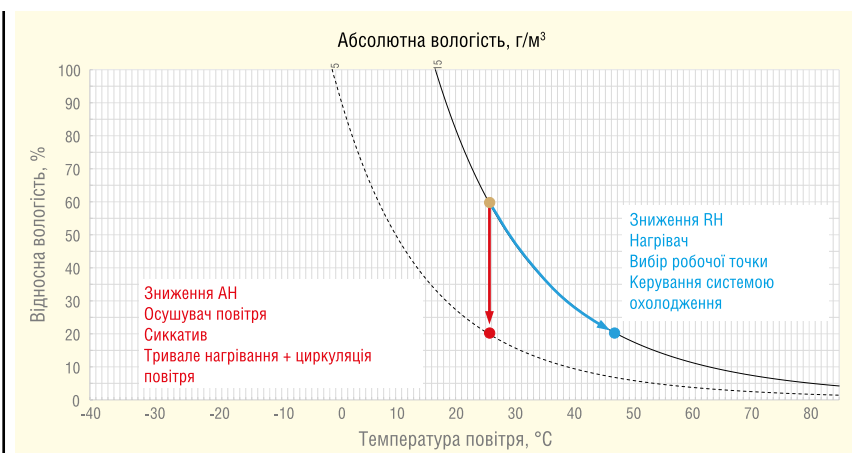


Рис. 14. Методи зниження вологості

2. Зниження RH: підвищення температури повітря шляхом нагрівання (використання нагрівачів або вибір робочої точки системи): контроль температури окремих компонентів (наприклад, радіаторів), щоб уникнути падіння температури нижче точки роси.

Очевидно, що проблеми вологості найкраще розв'язувати на етапі проектування, проте деякі з описаних далі методів можуть бути реалізовані вже після встановлення системи. У поєднанні з використанням нагрівачів і осушувачів у польових умовах недорогим і ефективним рішенням є контроль охолоджувального середовища (повітря або рідина) залежно від умов навантаження.

Керування вентилятором (повітряне охолодження)

У системах із примусовим повітряним охолодженням температуру радіатора регулюють зміною потоку повітря, що надходить. Датчик температури встановлюється на тепловідвід (ще краще, якщо він є всередині модуля), швидкість обертання вентилятора змінюється таким чином, щоб неприпустимо холодне повітря не проходило через ребра радіатора.

За температури нижче порогового значення вентилятор повністю вимкнений (або працює на мінімальній швидкості). Після досягнення заданого порога він запускається, збільшує швидкість у міру підвищення температури і вмикається на повні оберти за високих вихідних струмів. Якщо перетворювач блокується при повному навантаженні

(наприклад, внаслідок спрацьовування захисту), охолодження слід негайно вимкнути, щоб уникнути небажаної ситуації, описаної раніше (рис. 9). Перевага такого досить дорогого методу полягає в зниженні теплового стресу для напівпровідників і вентилятора. Крім того, при цьому зменшується його потужність споживання, що підвищує загальну ефективність системи.

Існує простий гістерезисний метод, коли система охолодження вмикається від біметалічного датчика, встановленого на тепловідводі. Основним недоліком тут є швидкий знос вентилятора, особливо якщо в ньому використано АС-мотор із пусковим конденсатором. Не менш важливо, що відсутність точного контуру регулювання призводить до швидкої зміни повного ввімкнення та переривання повітряного потоку, що зумовлює прискорене старіння напівпровідникових приладів через великі градієнти температури. Наприклад, додаткова зміна температури кристала всього на 10 °C знижує стійкість модуля до термоцикування в 4–5 разів, тому застосування такого методу управління, як правило, не рекомендується.

Керування потоком тосола (рідинне охолодження)

Температуру охолоджувальної рідини $T_{coolant}$ слід обирати таким чином, щоб поверхня радіатора не охолоджувалася нижче точки роси. В ідеалі теплостік завжди має бути теплішим, ніж повітря у внутрішньому просторі шафи. Найбільшого поширення набули два методи контролю $T_{coolant}$ (рис. 15):

1. використання трьохканального термостатичного клапана:

- за низьких температур (зазвичай рівень уставки перебуває в діапазоні +25...+30 °C) охолоджувальна рідина тече через байпасний контур, а не через теплообмінник. При досягненні заданого значення клапан відкривається, і система намагається підтримувати температуру на заданому рівні. Під час підвищення потужності охолоджувальна рідина повністю проходить через теплообмінник.

2. Нагрівання охолоджувальної рідини, що забезпечує:

- зменшення локальної відносної вологості всередині або поблизу силового модуля після введення в експлуатацію або під час запуску після тривалого простоя;
- запобігання утворенню конденсату на радіаторі, коли температура його поверхні нижча, ніж у повітря всередині шафи.

У разі використання ефективного теплообмінника та/або під час роботи на повній потужності температура на вході зазвичай на кілька градусів вища, ніж у навколишньому середовищі. За високої температури повітря всередині шафи в умовах низького навантаження і великої вологості може знадобитися додаткове нагрівання охолоджувальної рідини для запобігання конденсації.

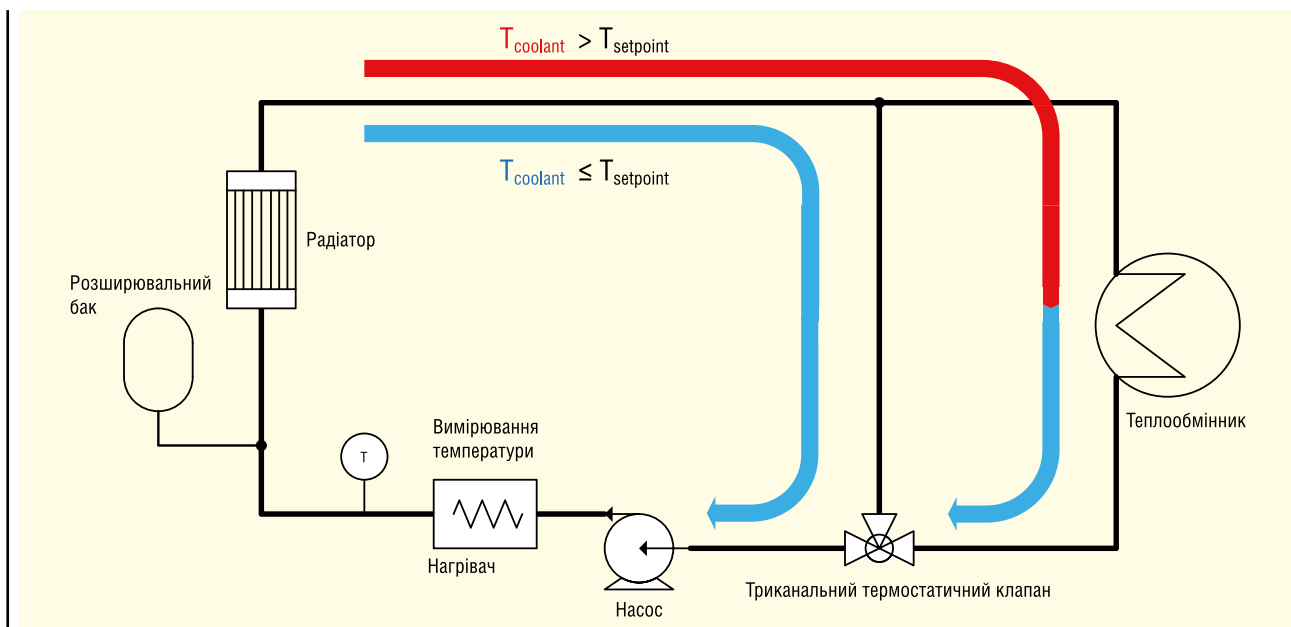


Рис. 15. Контур охолодження з байпасом і нагрівачем

Попереднє прогрівання перед запуском

Експерименти з силовими модулями, проведені в середовищі з вологістю 85%, показали, що використання охолоджувальної рідини, що має температуру хоча б на 5 °C вищу, ніж у навколишнього повітря, дає змогу знизити показник RH. На рисунку 16 наведено результати відповідних тестів при використанні тосола з температурою +40 °C. Вимірювання вологості проводиться під силіконовим гелем на поверхні DBC-підкладки.

Як видно з графіків, стаціонарне значення RH досягається протягом 24 год, показані характеристики приблизно відповідають зворотній експоненціальній кривій. На основі результатів випробувань і відомих властивостей силіконового гелю сформовано такі рекомендації:

1. Для систем, де існує ризик впливу високої вологості під час транспортування або зберігання (перед введенням в експлуатацію), рекомендується використовувати охолоджувальну рідину з температурою, що перевищує температуру навколишнього повітря більш ніж на 5 °C (мінімум +25 °C). Циркуляцію тосола слід починати за 24 год до ввімкнення силової напруги, якщо вона перевищує 50 В DC.
2. Така сама рекомендація стосується введених в експлуатацію систем, встановлених на відкритому повітрі або в приміщеннях із високою вологістю, які були в неробочому стані понад 8 годин. Циркуляцію тосола слід починати за 1 годину до ввімкнення силової напруги, якщо вона перевищує 50 В DC.

Застосування нагрівачів у шафах

Як уже було зазначено, за фіксованої абсолютної вологості підвищення температури навколишнього (сухого) повітря знижує величину RH. Для використання цього фактора випускаються промислові нагрівачі, призначені для встановлення в шафу (рис. 17). Вони складаються з резистивного нагрівального елемента, термостата і вентилятора і виконують такі функції:

1. Зниження відносної вологості у внутрішньому просторі шафи після початкового введення в експлуатацію.
2. Виведення вологи із замкнутої системи за допомогою односторонніх мембран. Зазначимо, що нагрівання саме по собі не сушить повітря, оскільки молекули води зали-

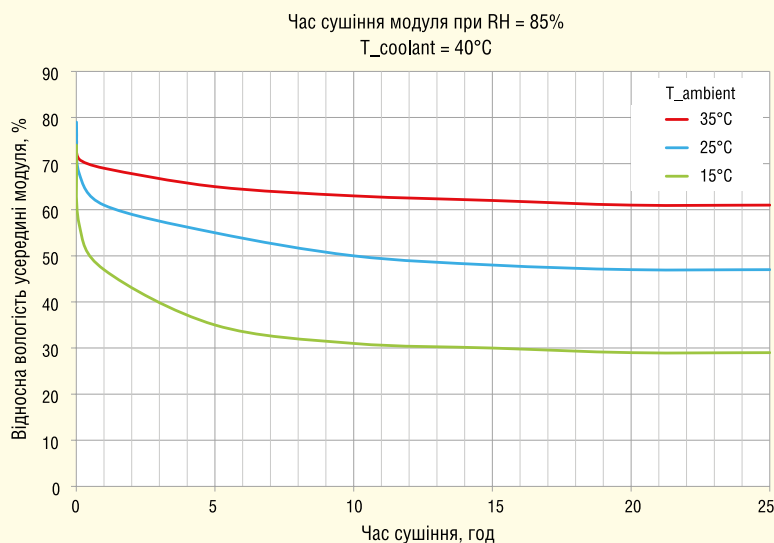


Рис. 16. Експеримент: використання попередньо нагрітої охолоджувальної рідини для зниження вологості

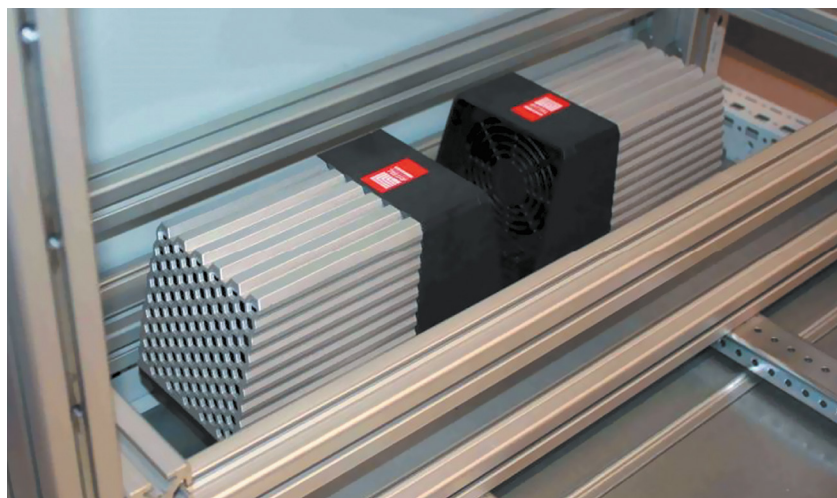


Рис. 17. Два нагрівачі потужністю 800 Вт, встановлені в основі стандартної шафи 2000 x 800 x 600 мм

шаються у внутрішньому об'ємі, їх потрібно видалити із системи повітряним потоком або іншими засобами (наприклад, за допомогою сикативів).

3. Запобігання утворенню конденсату на внутрішніх стінках і верхній панелі шафи.
4. Запобігання утворенню конденсату на внутрішніх металевих частинах у разі підвищення температури зовнішнього середовища.
5. Попереднє нагрівання внутрішнього простору шафи до увімкнення системи (якщо робоча температура нижча за мінімально допустиме значення) і захист електроніки, що працює, за низької температури зовнішнього середовища.
6. Підтримання температури активних компонентів на рівні, що пере-

вищує температуру навколишнього середовища (у режимі очікування).

Якщо вмикання і вимикання системи відбувається за заданого рівня температури (наприклад, за допомогою термостата), то нагрівачами можна керувати від гігростата, що запобігає падінню температури повітря всередині корпусу нижче за точку роси. Вони повинні розміщуватися в нижній частині шафи і мати достатню потужність для нагрівання внутрішнього простору до певного рівня за мінімальної температури зовнішнього середовища.

Осушувачі повітря

Безпосередньо знизити вологість повітря можна за допомогою осушувача, що складається з охолоджувального змійовика, через який проганяється вологе повітря. Волога, що міститься

в повітрі, конденсується на змійовику і потім зливається або відкачується з системи. Існують також осушувачі в промисловому виконанні, які відрізняються від комерційних аналогів такими показниками:

1. Компактні розміри для сушіння заданого обсягу.
2. Наявність дренажного шланга або насоса для безпосереднього відкачування вологи з шафи.
3. Внутрішній термостат/гігостат для контролю і взаємодії з регулятором вологості/температури шафи.
4. Знижена робоча напруга для під'єднання до блоку живлення наявної системи керування (наприклад, 24 В DC).
5. Надійна конструкція, що забезпечує тривалу роботу без обслуговування і велику кількість робочих циклів.
6. Наявність монтажних елементів (DIN-рейка, кронштейни).

Осушувачі, як правило, розміщуються в нижній і бічній частині шафи, а дренажний шланг прокладається по стінці або підлозі для виведення вологи назовні. Необхідно переконаватися в тому, що забезпечується достатня циркуляція повітря за рахунок вентилятора осушувача, а також внутрішніх вентиляторів шафи.

Такі пристосування часто розглядаються як дороге доповнення до системи, проте в перетворювачах високої потужності (500 кВт і більше) їхня вартість становить лише малу частину. Слід врахувати, що витрати на усунення відмов, спричинених вологою, можуть бути значно вищими.

Вентилятори

Для невеликих герметичних корпусів, де існує необхідність вирівнювання тиску, випускаються спеціалізовані вкладні та гвинтові вентиляційні клапани [5]. Вони містять напівпроникну гідрофобну мембрану, що пропускає пару, але відокремлює краплі води та інші забруднення (рис. 18). Оскільки водяна пара може проходити через ці клапани, їхнє застосування не обов'язково сприяє зменшенню абсолютної вологості. Проте вони виконують важливу функцію, що полягає у виключенні перепаду тиску, наслідком якого може стати підвищення відносної вологості всередині корпусу.

Сикативи

Сикативи — це гігроскопічні матеріали, здатні вбирати і накопичувати вологу з повітря. Їх зазвичай виробля-

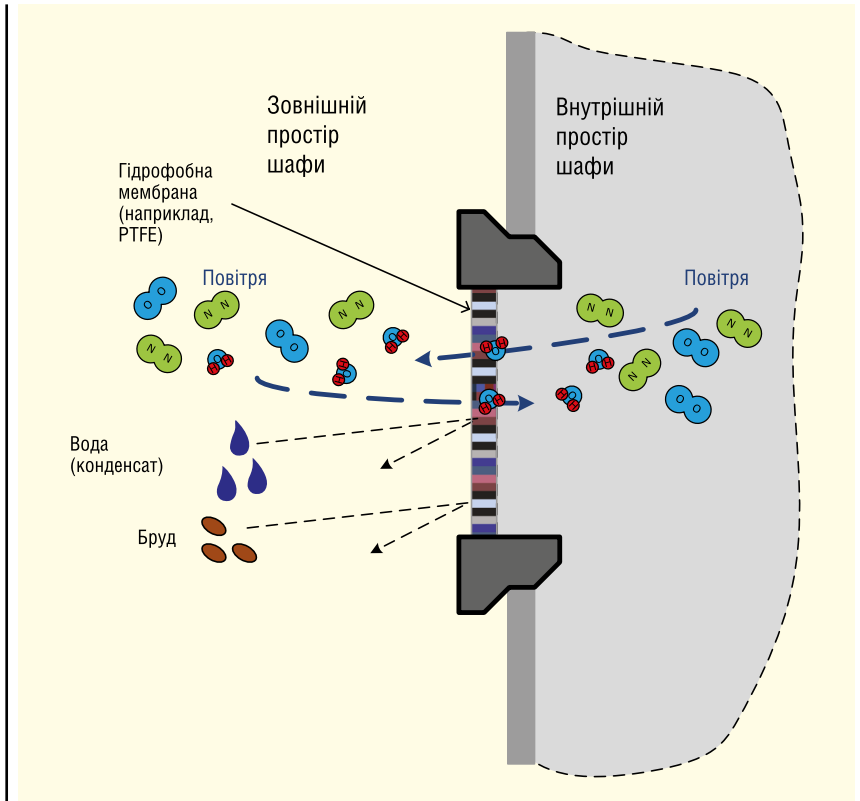


Рис. 18. Використання вентиляційної мембрани

ють із силікагелю (або інших природних матеріалів, таких як глина), упакованого в проникну мембрану, що пропускає вологе повітря. Оскільки сикативи накопичують водяну пару, їхні можливості обмежені, а ефективність різко падає в міру насичення. З цієї причини гігроскопічні матеріали зазвичай використовують тільки під час транспортування опечатаних контейнерів для уловлювання залишкових водяних парів. У відкритих системах вони швидко насичуються і перестають працювати. Як правило, сикативи містять візуальну кольорну індикацію кількості накопиченої вологи (наприклад, блакитний у сухому стані та рожевий у вологому). Такі осушувачі можуть бути повторно використані після нагрівання та видалення вологи.

Зняття напруги DC-шини

Подача напруги прискорює процес корозії металізації напівпровідникових чипів. Багато силових електронних перетворювачів працюють із тривалими періодами простою, коли на DC-шині присутня висока напруга, але система не обробляє жодної енергії. Розряд конденсаторів ланки постійного струму в режимі очікування дає змогу збільшити термін служби виробу в умовах високої вологості, коли активізується

механізм корозії. Для цього зазвичай використовується контактор, який також керує процесом попереднього заряду ємностей, тому ланцюг «заряд–розряд» необхідно враховувати на етапі проектування системи.

РЕКОМЕНДАЦІЇ ЩОДО ПРОЄКТУВАННЯ

Стан зовнішнього макросередовища (і пов'язані з ним рівні забруднення, температури та вологості) є основним чинником під час розроблення конструкції силової шафи та визначення ступеня її герметизації. Для прикладу розглянемо закрити шафу з рівнем захисту IP65 або вище за стандартом IEC [6]. Це означає, що система захищена від потрапляння пилу і слабких водяних струменів, що розпоршуються з будь-якого напрямку. Однак це також означає, що повітрообмін між внутрішнім простором шафи і зовнішнім середовищем обмежений і, отже, можуть спостерігатися відмінності в температурі і тиску. І навпаки, для відкритої системи мається на увазі вільний обмін повітря всередині шафи із зовнішнім середовищем. Температура, вологість і тиск у цьому разі будуть практично однаковими.

«ІДЕАЛЬНА» ГЕРМЕТИЗОВАНА СИСТЕМА

На рисунку 19 показано конструкцію «ідеальної» герметичної шафи, яка містить усі можливі засоби зниження вологості. Як правило, на практиці потрібні тільки деякі із зазначених елементів.

- 1. Теплообмінник «повітря-вода» або «повітря-повітря»:** охолоджує повітря у внутрішньому просторі без обміну внутрішнього і зовнішнього повітря. Також забезпечує циркуляцію всередині шафи для запобігання утворенню гарячих або холодних зон.
- 2. Нагрівач:** підтримує низьку відносну вологість і мінімальну робочу температуру.
- 3. Клапан:** запобігає зростанню тиску повітря всередині шафи вище зовнішнього атмосферного тиску.
- 4. Клімат-контроль:** блок (наприклад, PLC або частина системного контролера), що здійснює моніторинг внутрішньої вологості, температури повітря і радіатора та керує нагрівачем і вентиляторами в міру необхідності.

- 5. Осушувач:** конденсує вологу, наявну у внутрішньому просторі шафи, і видаляє її назовні.

«Ідеальна» відкрита система

На рисунку 20 показано конструкцію «ідеальної» відкритої шафи, що містить усі можливі засоби зниження вологості. Як правило, на практиці потрібні тільки деякі із зазначених елементів.

- 1. Вхідні та вихідні отвори:** положення вибирається для забезпечення перехресного потоку. Можуть містити вентилятор (з фільтром) на вході або на виході.
- 2. Циркуляційний вентилятор:** забезпечує рух повітря для запобігання утворенню гарячих або холодних зон.
- 3. Нагрівач:** підтримує низьку відносну вологість і мінімальну робочу температуру. Необхідно переконатися в тому, що всі компоненти нагріті до потрібного стану до початку надходження зовнішнього охолоджувального повітря, оскільки деякі деталі (наприклад, радіатори) мають високу теплову масу і потребують більше часу для досягнення рівноваги.
- 4. Клімат-контроль:** блок (наприклад, PLC або частина системного кон-

тролера), що здійснює моніторинг внутрішньої вологості, температури повітря і радіатора та керує нагрівачем і вентиляторами в міру необхідності.

- 5. Критичні зони (!):** зовнішні стінки шафи, повітрязабірники та радіатори є критичними зонами конструкції з високим ризиком утворення конденсату, особливо коли повітря всередині шафи стає набагато теплішим, ніж у навколишньому просторі. У найскладніших випадках може знадобитися застосування спеціальних крапельних екранів для запобігання потраплянню вологи на струмопровідні елементи. У системах з рідинним охолодженням впускний штуцер (холодний) повинен розташовуватися нижче вихідного штуцера (теплого), щоб уникнути потрапляння повітря всередину радіатора. Таке рішення має додаткову перевагу, яка полягає в тому, що волога з вхідного отвору, який схильний до конденсації, не потрапляє на силові модулі.

Слід зазначити, що в обох рекомендованих конструкціях канал охолодження радіатора відокремлений від

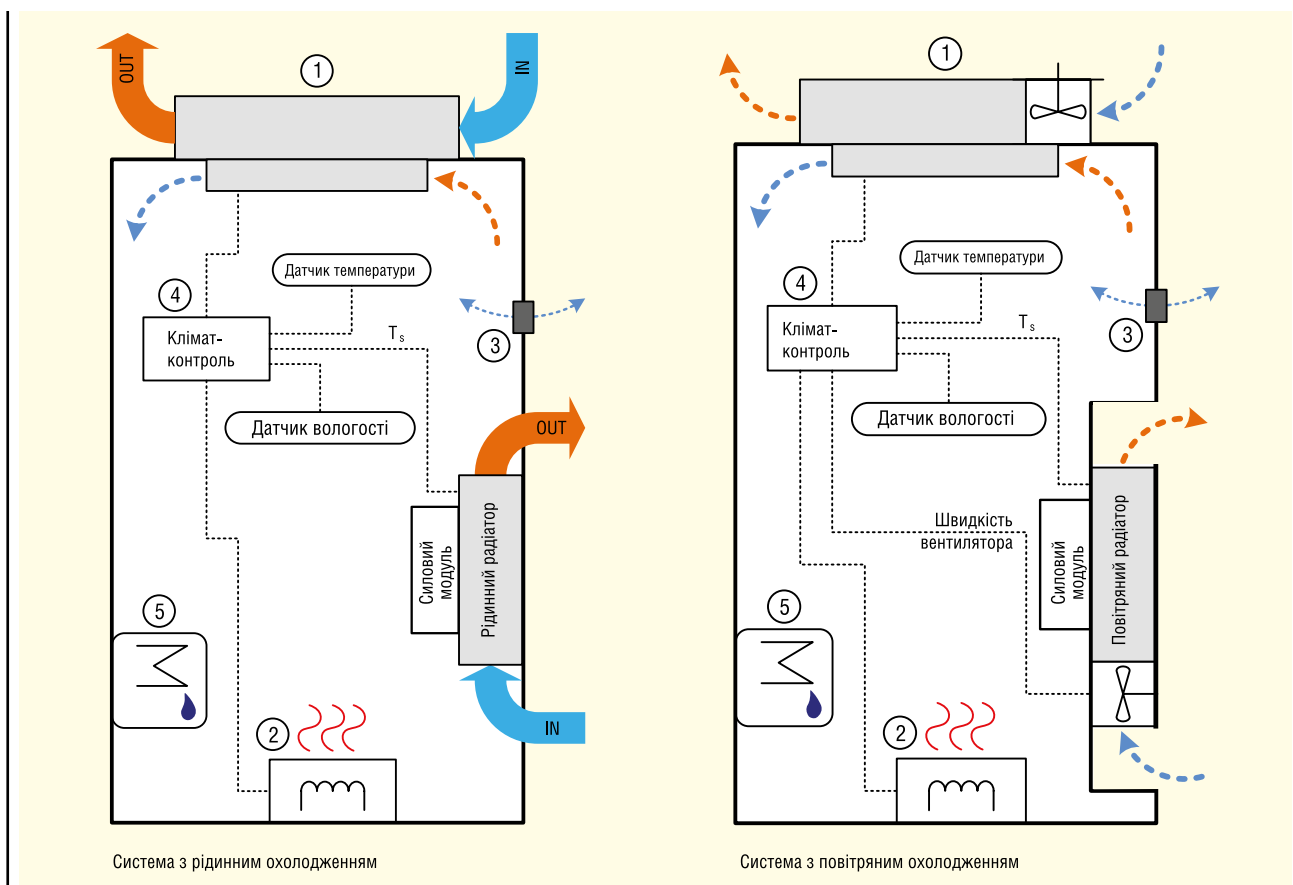


Рис. 19. Елементи «ідеальної» герметизованої шафи

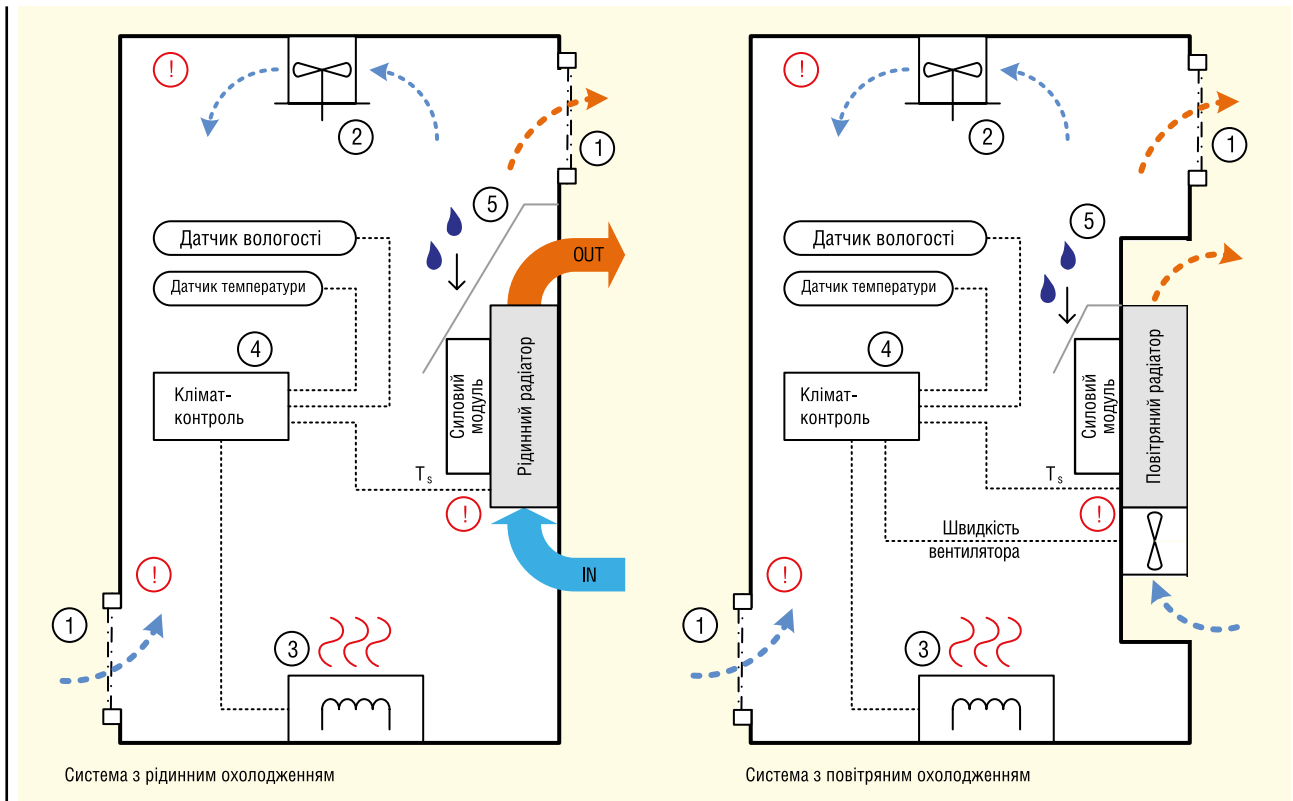


Рис. 20. Елементи «ідеальної» відкритої шафи

іншої частини шафи (див. рис. 196 і 206). Часто використовують конфігурацію, показану на рисунку 21, де охолоджувану збірку цілком розміщують усередині шафи, а всі компоненти і радіатор обдувають одним і тим самим повітрям. Таке рішення має такі недоліки:

1. Прокачування великого об'єму повітря збільшує ймовірність забруднення твердими частинками (пил, бруд), які осідають на друкованих платах і електричних з'єднаннях, скорочуючи шляхи струмів витoku і погіршуючи ізоляційні властивості. Додавання впускних фільтрів допомагає розв'язати проблему, але водночас зменшується ефективність охолодження, і вони швидко забруднюються (найчастіше такі фільтри чистять нерегулярно або взагалі видаляються обслуговуючим персоналом).
2. Утворення конденсату, критичне для радіаторів і входів/виходів повітряних каналів, у цьому разі безпосередньо загрожує чутливим до вологи компонентам системи (друковані плати, електричні з'єднання), оскільки вони перебувають в одному просторі з радіатором.
3. Порівняно із ситуацією на рисунку 206 більший об'єм повітря приносить пропорційно більший об'єм вологи, посилюючи ризик утворення конденсату на входах/виходах повітряних каналів. Крім того, зростання швидкості потоку призводить до збільшення перепадів температури, унаслідок чого температура в деяких ділянках може опуститися нижче точки роси.
4. Засоби клімат-контролю (нагрівачі) виявляються менш ефективними, оскільки обсяг повітря, що нагрівається, стає більш динамічним через високу швидкість потоку.

КЛІМАТОГРАМИ IEC

Кліматограми IEC (B.3 з EN 60721-3-3 або A.7 з EN 50178) пропонують альтернативний спосіб розрахунку за можливості утворення конденсату. Якщо температура і відносна вологість повітря відомі, то величину АН можна зафіксувати і визначити температуру, за якої $RH = 100\%$ (точка роси).

Відповідно до рисунку 22 у замкнутій системі за температури навколишнього повітря $+50\text{ }^\circ\text{C}$ і відносної вологість 23% перетин цих двох ліній припадає на 20 г/м^3 абсолютної вологість (товста синя лінія). Зі зниженням температури крива абсолютної вологість прямує до верхньої частини графіка, де величина RH становить 100% (конденсація). Температура по осі X, що збігається з цією точкою, є точкою роси ($+22\text{ }^\circ\text{C}$).

Більшість силових модулів SEMIKRON задовольняє вимогам кліматичного класу 3K22 (раніше 3K3) стандартів EN 60721-3-3, EN 50178. За наявних ізоляційних властивостей (зумовлених

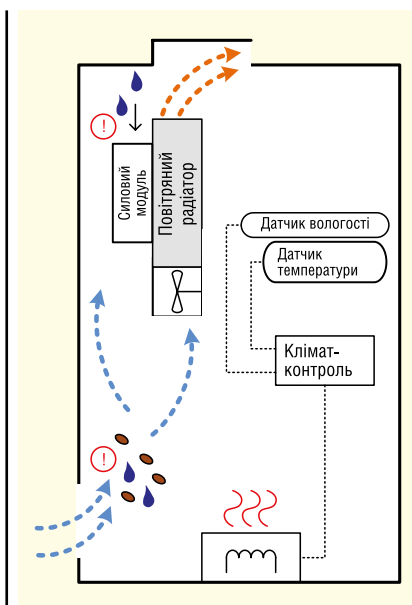


Рис. 21. Нерекомендований варіант конструкції системи охолодження

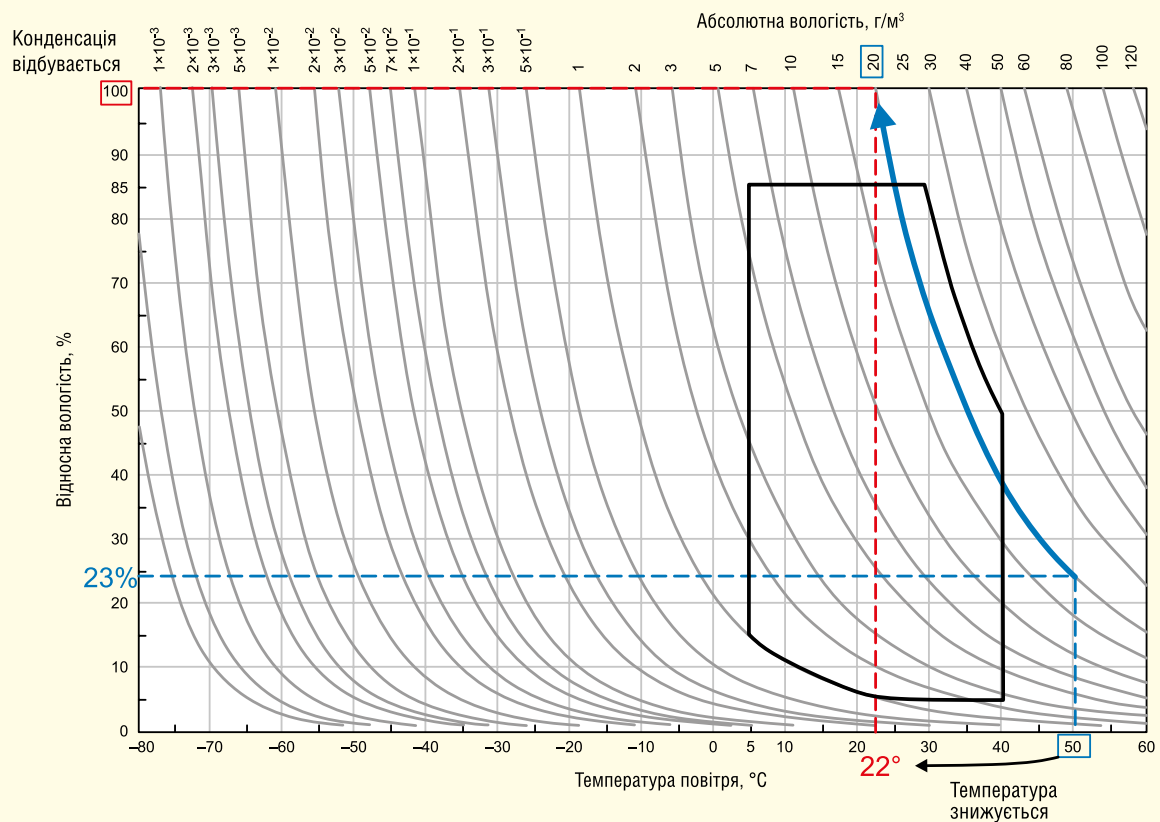


Рис. 22. Приклад розрахунку точки роси за допомогою кліматограми ІЕС

шляхами струмів витоку) вони можуть працювати за рівня забруднення 2, описаного в стандартах EN 50178 і EN 61800-5-1. Встановлення обладнання неприпустиме в місцях, де можливе бризкоутворення або конденсація вологи, здатна погіршити ізоляційні властивості елементів перетворювального пристрою. За рівня забруднення 2 утворення конденсату можливе протягом короткого часу і тільки за знеструмленої системи. Накопичення залишкової вологи неприпустимо за будь-яких обставин.

Кліматичний клас 3K22 допускає роботу апаратури в захищених від погодних впливів зонах, за максимальної допустимої відносної вологості RH = 85% і абсолютної 26 г/м³. Відповідно до кліматограми це означає, що, наприклад, за температури +40 °C величина RH не повинна перевищувати 50%. Абсолютна вологість може змінюватися більш ніж на 1 г/м³ протягом доби (найбільші зміни спостерігаються після випадання опадів).

(конденсат), так і в газоподібному (вологість) стані. У довгостроковій перспективі це може призвести до корозії металізації чипів і виходу модуля з ладу. Для запобігання подібного сценарію відмови необхідно розуміти взаємозв'язок між абсолютною вологістю, відносною вологістю і температурою навколишнього середовища (макросередовище) і, відповідно, визначити можливі характеристики середовища всередині силового напівпровідникового модуля (мікросередовище). На підставі цього слід вживати певних заходів на етапі проектування (наприклад, керування потоком повітря або рідини, контроль температури), а також під час вибору робочої точки, що знижують можливість підвищення RH або конденсації вологи поблизу або всередині силового напівпровідникового модуля.

Література:

1. Арент Винтрих, Ульрих Николай, Вернер Турски, Тобиас Рейман. Перевод и комментарии: Андрей Колпаков. *О климатике, механике, космическом излучении и прочих полезных вещах* // CHIP NEWS № 9, 2016. Пол Дрекседж,

Июхим Ламп. Перевод и комментарии: Андрей Колпаков. *О климатике, механике, космическом излучении и прочих полезных вещах. Часть 2. Воздействие влажности и конденсации на работу силовых электронных систем* // CHIP NEWS № 1, 2017.

2. Wintrich A., Nicolai U., Tursky W., Reimann T. *Application Manual Power Semiconductors. 2nd revised edition*. ISLE, Verlag, 2015.

3. Part 3-3: *Classification of groups of environmental parameters and their severities — Stationary use at weather protected locations*. IEC Standard 60721-3-3 ed. 2.2, 2002.

4. Buck A. L. *New Equations for Computing Vapor Pressure and Enhancement Factor* // *Journal of Applied Meteorology*. 1981. Vol. 20. No. 12.

5. Venting W. L. *Gore & Associates, Inc. www.gore.com*

6. *Degrees of protection provided by enclosures (IP Code)*, IEC Standard 60529:1989+A1:1999+A2:2013, 2013.

7. Zorn C., Kaminski N. *Temperature Humidity Bias (THB) Testing on IGBT Modules at High Bias Levels*. CIPS, 2014. **CN**

* Закінчення. Початок див. «CHIP NEWS», № 8, 2022 г.

ВИСНОВОК

Прилади силової електроніки піддаються впливу води як у рідкому

НВП "ТЕХНОСЕРВІСПРИВІД"

Офіційний представник Semikron в Україні

www.tsdrive.com.ua

SEMİKRON
innovation+service

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



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

тел/факс (044) 458 4766

E-mail: sales@semikron.com.ua

www.semikron.com.ua

Мікроконтролер Renesas RA4W1 з Bluetooth Low Energy для поліпшення якості медичного обслуговування

Переклад: Андрій Лебедєв

Медичні пристрої, оснащені малопотужним Bluetooth (Bluetooth Low Energy — BLE), є високотехнологічним рішенням для автоматизації роботи лікарень. Мікроконтролер RA4W1 від компанії Renesas — однокристальний BLE-пристрій, оптимальний для медичних застосувань, які потребують малого енергоспоживання та високої продуктивності, надійної безпеки, великої вбудованої оперативної пам'яті та точності аналого-цифрових перетворювачів для сигналів датчика. Автоматизація медичного обладнання та оптимізація роботи персоналу у сфері охорони здоров'я дасть змогу медичним установам перерозподіляти ресурси для поліпшення обслуговування населення.

ЯК ТЕХНОЛОГІЯ BLE ЗАБЕЗПЕЧУЄ МЕДИЧНУ ДОПОМОГУ ХХІ СТОЛІТТЯ

Вимоги до якісного та швидкого обслуговування пацієнтів у сфері медичних послуг постійно зростають, а тому тут дедалі ширше застосовують технічні рішення на основі бездротового зв'язку та «Інтернету речей» (Internet of Things — IoT). Це дає змогу налагодити обмін даними в режимі реального часу, оперативно інтегруватися з іншими системами, що контролюють їхні вихідні сигнали і діють на основі будь-якого числа заздалегідь встановлених параметрів — від простого сповіщення про проблему, яка виникла, до повністю автоматизованого функціоналу, як, наприклад, вимкнення світла, регулювання температури тощо.

Наразі ринок цього медичного обладнання швидко зростає, і технологія BLE набуває дедалі більшої популярності, допомагаючи істотно полегшити низку повсякденних обов'язків персоналу клінік.

Застосування технології BLE у сфері медичних послуг включає:

- медичне обслуговування (моніторинг стану пацієнта) вдома;
- бездротові медичні прилади;

- облік матеріальних запасів;
- підключений моніторинг.

Медичне обслуговування (моніторинг стану пацієнта) вдома

Одна з нових тенденцій в охороні здоров'я полягає в тому, щоб пацієнти могли отримувати лікування не тільки в лікарні, а й дистанційно, в домашніх умовах. Засновані на технології BLE, медичні пристрої можуть віддалено контролювати стан пацієнтів за допомогою носних бездротових електронних датчиків, а також даних, які оперативно передаються для аналізу і подальших рекомендацій з боку лікаря.

До портативних медичних пристроїв, що використовуються для спостереження за станом здоров'я пацієнтів, належать датчики контролю серцевого ритму і кров'яного тиску, датчики для новонароджених (контроль пульсу, дихання і руху), а також глюкометри та інсулінові помпи.

BLE-технологія вельми зручна для під'єднання кількох пристроїв моніторингу до локального центру (наприклад, смартфона), що робить обмін даними та їхній аналіз не тільки безпечним і швидким, а й зручним для користувачів.

Бездротові медичні прилади

Bluetooth Low Energy дає змогу замінити традиційні для лікарень проводові пристрої, що передбачають фізичний контакт пацієнта з обладнанням і моніторами. Нова технологія усуває необхідність у дротах і кабелях, завдяки чому зв'язок між пацієнтом і медичними приладами стає більш зручним і комфортним як для пацієнта, так і для лікарів. Водночас зменшується ризик здійснення механічних або людських помилок під час налаштування та приєднання обладнання. Наприклад, прикріплені до пацієнта монітори, що носяться, можуть керувати обладнанням, зокрема інфузійними насосами, щоб забезпечити потрібний рівень рідини та об'єм лікарського препарату, який вводять у призначені терміни. Цей взаємозв'язок може поширюватися на будь-які медичні пристрої, необхідні пацієнту: електрокардіографічні монітори або датчики артеріального тиску, що фіксують життєво важливі показники, і надсилати їх бездротовою мережею в центральну систему моніторингу лікарні.

Облік матеріальних запасів

Ще одна сфера застосування технології BLE в галузі охорони здоров'я — можливість відстеження складських запасів, обладнання та пересування персоналу. За допомогою тегів і контролюючих пристроїв, які зв'язуються з Bluetooth-маяками, під'єднані додатки інвентаризації можуть відстежувати мішки для забору крові та стан банку крові в режимі реального часу (температуру та інші параметри). А також визначати місцезнаходження медичного приладдя, портативного обладнання та інших інструментів, щоб скоротити кількість відходів і оптимізувати канали постачання.

Підключений моніторинг

Сьогодні машини «швидкої допомоги» все частіше оснащують технологією BLE, що гарантує доступ медперсоналу до інформації про стан пацієнта в режимі реального часу. Шлюз, встановлений у «швидкій», може оперативно передавати дані в лікарню або відділення невідкладної медичної допомоги, щоб до прибуття пацієнта лікарі були повністю готові. За допомогою такої системи усуваються помилки, а отже, можна не тільки швидше поставити правильний діагноз, а й у найкоротші терміни надати хворому найкращий догляд.

ТЕХНІЧНІ ВИМОГИ, ЩО ВИСУВАЮТЬСЯ ДО БЕЗДРОТОВИХ ПРИСТРОЇВ У СФЕРІ МЕДИЧНОГО ОБЛАДНАННЯ

До медичного обладнання висуваються підвищені вимоги під час сертифікації, оскільки від його якості та безпеки безпосередньо залежать життя і здоров'я людей, і будь-яка бездротова система, що використовується для під'єднання пристроїв один до одного, має повністю відповідати наявним регламентам.

Аналогово-цифрове перетворення (АЦП) залежно від роздільної здатності

У медичних установах прилади формують велику кількість аналогових даних (вимірювання температури, серцевого ритму, рівня цукру в крові тощо) і передають оцифровані відомості бездротовою мережею. Пристрій, що використовує бездротові технології для медичних застосувань, не тільки повинен мати

надійні функціональні можливості аналого-цифрового перетворення, а й реєструвати та вимірювати малі зміни сигналів.

Аналого-цифрові перетворення досягаються за допомогою дискретизатора з високою роздільною здатністю, який має великий динамічний діапазон і здатний одночасно вимірювати як малі, так і великі сигнали. Недостатньо використовувати прилад з низькою роздільною здатністю і з меншим повномасштабним діапазоном, оскільки багато сигналів містять як малі, так і великі складові напруги. Можливості роздільної здатності аналогового цифрового перетворювача регулюються його бітовим значенням.

Апаратна безпека з шифруванням і безпечним керуванням ключами

Підтримка максимального рівня безпеки життєво важлива під час роботи з медичними даними та особистою інформацією пацієнта. Для досягнення цього рівня безпеки його слід передбачити в системі від самого початку, а не коли система вже розроблена і функціонує. Крім того, необхідно забезпечувати апаратне прискорення для мінімізації часу виконання та зниження рівня енергоспоживання для симетричного шифрування даних. Вбудована система безпеки також дає змогу здійснювати роздільне функціонування.

Інші вимоги до побудови бездротового зв'язку в охороні здоров'я

Дедалі більше медичних пристроїв стають портативними і працюють від компактних елементів живлення протягом тривалого часу. Бездротові рішення для цих пристроїв повинні мати мале енергоспоживання, щоб звести до мінімуму розряд



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)

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

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

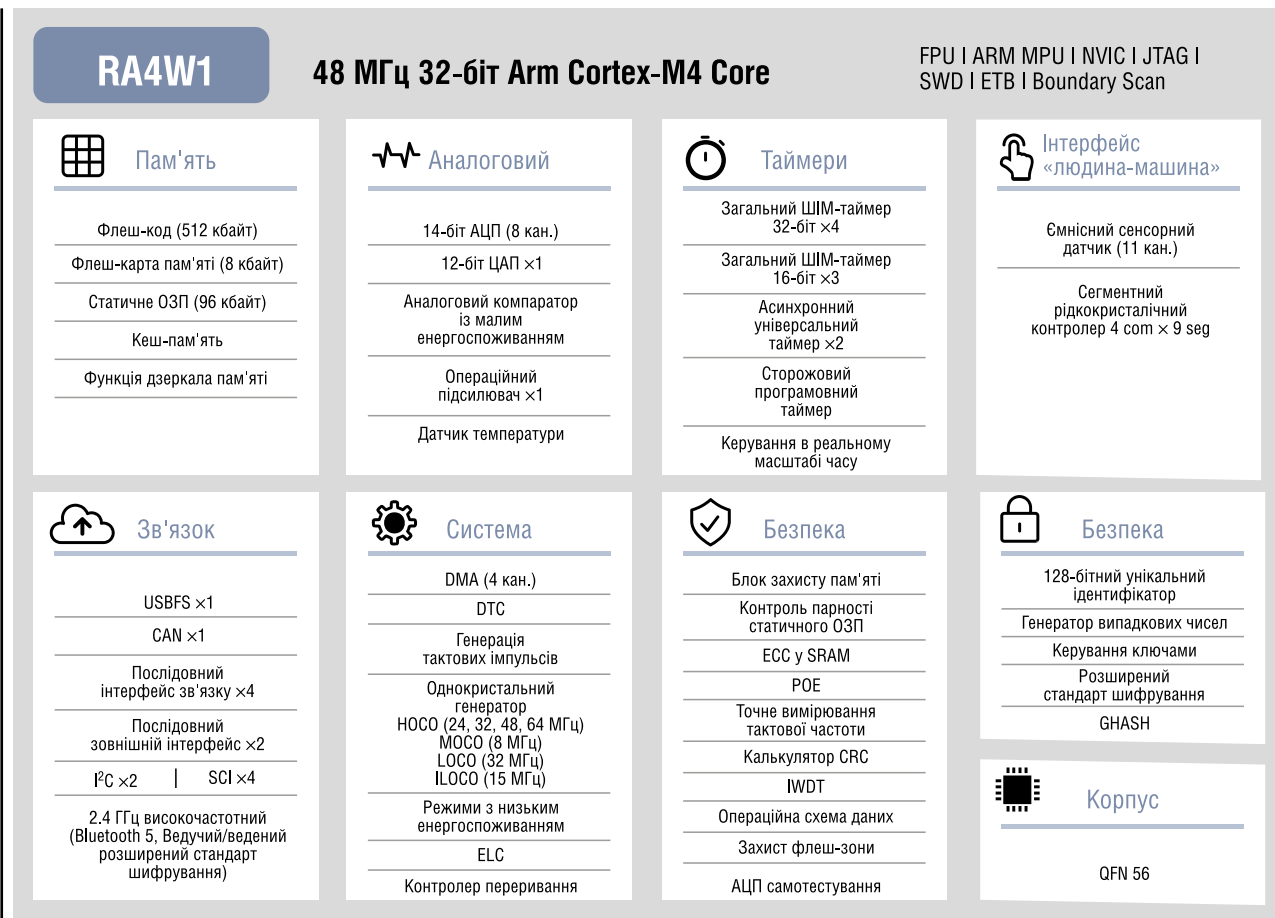


Рис. 1. Основні функції та переваги мікроконтролера RA4W1 MCU Group Features & Benefits

батареї. Інтеграція виробів, що поставляються різними компаніями, або систем, що перестали задовольняти сучасним вимогам, має важливе значення для того, щоб радіоприлади працювали узгоджено і без будь-яких проблем, викликаних електромагнітними завадами в близько розташованих електронних пристроях. Це саме ті переваги, які технологія BLE надає для підключених медичних пристроїв. Наявність управління з малим енергоспоживанням означає мінімізацію експлуатаційних і накладних витрат на технічне обслуговування. Інші вимоги передбачають можливість працювати з різними швидкостями передавання даних і рівномірно та надійно взаємодіяти як із датчиками, так і з «Інтернетом речей» та хмарним сервісом через інтелектуальний концентратор або шлюз.

МІКРОКОНТРОЛЕР RA4W1 КОМПАНІЇ RENESAS

Розроблений для дотримання суворих вимог бездротового зв'язку для медичних пристроїв, мікроконтролер RA4W1 є 32-розрядним однокристалічним приладом із низьким енергоспоживанням Bluetooth 5.0 і є оптимальним рішенням для медичного застосування, що дає змогу датчикам і пристроям зв'язуватися між собою в режимі реального часу через бездротові мережі. RA4W1 має високу пропускну здатність (2 Мбіт) і велику дальність дії. RA4W1 оснащений 48-МГц ядром ARM Cortex-M4, має режим роботи з низьким енергоспоживанням.

Завдяки застосуванню криптографічного алгоритму Secure Crypto Engine 5 (SCE5) в RA4W1 забезпечується підвищений рівень безпеки. SCE5 використовує розширений

стандарт шифрування (Advanced Encryption Standard — AES) з розміром блоку 128 або 256 біт, а також ефективний паралельний конвеєрний компонент GHASH, призначений для автентифікації, і генератор випадкових чисел (TRNG) для захисту конфіденційних даних пацієнтів за допомогою апаратно-прискореного симетричного шифрування.

Додаткову комунікацію забезпечують повнотупінчастий інтерфейс USB 2.0, мережна шина CAN 2.0В контролерів та інтерфейси з такими протоколами зв'язку, як послідовний периферійний інтерфейс SCI (Simple I²C, Simple SPI і SPI/I²C). Універсальний асинхронний приймач/передавач (Universal Asynchronous Receiver/Transmitter - UART) послідовно передає та отримує дані. RA4W1 має ємнісний сенсорний датчик і сегментний рідкокристалічний контролер для ефективно та надійної інтеграції, HMI. До інших особливостей належать внутрішній генератор 0.5%-ої точності, сильноточні порти вводу/виводу, 96 кбайт ОЗП типу SRAM і 8 кбайт флеш-пам'яті для зберігання даних (рис. 1).

ВИСНОВОК

Мікроконтролер RA4W1 від компанії Renesas Electronics оптимальний для використання в сфері охорони здоров'я, у медичних пристроях, що застосовують технологію BLE і мережі IoT для моніторингу здоров'я пацієнтів. RA4W1 має низьке енергоспоживання, характеризується простою експлуатації, високоточним перетворенням даних датчиків і високим рівнем безпеки пристроїв. **СН**

ВИСОКОТЕХНОЛОГІЧНІ КОМПОНЕНТИ ДЛЯ ВАШИХ ІННОВАЦІЙ

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

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

Wilhelm Fleischhauer
Country Manager

Михайло Єлізаров
представник в Україні

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

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

Робота з мікроконтролерами STM32 сімейства Cortex-M3 у програмному середовищі Proteus 8.11

Частина 3

Тетяна Колеснікова

У статті наведено опис послідовного інтерфейсу SPI 32-розрядних мікроконтролерів STM32 сімейства Cortex-M3. Розглянуто призначення регістрів конфігурування SPI, а також запропоновано приклади програм для його ініціалізації та роботи. Представлено моделювання схем Proteus з використанням мікроконтролерів Cortex-M3, зокрема передача даних через інтерфейс SPI між двома і трьома мікросхемами STM32F103C4, налаштованими як Master (ведучий) і Slave (ведений), і відображення прийнятих даних пристроєм даних на екрані. За допомогою осцилографа проведено контроль вхідних/вихідних сигналів, що присутні на виводах пристроїв схеми. У ході виконання програми ініціалізації виконано перегляд стану бітів регістрів управління модулем SPI мікроконтролера STM32F103C4.

ВСТУП

Мікроконтролери Cortex поділяються на три основні підсімейства: Cortex-A, Cortex-M, Cortex-R. Cortex-M — сімейство масштабованих, сумісних, енергоефективних і простих у використанні процесорів, призначених для недорогого вбудованого ринку. Сімейство Cortex-M оптимізовано для чутливих до вартості та енергоспоживання мікроконтролерів, що застосовуються в таких сферах, як Інтернет речей (Internet of Things, IoT), зв'язок, управління двигуном, інтелектуальний облік, пристрої взаємодії з людиною (human interface devices, HID), автомобільні та промислові системи керування, системи комплексної розподіленої автоматизації виробництва, побутова техніка, споживчі товари та медичні інструменти. У цьому сегменті ринку можна знайти багато виробників інтегральних схем, які випускають процесо-

ри Cortex-M. Одна з таких компаній — STMicroelectronics.

Сімейство Cortex-M є лінійкою процесорних ядер для побудови мікроконтролерів Cortex-M0/0+/1/3/4, випущених за однією технологією, але з різним набором можливостей. Будучи 32-розрядними, виробни на їх основі замінюють наявні на ринку 8- та 16-розрядні мікроконтролери. У самому низу лінійки — процесор Cortex-M0, який має лише 56 команд, малі габарити та гранично низьке споживання. Підходить для застосування у простих логічних контролерах та автоматах. Реалізований у лінійці LPC1100 від NXP та лінійці XMC1000 від Infineon. Ядро Cortex-M0+ характеризується наявністю модуля захисту пам'яті (MPU), переміщеної таблиці векторів переривань, одноцикловим інтерфейсом вводу/виводу для задач швидкого керування і додатковою налагоджувальною логікою.

Ядро Cortex-M1 розроблено спеціально для реалізацій на базі про-

грамовних логічних матриць (FPGA), містить додаткові інтерфейсні модулі пам'яті програм та даних, а також налагоджувальну логіку. Процесорні ядра Cortex-M3 призначені для застосувань, що вимагають швидкого відгуку на зовнішні події, і містять вбудований контролер векторних пріоритетних переривань NVIC (є в молодших моделях), модуль захисту пам'яті MPU, модуль налагодження з можливостями трасування програми, апаратний дільник та одноцикловий помножувач. Процесор має розширену систему команд, статичну пам'ять SRAM та периферійний інтерфейс. Ядро Cortex-M4 відрізняється ще більшими можливостями. До нього входять команди підтримки цифрової обробки сигналів, а також (у версії Cortex-M4F) співпроцесор підтримки обчислень з плаваючою точкою.

Програмне середовище Proteus 8.11 надає можливість проектування пристроїв на базі мікроконтролерів Cortex-M0/M3/M4. Мікроконтролери STM32 Cortex-M3 в Proteus 8.11 представлені такими моделями: STM32F103C4/C6/R4/R6/T4/T6.

Мікроконтролери серії STM32F1 були першими мікроконтролерами на базі ARM від ST. Представлені на ринку в 2007 році, вони, як і раніше, залишаються найпоширенішими мікроконтролерами з асортименту STM32. Серія F1 розвивалася протягом кількох років за рахунок збільшення продуктивності процесора, обсягу внутрішньої пам'яті, складу інтегрованих периферійних пристроїв. Існує п'ять лінійок F1: Connectivity (STM32F105/107), Performance (STM32F103), USB Access

(STM32F102), Access (STM32F101), Value (STM32F100). У статті процес моделювання схем з використанням мікроконтролерів Cortex-M3 показаний на прикладі мікросхеми STM32F103C4, яка має два 16-розрядні порти вводу/виводу з можливістю керування їх бітовими лініями, розширений набір периферійних блоків, серед яких інтерфейси USART та SPI.

ПЕРЕДАЧА ДАНИХ ЧЕРЕЗ ПОСЛІДОВНИЙ ІНТЕРФЕЙС SPI В МІКРОКОНТРОЛЕРАХ STM32 CORTEX-M3 В PROTEUS

Інтерфейс SPI (Serial Peripheral Interface) є високошвидкісним синхронним інтерфейсом і реалізований у всіх мікроконтролерах STM32 Cortex-M3. Він забезпечує обмін даними між мікроконтролером та різними периферійними пристроями, такими як АЦП, ЦАП, цифрові потенціометри, FLASH-ПЗУ, інші мікросхеми та мікроконтролери.

Для організації швидкодіючого зв'язку з інтегральними схемами мікроконтролерів STM32 Cortex-M3 передбачено до трьох модулів SPI [4, 12], призначених для повнодуплексної передачі даних на частоті до 18 МГц. Важливо звернути увагу на те, що один модуль SPI підключений до високошвидкісної шини APB2, яка може працювати на частоті до 72 МГц. Два інших модулі пов'язані з більш низькошвидкісною шиною APB1, максимальна швидкість якої обмежується частотою 36 МГц. У кожного з модулів SPI є можливість програмування полярності та фази синхронізації, передачі першим старшого або молодшого розряду байта або слова даних, формату даних (8 або 16 біт). Крім того, кожен модуль SPI може працювати у ведучому чи веденому режимах, що дозволяє йому зв'язатися з будь-якою іншою інтегральною схемою, оснащеною інтерфейсом SPI. Для передачі даних на великих швидкостях кожного модуля SPI передбачено два канали ПДП (прямий доступ до пам'яті): один для передачі даних і один для копіювання прийнятих даних в пам'ять. За допомогою ПДП можна досягти автономної двонаправленої передачі високошвидкісних потоків даних. На додаток до стандартних можливостей інтерфейсу SPI модуль SPI мікроконтролерів STM32 містить два апаратні блоки CRC. Один блок CRC використовується для передачі даних, а

інший — прийому. Обидва блоки можуть генерувати та перевіряти коди CRC8 та CRC16. Ця можливість практично необхідна при використанні одного з модулів SPI для підключення до картки MMC/SD.

Під час обміну даними через інтерфейс SPI мікроконтролер може працювати як ведучий (режим Master) або як ведений (режим Slave). Ведучий мікроконтролер можна зв'язати з одним або декількома веденими пристроями. Схема підключення пристроїв через інтерфейс SPI показана на рисунку 1. Зв'язок між пристроями здійснюється за допомогою наступних ліній портів вводу/виводу загального призначення мікроконтролера:

- MOSI — вихід даних для ведучого або вхід даних для веденого пристрою;
- MISO — вхід даних для ведучого або вихід даних для веденого пристрою;
- SCK — сигнал загальної синхронізації інтерфейсу;
- NSS — вибір веденого пристрою.

Ведучий пристрій формує один або кілька сигналів SS (Slave Select) для вибору ведених пристроїв. При цьому кількість сигналів, що формуються, відповідає кількості ведених пристроїв. Ведений пристрій отримує дані тільки в тому випадку, якщо він був обраний ведучим, тобто якщо на його виводі NSS є високий рівень.

Передача даних здійснюється по лініях MOSI та MISO. Процесом передачі керує ведучий пристрій (Master), формуючи тактові імпульси через лінію SCK. Вивід SCK ведучого мікроконтролера є виходом тактового сигналу, а веденого мікроконтролера — входом. Одночасно з передачею даних від ведучого до веденого пристрою відбувається прийом даних ведучим пристроєм від веденого по кільцю. Таким чином, за один повний цикл зсуву всіх розрядів зсувного регістру відбувається обмін даними між двома пристроями (рис. 2). Ведені пристрої не можуть обмінюватися даними один з одним.

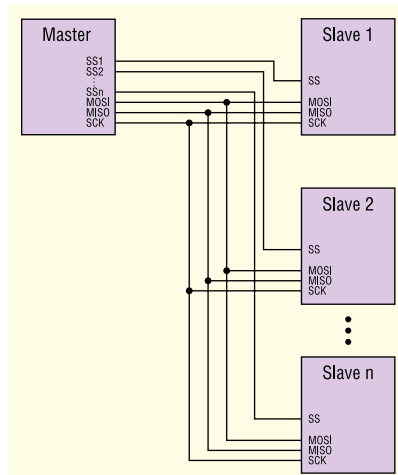


Рис. 1. Схема підключення пристроїв через інтерфейс SPI

Виводи мікроконтролера, які використовуються модулями SPI, є лініями вводу/виводу загального призначення. Призначення виводам функції SPI здійснюється у регістрах налаштування GPIO. У мікроконтролері STM32F103C4 модулем SPI1 використовуються лінії PA4 — NSS, PA5 — SCK, PA6 — MISO, PA7 — MOSI. Проте, використовуючи регістри AFIO, лінії SPI1 можна перенести на виводи PA15, PB3, PB4 і PB5 відповідно.

У модулі SPI є такі регістри вводу/вводу, необхідні для роботи інтерфейсу (табл. 1):

- SPI_DR — регістр даних, що містить надіслані або прийняті 8 або 16 біт даних;
- SPI_CR1, SPI_CR2 — регістри керування, що визначають функціонування модуля SPI;
- SPI_SR — регістр стану, який відображає стан модуля SPI.

Для виявлення помилок, що виникли при прийомі та передачі даних, застосовуються регістри SPI_CRCPR, SPI_RXCRCR та SPI_TXCRCR.

Увімкнення/вимкнення SPI виконується встановленням шостого біта (SPE) регістра SPI_CR1, сьомий біт (LSBFIRST)

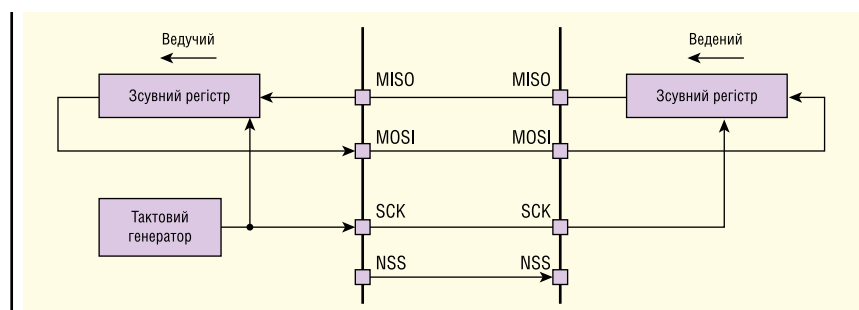


Рис. 2. Функціональна схема інтерфейсу SPI

Таблиця 1. Формат регістрів інтерфейсу SPI

Регістр	Біти																		
	31-16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0		
SPI_CR1	Зарезервовані		BIDIMODE	BIDIOE	CRCEN	CRCNEXT	DFF	RXONLY	SSM	SSI	LSBFIRST	SPE	BR[2:0]			MSTR	CPOL	CPHA	
SPI_CR2	Зарезервовані										TXEIE	RXNEIE	ERRIE	Зарезервовані			SSOE	TXDMAEN	RXDMAEN
SPI_SR	Зарезервовані										BSY	OVR	MODF	CRCERR	UDR	CHSIDE	TXE	RXNE	
SPI_DR	Зарезервовані		DR[15:0]																
SPI_CRCPR	Зарезервовані		CRCPOLY[15:0]																
SPI_RXCRCR	Зарезервовані		RXCRC[15:0]																
SPI_TXCRCR	Зарезервовані		TXCRC[15:0]																

задає порядок передачі даних, а другий біт (MSTR) цього регістру задає вибір режиму роботи інтерфейсу. Під час читання регістру SPI_DR виконується звернення до буферного регістру приймача, під час запису — до буферного регістра передавача. Для передачі даних їх необхідно записати в регістр передавача. Прийняті дані читаються з регістру приймача. Для програми існує один регістр із ім'ям SPI_DR. Швидкість обміну SPI визначає блок генератора швидкості, який задає частоту слідування тактових імпульсів. Для цього призначені розряди BR0, BR1 та BR2 регістру SPI_CR1. Три розряди передбачають наявність восьми значень швидкості.

При написанні програми ініціалізації мікроконтролера для передачі даних через інтерфейс SPI їх записують у регістр SPI_DR з допомогою команди **SPIy → DR = data_tx**, де у — це номер інтерфейсу SPI. Закінчення передачі контролюється перевіркою прапора TXE регістра SPI_SR, для чого можна використовувати команду **while (!(SPIy → SR & SPI_SR_TXE)) {}**. Одночасно з передачею відбувається прийом даних у регістр SPI_DR. Прийняті дані зчитуються з регістру даних командою **data_rx = SPIy → DR**. Для перевірки працездатності інтерфейсу SPI у режимі Master достатньо з'єднати виводи MISO та MOSI між собою (рис. 2) та порівняти передані дані з отриманими. Якщо вони співпадають, це означає, що інтерфейс працює правильно.

Керуючи значеннями бітів регістрів модуля SPI мікроконтролерів Cortex-M3, реалізують процес обміну даними. Для цього в регістрі налаштувань SPI_CR1 використовують прапори:

- CPHA (0 біт) — задає фазу тактового сигналу: 0 — захоплення даних по наростаючому фронту тактового сигналу, 1 — захоплення даних по зрізу тактового сигналу;
- CPOL (1 біт) — встановлює полярність тактового сигналу: 0 — 0, 1 — 1;
- MSTR (2 біт) — вибір режиму роботи інтерфейсу SPI: 0 — Slave (ведений), 1 — Master (ведучий);
- BR [2:0] (5-3 біти) — задають швидкість обміну даними;
- SPE (6 біт) — керує інтерфейсом: 0 — відключає SPI, 1 — включає SPI;
- LSBFIRST (7 біт) — задає напрямок передачі: 0 — молодшим розрядом вперед, 1 — старшим розрядом вперед;
- SSI (8 біт) — внутрішній вибір веденого, визначає значення NSS при SSM = 1;
- SSM (9 біт) — вибирає джерело сигналу NSS: 0 — із зовнішнього виводу, в цьому випадку програмне керування веденим пристроєм відключене, 1 — програмно від розряду SSI (коли біт SSM встановлено, сигнал NSS замінюється значенням біта SSI);
- RXONLY (10 біт) — спільно з бітом BIDIMODE визначає напрямок передачі у двопровідному однонаправленому режимі: 0 — передача та прийом, 1 — тільки прийом;

- DFF (11 біт) — визначає формат кадру даних: 0 — 8 біт, 1 — 16 біт;
- CRCNEXT (12 біт) — керує передачею коду CRC: 0 — дані, 1 — CRC;
- CRCEN (13 біт) — регулює апаратне обчислення CRC: 0 — заборонено, 1 — дозволено (для коректної операції цей біт повинен записуватися тільки при відключеному інтерфейсі SPI, коли SPE = 0);
- BIDIOE (14 біт) — спільно з бітом BIDIMODE керує двонаправленим режимом роботи інтерфейсу: 0 — прийом, 1 — передача (у режимі Master для передачі даних використовується вивід MOSI, в режимі Slave використовується вивід MISO);
- BIDIMODE (15 біт) — керує двонаправленим режимом роботи інтерфейсу: 0 — двопровідний однонаправлений режим, 1 — однопровідний двонаправлений режим. У регістрі стану SPI_SR використовують прапори:
- RXNE (0 біт) — встановлюється, якщо в буфері приймача є прийняті дані: 0 — буфер приймача порожній, 1 — буфер не порожній;
- TXE (1 біт) — встановлюється, якщо буфер передавача порожній і готовий прийняти нові дані: 0 — буфер передавача не порожній, 1 — буфер порожній;
- CRCERR (4 біт) — встановлюється апаратно за помилки контрольної суми CRC при прийомі даних;
- MODF (5 біт) — встановлюється, коли в режимі майстра до сигналу NSS прикладається низький потенціал;
- OVR (6 біт) — прапор переповнення, встановлюється при прийомі нових даних, якщо попередні не були прочитані: 1 — відбулося переповнення, 0 — переповнення не відбулося;
- BSY (7 біт) — прапор зайнятості, встановлюється, якщо інтерфейс зайнятий обміном даних або буфер даних передавача не порожній: 1 — SPI зайнятий, 0 — SPI не зайнятий.

Регістр даних SPI_DR складається із 16 розрядів даних. У цей регістр дані записуються для передачі і читаються з нього при прийомі.

У типовій шині SPI є n незалежних ліній, що використовуються для визначення конкретних пристроїв SPI, що беруть участь в обміні даними. На відміну від протоколу I²C, SPI не використовує для вибору адреси ведених пристроїв, але вимагає, щоб ця операція виконувалася фізичною лінією, де для вибору пристрою встановлюється значення високого логічного рівня. Тільки один ведений пристрій може бути активним. Саме тому на одній шині можуть працювати пристрої із різною швидкістю обміну даними.

Маючи дві роздільні лінії передачі даних, MOSI і MISO, SPI, по суті, дозволяє повнодуплексний зв'язок, оскільки

ведений пристрій може надсилати дані ведучому пристрою і водночас отримувати нові від нього. В одноранговій шині SPI (де є лише один ведучий і один ведений пристрій) сигнал SS може бути опущений, а відповідний вивід веденого пристрою підключений до «землі».

Кожна транзакція по шині починається з увімкнення лінії SCK відповідно до максимальної тактової частоти веденого пристрою. Як тільки лінія синхронізації починає генерувати сигнал, ведений пристрій встановлює лінію SS в значення високого логічного рівня, після чого може початися передача даних. Для передачі зазвичай задіяні два регістри із заданим форматом кадру даних: один у ведучому пристрої та один у веденому. Зазвичай починаючи зі старшого значущого біта в зсувному регістрі провідного пристрою побітно зсуються дані, поки молодший значущий біт не зсунеться в цьому ж самому регістрі на місце старшого значущого. У той самий час дані від веденого пристрою зсуються в молодший біт регістру даних ведучого. Після того, як біти регістра були зсунуті і передані таким чином, завершується обмін даними між ведучим і веденим пристроями. Якщо необхідно обмінятися великою кількістю даних, регістри зсуву перезавантажуються і процес повторюється. Передача може тривати протягом будь-якої кількості тактових циклів. Після завершення ведучий пристрій припиняє подачу тактового сигналу і повертає лінію SS у вихідний стан.

Передача даних через інтерфейс SPI між двома мікроконтролерами Cortex-M3

Розглянемо процес передачі даних між двома мікроконтролерами Cortex-M3 на прикладі мікросхеми STM32F103C4, для чого створимо в Proteus новий схемний проект і додамо в робоче поле на вкладці Schematic Capture дві мікросхеми STM32F103C4, два світлодіоди, два резистори (100 Ом). З'єднаємо компоненти так, як показано на рисунку 3, і напишемо мовою програмування C програмний код керування передачею даних. У мікроконтролері STM32F103C4 є лише один модуль SPI, до регістрів якого в Proteus у програмі ініціалізації звертаються із зазначенням номера інтерфейсу (наприклад, на ім'я SPI1_SR, SPI1_DR). Звертання без вказування номера інтерфейсу (на ім'я SPI_SR, SPI_DR) під час компіляції коду програми викликає помилку. Слід зазначити, що програма ініціалізації

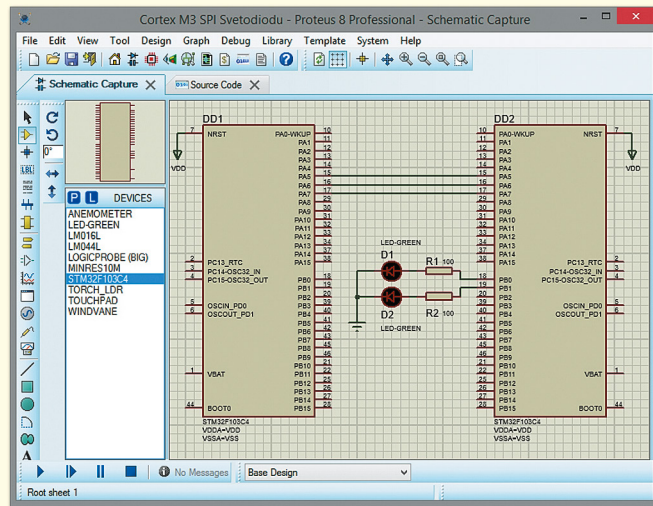


Рис. 3. Демонстраційна схема з використанням двох мікроконтролерів STM32F103C4 та світлодіодів

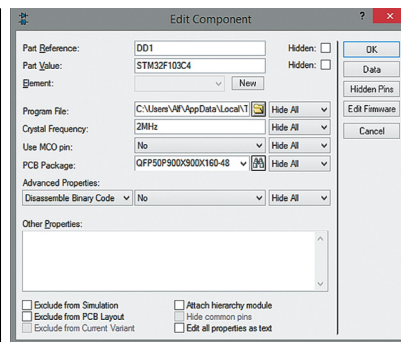


Рис. 4. Налаштування частоти роботи мікроконтролера DD1

писеться як для ведучого, так і для веденого мікроконтролера. Визначимо мікроконтролер DD1 як ведучий, а мікроконтролер DD2 як ведений. При цьому завданням ведучого буде посилання керуючого сигналу (кодової комбінації), завданням веденого пристрою — прийняття його і послідовно ввімкнути і вимкнути обидва світлодіоди.

Перед передачею та прийомом даних необхідно сформувати сигнали вибору для того пристрою, з яким проводитиметься обмін. Якщо ведений пристрій один, можна використовувати сигнал вибору NSS. Якщо ж ведених пристроїв кілька, доведеться кожному з них формувати індивідуальний сигнал вибору. Як джерела таких сигналів можуть виступати вільні виводи портів GPIO.

Для зручності з'єднання можна відобразити у робочій області мікросхеми DD1. Для чого виділимо її лівою кнопкою миші, правою кнопкою миші викличемо контекстне меню та виберемо в ньому пункт X-Mirror. В результаті мікросхема буде відображена по горизонталі у робочому полі проекту.

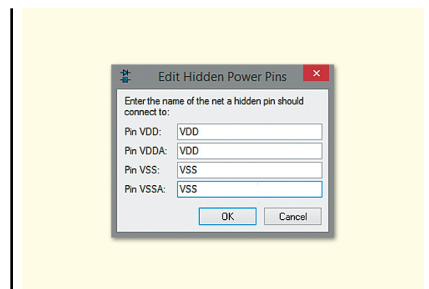


Рис. 5. Підключення ланцюгів живлення до прихованих виводів мікроконтролера у вікні Edit Hidden Power Pins

У такому положенні виводи PA4 (NSS), PA5 (SCK), PA6 (MISO), PA7 (MOSI) обох мікросхем з'єднати набагато простіше, при цьому з'єднувальні лінії на схемі будуть коротшими. Для кожного мікроконтролера подвійним клацанням лівої кнопки миші відкриємо вікно налаштувань **Edit Component** і в полі Crystal Frequency встановимо частоту роботи 2 МГц (рис. 4). Кнопкою **Hidden Pins** для кожного мікроконтролера відкриємо вікно **Edit Hidden Power Pins**, де здійснимо узгодження прихованих виводів живлення та ланцюгів живлення (рис. 5). У нашому прикладі в полях Pin VDD і Pin VDDA введемо значення VDD, а в полях Pin VSS і Pin VSSA — значення VSS. Натисніть кнопку **OK** для набрання змінами чинності.

Перед виконанням передачі необхідно передусім дозволити роботу модуля SPI. Для цього слід встановити в 1 шостий біт регістра SPI_CR1. Режим роботи визначається станом другого біта цього регістру: якщо біт встановлено в 1, мікроконтролер працює в режимі Master, якщо скинуто в 0 — в режимі

Таблиця 2. Завдання частоти тактового сигналу SCK			
BR5	BR4	BR3	Частота сигналу SCK
0	0	0	fPCLK/2
0	0	1	fPCLK/4
0	1	0	fPCLK/8
0	1	1	fPCLK/16
1	0	0	fPCLK/32
1	0	1	fPCLK/64
1	1	0	fPCLK/128
1	1	1	fPCLK/256

Примітка. fPCLK — це тактова частота мікроконтролера.

Slave. Програмно (мовою програмування C) ці дії можна реалізувати наступним чином:

```
SPI1->CR1 = (1<<6) | (1<<2); // ввімкнення SPI1 у ведучому мікроконтролері
SPI1->CR1 = (1<<6) | (0<<2); // ввімкнення SPI1 у веденому мікроконтролері
```

Передача даних здійснюється в такий спосіб. Під час запису до регістру даних SPI ведучого мікроконтролера запускається генератор тактового сигналу модуля SPI. Дані починають побітно видаватися на вивід MOSI пристрою Master і відповідно надходять на вивід MOSI пристрою Slave. Порядок передачі даних бітів визначається станом сьомого біта регістра LSBFIRST. Якщо біт скинутий у 0, першим передається молодший біт даних, якщо встановлено в 1 — старший біт. Частота тактового сигналу SCK і швидкість передачі даних через інтерфейс визначаються станом п'ятого, четвертого і третього бітів регістру BR ведучого мікроконтролера (табл. 2), оскільки саме він є джерелом тактового сигналу. Для веденого мікроконтролера стан цих бітів немає значення.

Напишемо мовою програмування C наступний код програми ініціалізації для ведучого мікроконтролера:

```
#include <stm32f1xx.h> // підключення заголовочного файлу

int main() { // початок програми
RCC->APB2ENR |= RCC_APB2ENR_SPI1EN; // вмикаємо тактування SPI1
// під'єднання ліній порту PA до шини APB2
RCC->APB2ENR |= RCC_APB2ENR_IOPAEN;

// налаштування ліній PA5 (SCK), PA6 (MISO), PA7 (MOSI) порту PA
// біти CNF5, CNF7 = 10, біти MODE5, MODE7 = 11
// біти CNF6 = 10, біти MODE6 = 00
GPIOA->CRL = 0xb8b33333;

// конфігурація SPI1
SPI1->CR1 = (0<<11) // формат кадру даних 8 біт
| (0<<7) // напрямок передачі молодшим розрядом вперед
| (1<<9) // вмикаємо програмне керування сигналом NSS
| (1<<8) // NSS у високому стані
| (1<<5)|(0<<4)|(0<<3) // швидкість передачі даних: F_PCLK/32
| (1<<2) // режим роботи Master (ведучий)
| (0<<1)|(0<<0) // полярність (0) та фаза тактового сигналу (0)
| (1<<6); // вмикаємо SPI

// після встановлення в 1 прапора TXE регістра SPI1_SR
while(!(SPI1->SR & SPI_SR_TXE)) { }
// заповнюємо буфер передавача
SPI1->DR = 0b11111110; }
```

Для веденого мікроконтролера було написано наступний код програми ініціалізації:

```
#include <stm32f1xx.h> // підключення заголовочного файлу

void delay (int dly) // підпрограма формування затримки
{ int i;
for(; dly>0; dly--);
for ( i=0; i<10000; i++); }

int main() { // початок програми
RCC->APB2ENR |= RCC_APB2ENR_SPI1EN; // вмикаємо тактування SPI1
// під'єднання ліній порту PA до шини APB2
RCC->APB2ENR |= RCC_APB2ENR_IOPAEN;
// під'єднання ліній порту PB до шини APB2
RCC->APB2ENR |= RCC_APB2ENR_IOPBEN;

// налаштування ліній PA5 (SCK), PA6 (MISO), PA7 (MOSI) порту PA
// біти CNF5, CNF7 = 10, біти MODE5, MODE7 = 00
// біти CNF6 = 10, біти MODE6 = 11
GPIOA->CRL = 0x8b833333;
// налаштування ліній порту PB
// біти CNF = 10, біти MODE = 00
GPIOB->CRL = 0x88888888;

// конфігурація SPI1
SPI1->CR1 = (1<<6) | (0<<2); // вмикаємо SPI, режим роботи Slave (ведений)

// після встановлення в 1 прапора RXNE регістра SPI1_SR
while(!(SPI1->SR & SPI_SR_RXNE)) { }
// читаємо дані з регістру SPI1_DR
if (SPI1->DR != 0b11111110) // якщо кодова комбінація не отримана
GPIOB->ODR= (0<<0)|(0<<1); // посилаємо лог. 0 на лінії PB0 та PB1 порту PB
else if (SPI1->DR==0b11111110) // якщо кодова комбінація отримана
{while (1) // нескінченний цикл
{GPIOB->ODR=(1<<0)|(0<<1); // увімкнути світлодіод D1
delay(10); // затримка
GPIOB->ODR=(0<<0)|(1<<1); // погасити світлодіод D1 та увімкнути світлодіод D2
delay(10); } } // затримка
```

У Proteus програма ініціалізації мікроконтролера вводиться на вкладці **Source Code**. Для її відкриття виділяють лівою кнопкою миші символ ведучого мікроконтролера у робочому полі схемного проекту, правою кнопкою миші викликають контекстне меню та вибирають у ньому пункт **Edit Source Code**. В результаті відкривається вікно **New Firmware Project** (рис. 6), в якому встановлюються такі параметри:

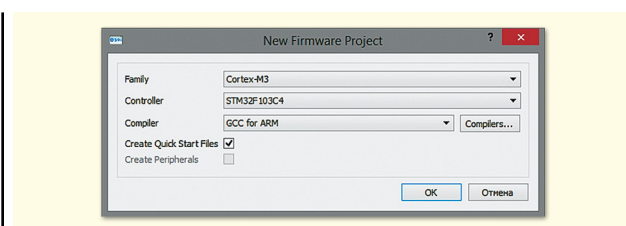


Рис. 6. Вікно New Firmware Project

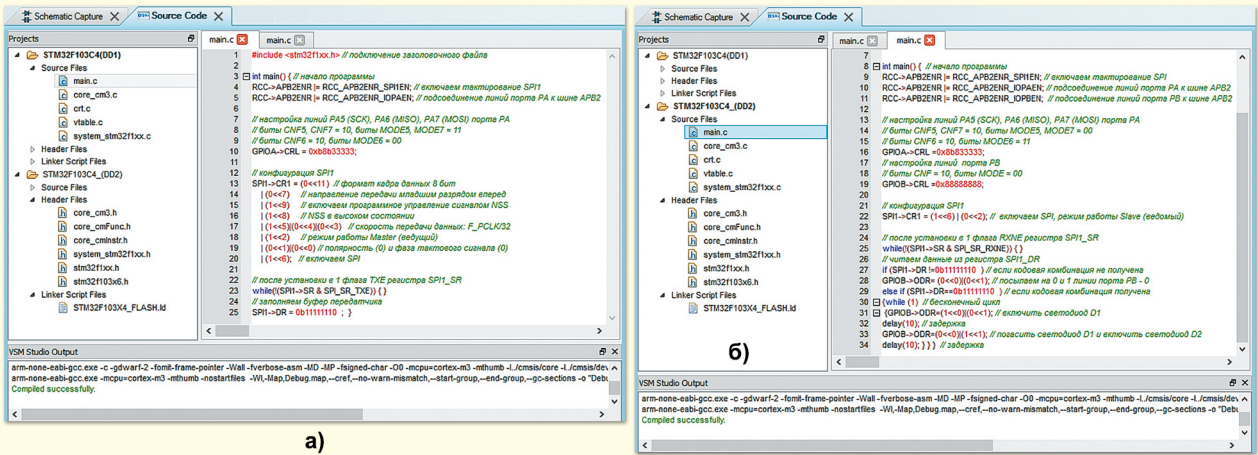


Рис. 7. Вкладка Source Code, код програми ініціалізації: ведучого мікроконтролера (а); веденого мікроконтролера (б)

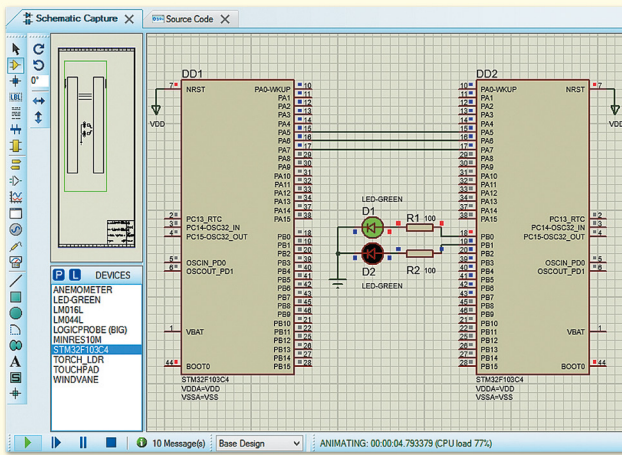


Рис. 8. Моделювання передачі даних між двома мікроконтролерами STM32F103C4 через інтерфейс SPI у програмному середовищі Proteus

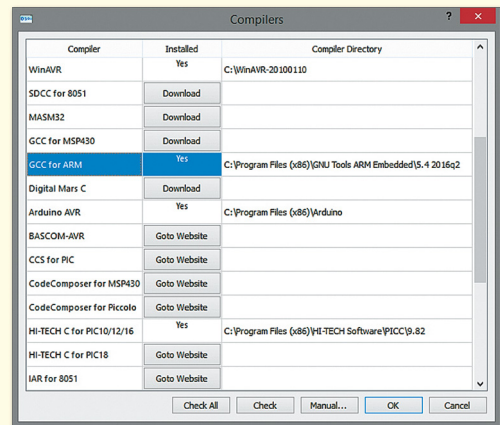


Рис. 9. Вікно Compilers

- Family — сімейство мікроконтролера (Cortex-M3);
- Controller — модель мікроконтролера (STM32F103C4);
- Compiler — компілятор (GCC for ARM);
- Create Quick Start Files — автоматичне створення заготовки програмного коду для мікроконтролера (встановити прапорець у полі).

Після того, як всі значення призначені, натиснемо на кнопку **OK**, в результаті в проект буде додано вкладку **Source Code**, на якій необхідно ввести код програми керування ведучим мікроконтролером (рис. 7а). Перейти на вкладку для написання програми ініціалізації веденого мікроконтролера (рис. 7б) можна так само, як і для ведучого, проте в цьому випадку на вкладку буде додано окрему закладку. Після того як у робочій області проекту зібрано схему, а на вкладці **Source Code** введено код програми для всіх мікроконтролерів проекту, можна запуснути моделювання (рис. 8).

Процес моделювання запускається кнопкою **Run the simulation**, яка знаходиться в нижньому лівому кутку вікна програми. Щоб тимчасово призупинити процес симуляції, використовують кнопку **Pause the simulation or start up at time 0 if stopped**. Зупинити моделювання можна кнопкою **Stop the simulation**. Якщо компілятор у лістингу програми не виявить помилок, для кожного мікроконтролера на диску комп'ютера у робочій папці проекту буде створено *.elf-файл. Звіт про помилки, які виникли внаслідок

компіляції програмного коду, відображається в нижній частині вкладки **Source Code** на панелі **VSM Studio Output**.

Для компіляції коду програми, написаного мовою програмування C, для мікроконтролерів STM32 Cortex-M3 в Proteus застосовується компілятор GCC for ARM. Слід зазначити, що за замовчуванням у Proteus цей компілятор не встановлено. Для запуску інсталяції GCC for ARM потрібно натиснути у вікні **Compilers** у рядку GCC for ARM на кнопку **Download** та дочекатися закінчення завантаження. Після чого буде запущена програма установки, в процесі якої в діалоговому режимі користувачеві буде запропоновано задати налаштування компілятора, що встановлюється.

Відкрити вікно **Compilers**, де відображається список встановлених у системі компіляторів, можна за допомогою меню **System/Compilers Configuration** основного меню схемного редактора (при цьому необхідно перебувати на вкладці **Source Code**). Компілятор встановлений, якщо в полі **Installed** у рядку з його назвою вказано значення **Yes**, інакше в цьому полі знаходиться кнопка **Download**, за допомогою якої виконується інсталяція. Як бачимо на рисунку 9, у прикладі компілятор GCC for ARM вже встановлено.

Якщо компіляція пройшла успішно, а файли *.elf не були створені в робочій папці проекту, їх розташування можна визначити наступним чином. Перейдіть на вкладку **Simulation**

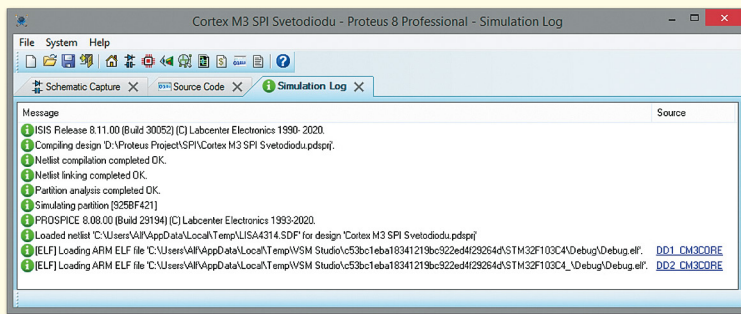


Рис. 10. Вкладка Simulation Log

Log (рис. 10), яка буде додана в проєкт після закінчення моделювання, і знайдіть рядок [ELF] Loading ARM ELF file. У цьому рядку і вказано шлях до директорії розміщення створених файлів. У нашому прикладі буде два такі рядки, оскільки у проєкті два мікроконтролери, для кожного з них після вдалої компіляції програмного коду буде створено в окремій директорії свій *.elf-файл. Якщо вкладка **Simulation Log** не відкрилася автоматично, її відкривають вручну клацанням лівої кнопки миші по рядку, що відображає кількість інформаційних та попереджувальних повідомлень, що знаходиться в нижньому лівому куті вікна **Schematic Capture** (у нашому прикладі по рядку 10 Message(s), рис. 8).

Проаналізуємо роботу демонстраційної схеми, наведеної на рисунку 8. На вкладці **Source Code** програмним шляхом було дано вказівки ведучому мікроконтролеру через інтерфейс SPI1 надіслати веденому мікроконтролеру кодову комбінацію. Програма веденого мікроконтролера знаходиться в очікуванні установки в 1 прапора RXNE регістра SPI1_SR, і як тільки через інтерфейс SPI1 отримана кодова комбінація від ведучого мікроконтролера, запускається підпрограма, що направляє вказівки веденому мікроконтролеру вивести на лінії порту PB0 і PB1 значення «лог. 1» та «лог. 0» відповідно, які утримуються на цих лініях за допомогою команди затримки. Потім на лінії порту PB0 і PB1 виводяться значення «лог. 0» та «лог. 1» відповідно, далі після затримки виконання цього фрагмента програми повторюється. Після запуску моделювання за допомогою двох світлодіодів, підключених до ліній порту PB0 та PB1, ми можемо перевірити правильність роботи програми — світлодіоди підсвічуються та гаснуть по черзі.

Передача ініціюється записом переданих даних (у 8- або 16-бітному форматі) в буферний регістр передавача, тобто в регістр даних SPI_DR. Після

цього автоматично скидається перший біт регістра SPI_SR (TXE = 0) — це показує, що буфер передавача не порожній. При цьому встановлюється в 1 і сьомий біт регістра SPI_SR (BSY = 1), що означає, що інтерфейс зайнятий. Далі дані пересилаються з регістра SPI_DR в зсувний регістр передавача. Передача даних здійснюється за допомогою лінії MOSI та MISO.

Зсувні регістри ведучого та веденого пристрою об'єднуються лініями зв'язку в єдиний зсувний регістр. Процесом передачі керує ведучий пристрій, формуючи тактові імпульси через лінію SCK. Одночасно з передачею даних від ведучого до веденого пристрою відбувається прийом даних ведучим пристроєм від веденого по кільцю. Таким чином, за один повний цикл зсуву всіх розрядів регістру відбувається обмін даними між двома пристроями. При написанні програмного коду необхідно вказувати номер модуля, до якого ми звертаємось. У прикладі це SPI1.

Після запуску програма ініціалізації ведучого мікроконтролера включає тактування модуля SPI1 (команда `RCC → APB2ENR |= RCC_APB2ENR_SPI1EN;`) і порту PA (команда `RCC → APB2ENR |= RCC_APB2ENR_IOPAEN;`), через лінію PA7 якого буде вестись передача даних. Далі виконується запис у відповідний розряд GPIOA_CRL потрібної комбінації біт для налаштування режиму роботи лінії GPIO на прийом або передачу інформації. Запис `GPIOA → CRL = 0xb8b33333;` в кодї програми означає, що лінія PA6 порту PA мікроконтролера STM32F103C4 працює на введення даних — для цієї лінії в полі MODE записано значення 00 (прийом даних), а в полі CNF — значення 10 (вихід з підтягуючим резистором). Двійковий код 1000 відповідає шістнадцятковому значенню — 8, яке записано в шостий розряд регістра конфігурації GPIOA_CRL ліній 0–7 порту PA. Лінії PA7 і PA5 працюють на виведення даних, для чого

для кожної окремої лінії в полі MODE записано значення 11 (лінія працює на виведення даних з максимальною частотою перемикання 50 МГц), а в полі CNF значення 10 (цифровий вихід з альтернативною функцією). Двійковий код 1011 відповідає шістнадцятковому значенню b, яке записано в п'ятий і сьомий розряди регістра конфігурації GPIOA_CRL (b8b33333).

Лінії PA0–PA4 працюють на виведення даних, для чого для кожної окремої лінії в полі MODE записано значення 11 (лінія працює на виведення даних з максимальною частотою перемикання 50 МГц), а в полі CNF — 00 (цифровий вихід). Двійковий код 0011 відповідає шістнадцятковому значенню — 3, яке записано у відповідні розряди регістра конфігурації GPIOA_CRL.

Далі програма ініціалізації ведучого мікроконтролера дозволяє роботу модуля SPI1 (команда `SPI1 → CR1 = (1<<6);`), визначає режим його роботи (команда `SPI1 → CR1 = (1<<2);`), формат кадру даних (команда `SPI1 → CR1 = (0<<11);`), напрямок передачі (команда `SPI1 → CR1 = (0<<7);`), швидкість передачі даних (`SPI1 → CR1 = (1<<5)|(0<<4)|(0<<3);`), полярність та фазу тактового сигналу (`SPI1 → CR1 = (0<<1)|(0<<0);`), включає програмне управління сигналом NSS (команда `SPI1 → CR1 = (1<<9);`).

Запис даних у регістр SPI1_DR (команда `SPI1 → DR = 0b11111110;`) виконується після встановлення в 1 прапора TXE регістра SPI1_SR. Операцію запису в регістр SPI1_DR проводиться заповнення буфера передавача кадром даних 8 біт, при цьому встановлюється в 1 прапор BSY регістра SPI1_SR, а TXE скидається в 0. Після цього значення буфера передавача завантажуються в зсувний регістр і запускається процес передачі даних по SPI, TXE встановлюється в 1, що свідчить про можливість завантажити нове значення.

Програма ініціалізації веденого мікроконтролера включає тактування модуля SPI1 (команда `RCC → APB2ENR |= RCC_APB2ENR_SPI1EN;`), порту PB (команда `RCC → APB2ENR |= RCC_APB2ENR_IOPBEN;`) і порту PA2; виступає прийом даних. Далі виконується запис у відповідний розряд GPIOA_CRL потрібної комбінації біт для налаштування режиму роботи лінії GPIO на прийом або передачу інформації. Запис `GPIOA → CRL = 0xb8b33333;` у кодї програми означає, що лінія PA6 порту PA мікроконтролера STM32F103C4 працює на виведення даних — для цієї лінії в полі MODE записано значення 11 (лінія

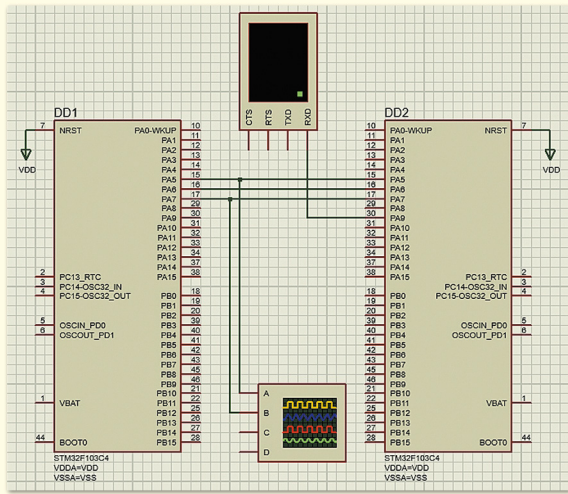


Рис. 11. Демонстраційна схема з використанням двох мікроконтролерів STM32F103C4, віртуального терміналу та осцилографа

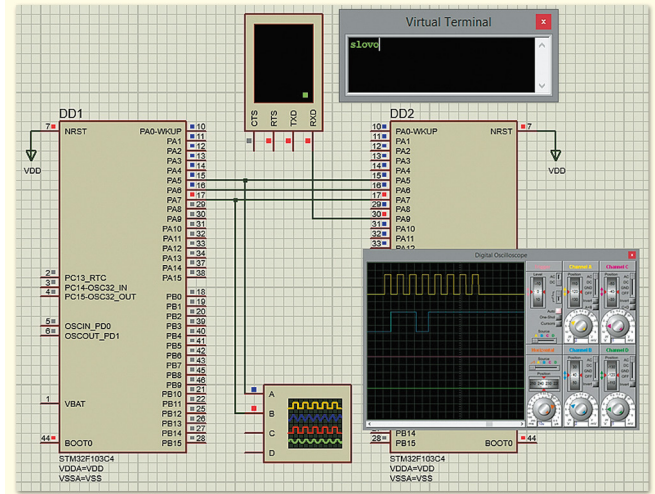


Рис. 14. Прийм веденим мікроконтролером через інтерфейс SPI даних та їх виведення на екран віртуального терміналу через інтерфейс USART

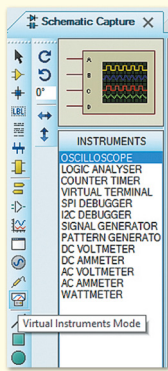


Рис. 12. Відкриття панелі INSTRUMENTS за допомогою піктограми Virtual Instruments Mode

цюють на введення даних, для чого для кожної окремої лінії в полі MODE записано значення 00 (прийм даних), а в полі CNF — значення 10 (вхід з підтягуючим резистором). Двійковий код 1000 відповідає шістнадцятковому значенню — 8, яке записано в п'ятий і сьомий розряди регістра конфігурації GPIOA_CRL (8b833333). Лінії PA0–PA4 працюють на виведення даних, для чого для кожної окремої лінії в полі MODE записано значення 11 (лінія працює на виведення даних з максимальною частотою перемикавання 50 МГц), а в полі CNF — 00 (цифровий вихід). Двійковий код 0011 відповідає шістнадцятковому значенню — 3, яке записано у відповідні розряди регістра конфігурації GPIOA_CRL.

Далі налаштовується режим роботи ліній PB0-PB7 порту PB (команда GPIOB → CRL = 0x88888888;) — лінії працюють на виведення даних. Після цього програма ініціалізація веденого мікроконтролера дозволяє роботу модуля SPI1 (команда SPI1 → CR1 = (1<<6)); і визначає режим його роботи (команда SPI1 → CR1 = (0<<2);). Читання даних з регістру SPI1_DR виконується після встановлення 1 прапора RXNE регістра SPI1_SR.

Розглянемо ще один приклад, у якому ведучий мікроконтролер пересилає через інтерфейс SPI1 комбінацію символів англійського алфавіту веденому мікроконтролеру, який виводить прийняті дані через USART [11] на екран віртуального терміналу. Для чого створимо в Proteus новий схемний проект, додамо до робочого поля на вкладці Schematic Capture дві мікросхеми STM32F103C4 і з'єднаємо їх так, як показано на рисунку 11.

Клацнувши лівою кнопкою миші на панелі INSTRUMENTS (рис. 12) рядок з назвою VIRTUAL TERMINAL, а потім рядок OSCILLOSCOPE, розмістимо з допомогою миші у робочому полі проекту віртуальний термінал та віртуальний осцилограф, яким скористаємося для перегляду осцилограми. Приєднаємо вивід PA9 (TXD) мікроконтролера DD2 до виводу RXD віртуального терміналу, а виводи PA5 (SCK) і PA7 (MOSI) до каналів A та B осцилографа [9].

У вікні налаштувань Edit Component у полі Crystal Frequency для кожного мікроконтролера встановимо частоту його роботи 2 МГц. Кнопкою Hidden Pins відкриємо вікно Edit Hidden Power Pins, де виконаємо узгодження прихованих виводів живлення та ланцюгів живлення.

У вікні налаштувань терміналу (рис. 13) визначимо значення наступних параметрів:

- Baud Rate — швидкість обміну даними (9 600 бод);
- Data Bits — формат пакету даних (8 біт);
- Parity — контроль парності (відсутня — NONE);
- Stop Bits — кількість стопових бітів (1).

Вікна налаштувань відкривають подвійним клацанням лівої кнопки миші по розміщеному на схемі компоненту.

Напишемо мовою програмування C для ведучого (DD1) і веденого (DD2) мікроконтролерів програмний код керування передачею даних. Для отримання осцилограми роботи інтерфейсу SPI налаштуємо параметри осцилографа так, як показано на рисунках 14 та 16.

Код програми ініціалізації для ведучого мікроконтролера (рис. 15a):

працює на виведення даних з максимальною частотою перемикавання 50 МГц, а в полі CNF — значення 10 (цифровий вихід з альтернативною функцією). Двійковий код 1011 відповідає шістнадцятковому значенню b, яке записано в шостий розряд регістра конфігурації GPIOA_CRL ліній 0–7 порту PA. Лінії PA7 і PA5 працюють на введення даних з максимальною частотою перемикавання 50 МГц, а в полі CNF — значення 10 (цифровий вихід з альтернативною функцією). Двійковий код 1000 відповідає шістнадцятковому значенню 8, яке записано в п'ятий і сьомий розряди регістра конфігурації GPIOA_CRL (8b833333). Лінії PA0–PA4 працюють на виведення даних, для чого для кожної окремої лінії в полі MODE записано значення 11 (лінія працює на виведення даних з максимальною частотою перемикавання 50 МГц), а в полі CNF — 00 (цифровий вихід). Двійковий код 0011 відповідає шістнадцятковому значенню — 3, яке записано у відповідні розряди регістра конфігурації GPIOA_CRL.

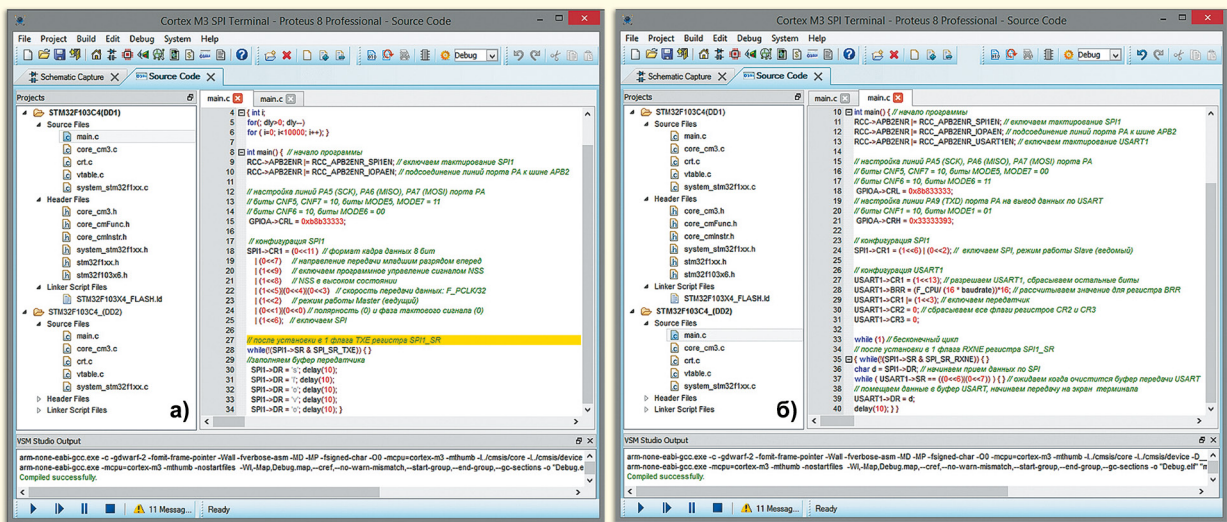


Рис. 15. Передача даних між двома пристроями через інтерфейс SPI. Вкладка Source Code, код програми ініціалізації: ведучого мікроконтролера (а); веденого мікроконтролера (б)

```
#include <stm32f1xx.h> // підключення заголовочного файлу

void delay (int dly) // підпрограма формування затримки
{ int i;
for(; dly>0; dly--)
for ( i=0; i<10000; i++); }

int main() { // початок програми
RCC->APB2ENR |= RCC_APB2ENR_SPI1EN; // вмикаємо тактування SPI1
// під'єднання ліній порту PA до шини APB2
RCC->APB2ENR |= RCC_APB2ENR_IOPAEN;

// налаштування ліній PA5 (SCK), PA6 (MISO), PA7 (MOSI) порту PA
// біти CNF5, CNF7 = 10, біт MODE5, MODE7 = 11
// біти CNF6 = 10, біти MODE6 = 00
GPIOA->CRL = 0xb8b33333;

// конфігурація SPI1
SPI1->CR1 = (0<<11) // формат кадру даних 8 біт
| (0<<7) // напрямок передачі молодшим розрядом вперед
| (1<<9) // вмикаємо програмне керування сигналом NSS
| (1<<8) // NSS у високому стані
| (1<<5)|(0<<4)|(0<<3) // швидкість передачі даних: F_PCLK/32
| (1<<2) // режим роботи Master (ведучий)
| (0<<1)|(0<<0) // полярність (0) и фаза тактового сигналу (0)
| (1<<6); // вмикаємо SPI

// після встановлення в 1 прапора TXE регістра SPI1_SR
while(!(SPI1->SR & SPI_SR_TXE)) { }
// заповнюємо буфер передавача
SPI1->DR = 's'; delay(10);
SPI1->DR = 'l'; delay(10);
SPI1->DR = 'o'; delay(10);
SPI1->DR = 'v'; delay(10);
SPI1->DR = 'o'; delay(10); }
```

Код програми ініціалізації для веденого мікроконтролера (рис. 15б):

```
#include <stm32f1xx.h> // підключення заголовочного файлу
#define F_CPU 2000000 // робоча частота контролера
#define baudrate 9600L // швидкість обміну даними

void delay (int dly) // підпрограма формування затримки
```

```
{ int i;
for(; dly>0; dly--)
for ( i=0; i<10000; i++); }

int main() { // початок програми
RCC->APB2ENR |= RCC_APB2ENR_SPI1EN; // вмикаємо тактування SPI1
// під'єднання ліній порту PA до шини APB2
RCC->APB2ENR |= RCC_APB2ENR_IOPAEN;
RCC->APB2ENR |= RCC_APB2ENR_USART1EN; // вмикаємо тактування USART1

// налаштування ліній PA5 (SCK), PA6 (MISO), PA7 (MOSI) порту PA
// біти CNF5, CNF7 = 10, біти MODE5, MODE7 = 00
// біти CNF6 = 10, біти MODE6 = 11
GPIOA->CRL = 0xb8b33333;
// налаштування лінії PA9 (TXD) порту PA на вивід даних по USART
// біти CNF1 = 10, біти MODE1 = 01
GPIOA->CRH = 0x33333393;

// конфігурація SPI1
SPI1->CR1 = (1<<6) | (0<<2); // вмикаємо SPI, режим роботи Slave (ведений)

// конфігурація USART1
USART1->CR1 = (1<<13); // дозволяємо USART1, скидаємо інші біти
USART1->BRR = (F_CPU / (16 * baudrate))*16; // розраховуємо значення для регістра BRR
USART1->CR1 |= (1<<3); // вмикаємо передавач
USART1->CR2 = 0; // скидаємо всі прапори регістрів CR2 та CR3
USART1->CR3 = 0;

while (1) // нескінченний цикл
// після встановлення в 1 прапор RXNE регістра SPI1_SR
{ while(!(SPI1->SR & SPI_SR_RXNE)) { }
char d = SPI1->DR; // починаємо прийом даних по SPI
// очікуємо, коли очиститься буфер передачі USART
while ( USART1->SR == ((0<<6)|(0<<7)) ) { }
// поміщаємо дані в буфер USART, починаємо передачу на екран терміналу
USART1->DR = d;
delay(10); } }
```


Після того, як у робочій області проекту зібрана схема, а на вкладці **Source Code** введено код програми, можна запуснути моделювання, для чого передбачена кнопка **Run the simulation** у лівому нижньому куті вікна програми. Як бачимо на рисунку 15, компіляція закінчена успішно — в коді програми відсутні помилки. Розроблений проєкт (рис. 14) функціонує правильно — на екран віртуального терміналу було виведено вказану в коді програми комбінацію символів. Осцилограми передачі через інтерфейс SPI між мікроконтролерами DD1 і DD2 показані на рисунку 16. Таким чином, щоб передати дані через SPI між двома мікроконтролерами STM32F103C4, у ведучому мікроконтролері необхідно:

- увімкнути тактування вибраного модуля SPIx (де x — номер модуля) та порту вводу/виводу, через який вестиметься передача даних;
- налаштувати режим роботи лінії синхронізації та передачі на виводи даних з альтернативною функцією, записавши у відповідні розряди регістрів конфігурації ліній GPIO потрібну комбінацію біт;
- дозволити роботу з вибраним модулем SPIx;
- керуючи значеннями бітів регістру SPIx_CR1, перевести інтерфейс SPIx в режим Master (прапор MSTR), і задати швидкість передачі (прапор BR [2:0]), розмір кадру даних (прапор DFF), напрямок передачі (прапор LSBFIRST), джерело сигналу NSS (прапор SSM), полярність (прапор CPOC) та фазу (прапор CPHA) тактового сигналу;
- після встановлення в 1 прапора TXE регістра SPIx_SR записати дані в регістр SPIx_DR.

Для налаштування інтерфейсу SPI в режим веденого пристрою виконують такі дії:

- включають тактування вибраного модуля SPIx (де x - номер модуля) і порту вводу/виводу, через який буде вестись прийом даних;
- налаштовують режим роботи лінії синхронізації та прийому даних на виводи даних, записавши відповідні розряди регістрів конфігурації ліній GPIO потрібну комбінацію біт;
- дозволяють роботу з вибраним модулем SPIx;
- переводять інтерфейс SPI в режим Slave;
- після встановлення в 1 прапора RXNE регістра SPIx_SR читають дані з регістра SPIx_DR.

Важливо звернути увагу на те, що шина APB2 може працювати з максимальною швидкістю 72 МГц, а швидкість шини APB1 обмежена частотою 36 МГц. За замовчуванням тактування вимкнено, і перед початком роботи з будь-яким периферійним пристроєм необхідно дозволити подачу на нього тактового сигналу, що виконується розробником програмно у регістрах RCC_APB2ENR, RCC_APB1ENR.

Шина APB2 обслуговує такі периферійні пристрої:

- порти вводу/виводу загального призначення (GPIO);
- альтернативні функції портів вводу/виводу (AFIO);
- контролери послідовних інтерфейсів (USART1 та SPI1);
- контролер аналого-цифрових перетворювачів (ADC1 та ADC2);
- таймер-лічильник (TC1);
- зовнішні переривання (EXTI).

Шина APB1 обслуговує такі периферійні пристрої:

- контролери інтерфейсів (USART2, USART3, SPI2, SPI3, I2C1, I2C2);
- сторожові таймери — IWDТ (незалежний) та WWDТ (віконний);

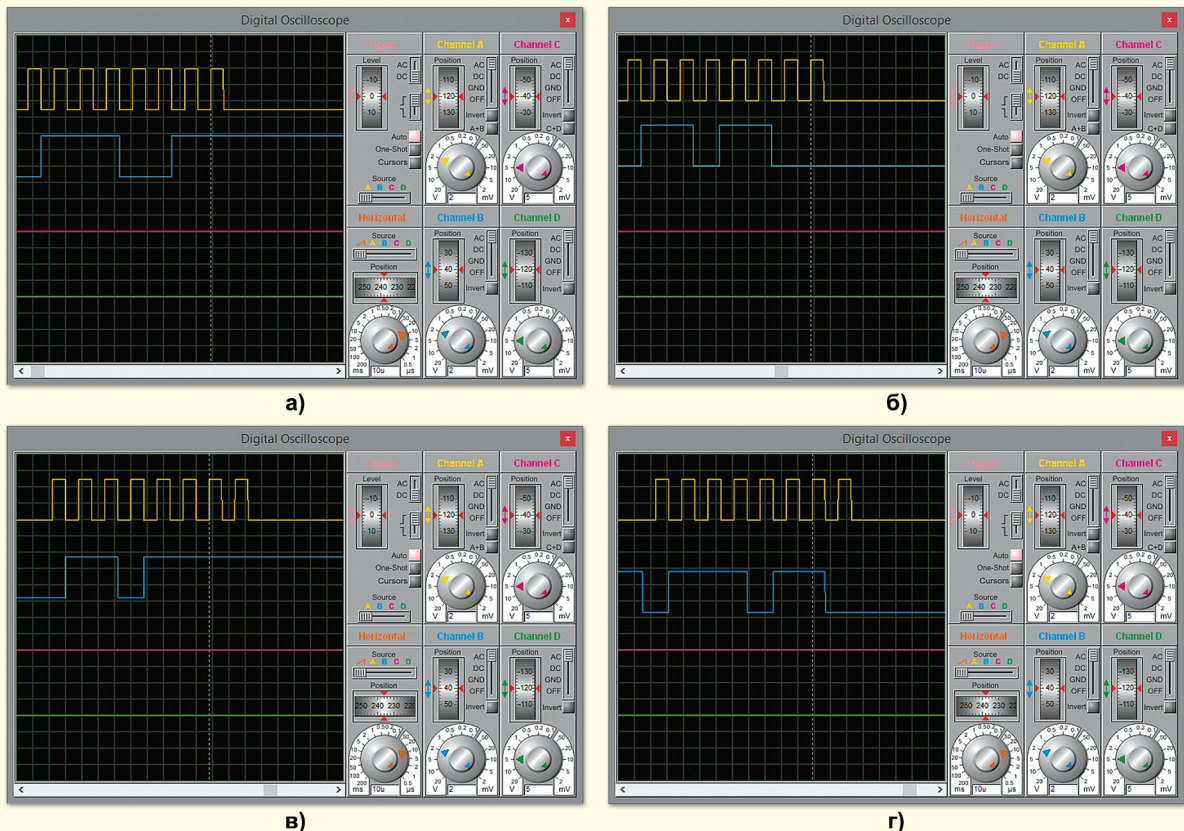


Рис. 16. Осцилограми передачі даних через інтерфейс SPI. Передача символів: s (а); l (б); o (в); v (г), двійкові коди яких (01110011, 01101100, 01101111 та 01110110 відповідно) на осцилограмі відображені блакитним кольором

- таймери-лічильники (TC2, TC3, TC4);
- контролери послідовних інтерфейсів (USB та CAN);
- контролер керування електроживленням (PWR);
- регістри для резервного копіювання даних (BKP).

Передача даних через інтерфейс SPI між трьома мікроконтролерами Cortex-M3

Розглянемо процес передачі даних через інтерфейс SPI між кількома мікроконтролерами Cortex-M3 на прикладі мікросхем STM32F103C4, для чого створимо в Proteus новий схемний проект і додамо в робоче поле три такі мікросхеми, два світлодіоди, два резистори (100 Ом), два символи «землі». При цьому мікросхема DD1 виконуватиме роль ведучого мікроконтролера, а мікросхеми DD2 і DD3 — роль ведених. З'єднаємо компоненти, як показано на рисунку 17, і напишемо мовою програмування C програмний код керування передачею даних. Необхідно відзначити, що програма ініціалізації пишеться як для ведучого, так і для обох ведених мікроконтролерів.

При цьому завдання майстра — надіслати керуючий сигнал (кодову комбінацію) спочатку першому веденому пристрою, а потім другому. Перемикання між веденими пристроями виконується установкою ведучим мікроконтролером «лог. 1» на лінії NSS (PA4) ведених мікроконтролерів. При цьому при передачі даних через інтерфейс SPI1 між трьома мікроконтролерами в нашому прикладі цей сигнал видається на лінії PA0, PA1 порту PA ведучого мікроконтролера. Завдання кожного веденого пристрою — прийняти кодову комбінацію, після чого запустити цикл, у якому виконується послідовне ввімкнення та вимкнення світлодіода.

Для зручності з'єднання в робочій області проекту відобразимо по горизонталі мікросхему DD1. У вікні налаштувань **Edit Component** для кожного мікроконтролера в полі Crystal Frequency встановимо частоту роботи 2 МГц. Кнопкою **Hidden Pins** для кожного мікроконтролера відкриємо вікно **Edit Hidden Power Pins**, де виконаємо узгодження прихованих виводів живлення та ланцюгів живлення.

Напишемо мовою програмування C наступний код програми ініціалізації для ведучого мікроконтролера DD1:

```
#include <stm32f1xx.h> // підключення заголовочного файлу

void delay (int dly) // підпрограма формування затримки
{ int i;
  for (; dly>0; dly--);
  for ( i=0; i<10000; i++); }

int main() // початок програми
{ RCC->APB2ENR |= RCC_APB2ENR_SPI1EN; // вмикаємо тактування SPI1
  // під'єднання ліній порту PA до шини APB2
  RCC->APB2ENR |= RCC_APB2ENR_IOPAEN;

  // налаштування ліній PA5 (SCK), PA6 (MISO), PA7 (MOSI), PA0-PA4
  // порту PA ведучого мікроконтролера
  // біти CNF5, CNF7 = 10 (цифровий вихід з альтернативної функцією),
  // біти MODE5, MODE7 = 11 (виведення даних із частотою перемикання 50 МГц)
  // біти CNF6 = 10 (вхід з підтягуючим резистором),
  // біти MODE6 = 00 (прийом даних)
  // біти CNF0-CN4 = 00 (цифровий вихід),
  // біти MODE0-MODE4 = 11 (виведення даних із частотою перемикання 50 МГц)
  GPIOA->CRL =0xb8b33333;

  // конфігурація SPI1
  SPI1->CR1 = (0<<11) // формат кадру даних 8 біт
  | (0<<7) // напрямок передачі молодшим розрядом вперед
  | (1<<9) // вмикаємо програмне керування сигналом NSS
  | (1<<8) // NSS у високому стані
  | (1<<5)|(0<<4)|(0<<3) // швидкість передачі даних: F_PCLK/32
  | (1<<2) // режим роботи Master (ведучий)
  | (0<<1)|(0<<0) // полярність (0) та фаза тактового сигналу (0)
  | (1<<6); // вмикаємо SPI

  // вибираємо для передачі даних по SPI
  // перший ведений мікроконтролер (лог. 1 на лінії PA0)
  GPIOA->ODR=(1<<0)|(0<<1);
  while(!(SPI1->SR & SPI_SR_TXE)) { } // після встановлення в 1 прапора TXE регістра SPI1_SR
  // надсилаємо кодову комбінацію для першого веденого мікроконтролера
  SPI1->DR = 0b11111110; delay(10);
  // вибираємо для передачі даних по SPI
  // другий ведений мікроконтролер (лог. 1 на лінії PA1)
  GPIOA->ODR=(0<<0)|(1<<1);
  while(!(SPI1->SR & SPI_SR_TXE)) { } // після встановлення в 1 прапора TXE регістра SPI1_SR
  // надсилаємо кодову комбінацію для другого веденого мікроконтролера
  SPI1->DR = 0b11111110; delay(10); }
```

Для веденого мікроконтролера DD2 було написано наступний код програми ініціалізації:

```
#include <stm32f1xx.h> // підключення заголовочного файлу

void delay (int dly) // підпрограма формування затримки
{ int i;
  for (; dly>0; dly--);
  for ( i=0; i<10000; i++); }

int main() { // початок програми
  RCC->APB2ENR |= RCC_APB2ENR_SPI1EN; // вмикаємо тактування SPI1
  // під'єднання ліній порту PA до шини APB2
  RCC->APB2ENR |= RCC_APB2ENR_IOPAEN;
  // під'єднання ліній порту PB до шини APB2
  RCC->APB2ENR |= RCC_APB2ENR_IOPBEN;
```

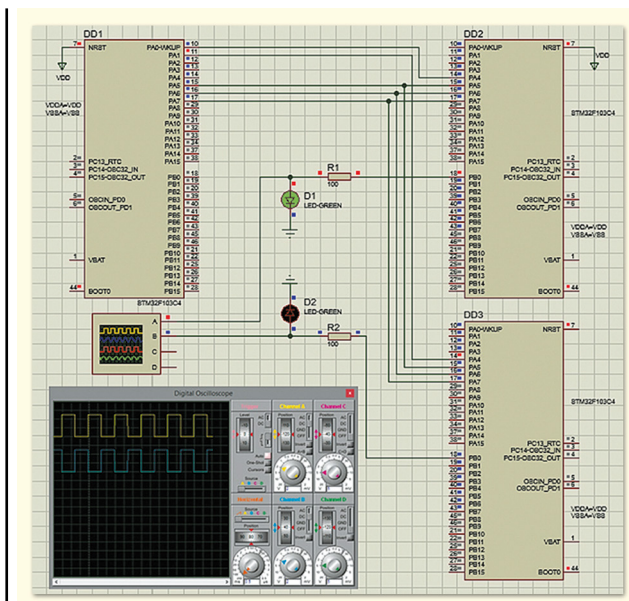


Рис. 17. Моделювання передачі даних між трьома мікроконтролерами STM32F103C4 через інтерфейс SPI у програмному середовищі Proteus

```
// налаштування ліній PA4 (NSS), PA5 (SCK), PA6 (MISO), PA7 (MOSI), PA0-PA3
// порту PA першого веденого мікроконтролера
// біти CNF4, CNF5, CNF7 = 10 (вхід з підтягуючим резистором),
// біти MODE4, MODE5, MODE7 = 11 (приймоданих)
// біти CNF6 = 10 (цифровий вихід з альтернативною функцією),
// біти MODE6 = 00 (виведення даних із частотою перемикаання 50 МГц)
// біти CNF0-CNF3 = 00 (цифровий вихід),
// біти MODE0-MODE3 = 11 (виведення даних із частотою перемикаання 50 МГц)
GPIOA->CRL = 0x8b883333;
// налаштування ліній PB0-PB7 порту PB першого веденого мікроконтролера
// біти CNF0-CNF7 = 00 (цифровий вихід),
// біти MODE0-MODE7 = 11 (виведення даних із частотою перемикаання 50 МГц)
GPIOB->CRL = 0x33333333;

// конфігурація SPI1
SPI1->CR1 = (1<<6) | (0<<2); // вмикаємо SPI, режим роботи Slave (ведений)

while (1) // нескінченний цикл
{
    while(!((SPI1->SR & SPI_SR_RXNE)) ) { // чекаємо на дані в буфері приймача SPI
    }
    if (SPI1->DR !=0b11111110) // якщо кодова комбінація не отримана
        GPIOB->ODR = (0<<0); // посилаємо на лінію PB0 порту PB лог. 0
    else if (SPI1->DR==0b11111110) // якщо кодова комбінація отримана
    {
        while (1) // нескінченний цикл
        {
            GPIOB->ODR=(1<<0); // увімкнути світлодіод D1
            delay(10); // затримка
            GPIOB->ODR=(0<<0); // погасити світлодіод D1
            delay(10); // затримка
        }
    }
}
```

Код програми ініціалізації для веденого мікроконтролера DD3:

```
#include <stm32f1xx.h> // підключення заголовочного файлу

void delay (int dly) // підпрограма формування затримки
{
    int i;
    for ( ; dly>0; dly--)
        for ( i=0; i<10000; i++);
}

int main() { // початок програми
    RCC->APB2ENR |= RCC_APB2ENR_SPI1EN; // вмикаємо тактування SPI1
    // під'єднання ліній порту PA до шини APB2
    RCC->APB2ENR |= RCC_APB2ENR_IOPAEN;
    // під'єднання ліній порту PB до шини APB2
    RCC->APB2ENR |= RCC_APB2ENR_IOPBEN;
    // налаштування ліній PA0-PA7 порту PA другого веденого мікроконтролера
    GPIOA->CRL = 0x8b883333;
    // налаштування ліній PB0-PB7 порту PB другого веденого мікроконтролера
    GPIOB->CRL = 0x33333333;

    // конфігурація SPI1
    SPI1->CR1 = (1<<6) | (0<<2); // вмикаємо SPI, режим роботи Slave (ведений)

    while (1) // нескінченний цикл
    {
        while(!((SPI1->SR & SPI_SR_RXNE)) ) { // ждем данные в буфере приемника SPI
        }
        if (SPI1->DR !=0b11111110) // если кодовая комбинация не получена
            GPIOB->ODR = (0<<0); // послыаем на линию PB0 порта PB лог. 0
        else if (SPI1->DR==0b11111110) // если кодовая комбинация получена
        {
            while (1) // нескінченний цикл
            {
                GPIOB->ODR=(1<<0); // увімкнути світлодіод D2
                delay(10); // затримка
                GPIOB->ODR=(0<<0); // погасити світлодіод D2
                delay(10); // затримка
            }
        }
    }
}
```

Код програми ініціалізації вводиться на вкладці **Source Code** схемного редактора на окремій закладці для кожного мікроконтролера (рис. 18). Проаналізуємо роботу демонстраційної схеми, наведеної на рисунку 17. На вкладці **Source Code** програмним шляхом було дано вказівки ведучому мікроконтролеру через інтерфейс SPI1 надіслати кожному веденому мікроконтролеру кодову комбінацію. Ця дія виконується послідовно. Спочатку ведучий мікроконтролер через лінію PA0 свого порту PA подає на лінію NSS (PA4) мікросхеми DD2 «лог. 1», а через лінію PA1 на лінію NSS (PA4) мікросхеми

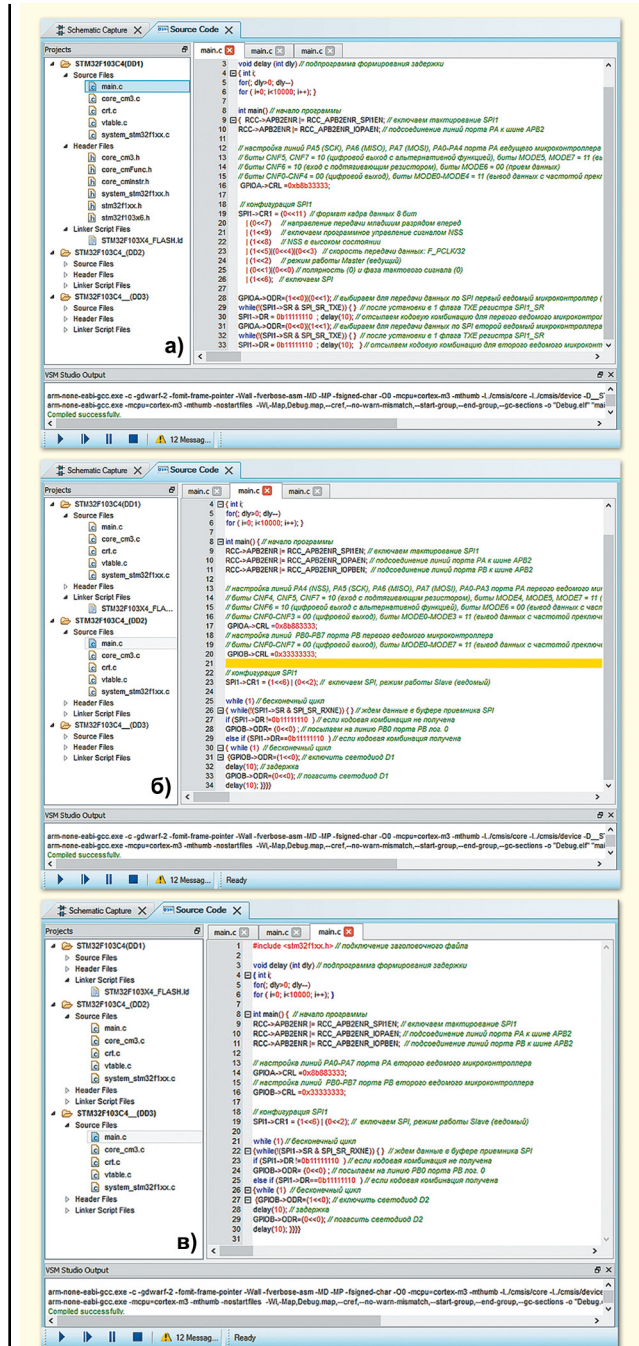


Рис. 18. Передача даних між трьома пристроями через інтерфейс SPI. Вкладка Source Code, код програми ініціалізації: ведучого мікроконтролера (а); першого веденого мікроконтролера (б); другого веденого мікроконтролера (в)

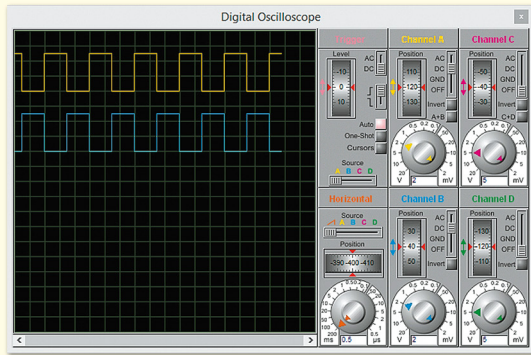


Рис. 19. Осцилограма роботи світлодіодів D1 та D2

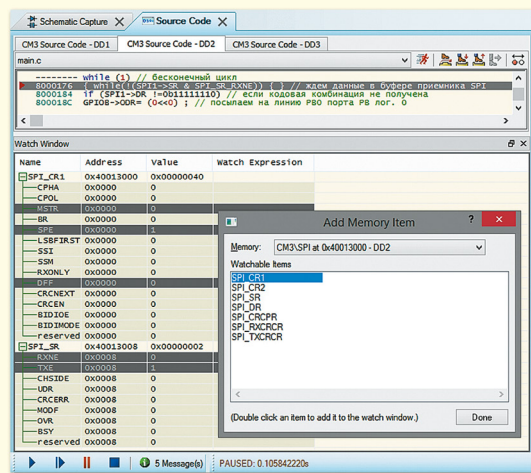


Рис. 20. Додавання регістрів SPI_CR1 і SPI_SR веденого мікроконтролера DD2 у вікно Watch Window та перегляд стану їх бітів

DD3 — «лог. 0», що повідомляє перший ведений пристрій про те, що саме він був обраний для обміну даними з ведучим через інтерфейс SPI, активізує інтерфейс SPI1 мікросхеми DD2 і робить неактивним інтерфейс SPI1 мікросхеми DD3.

Після затримки ведучий мікроконтролер через лінію PA1 свого порту PA подає на лінію NSS (PA4) мікросхеми DD3 «лог. 1», а через лінію PA0 на лінію NSS (PA4) мікросхеми DD2 «лог. 0», що активізує інтерфейс SPI1 мікросхеми DD3 і робить неактивним інтерфейс SPI1 мікросхеми DD2.

Якщо ведений пристрій обрано ведучим, то програма веденого мікроконтролера виводить на лінію PB0 порту PB «лог. 0», внаслідок чого підключений до порту світлодіод буде погашено. Як тільки через інтерфейс SPI1 отримана кодова комбінація від ведучого мікроконтролера, запускається підпрограма, що дає вказівки веденому мікроконтролеру запустити цикл, в якому послідовно виводяться на лінію порту PB0 значення «лог. 1» та «лог. 0». Ці значення утримуються за допомогою команди затримки.

Після запуску моделювання за допомогою двох світлодіодів, підключених до ліній PB0 порту PB ведучих мікроконтролерів DD2 і DD3, ми можемо перевірити правильність роботи програми — світлодіоди підсвічуються і гаснуть по черзі, що наочно демонструє осцилограма, представлена на рисунку 19. У момент часу, коли на виводі PB0 мікроконтролера DD2 — 1, на виводі PB0 мікроконтролера DD3 — 0.

Призупинимо симуляцію кнопкою **Pause the simulation, або start up at time 0 if stopped** (кнопка знаходиться в нижньому лі-

вому куті вікна програми) і перевіримо вміст регістрів веденого мікроконтролера DD2. Для чого, використовуючи команду основного меню **Debug/Watch Window**, відкриємо вікно **Watch Window**, де можна розміщувати регістри мікроконтролера та відстежувати стан їх бітів під час виконання програми. Додавання регістру виконується клацанням правої кнопки миші в області вікна **Watch Window** і вибором в контекстному меню пункту **Add Items (By Name)** — додати елементи по імені. В результаті відкривається вікно **Add Memory Item**, що містить список груп регістрів мікроконтролера.

У нашому прикладі цікаві регістри SPI_CR1 і SPI_SR модуля SPI, з якими ведеться робота в тексті програми ініціалізації мікроконтролера. Програма перемикає біти регістрів, здійснюючи керування параметрами мікроконтролера. Для додавання регістрів (рис. 20) у вікно **Watch Window** з випадаючого списку в полі Memory вікна **Add Memory Item** виберемо пункт **CM3\SPI at 0x40013000-DD2** (імена регістрів з'являться в полі Watchable Items), подвійним клацанням лівої кнопки миші виберемо потрібні елементи та натиснемо кнопку **Done**.

Елементи у вікні **Watch Window** розташовуються у вигляді списку, який розкривають клацанням лівої кнопки миші по значку «+», при цьому стануть доступними для перегляду адреса та значення функціонально пов'язаних бітів регістру. Як бачимо на рисунку 20, в біти TXE і RXNE регістра SPI_SR записані значення 1 і 0 — це означає, що буфер передавача і буфер приймача порожні. Біт SPE регістра SPI_CR1 встановлений в 1 (інтерфейс SPI включений), в біти DFF та MSTR записані «лог. 0» (формат кадрів даних 8 біт, інтерфейс SPI працює у режимі Slave), що відповідає логіці роботи програми ініціалізації мікроконтролера.

Література:

1. Proteus VSM Help. Labcenter Electronics, 2020.
2. STM32F103x4, STM32F103x6 MCU Datasheet. STMicroelectronics. 2009.
3. Вальпа О. Современные 32-разрядные ARM-микроконтроллеры серии STM32: последовательный интерфейс SPI // Современная электроника. 2014. № 1.
4. STM32F101xx, STM32F102xx, STM32F103xx, STM32F105xx and STM32F107xx advanced ARM-based 32-bit MCUs. Reference manual. STMicroelectronics. 2010.
5. Огородников И. Н. Микропроцессорная техника: введение в Cortex-M3. Екатеринбург, издательство Уральского университета, 2015.
6. Джозеф Ю. Ядро Cortex-M3 компании ARM. Полное руководство. М.: ДМК Пресс, 2012.
7. Тревор М. Микроконтроллеры фирмы STMicroelectronics на базе ядра Cortex-M3. Серия STM32. М.: Техносфера, 2009.
8. Колесникова Т. Работа с микроконтроллерами STM32 семейства Cortex-M3 в программной среде Proteus 8.11 // CHIP NEWS Украина. 2021. № 3, 4.
9. Филатов М. Проведение измерений при помощи виртуальных приборов в программной среде Proteus 8.1 // Компоненты и технологии. 2015. № 4.
10. Козаченко В. Ф. Практический курс микропроцессорной техники на базе процессорных ядер ARM Cortex-M3/M4/M4F. М.: Издательство МЭИ, 2019.
11. Колесникова Т. Работа с микроконтроллерами STM32 семейства Cortex-M3 в программной среде Proteus 8.11. Часть 2 // CHIP NEWS Украина. 2021. № 10.
12. Крылов Е. STM32 — 32-разрядные микроконтроллеры на основе ядра ARM Cortex-M3 // Компоненты и технологии. 2008. № 1.



ESP32-C3

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



RISC-V в основі



Багаті можливості
підключення



Безпека



Доступність програмного
забезпечення

Партнерство з нами – успіх Вашого бізнесу!

Нова інтегральна система на кристалі onsemi для діапазону частот 27–1 050 МГц

Віктор Алексєєв, к.ф.-м.н.

Адаптований переклад українською та технічне редагування:

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

Нещодавно американський концерн onsemi випустив у масовий продаж нову інтегральну збірку AXM0F343, яка є оптимальним варіантом активної частини інтелектуального мобільного пристрою FDD LP, призначеного для роботи у вузькосмугових мережах малого радіусу дії, що відповідають стандарту IEEE 802.4.15g. Для замовлення доступні дві моделі однокристалльної збірки — AXM0F343-256-1-TX40 та AXM0F343-64-1-TX40, з пам'яттю 256 і 64 кбайт відповідно.

Для проєктування нових пристроїв onsemi випускає два варіанти налагоджувального комплекту — AXM0F343-256-915-1-GEVK для діапазону 915 МГц і AXM0F343-256-868-1-GEVK для діапазону 868 МГц.

ЗБІРКА НА КРИСТАЛІ AXM0F343 ЯК БАЗОВА ЧАСТИНА ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИХ МОБІЛЬНИХ ПРИСТРОЇВ

До пристроїв, призначених для використання в проєктах M2M та IoT, висувається низка спеціальних вимог. Найважливіші з них — мінімальне енергоспоживання за оптимальної функціональності та мінімальна вартість обслуговування. Пристрої такого типу, що використовують автономне батареїне живлення, повинні забезпечувати роботу протягом декількох років без заміни батареї. Крім того, велике значення мають й інші фактори, наприклад, такі як обсяг і періодичність інформації, швидкість передачі, радіус дії мережі, топологія, дуплекс або симплекс, кількість пристроїв в мережі, мережна інфраструктура в даному регіоні, сукупна вартість самого пристрою і його обслуговування, складність монтажу та експлуатації та інші.

В даний час один із напрямків розвитку таких додатків, як M2M, IoT, Smart

Home, Smart Cities, IoT SIM card, IoT Smart animals, пов'язаний з розвитком бездротових локальних енергоефективних мереж Low Power Local Area Network. Ці технології все частіше можна бачити у реальному житті, наприклад у вуличному освітленні та світлофорах; у прокаті велосипедів та самокатів; у лічильниках витрати води, газу та електрики, промислових автоматизованих конвеєрних лініях; у торгових автоматах та іншому устаткуванні. Особливу увагу

користувачів привертають мережі неліцензійного діапазону частот, за використання яких немає необхідності платити.

Американський концерн нещодавно випустив у масовий продаж нову інтегральну збірку (SoC) AXM0F343, яка містить на одному кристалі трансивер (narrow-band), процесор ARM Cortex-M0 і пам'ять флеш/ОЗП [1].

Система на кристалі AXM0F343 призначена для роботи в діапазоні частот 27–1 050 МГц. На фізичному рівні моделі OSI новий інтелектуальний однокристалний трансивер AXM0F343 відповідає стандарту IEEE 802.15.4g.

Стандарт 802.15.4g, розроблений спеціально для інтелектуальних датчиків, описує рівень Physical Layer (PHY) Specifications for Low-Data-Rate, Wireless, Smart Metering Utility Networks. Цей стандарт визначає рівень інтерфейсу верхнього рівня (ULI) на рівні 2 (L2) між рівнем 3 (L3) і підрівнем керування доступом до середовища (MAC) IEEE 802.15.4 [1]. На базі IEEE 802.15.4g розроблено комплекти прикладних утиліт для «розумного будинку», які забезпечують сумісність роботи в одній



Рис. 1. Пристрої 802.15.4g оптимальні для використання у проєктах Smart City [2]

мережі обладнання, розробленого різними виробниками. Крім того, технології 802.15.4g мають підвищений рівень безпеки, що дозволяє використовувати їх у системах контролю освітлення та доступу в особливо важливих структурах та на об'єктах спеціального призначення (рис. 1).

Радіус дії мобільних пристроїв технології 802.15.4 залежить від потужності передавача, а також середовища поширення сигналу. Так, наприклад, SubGHz-пристрої потужністю 0 дБм (1 мВт) можуть передавати дані на відстань близько 100 м. Більш потужні пристрої цього діапазону (>10 мВт) мають радіус дії в зоні прямої видимості на відкритому повітрі близько 1000 м.

У стандарті 802.15.4 розглядаються два типи пристроїв різної складності. Повністю функціональний пристрій (FFD — Full Function Device) приймає та передає дані, у тому числі й чужі, по ланцюжку. Пристрій з обмеженим набором функцій (RFD — Reduced Function Device) — це найпростіший тип, який може обмінюватися даними лише з координуючим пристроєм. Будь-яка мережа повинна мати принаймні один FFD, який працює як координатор мережі. Стандарт 802.15.4 не визначає інші, вищі шари та сумісність проміжних шарів. Таким чином, розробники отримують повну свободу під час проектування нових пристроїв для мереж цього стандарту.

Однокристална збірка AXM0F343 може працювати в режимі глибокого сну зі струмами споживання <1 mA (timer wakeup) або 230 nA (GPIO wakeup). Функція пробудження радіоканалу дозволяє пристрою максимально довго і часто перебувати в режимі максимального енергозбереження.

Крім перерахованих блоків, однокристална збірка AXM0F343 має зовнішні інтерфейси та периферійне обладнання, в тому числі I²C, 2UART, SPI, вбудований 12-бітовий АЦП, 19 користувальницьких виводів; контролер живлення. Ця модель підтримує швидкість передачі даних 0.1–125 кбіт/с.

Однокристална збірка оснащена таймером Systick, трьома 16-бітовими таймерами загального призначення, 32-бітовим тактовим таймером та 32-бітовим сторожовим таймером. Також є чотири блоки захоплення та порівняння ШІМ. Вбудоване апаратне прискорення підтримується для AES, CRC та TRNG. Крім потужного ядра, мікроконтролер AXM0F343 має широкі функціональні можливості для роботи з аналоговими сигналами. Програмовний процесор

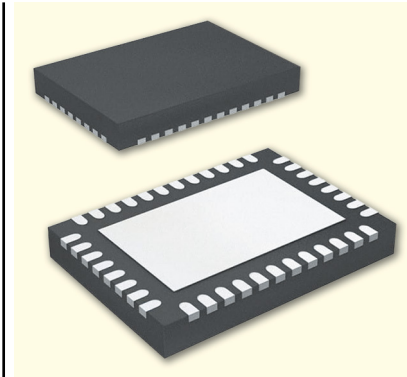


Рис. 2. Зовнішній вигляд однокристалної збірки AXM0F343

ARM Cortex-M0 дозволяє використовувати різні протоколи верхнього рівня, як неліцензовані, так і платні пропріетарні. Крім того, програмне забезпечення цієї однокристалної збірки надає можливість використання загального апаратного дизайну для продуктів з різним завантаженим програмним забезпеченням.

Для програмування та налаштування параметрів інтегральної збірки фірма onsemi випускає спеціальний налагоджувальний комплект.

Габаритні розміри AXM0F343 — 5 × 7 мм, конструктив — QFN40. Зовнішній вигляд AXM0F343 показано на рисунку 2.

В цілому нова однокристална збірка AXM0F343 є оптимальним варіантом активної частини інтелектуального мобільного пристрою FDD LP, призначеного для роботи у вузькосмугових мережах малого радіусу дії. Слід зазначити, що в даний час ця модель не має вбудованого стека з підтримкою верхніх рівнів 802.15.4, аналогічному, наприклад, програмному забезпеченню TI 802.15.4.

В даний час для замовлення доступні дві моделі однокристалної збірки — AXM0F343-256-1-TX40 та AXM0F343-64-1-TX40, з пам'яттю Flash 256/RAM 32 кбайт та Flash 64/RAM 8 кбайт відповідно. Обидві моделі мають однакові характеристики, габаритні розміри, корпус та кількість виводів. Відмінність полягає лише в об'ємі пам'яті та вартості.

ТЕХНІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ОКРЕМИХ БЛОКІВ ОДНОКРИСТАЛЬНОЇ ЗБІРКИ AXM0F343

Бездротова програмно-апаратна платформа AXM0F343 містить на одному кристалі три основні блоки:

- конфігурований в широких межах приймач з надмалим енергоспоживанням Narrow-Band Sub-GHz AX5043;
- процесор Arm Cortex-M0+;
- пам'ять 256 кбайт флеш 32 кбайт ОЗП (або 32 Flash/8 RAM).

Трансивер AX5043

Трансивер AX5043 добре зарекомендував себе як окрема мікросхема NB приймача, призначена для роботи спільно з зовнішнім керуючим мікроконтролером і пропріетарними протоколами. Структурна схема приймальної частини однокристалної збірки AXM0F343, що містить трансивер AX5043 і обв'язку, показана на рисунку 3.

Трансивер AX5043 задовольняє вимогам стандарту до пристроїв IEEE 802.15.4g. Термін Narrow band для бездротових мереж M-Bus визначає пристрій із шириною каналу ≤25 кГц та відхиленням від центральної частоти в діапазоні 25/60 ppm [4].

Вбудований синтезатор частоти на базі генератора, керованого напругою (ГКН), забезпечує роботу на частотах діапазону ISM: 433, 868 і 915 МГц, що не ліцензується. Крім того, під час використання зовнішнього ГКН може бути реалізована робота у всьому діапазоні частот 27–1050 МГц.

Трансивер AX5043 підтримує різні типи модуляції: FSK, MSK, 4-FSK, GFSK, GMSK, AFSK, ASK, FM, PSK. У режимі передачі AX5043 використовує диференціальний підсилювач, здатний розвивати вихідну потужність до 16 дБм (40 мВт).

Чутливість трансивера, залежно від режимів роботи, може досягати значення −137 дБм за струму споживання <10 mA. Ці показники — одні з найкращих для аналогічних пристроїв цього класу.

Радіочастотні вхідний та вихідний каскади (ANTP/ANTN/ANTP1) можуть бути задіяні у двох основних режимах:

- RX та TX використовують диференціальні входи ANTP та ANTN. Вибір режиму RX або TX здійснюється автоматично за допомогою вбудованого радіочастотного перемикача. Цей режим рекомендується для максимальної вихідної потужності (16 дБм), максимальної чутливості та прямого підключення до дипольних антен;
- RX використовує диференціальні виводи антени ANTP та ANTN, а TX — несиметричний антенний вивід ANTP1. Перемикач RX/TX здійснюється за зовнішньою командою.

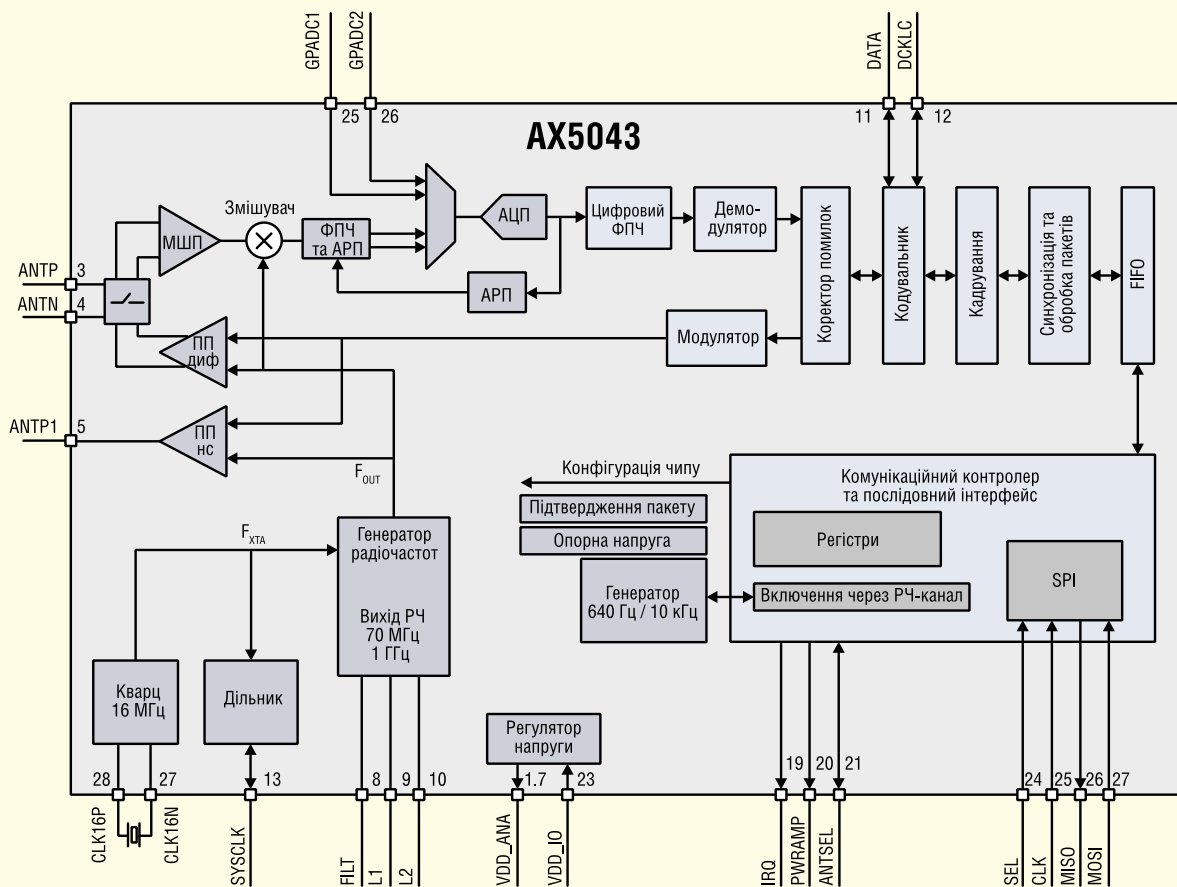


Рис. 3. Структурна схема приймально-передавальної частини однокристалової збірки AXM0F343 [3]

Цей режим рекомендується для низьких вихідних потужностей (до 13 дБм) за високого ККД.

Коли активовано функцію рознесення антен, радіоконтролер періодично перевіряє обидві антени та вибирає антену з найвищим рівнем сигналу. Радіоконтролер може бути запрограмований так, щоб періодично записувати обидва значення RSSI у FIFO. Режим рознесення антен повністю автоматичний.

Слід звернути увагу, що ANTP1 виконує роль лише виходу (не входу). Тому він не підключається до LNA. Також PA не підключається до каскаду LNA.

У трансивері використано два варіанти підключення підсилювачів потужності (несиметричний ППнс та диференціальний ППдиф). Підсилювач ППнс призначений для роботи з низькою вихідною потужністю, а ППдиф розрахований на більшу потужність.

Для досягнення найкращої вихідної потужності узгоджувальний фільтр повинен бути оптимізований для відповідної частоти. Це дозволяє вибрати коректні значення компонентів фільтра узгодження, які дають можливість підсилювачу класу E працювати в точці опти-

мального ККД з найбільшою потужністю та за найменшого струму для обраної конкретної частоти.

У програмному забезпеченні трансивера AX5043 передбачені команди TXPWR, які дозволяють змінювати вихідну потужність передавача безпосередньо

під час його роботи. Ці команди змінюють вміст регістрів, відповідальних за параметри передавача (TXPWRCOEFFA, TXPWRCOEFFB, TXPWRCOEFFC, TXPWRCOEFFD, TXPWRCOEFFE).

Нормальна робота збірки AXM0F343 із збереженням усіх заявле-

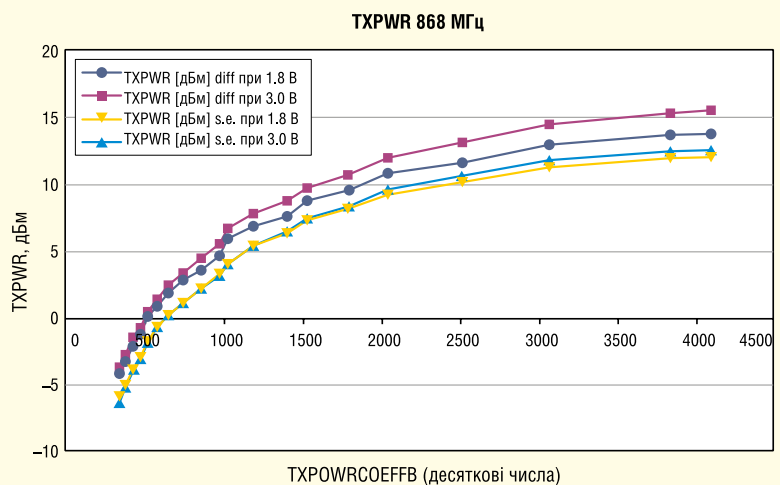


Рис. 4. Залежність потужності передавача AX5043 на виходах диференціального (TXPWRdiff) і несиметричного (TXPWRs.e.) підсилювачів від стану регістру керування TXPWRCOEFFB на частоті 863.3 МГц [5]

них у технічній документації параметрів гарантується за напруги живлення в діапазоні 2.1–3.6 В.

На рисунку 4 показана залежність потужності передавача AX5043 на виходах диференціального (TXPWRdiff) та несиметричного (TXPWRs.e.) підсилювачів від стану регістра керування TXPWRCOEFFB на частоті 863.3 МГц. Наведені дані показують, що програмне забезпечення трансивера дозволяє в автоматичному режимі ефективно змінювати потужність передавача в діапазоні напруг живлення 1.8–3 В.

Щоб отримати максимальну вихідну потужність, необхідно використовувати диференціальний підсилювач потужності. Несиметричний підсилювач потужності не дозволяє розвинути вихідну потужність більше 13 дБм, що набагато нижче максимально можливої вихідної потужності. При підключенні ППнс через спеціальний вивід в обхід мультиплектора та використанні зовнішньої антени можна значно знизити струм споживання.

Слід відзначити, що в тих застосуваннях, в яких використовується в основному режим TX, вихідної потужності 13 дБм цілком достатньо для нормальної експлуатації пристрою. Тому даний несиметричний підсилювач потужності може бути найкращим рішенням з точки зору споживання енергії.

Повертаючись до схеми, показаної на рисунку 3 слід зазначити, що фільтр цифрового каналу проміжної частоти (ПЧ) і демодулятор повинні бути запрограмовані користувачем під конкретне завдання таким чином, щоб відповідати типу модуляції і швидкості передачі даних. Неточне програмування призведе до втрати чутливості. Канальний фільтр підтримує смугу пропускання 995 Гц–221 кГц. Кодувальник, розташований між блоком кадрів, демодулятором та модулятором (рис. 3), програмується за допомогою регістра ENCODING. Виділений при цьому пакет даних надходить на комунікаційний контролер (КК), котрий зв'язаний з ядром ARM. Лінія переривання та лінія SYSCLK дозволяють контролеру синхронізуватися за допомогою прецизійного кварцового генератора.

У стандартному стані трансивер працює у режимі frame mode. У цьому режимі КК розділяє кадр послілки на кадри, причому дані приймаються і передаються через 256-байтовий блок FIFO, який керується через відповідні регістри.

Доступ до регістрів здійснюється через послідовний синхронний периферій-

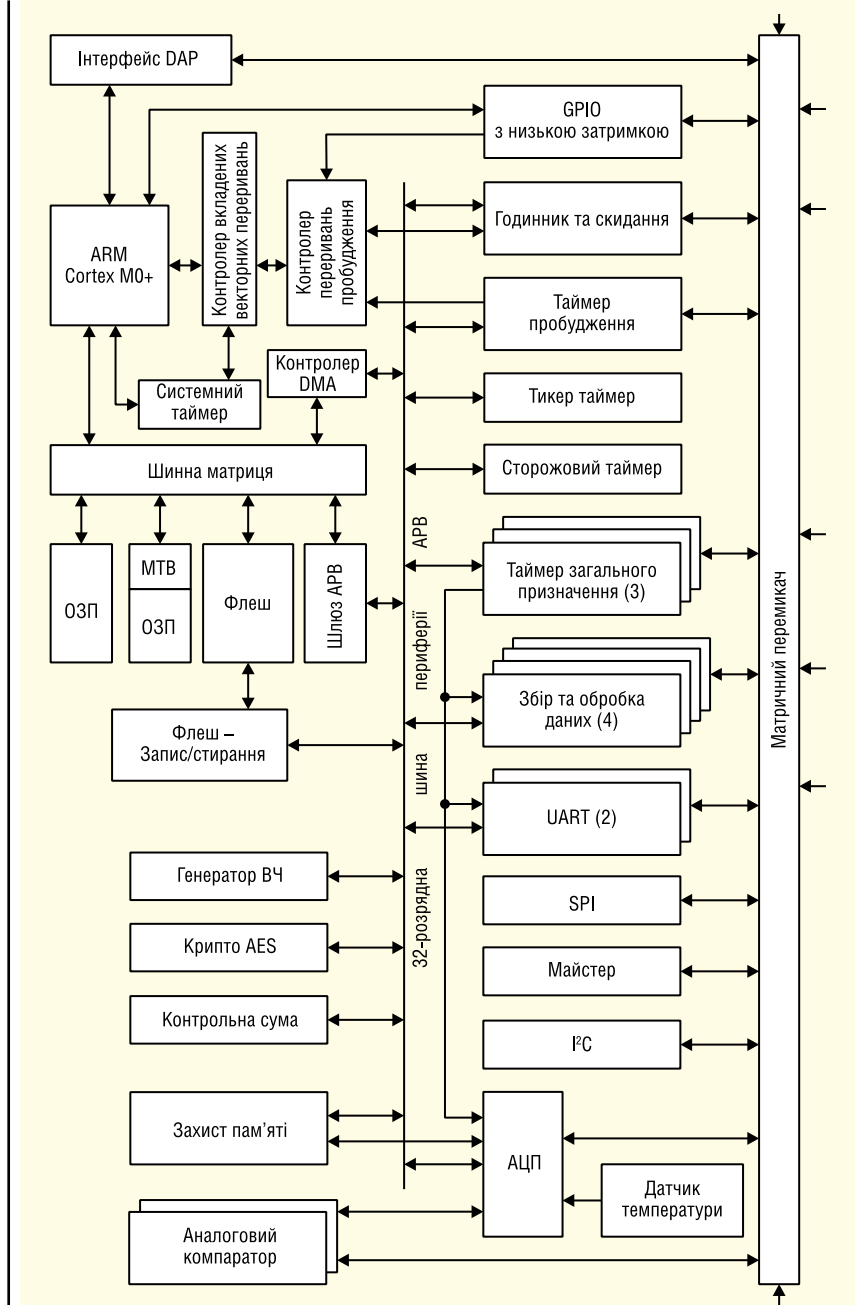


Рис. 5. Структурна схема керуючої частини однокристаліної збірки AXM0F343 (процесор ARM Cortex-M0, Flash 256 кбайт та 32 кбайт ОЗУ) [7]

ний інтерфейс SPI. Більшість регістрів мають розмір 8 біт і керуються за допомогою стандартних сигналів SPI.

Трансивер AX5043 має вбудований 256-байтовий FIFO, який використовується як для прийому, так і передачі. Комунікаційному контролеру під час передачі доступний лише порт запису, а під час прийому лише порт читання.

У режимі передачі трансивер втрачує лише дані, записані у FIFO після спеціальної команди фіксації. Збереження пакета даних протягом прийому буде доступним лише після підтвер-

дження перевірки CRC. Якщо перевірка CRC не підтверджується, послілка відкидається. Так, команда FIFOCOUNT повідомляє кількість байтів, які можна прочитати, а FIFOFREE інформує про кількість байтів, які можна записати, не викликаючи переповнення. Для того щоб відрізнити метадані (наприклад, RSSI) від корисної інформації, вміст FIFO організовано як окремі послілки, що містять заголовки, у якому вказується довжина, а також формат корисних даних.

Трансивер може перебувати у режимі глибокого сну (Deep Sleep — DS).

У режимі DS трансивер повністю вимкнений і струм споживання лише самого трансивера не перевищує 50 нА. Однак сумарний струм усієї збірки помітно більший завдяки процесору, мікроконтролеру, пам'яті, генераторам та таймерам. Далі це питання буде розглянуто детально.

Детальні інструкції з програмування трансивера AX5043 наведені в посібнику [6]. У наведених у цьому документі прикладах усі регістри попередньо розраховані для одного конкретного рішення. Якщо є необхідність використовувати в розробці варіант PHY/MAC, що налаштовується, то потрібно використовувати «GUI Ax-ConfigurationUtility».

На рисунку 5 показано структурну схему керуючої частини однокристалної збірки AXM0F343, куди входять: процесор ARM Cortex-M0, Flash 256 кбайт і 32 кбайт ОЗП. Також на рисунку 5 показані інші периферійні вузли та інтерфейси.

Процесор Arm Cortex-M0+

Процесор Arm Cortex-M0+ забезпечує високу продуктивність за низького енергоспоживання та мінімальних ресурсних витрат на обробку. До складу процесора, крім ядра Arm Cortex-M0+, входять послідовний інтерфейс налагодження DAP (SW DAP — Industry standard Serial Wire debug interface via DAP); контролер вкладених векторних переривань (NVIC — Nested Vectored Interrupt Controller); контролер переривання пробудження (WIC — Wake up Interrupt Controller); шинна матриця (Bus Matrix); MTB (Micro Trace Buffer CoreSight MTB-M0+); 32-розрядна шинна периферії APB (APB bus); блок захисту пам'яті (MPU — Memory protection unit), матричний перемикач (CROSS BAR) [8].

Послідовний налагоджувальний порт (SW-DAP) надає розробнику ряд розширених можливостей тестування та налагодження процесора. Основні функції SW-DAP: робота з точками зупинки процесора; доступ до регістру ядра процесора; обробка винятків (Vector Catch); повний доступ до системної пам'яті та інші. У режимі налагодження використовуються чотири апаратні точки зупинки та дві апаратні точки спостереження.

Інтерфейс SW-DAP передбачає двонаправлене з'єднання для передачі даних. Для роботи з окремими блоками збірки AXM0F343 в принципі підійде будь-який налащик, сумісний з Serial Wire Debug (SWD).

Контролер переривань пробудження (WIC — Wake up Interrupt Controller)

призначений для виведення процесора з режиму низького енергоспоживання.

Процесор Cortex-M0+ містить вкладений векторний контролер переривань (NVIC — Nested Vectored Interrupt), який використовує у роботі пріоритетний принцип.

Всього в інтегральній збірці AXM0F343 підтримується 38 переривань: 15 вбудованих та ще 23 додаткових. Ці переривання мають чотири рівні програмового пріоритету. Пріоритет кожної групи може бути запрограмований окремо. При цьому переривання обслуговуватимуться по черзі відповідно до пріоритетного статусу. Якщо два переривання з однаковим пріоритетом надходять в один і той же час, першим буде опрацьовано те, що було опитано спочатку.

Крім того, контролер NVIC може виконувати деякі функції захисту пам'яті.

Логічний буферний блок Micro Trace Buffer (CoreSight MTB-M0+) дає можливість налагодження програмного забезпечення процесора Cortex-M0+ з використанням трасування (trace). Інформація про етапи відпрацювання процесором окремих алгоритмів передається через трасировочний інтерфейс в блок MTB, який її пакує і записує в SRAM. Зокрема, блок MTB вказує на те, що адреса наступної інструкції знаходиться в процесі виконання або процесор виконує дії, не пов'язані з інструкціями [9].

Периферійна шинна (APB — Advanced Peripheral Bus) підключена до розширеної високопродуктивної шини (AHB — Advanced High Performance Bus) за допомогою моста, який підтримує стандартні операційні процедури класу read-modifywrite. Доступ до процесора та доступ до налагодження надається через зовнішній інтерфейс зв'язку з периферійними пристроями AHB. Доступ до процесора має пріоритет доступу до налагодження. Для оптимізації продуктивності процесор Cortex-M0+ робить вибірку перед виконуваною інструкцією. Щоб звести до мінімуму енергоспоживання, гранична вибірка обмежена максимумом 32 біт.

Блок захисту пам'яті (MPU — Memory protection unit) підтримує картку пам'яті, вісім областей пам'яті, що настраюються користувачем, і вісім субобластей звертань на кожну область. Блок MPU може працювати у режимі Execute Never (XN).

Шинна матриця (Bus matrix) дозволяє пристроям взаємодіяти як через ядро процесора, так і минаючи його.

Крім того, Bus matrix підтримує роботу у спеціально виділеному діапазоні bit-banding, а також роботу з пристроями, адреси яких відрізняються від стандартних 32-бітових (не кратних чотирьом). До шинної матриці підключено 32-бітну шину AHB-Lite, Flash, MTB, RAM, uDMA, ядро Cortex-M0+.

Вбудовані Flash та RAM

Вбудовані Flash та RAM розрізняються за об'ємом у двох різних моделях однокристалної збірки AXM0F343.

Модель AXM0F343-64 має Flash 64 кбайт із прямою адресацією та 8 кбайт внутрішньої SRAM. У цій SoC флеш-пам'ять використовується для програмного коду та енергонезалежного зберігання даних. При нормальній роботі Flash забезпечує одиночний цикл доступу для читання через шину AHB. Флеш-пам'ять поділена на 128 сторінок по 512 байт кожна. Читання пам'яті реалізовано посторінково в безперервному циклі. Внутрішня SRAM поділена на два банки даних (6 та 2 кбайт). Кожен із блоків SRAM може бути незалежно один від одного вимкнений у режимі роботи із наднизьким енергоспоживанням. Флеш-пам'ять може бути стерта та перезаписана заново через налагоджувальний порт.

Регістри, що використовуються для програмування та стирання флеш-пам'яті, відображаються на шині APB. Кожну сторінку пам'яті можна видалити незалежно.

Для програмування одного слова у флеш-пам'яті потрібно 2 мкс. Для видалення сторінки даних потрібно 10 мс. За допомогою однієї операції можна очистити всю Flash-пам'ять (всі 64 чи 256 кбайт).

Додаткова сторінка флеш-пам'яті зарезервована для інформаційного блоку, запрограмованого на заводі.

Для відключення порту налагодження, а також заборони доступу до внутрішніх шин та пам'яті для програм у флеш-пам'яті передбачено блокування (LOCK).

У моделі AXM0F343-256 флеш-пам'ять об'ємом 256 кбайт розділена на 256 сторінок по 1 кбайт кожна. Оперативна пам'ять об'ємом 32 кбайт у цій моделі розділена на чотири блоки 8 кбайт.

Вбудований 3-канальний контролер прямого доступу до пам'яті uDMA PrimeCell PL230

Вбудований 3-канальний контролер прямого доступу до пам'яті uDMA

PrimeCell PL230 (Direct Memory Access — DMA) призначений для виконання операцій передачі безпосередньо між оперативною пам'яттю і виконавчими пристроями. При використанні DMA процесор не бере участі в операціях вводу/виводу. При цьому uDMA безпосередньо формує всі сигнали, необхідні для обміну даними з пристроєм. За такого підходу не завантажується CPU, що дозволяє знизити енергоспоживання та збільшити швидкість обміну даними з периферійними пристроями.

Більшість периферійних пристроїв можна налаштувати для роботи через uDMA. У збірці на кристалі AXM0F343 контролер DMA, підключений між шинами APB та Bus Matrix, відіграє роль своєрідної додаткової майстер-шини.

Кожен із трьох каналів uDMA має програмований рівень пріоритету, який визначається номером каналу. Контролер uDMA підтримує як передачу даних «пам'ять–пам'ять», так і передачу «пам'ять–периферія». Крім того, uDMA контролює помилки, що виникають у процесі роботи. Кількість передач в одному циклі прямого доступу до пам'яті може бути запрограмована від 1 до 1024. Усі дані керування каналами uDMA зберігаються у системній пам'яті [10].

Програмовні порти вводу/ виводу загального призначення (GPIO)

Програмовні порти вводу/виводу загального призначення (GPIO) можуть бути використані як для взаємодії на системному рівні із зовнішніми пристроями, так і для з'єднання внутрішніх периферійних ліній. У заводських налаштуваннях за замовчуванням всі 19 GPIO знаходяться у стані цифрового входу з підтягуючим резистором.

Порти вводу/виводу GPIO однокристалової збірки AXM0F343 підтримують такі функції:

- двоспрямованість;
- конфігурація push-pull або «транзистор з відкритим стоком»;
- програмовне підтягування або відпускання для всіх GPIO;
- індивідуальне переривання та включення DMA;
- вибір схеми керування за наростаючим, спадаючим фронтом або за рівнем напруги;
- безпечне атомарне циклічне читання/запис;
- синхронізація із двома флопами.

Зв'язок із периферійними та системними лініями реалізується через програ-

мовану шину Crossbar (XBAR). Кожне уведення/виведення може бути задіяне у восьми різних незалежних один від одного конфігураціях.

Функція скидання

Функція скидання (RESET) може бути організована у різний спосіб: скидання при включенні живлення (POR); скидання з зовнішнього виводу; скидання за допомогою програмного забезпечення; скидання від сторожового таймера. Крім того, внутрішні скидання генеруються під час виходу зі сплячого режиму та при вимиканні живлення.

Зовнішнє скидання реалізується, коли на виводі (RESET_N) встановлено низький рівень. Програмне скидання викликається відповідним записом у заданий регістр процесора. Скидання від сторожового таймера запобігає блокуванню при збоях програмного забезпечення. Сторожовий таймер WDOG виликається під час увімкнення живлення та повинен бути увімкнений знову програмно. Також сторожовий таймер відключається у тих випадках, коли налагоджувач зупиняє процесор. Скидання системи може бути ініційоване при спрацюванні температурного датчика у разі перегріву.

Система також відключається при виході напруги живлення або струму за встановлені межі. Ці події можуть бути прив'язані до переривання, що не маскується (NMI — non maskable interrupt) і використані для включення механізму аварійного зниження потужності.

Джерела тактової частоти

Передбачено п'ять джерел тактової частоти для роботи ядра та периферійних пристроїв:

- високочастотний RC-генератор (HSOSC), 32 чи 40 МГц залежно від конфігурації тактової частоти;
- малопотужний RC-генератор з низьким енергоспоживанням (LPOSC), що працює в повільному режимі 640 Гц або швидкому режимі 10.24 кГц, з калібруванням по еталонному годиннику;
- зовнішній кварцовий генератор із низьким енергоспоживанням (LPXOSC) підтримує низькочастотний кварцовий генератор, що працює на частоті 32.768 кГц;
- зовнішній високочастотний кварцовий генератор (HSXOSC), що працює у діапазоні 8–40 МГц;
- зовнішній годинник (EXTCLK_IN): вхід через GPI, 20/40 МГц, і вихід (EXTCLK_OUT) через GPO.



TEAM

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

www.adcgr.com
www.adc-team.com

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

Кожне джерело синхронізації може бути вимкнено незалежно, якщо воно не використовується. Такі генератори можна стробувати за допомогою програмного забезпечення. Високошвидкісні та малопотужні генератори можуть бути відкалібровані по еталонному годиннику.

Вбудовані USART

Два вбудовані USART мають такі параметри:

- стандартний універсальний синхронний/асинхронний приймач/передавач із повним дуплексом;
- довжина слова 5–9 біт;
- 1–2 стопових біт;
- програмовні швидкості передачі;
- підтримка парних, непарних режимів та режимів без парності;
- ініціювання та виявлення розриву, з'єднання;
- розширені функції стійкості до завад (додаткова схема придушення піків);
- підтримка DMA для потоку RX/TX із керуванням за послідовним інтерфейсом.

Інтерфейс SPI

Інтерфейс SPI може бути підключений в режимах «ведучий» і «ведений» до ЦПУ та безлічі зовнішніх периферійних пристроїв, сумісних із стандартом SPI.

Інтерфейс SPI може бути запрограмований із наступними параметрами:

- ширина кадру даних (8-, 16-, 24- та 32-бітові режими);
- фаза тактового сигналу (CPHA) та полярність (CPOL);
- 4- або 3-провідний режим керованого пристрою SPI, з функцією вибору керованого пристрою або без нього;
- вибір шкали тактової частоти;
- спрямування даних (MSB або LSB);
- генерація переривання для подій RX/TX та подій вибору веденого (SS);
- підтримка DMA потоку RX/TX.

Периферійний пристрій, підключений до SPI, можна використовувати для роботи з іншими протоколами послідовної передачі даних. Наприклад, підтримується 2-канальний оптимізований для звуку протокол I²S, включаючи стандартний режим та кадрівання. Крім того, через SPI можна підключити пристрої PCM з ранньою та пізньою кадровою синхронізацією.

Інтерфейс I²C

Інтерфейс I²C, що відповідає специфікації шини Inter-IC Philips Semiconductors, використовує двопровідний варіант, включаючи двонаправлену лінію

синхронізації (SCL) та двонаправлену лінію даних (SDA). Цей інтерфейс призначений для зв'язку із зовнішніми пристроями. Інтерфейс I²C буде підтримувати роботу як у ведучому, так і у веденому режимах, він може підключатися до DMA для обміну даними з периферією в обхід центрального процесора.

Таймери

Таймери для однокристалльної збірки AXM0F343 призначені для конкретних функцій. Системний таймер SysTick використовується як планувальник подій. Він може синхронізуватися системним годинником або одним із джерел тактового сигналу з низьким енергоспоживанням. Таймер пробудження 32-WUT призначений для запланованого виходу зі сплячого режиму. Його також можна використовувати для хронометражу подій загального призначення. Циклічний тактовий таймер 32-TICK, як і SysTick, призначений для планування подій загального призначення. Крім того, він підтримує основні функції RTOS у робочому режимі.

Вибір того чи іншого планувальника залежить від програмовного джерела синхронізації та попередніх коефіцієнтів масштабування. Високошвидкісні джерела тактової частоти використовуються для більш коротких та точних жорстко заданих часових інтервалів.

Збірка на кристалі AXM0F343 має три незалежні 16-бітові таймери загального призначення, що підтримують такі функції:

- поточний лічильник часу та зворотний відлік;
- таймер попереднього масштабування годинника;
- реєстрація/порівняння подій з використанням модуля CCPWM;
- широтно-імпульсна модуляція (ШІМ) з використанням модуля CCPWM;
- лічильник імпульсів;
- режим модуляції Sigma-Delta DAC;
- контроль швидкості передачі USART.

Сторожовий таймер виконує скидання системи у разі збою програмного забезпечення та реалізує відновлення програмного забезпечення, налаштовується під кожне завдання індивідуально через відповідні регістри. Для запобігання вимкненню сторожового таймера за допомогою несанкціонованого ПЗ введено спеціальний механізм блокування доступу до його налаштувань.

Блоки порівняння/захоплення/ШІМ

Блоки порівняння/захоплення/ШІМ (CCPWM) в однокристалній збірці

AXM0F343 використовуються для захоплення часу подій, порівняння значень таймера та для генерації вихідних сигналів із широтно-імпульсною модуляцією. ШІМ-модуляція (Pulse-Width Modulation — PWM) дозволяє керувати потужністю, що підводиться до навантаження, за допомогою зміни коефіцієнта заповнення імпульсів за постійної частоти. Кожен із чотирьох 16-бітних блоків CCPWM може бути незалежно прив'язаний до будь-якого з 16-розрядних таймерів загального призначення. При цьому таймер може запускатися через різні внутрішні та зовнішні події. При спрацьовуванні таймера захоплення генеруватимуться сигнали ШІМ. Будь-який блок CCPWM може генерувати диференціальні ШІМ-сигнали з програмовним мертвим часом між переходами.

Аналого-цифровий перетворювач

Аналого-цифровий перетворювач послідовного наближення (SAR), що вбудований в AXM0F343, має роздільну здатність до 12 біт і підтримує як диференціальну, так і несиметричну вибірку.

Внутрішнє мультиплексування аналогових сигналів дозволяє проводити вибірку із шести зовнішніх несиметричних сигналів або трьох каналів диференціальних пар I/O. АЦП може працювати зі швидкістю до 1.25 Мвиб/с. Вбудований підсилювач може бути запрограмований на коефіцієнт передачі: 10, 1, 1/4.

При використанні блоку посилення максимальна вхідна напруга, що подається на АЦП, обмежується значенням 3.3 В за нормального режиму роботи і напругою 2.1 В в режимі байпаса.

До входу АЦП програмно підключається вбудований датчик температури, призначений для вимірювання температури всередині корпусу SoC. Також АЦП може аналізувати сигнали двох вбудованих компараторів.

Режими потужності

Чотири режими потужності дозволяють оптимально використовувати AXM0F343 в залежності від цільового завдання та умов експлуатації: Run mode, Sleep mode, Hibernate Mode та Shutdown mode. Точні значення для всіх інтервалів частот, а також різних режимів роботи ядра, контролерів, пам'яті, uDMA, I/O і периферії наведені в таблицях технічної документації [10].

У робочому режимі (Run mode) всі цифрові та аналогові системи отримують

ють номінальне живлення та працюють, включаючи пам'ять, зовнішні та внутрішні генератори. Процесор відпрацьовує всі коди повною мірою. Індивідуальний периферійний годинник може бути стробований залежно від конфігурації. У цьому режимі струми споживання становлять приблизно 155 мкА/МГц для версії пам'яті 64 кбайт та 188 мкА/МГц для версії пам'яті 256 кбайт.

У режимі Sleep mode процесор Arm Cortex-M0+ знаходиться у сплячому режимі із синхронізацією тактової частоти процесора. Оскільки тактова частота процесора стробована, процесор не виконує код, а флеш-пам'ять знаходиться в режимі низького енергоспоживання, деякі периферійні пристрої будуть працювати з підтримкою власних синхронізаторів (Wake Up Timer, WUT), генеруючи переривання залежно від конфігурації.

Якщо трансивер і процесор перебувають у сплячому режимі, а вся периферія, за винятком таймера WUT, відключена, струм споживання становитиме 25 мкА/МГц для пам'яті 64 кбайт і 60 мкА/МГц для версії з пам'яттю 256 кбайт.

Щоб ще більше знизити струм споживання, потрібно вимкнути вбудований генератор HSOSC і підключитися до LPOSC, досягаючи споживання струму 47 мкА (або 55 мкА для версії 256).

У режимі Hibernate mode відбувається відключення ЦП, флеш-пам'яті та більшості периферійних пристроїв. Кожен блок SRAM може бути налаштований на вимкнення живлення або збереження його вмісту. Таймер пробудження та контролю GPIO залишається працездатним у цьому режимі глибокого сну з регульованою напругою 1 В для забезпечення умов пробудження. Також включенням залишається малопотужний RC-генератор (LPOSC). При виході з Hibernate mode процесор повторно ініціалізується і виконання коду починається з вектора скидання. У цьому режимі сумарний струм споживання становить 600 нА (без утримання SRAM), або 1.8 мкА (з повним збереженням SRAM) для версії 64 і 600 нА, або 3.5 мкА відповідно для версії 256.

У режимі Shutdown mode всі схеми відключені, крім робочого регістра та мінімальної логіки, що використовується для виявлення перемикання на виводі PB3, що очікує сигнал пробудження. У цьому режимі струм споживання становить приблизно 230 нА для обох версій.

Якщо увімкнено режим Wake on Radio, приймач виходить із режиму сну періодично із заданим користувачем інтервалом і перевіряє наявність радіосигналу на вибраному каналі. Якщо сигнал не виявлено, приймач знову вмикається. Якщо радіосигнал виявлено та отримано підтверджений дійсний пакет, мікроконтролер отримує заявку на переривання. При виявленні сигналу переривання процесор виходить із режиму сну і переходить у робочий режим. Виконання коду розпочинається з останнього відомого місця.

Засоби безпеки

Засоби безпеки, вбудовані в однокристалну збірку AXM0F343, включають Advanced Encryption Standard (AES); True Random Number Generator (TRNG); Cyclic Redundancy Check (CRC).

Апаратне прискорене шифрування та дешифрування AES реалізується за допомогою вбудованого апаратного блоку. Для прискорення шифрування та дешифрування AES доступні чотири функції: SubByte, InvSubByte, MixColumns, InvMixColumns.

Для завершення SubByte та InvSubByte потрібно чотири тактові цикли, кожна функція MixColumns та InvMixColumns виконується за один тактовий цикл, що значно підвищує швидкість шифрування/дешифрування AES.

Генератор справжніх випадкових чисел (TRNG) може генерувати 32-бітові випадкові числа. На відміну від генератора псевдовипадкових чисел, TRNG використовує внутрішні джерела синтезу рядка випадкових бітів. Однак біти з

TRNG не повинні застосовуватися безпосередньо для додатків, де потрібний високий рівень безпеки. Рекомендується використовувати комбінований механізм, який поєднує на програмному рівні TRNG та AES.

Вбудований модуль CRC є периферійним пристроєм, який обчислює 32-бітовий CRC з використанням стандартного полінома Ethernet 0x04C11DB7 (стандарт EN/IEC 60335-1). Це дає можливість перевірити цілісність флеш-пам'яті та інших адрес. Розрахунок CRC виконується в одному циклі процесора для кожного нового слова, записаного у CRC. Для полегшення перевірки CRC у вказаному діапазоні адрес може бути задіяний інтерфейс DMA.

Конструктив та контактні майданчики

Однокристална збірка AXM0F343 виконана у конструктиві QFN40 7 × 5. Розташування контактних виводів показано на рисунку 6.

Усі контакти згруповані за функціональним призначенням. Таке компонування дозволяє оптимально конструювати друковану плату пристрою. Антенні вводи, живлення та контакти заземлення виведені на один бік корпусу. З іншого боку корпусу розташовані контактні виводи GPIO та виводи додаткових фільтрів, і навіть індуктивностей синтезатора частот. Ці додаткові компоненти дозволяють точно налаштувати необхідний інтервал робочих частот. Третя сторона корпусу відведена на виводах GPIO, Reset та контактам

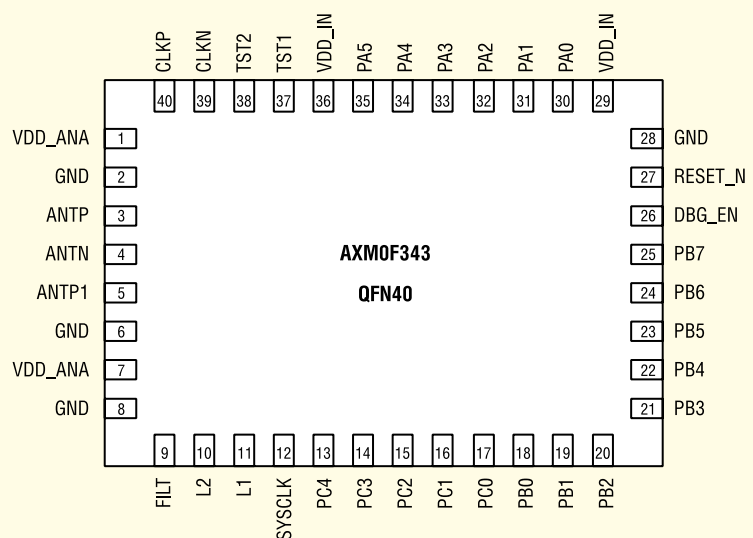


Рис. 6. Розташування контактних виводів однокристалної збірки AXM0F343

налагоджувача. Практично вся четверта сторона зайнята контактами аналогових входів та кварцових генераторів.

Розташування контактних виводів, показане на рисунку 6, буде корисне для користувачів, які працюють з налагоджувальною платою, на якій напаяна однокристална збірка AXM0F343.

НАЛАГОДЖУВАЛЬНИЙ КОМПЛЕКТ AXM0F343-XX-XXX-1-GEVK

Налагоджувальний комплект AXM0F343-XX-XXX-1-GEVK є повністю готовим до використання програмно-апаратним засобом. Він призначений для тестування, оцінки та створення прототипів пристроїв бездротового зв'язку з пропрієтарними протоколами стандартів групи IEEE 802.15.4, наднизьким енергоспоживанням, для роботи в діапазоні частот 27–1050 МГц, зі швидкостями передачі даних 0.1–125 кбіт/с, на основі однокристалної збірки AXM0F343.

Комплект розробника AXM0F343-XXXX-1-GEVK представлений у чотирьох варіантах залежно від типу мікросхеми (різні Flash/SRAM) та частоти роботи:

- AXM0F343-64-868-1-GEVK;
- AXM0F343-64-915-1-GEVK;
- AXM0F343-256-868-1-GEVK;
- AXM0F343-256-915-1-GEVK.

Далі для налагоджувального комплекту AXM0F343-XX-XXX-1-GEVK буде використовуватися аббревіатура DK (Development Kit). Оціночний комплект DK включає дві оціночні плати (GEVB), оснащені вбудованим програматором J-Link, кабелями мікро-USB та антенами. Програмне забезпечення, що по-

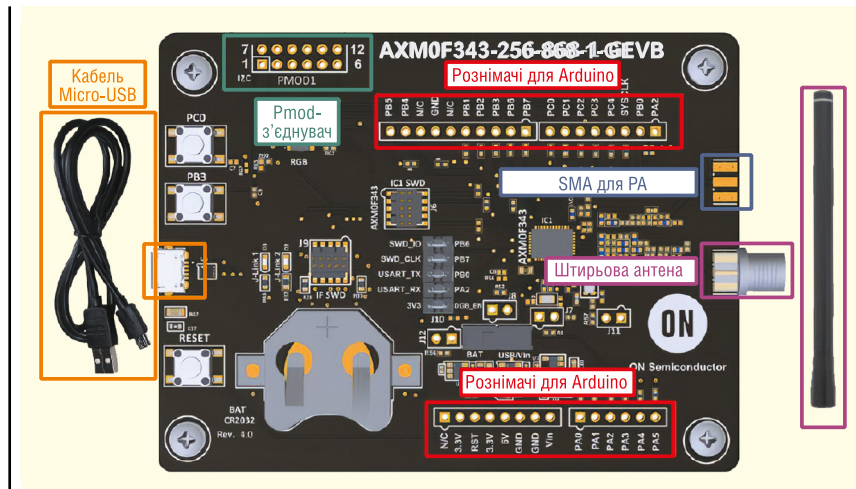


Рис. 7. Зовнішній вигляд налагоджувального комплекту AXM0F343-256-868-1-GEVK [12]

ставляється в комплекті з DK, є onsemi IDE, що включає середовище розробки та приклади конкретних проектів.

Оціночні плати, що входять до комплекту постачання DK, містять однокристалну збірку AXM0F343 з флеш-пам'яттю 64/256 кбайт, налаштовану на роботу на частоті 868 або 915 МГц.

Оціночні плати DK можуть бути підключені до джерела постійного струму через рознімач USB або до батареї CR2032, або до зовнішнього стабілізованого джерела постійного струму 3.3 В через рознімач, сумісний з Arduino. Інтерфейс SWD та послідовний інтерфейс доступні через вбудований рознімач J-Link. Однокристалну збірку AXM0F343 можна налаштувати для виведення радіосигналу через інтерфейс диференціального підсилювача потужності (ПП), який підтримує як TX, так і RX, або через енергозберігаючий несиметричний інтерфейс, який підтримує тільки TX.

За замовчуванням оціночні плати не мають встановленого несиметричного рознімача SMA, оскільки приклад програмного забезпечення налаштований на використання диференціального інтерфейсу. Для перемикання між диференціальним та несиметричним вихідними режимами необхідно наново виконати конфігурування програмного забезпечення.

Зовнішній вигляд налагоджувальної плати комплекту AXM0F343-256-868-1-GEVK показаний на рисунку 7.

До складу комплекту входять:

- дві плати AXM0F343-X-X-1-GEVB із попередньо завантаженими прикладами AX-Radio-TX та AX-Radio-RX;
- два кабелі USB-A-Micro-B;
- дві штир'єві антени для 868 або 915 МГц;
- контейнер із монтажними ніжками для друкованої плати, додатковими рознімачами та несиметричним роз'ємом SMA.

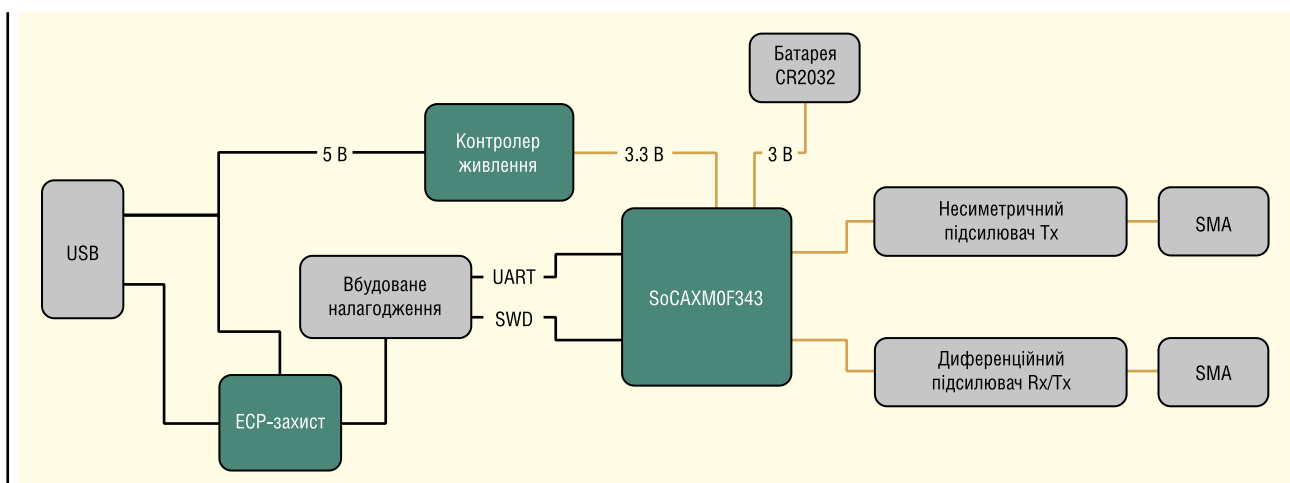


Рис. 8. Структурна схема плати налагоджувального комплекту AXM0F343-256-868-1-GEVK [11]

Основні блоки та пристрої, розміщені на платі налагоджувального комплексу AXM0F343-256-868-GEVK:

- змонтована на платі збірка AXM0F343-256-1-TX40 у корпусі QFN-40 5 × 7 мм, з програмовною носійною 27–1 050 МГц;
- 256 кбайт вбудованої Flash;
- 32 кбайт вбудованої RAM;
- узгоджувальний фільтр RF, налаштований для роботи на частоті 868 МГц;
- порт Micro-USB;
- схема узгодження з Arduino;
- 10-контактний рознімач для вбудованого програматора J-Link;
- рознімач Pmod;
- рознімач SMA, встановлений для диференціального виходу, оптимізованого для роботи на рівні 15 дБм;
- рознімач SMA для несиметричного виходу для роботи на рівні 0 дБм (встановлюється розробником у разі потреби);
- два кнопкові перемикачі для користувачів;
- кнопка скидання;
- утримувач батареї CR2032;
- лінійний стабілізатор напруги NCP702;
- фільтр ECP EMI2121.

Структурна схема плати налагоджувального комплексу AXM0F343-256-868-1-GEVK показана на рисунку 8.

Плата налагоджувального комплексу DK включає все, що необхідно для початку тестування та розробки нового пристрою. За допомогою універсального перемикача джерело живлення може перемикатися між режимом роботи від батареї (BATT) та USB або зовнішньою напругою (USB/VIN). Декілька способів подачі живлення, реалізованих на платі DK, дозволяють підключати або відключати певні ділянки схеми та контролювати струми у потрібних точках схеми. Наприклад, можна окремо контролювати струми в різних колах живлення: MCU, RF, TCXO і т.д.

На платі DK є 10-контактний рознімач, який слугує інтерфейсом між вбудованим програматором J-Link та збіркою AXM0F343. Чотири пари контактів з'єднують порти UART та SWD, а два додаткові контакти з'єднують DBG_EN з VDD. Для виконання вимірювань у режимах з низьким енергоспоживанням, щоб уникнути струму витoku, можна вимкнути ці рознімачі.

Для початку роботи з налагоджувальним комплектом зі сторінки необхідно завантажити такі програмні продукти:

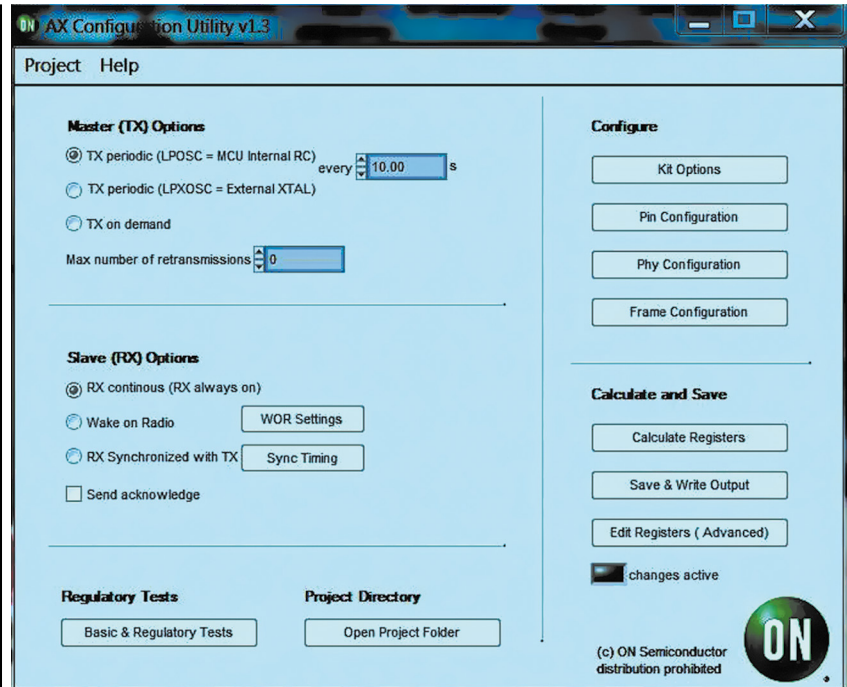


Рис. 9. Головний інтерфейс програми AX Configuration Utility

- onsemi IDE — пакет включає IDE на основі Eclipse, набір інструментів ARM GNU (компілятор, компонувальник, налагоджувач GDB) та необхідне програмне забезпечення J-Link для налагодження плати;
- AXM0F343 CMSIS Pack — включає приклад коду, проміжне програмне забезпечення та драйвери пристроїв для радіо та периферійних пристроїв MCU;
- ARM CMSIS Pack — можна завантажити автоматично з середовища IDE або інсталивати вручну;
- AX Configuration Utility — додатковий графічний інтерфейс для створення власних радіопроєктів, сумісних із onsemi IDE.

На рисунку 9 показано головний інтерфейс програми AX configuration Utility.

Детальні покрокові інструкції щодо роботи з налагоджувальним комплектом AXM0F343-XX-XXX-GEVK наведені на сайті виробника [12].

Література:

1. AXM0F343: Ultra-Low Power Narrow-Band Sub GHz (27–1050 MHz) ARM Cortex-M0+ Wireless Microcontroller. www.onsemi.com/products/wireless-connectivity/wireless-rf-transceivers/axm0f343
2. www.telco-europe.com/trlcs/
3. AX5043: Ultra-Low Power Narrow-Band Sub GHz (27–1050 MHz) RF Transceiver. www.onsemi.com/products/wireless-connectivity/wireless-rf-transceivers/ax5043
4. Short Range Devices (SRD) operating in the frequency range 25 MHz to 1000 MHz; Part 1: Technical characteristics and methods of measurement. www.etsi.org/deliver/etsi_en/300200_300299/30022001/03.01.01_60/en_30022001v030101p.pdf
5. AX5043-1 DVK2b Module Performance TX. www.onsemi.cn/pub/collateral/and9314-d.pdf
6. AX5043 Programming Manual. Advances High Performance ASK and FSK Narrow-Band Transceiver for 27–1050 MHz Range. www.onsemi.com/pub/Collateral/AND9347-D.PDF
7. Ultra-Low-Power Narrow-Band Sub-GHz Wireless Microcontroller AXM0F343. www.onsemi.com/pdf/datasheet/axm0f343-d.pdf
8. The Arm Cortex-M0+ processor is the most energy-efficient Arm processor available for constrained embedded applications. <https://developer.arm.com/Processors/Cortex-M0-Plus>
9. Arm Cortex-A78 Core. Technical Reference Manual. www.documentation-service.arm.com
10. <https://developer.arm.com>
11. AXM0F343 SDK Getting Started Guide. www.onsemi.jp/pub/collateral/axm0f343%20getting%20started%20guide.pdf
12. www.onsemi.com/design/resources/designresources/software?rpn=AXM0F343

«CHIP NEWS»-2022

(зміст журналу за 2022 рік)

МІКРОПРОЦЕСОРИ та МІКРОКОНТРОЛЕРИ

Ігор Гук

Високоєфективні мікроконтролери компанії Renesas Electronics Corporation

1

Сергій Долгушин

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

1

Георгій Воронцов

Бездротові мікроконтролери

2

Євген Тетерев

Нові мікроконтролери PIC32CM Lx від Microchip Technology

3

Сергій Волков

Мікроконтролери сімейства RZ/G2 від компанії Renesas Electronics

3

Сергій Волков

Мікроконтролери сімейства RZ/N компанії Renesas

4, 5

Мікроконтролери серії APM32F405/415 з високою продуктивністю та високим рівнем безпеки

7

Переваги використання мікроконтролерів RA2A1 у вимірювальних системах

7

Переклад: Андрій Лебедев

Мікроконтролер Renesas RA4W1 з Bluetooth Low Energy для поліпшення якості медичного обслуговування

9-10

Тетяна Колеснікова

Робота з мікроконтролерами STM32 сімейства Cortex-M3 у програмному середовищі Proteus 8.11

Частина 3

9-10

СИЛОВА ЕЛЕКТРОНІКА та ДЖЕРЕЛА ЖИВЛЕННЯ

Володимир Рентюк

Модуль компанії RECOM спрощує рішення збору та використання вільної енергії

1

Володимир Рентюк

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

1, 2

Бернард Айчлер (Bernhard Eichler),

Андреас Гісман (Andreas Giessmann);

переклад та коментарі: Андрій Колпаков

IGBT Gen. 7 у трирівневих перетворювачах

1

Іван Гончаров, Олександр Леонов

Блоки FSP для телекомунікацій

2

Стів Робертс (Steve Roberts);

доповнення: Володимир Рентюк

Пікова та середня потужність: як вибрати джерело живлення правильно

2

Філ Девіс (Phil Davies)

Підвищення ефективності перетворення шляхом зміни схеми розподілу електроживлення

2

Йохім Ламп (Joachim Lamp);

переклад та коментарі: Андрій Колпаков;

адаптований переклад українською:

редакція журналу «CHIP NEWS»;

технічний консультант: Тарас Мисак

Сьоме покоління IGBT у трирівневих перетворювачах

2

Андрій Колпаков;

технічний консультант: Тарас Мисак

Керування карбідом кремнію:

драйвер для модуля SiC MOSFET 62 мм

3

Владан Мітов (Vladan Mitov),

Чун Кеонг Ті (Chun Keong Tee)

Електробезпека оптичних

ізоляторів в умовах можливих

відмов у силових перетворювачах

3

Рене Спенке (Rene Spenke),

Нілс Солтау (Nils Soltau),

Тору Матсуока (Toru Matsuoka),

Віктор Толстоп'ятов;

адаптований переклад українською

та технічне редагування: Андрій Мовчанюк

Високоєфективні силові модулі

на основі SiC для широкого

спектру застосувань

3

Вольфганг Франк (Wolfgang Frank);

адаптований переклад українською

та технічне редагування: Андрій Мовчанюк

Простий метод керування

швидкістю наростання напруги

для підвищення енергоефективності

3

Том Куратоло (Tom Curatolo)

Підвищення ефективності систем

із батарейним живленням

за допомогою перетворювачів

з постійним коефіцієнтом

перетворення

3

Стів Робертс (Steve Roberts)

Живлення датчиків для систем

технічного обслуговування

за станом

3

Андрій Колпаков; технічний консультант: Тарас Мисак Модуль eMPack для транспортного приводу XXI століття	4-5	Стив Робертс (Steve Roberts); переклад: Володимир Рентюк Змінний струм — початок початків	7
Франческо ді Доменіко (Francesco Di Domenico); адаптований переклад українською та технічне редагування: Андрій Мовчанюк Вибір топології імпульсних силових каскадів	4-5	Роберто Агостіні (Roberto Agostini); переклад та коментарі: Андрій Колпаков Надкомпактні модулі SEMITOR: інструкція із застосування	7
Нілс Солтау (Nils Soltau), Екхард Тхал (Eckhard Thal), Тору Мацуока (Toru Matsuoka); адаптований переклад українською та технічне редагування: Юлія Ямненко Силові SiC-модулі наступного покоління	4-5	Рене Мент (Rene' Mente) Доцільність переходу з Si- на SiC-технологію	7
Геннадій Штрапенін SiC-діоди та транзистори від Onsemi — ефективне вирішення задач силової електроніки	4-5	Використання силових дискретних напівпровідників WeEn Semiconductors для побудови більш надійних та ефективних ДБЖ	8
Олександр Зейніков Питання безпеки при використанні оптронів та альтернативних ізоляторів для захисту від ураження електричним струмом	4-5	Пол Дрексхейдж (Paul Drexhage), Стефан Хаузер (Stefan Houser); переклад і коментарі: Андрій Колпаков Вплив вологості та конденсації на роботу силових електронних систем	8, 9-10
Сергій Гладишев; адаптований переклад українською та технічне редагування: Ілля Кирпатенко Топології силових каскадів для двонаправленої передачі енергії?	4-5	Екхард Таль (Eckhard Thal), Дзюндзі Ямада (Junji Yamada), Віктор Толстоп'ятов Підвищуючи швидкість: SiC-модулі Mitsubishi Electric	8
Міхаель Шрутка (Michael Schrutka); адаптований переклад українською та технічне редагування: Ілля Кирпатенко Навіщо джерелу живлення потрібна шина даних?	6	Серія джерел живлення MPM MEAN WELL для медичного обладнання	8
Тимур Улудаг (Timur Uludag); адаптований переклад українською та технічне редагування: Ілля Кирпатенко Ізольований силовий модуль Mag13C для керування 24-В промисловою шиною	6	Євген Рабінович Деякі аспекти вибору джерела живлення для медичного обладнання	8
Адаптований переклад українською та технічне редагування: Ілля Кирпатенко DC/DC-перетворювачі серії NPH від Murata Power Solutions	6	Джон Куїнлан (John Quinlan) Характеристики джерел живлення для медичної техніки	8
Пол Дрекседж (Paul Drexhage), Арендт Вінтріч (Arendt Wintrich); переклад з англійської та коментарі: Андрій Колпаков; технічний консультант: Тарас Мисак Вбудований термодавач та «віртуальна» температура кристала: як використовувати сенсор для аналізу теплових режимів силового модуля	6	Прадип Чаттерджи (Pradip Chatterjee) Проектування швидкодіючих 350-кВт зарядних пристроїв	8
Дискретні SiC-діоди та транзистори у корпусах TO-247 від Mitsubishi Electric. Компактне ізольоване джерело живлення драйверів затворів SiC MOSFET з додатковим каналом	7	Сінін Чжан (Xuning Zhang), Томаш Кречек (Tomas Krecsek), Найтеш Сатіш (Nitesh Satheesh) Рекомендації компанії Microchip Technology щодо вибору SiC MOSFET для транспортних і промислових застосувань	9-10
		Клайс Вогель (KlausKlaus Vogel (KlausVogel), Ян Бауріхтер (Jan Baurichter), Віталі Вайс (Vitali Weiss), Крістіан Стенінгер (ChristianSteininger), Фабіан Северін (Fabian Severin); переклад: Євген Карташов Модулі серії Infineon EconoDUAL 3 Black: добре відомі переваги та нові особливості	9-10
		НА ДОПОМОГУ РОЗРОБНИКУ/ІНЖЕНЕРНА ПРАКТИКА	
		Маріо Клуґ (Mario Klug) Роздрібна торгівля в цифрову епоху. Обриси майбутнього	1
		Муса Унмехопа (Musa Unmehopa) Вибір стандартів Li-Fi під час розробки Li-Fi-пристроїв	1

Володимир Макаренко ADI Precision Studio від компанії Analog Devices Частина 4 Частина 5	1 2	З'єднувачі компанії Fischer Connectors для захищених виробів та кабельні збірки на їх основі	3
Ілля Тарасов Системи на модулі Kria компанії Xilinx	1	<i>Міхаель Хан (Michael Hahn)</i> Посміхніться, вас фотографують	3
Ієн Сатерлей (Ian Saturley) Контролери EtherCAT з погляду Microchip Technology	1	<i>Переклад: Володимир Рентюк</i> Оптичні роз'єми об'єднувальної плати: інтерфейсна технологія від компанії Molex	3
Модулі SOM-6883 та SOM-7583: відмінна допомога у тестуванні	1	<i>Олександр Самарін, Віктор Єгоров</i> MDR-з'єднувачі компанії ЗМ: надійне рішення для сучасних систем передачі даних	3
Тодд Філіпс (Todd Phillips) Захист портів PoE/PoE++	2	<i>Міхаель Радау (Michael Radau)</i> Розумні польові пристрої зі смарт-з'єднанням	4-5
FlyFocus розробляє від'єднуваний прив'язний БПЛА для безперервного спостереження за критично важливими об'єктами	4-5	Поліпшення функціональних характеристик захищеної вимірювальної апаратури під час використання з'єднувачів компанії Fischer Connectors	4-5
<i>Крістіан Мерц (Christian Merz), Кем Сом (Sem Som); адаптований переклад українською та технічне редагування: Андрій Мовчанюк</i> Розробка, аналіз та оптимізація комбінованої системи бездротової передачі енергії на основі NFC	4-5	З'єднувачі компанії Fischer Connectors для волоконно-оптичних ліній зв'язку	6
<i>Ясуфумі Якіхана (Yasufumi Kakihana), Мічінарі Асаї (Michinari Asai)</i> Прецизійний вимір струму та напруги для керування приводами двигунів за допомогою оптронів	6	<i>Такуя Фудзімото (Takuya Fujimoto)</i> Майбутнє з'єднувачів для силових агрегатів електромобілів	6
Що таке Arduino та чому вона стала неофіційним стандартом?	6	<i>Володимир Макаренко</i> Кабелі TE Connectivity для заміни проводу МГТФ	7
<i>Скотт Швейцер (Scott Schweitzer)</i> Еволюція архітектури SmartNIC: перехід на прискорювачі та зростання ролі ПЛІС	6	<i>Світлана Пескова</i> Плоский кабель: знайомий та невідомий	7
<i>Хакан Уенлу (Hakan Uenlu); переклад та доповнення: Володимир Рентюк</i> Як програмно-конфігуроване обладнання допомагає підвищити гнучкість промислових модулів вводу/виводу	7	<i>Крейг Каммерман (Craig Kammerman)</i> Надійні рішення для військового застосування компанії ODU сімейства AMC® серії T	8
<i>Ксав'є Бігналет (Xavier Bignalet)</i> Захист Інтернету речей попередньо налаштованими апаратними елементами безпеки	8	МЕРЕЖІ, СИСТЕМИ, АПАРАТУРА	
ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНІ КОМПОНЕНТИ		<i>Френсіс Іельш (Francis Ielsch); переклад та доповнення: Володимир Рентюк</i> Чутлива до часу автомобільна мережа з Ethernet AVB	4-5
З'єднувачі серії Freedom компанії Fischer Connectors для портативної електронної апаратури	2	<i>Вінсент Хаше (Vincent Hache)</i> Реалізація всього потенціалу технології GRUDirect Storage за допомогою IC комутаторів PCIe Fabric	6
<i>Крістіан Рем, Крістіан Дандл, Бернхард Цехентнер, Райнхард Вагнер; адаптований переклад українською та технічне редагування: Микола Першин</i> Дослідження експлуатаційних параметрів та характеристик покриттів для радіочастотних з'єднувачів	2	<i>Верена Нойгауз (Verena Neuhaus), Тім Кіндерманн (Tim Kindermann)</i> Однопарний Ethernet — ключова технологія в цифровізації нашого світу	8
		Що таке Modbus TCP/IP? Декілька слів про протокол Modbus	8
		<i>Томас Бранд (Thomas Brand); переклад і доповнення: Володимир Рентюк</i> Технологія PoE: живлення мережних пристроїв через лінії передавання даних. Рішення компанії Analog Devices	8
		<i>Райнер Шмідт (Rainer Schmidt)</i> Розвиток однопарного Ethernet	8

У чому різниця між Ethernet і промисловим Ethernet	8	<i>Джакомо Тувері (Giacomo Tuveri)</i> Як скоротити час тестування швидкості саморозряду літій-іонних елементів живлення?	7
<i>Йонас Дікманн (Jonas Diekmann)</i> Стандартизація однопарного Ethernet: з'єднувач SPE від HARTING	8	<i>Андреа Вінчі (Andrea Vinci)</i> П'ять функцій, якими має бути оснащений сучасний цифровий мультиметр	7
<i>Володимир Рентюк, Геннадій Штрапенін</i> Як забезпечити більш високі рівні потужності для однопарного Ethernet? Використовувати комбінований підхід із новим роз'ємом від TE Connectivity	8	Основні відомості про попередні випробування на EMC	8
<i>Фабіан Форнхаген (Fabian Vornhagen), Мартін Лейхенседер (Martin Leihenseder), Роберт Демхартер (Robert Demharter), Ісмаель Моліна Альба (Ismael Molina Alba), Саймон Марк (Simon Mark), Хаїро Бустос (Jairo Bustos), Маттіас Фріче (Matthias Fritsche);</i> переклад та доповнення: Володимир Рентюк Würth Elektronik: однопарний Ethernet для індустріальних застосувань	8	Моделювання перехідних процесів і завад джерел живлення під час розроблення та тестування систем супутникового зв'язку та систем оборонного призначення. Рекомендації щодо застосування	9-10
ДРУКОВАНІ ПЛАТИ		СИСТЕМИ ЗВ'ЯЗКУ та ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЇ	
<i>Ілля Лейтес</i> Особливості виробництва високочастотних друкованих плат	2	<i>Дмитро Новинський</i> Нові LTE Cat.1 рішення SIMCom Wireless Solutions	1
<i>Джон Прідей (John Priday), Джон Ліаф (John Leaf);</i> переклад: Святослав Зубарев Проектування друкованих плат для пристроїв НВЧ-діапазону. Робимо все правильно з першого разу	3	<i>Шахар Фельдман (Shahar Feldman);</i> переклад: Володимир Рентюк У чому різниця між Wi-Fi HaLow та традиційним Wi-Fi	2
<i>Закарайя Петерсон (Zachariah Peterson);</i> адаптований переклад українською та технічне редагування: Олег Бевза Тестування друкованих плат: найважливіші методи та показники	4-5	<i>Єва Данель (Eve Danel);</i> переклад та доповнення: Володимир Рентюк Нові горизонти мікролокації: Bluetooth 5.1, UWB та Wi-Fi 802.11az	3
<i>Закарайя Петерсон (Zachariah Peterson)</i> Що таке проектування НВЧ-плат?	6	<i>Костянтин Верхулевський</i> Рішення компанії Semtech для бездротової передачі даних	4-5
<i>Закарайя Петерсон (Zachariah Peterson)</i> Трасування під довільним кутом — коли його потрібно використовувати?	7	Чи готові ви до майбутнього? Захистіть свої розробки від впливу відключення 2G/3G за допомогою LTE	9-10
<i>Закарайя Петерсон (Zachariah Peterson)</i> Що таке зворотний шлях струму на друкованій платі?	8	СВІТЛОДІОДИ/ СВІТЛОДІОДНЕ ОСВІТЛЕННЯ	
<i>Адаптований переклад українською та технічне редагування: Яна Зінгер</i> Altium Designer 23.0. Що нового?	9-10	<i>Маркус Хофманн (Markus Hofmann);</i> переклад з англійської: Василина Рочева Новий світлодіод для зовнішнього освітлення	4-5
<i>Ілля Лейтес</i> Основні напрямки розвитку технологій для виробництва друкованих плат	9-10	<i>Володимир Рентюк</i> TE Connectivity: «розумний» світ починається з «розумного» освітлення	4-5
ВИМІРЮВАЛЬНА ТЕХНІКА		<i>Катерина Ільїна</i> Світло, колір та оптика LEDiL	6
Аналіз сигналів на частотах 110 ГГц та вище. Короткі рекомендації щодо застосування	4-5	<i>Ацуші Нісікава (Atsushi Nishikawa), Кадзухіро Окава (Kazuhiro Ohkawa);</i> переклад: Василина Рочева Мікросвітлодіодні дисплеї: нові перспективи червоних світлодіодів на основі нітридів	7
Ефективне обслуговування та діагностика військових радіоелектронних засобів. Рекомендації щодо застосування	6	СИСТЕМИ ПОЗИЦІОНУВАННЯ	
		<i>Бернд Гайдтманн (Berd Heidtmann)</i> Зменшення впливу радіочастотних завад для покращення продуктивності GNSS	7

Самуеле Фалькомер (<i>Samuele Falcoer</i>), Оресте Консепіто (<i>Oreste Conserpito</i>) Вибір правильної апаратної архітектури для рішень з відстеження в IoT	8	ПЛІС	
Новий GNSS модуль SIM65M для систем реального часу	8	<i>Ілля Тарасов</i> Огляд та перспективи застосування ПЛІС Xilinx Versal AI Edge	2
<i>Набіль Хан (Nabeel Khan)</i> Нагодувати світ за допомогою точного землеробства	9-10	<i>Скотт Каспер (Scott Casper)</i> ПЛІС — логічне вирішення проблеми нестачі мікроконтролерів	3
ТРАНСПОРТ, ЕЛЕКТРОТРАНСПОРТ		<i>Кен О'Ніл (Ken O'Neil)</i> Архітектура RISC-V в оборонній та авіакосмічній промисловості	7
<i>Андрій Тимофеев, Микита Балашенко</i> Інфраструктура для електромобілів: електричні зарядні станції	2	ІНТЕРНЕТ РЕЧЕЙ (IoT)	
Розвиток інтелектуального транспорту за допомогою штучного інтелекту, 5G та граничних обчислень	4-5	Ефективне вирішення питань забезпечення безпеки у вбудованих системах Інтернету речей	2
Sincoze GM1000 забезпечує роботу автономних роботів-кур'єрів	7	Розкрийте можливості цифрового управління енергією з рішеннями SIMCom IoT	7
<i>Вілл Стюарт (Will Stewart)</i> Готові до експлуатації надійні роз'єми для електромобілів. Революція електромобілів потребує надійної зарядки	9-10	АНТЕНИ	
ЕЛЕКТРОМАГНІТНА СУМІСНІСТЬ		<i>Віктор Алексеєв</i> Нова маркетингова політика Quectel: бездротові модулі в комплекті з антенами Частина 2	1
<i>Шейн О'Коннор (Shane O'Connor)</i> Випробування імпульсних джерел живлення на кондуктивні випромінювання	3	АЦП та ЦАП	
<i>Кеннет Уайет (Kenneth Wyatt); адаптований переклад українською та технічне редагування: Юлія Ямненко</i> П'ять основних причин електромагнітних завад на друкованих платах	4-5	<i>Іман Чалабі (Iman Chalabi)</i> Вбудований АЦП чи окрема мікросхема?	2
<i>Андрій Горін; адаптований переклад українською та технічне редагування: Ілля Кирпатенко</i> Методи зниження рівня електромагнітних завад	6	МАШИННИЙ ЗІР	
ПАСИВНІ КОМПОНЕНТИ		Огляд пристрою MIC-730AI NVIDIA Jetson AGX Xavier AI Edge	3
<i>Олексій Панфьоров</i> Особливості вибору компонентів для кросоверів акустичних систем	1	МЕДИЧНА ТЕХНІКА	
Реле: Micros sp. j. Пропонує	1	SOM-6883 в медичному обладнанні	2
<i>Олексій Чистяков</i> Індуктори компанії TDK для силової електроніки	7	ІЗОЛЯТОРИ	
ДАТЧИКИ		<i>Олександр Зейніков</i> Створення безпечних та надійних електричних систем із оптичними ізоляторами	2
<i>Олександр Самарін, Віктор Єгоров</i> Плоскопанельні детектори рентгенівського випромінювання компанії BOE: технологія та застосування	3	СИСТЕМИ ІДЕНТИФІКАЦІЇ	
Датчики газу серії Gravity від DFRobot	4-5	Автоматична ідентифікація із застосуванням зчитувачів RFID фірми Elatec	7
Інфрачервоні детектори VIGO System	9-10	ПРОМИСЛОВІ ПК/СИСТЕМИ ПРОМИСЛОВОЇ АВТОМАТИЗАЦІЇ	
		<i>Чень Ю Шан; переклад: Володимир Рентюк</i> Рішення Advantech для роботизованого виробництва автомобілів	9-10
		ТРАНЗИСТОРИ	
		<i>Том Деккер (Tom Dekker); адаптований переклад українською та технічне редагування: Роман Горелков</i> Вдосконалені високонадійні транзистори ART від компанії Ampleon	9-10

СИСТЕМИ НА КРИСТАЛІ

Віктор Алексєєв;
адаптований переклад українською
та технічне редагування: Андрій Мовчанюк
Нова інтегральна система на кристалі onsemi
для діапазону частот 27–1050 МГц

**ДИСТРИБУЦІЯ, РИНОК ЕЛЕКТРОНІКИ,
ДИСКУСІЙНИЙ КЛУБ, CHIP CLUB, ІННОВАЦІЇ**

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

Вадим Чорний
Розбиті шибки чи вікно можливостей?

Огляд професійних інструментів KNIPEX.
Плоскогубці, кусачки (кліщі),
інструменти для зачистки дроту тощо

Раш ЛаСель (Rush LaSelle);
переклад: Сергій Шихов
Майбутнє 3D-друку: п'ять прогнозів
від компанії Jabil

9-10

1

2

2

3

Дмитро Огоньков;
адаптований переклад українською
та технічне редагування: Юлія Боярінова
**Машинне навчання — сьогоднішня
технологія майбутнього**

4-5

Володимир Рентюк
**IsoMOV — інноваційні компоненти
компанії BOURNS для захисту
ланцюгів**

6

Дмитро Огоньков
**Інтернет речей зі штучним
інтелектом (AIoT)
на основі мікроконтролерів**

6

ПОДІЇ (ВИСТАВКИ), ІНТЕРВ'Ю, РІЗНЕ

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

1

**Історія компанії Phoenix Contact.
Пориньте у 100-річну історію
нашої компанії**

9-10



*Учітесь, читайте,
І зужому навчайтесь,
Щ свого не цурайтесь.*

М.Т. Шовченко

ЕЛЕКТРОНІКА • ЕЛЕКТРОТЕХНІКА • АВТОМАТИКА

CHIP NEWS

ЕЛЕКТРОННІ КОМПОНЕНТИ

від провідних виробників світу,
зі складу та під замовлення

Гнучкі ціни



ТОВ "АДС ТІМ"
Україна, 03680, м. Київ
пров. Радищева, буд. 3
+38 (044) 361-46-78, 206-22-52
+38 (067) 249-77-58, (050) 464-22-52
zapros@adcgr.com www.adcgr.com

ТОВ Аіронікс КОМПОНЕНТС



тел.: +38 044 384-17-55
+38 044 501-07-29
+38 044 501-80-09
info.aironics@gmail.com

- електронні компоненти
- друковані плати
- виготовлення дослідних зразків приладів
- контрактне виробництво
- перетворювачі частоти до 11 кВт (Україна) до 220 кВт (Китай)

м. Київ, вул. О. Довженка, 3
www.aironics.com.ua
www.aironics.prom.ua



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

**ОПЕРАТИВНІ ПОСТАВКИ
ЕЛЕКТРОННИХ КОМПОНЕНТІВ**

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



ТОВ «НВП АСТЕРА»

директор **ТЕРЕЙКОВСЬКИЙ
Артем Семенович**

Ферритові осердя,
аксесуари, індуктивні елементи

61072, Україна, Харків, вул. Тобольська 42 оф. 222
тел.: 057-757-2859, факс: 057-728-1808
050-323-3763, 067-575-4440, 068-616-7777
http://www.ferrite.com.ua E-mail: ferrite@ukr.net



- Електронні компоненти
- Світлодіодне освітлення
- Друковані плати
- Контрактне виробництво



bis_electronics @BISelectronic bis@bis-el.kiev.ua | bis-el.com
+38 (044) 490-35-99

VD MAIS

ДИСТРИБ'ЮЩА +
КОНТРАКТНЕ
ВИРОБНИЦТВО

03061, Київ,
вул. Михайла Донця, 6
тел.: +380 (44) 201 02 02
info@vdmajs.ua
www.vdmajs.ua

- електронні компоненти
- електромеханічні компоненти
- промислова автоматизація
- вимірювальні прилади
- обладнання та матеріали для виробництва електроніки
- друковані плати
- контрактне виробництво

VD MAIS

**Контрактне
виробництво
електроніки**
(за стандартом IPC-A-610)



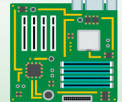
- автоматизований монтаж SMD-компонентів (до 2.5 млн на добу)
- автоматизована селективна пайка компонентів, що монтуються у отвори
- монтаж прототипів друкованих плат
- 100% автоматичний оптичний контроль якості монтажу
- виготовлення дослідних зразків виробів
- дрібносерійне та серійне виробництво
- більш ніж 10-річний досвід контрактного виробництва
- гарантія якості продукції

Сертифікація на відповідність вимогам стандартів ISO 9001:2015, ISO 14001:2015, IATF 16949:2016 та ISO 13485:2016.
Ціни – оптимальні

Україна, 03061, Київ, вул. Михайла Донця, 6
тел./факс: (044) 201-0202, (057) 719-6718,
(0562) 319-128, (032) 245-5478, (048) 734-1954,
info@vdmajs.ua; www.vdmajs.ua

ВЕРІКОМ КОМПОНЕНТС

- Виробництво друкованих плат від 1 шт
- Контрактне виробництво
- Власний склад електронних компонентів
- Покриття лаком і компаундами
- Відповідаємо вимогам стандарту ISO 9001:2015



Україна, м. Київ
вул. Марії Капніст, 2а, оф. 114
URL: www.verikom.kiev.ua



тел./факс: (+380) 44-501-9335
(+380) 67-508-0229
E-mail: sales@temys.kiev.ua

ЕЛЕКТРОНІКА • ЕЛЕКТРОТЕХНІКА • АВТОМАТИКА

CHIP NEWS

НАУКОВО-ТЕХНІЧНИЙ ЖУРНАЛ
ВИДАЄТЬСЯ З 2001 РОКУ

03061, Київ,
просп. Відрадний, 10

(044) 490 74 99
(044) 490 74 30
info@chipnews.com.ua
www.chipnews.com.ua

WINTEX (044) 5036112
(067) 2983455
Професійний ремонт (050) 2665517

- Електронні компоненти
- Модулі та датчики для розробників електроніки
- Модулі для ремонту ТВ, комп'ютерів, планшетів, комп'ютерів
- Роз'єми та конектори
- Розробка елементів альтернативної енергетики
- Ремонт усіх видів електроніки та побутової техніки



03150, Київ, вул. Велика Васильківська, 80

www.wintex.com.ua

ДП «Гальванотехніка» ПАТ «Київський завод "Радар"»
ТОВ «НВЦ друкованих плат»

Виготовлення друкованих плат:

- одно-, дво- та багатшарових 3^{го}–5^{го} класів складності;
- жорсткогнучких друкованих плат, гнучких кабелів;
- друкованих плат на металі (алюміній, мідь).

Швидке виготовлення (від 3-х днів).
Висока якість. Оптимальне співвідношення ціна/якість.
Послуги по монтажу плат.

03680, м. Київ, вул. Предславинська, 35
тел.: (044) 592-5467, 528-2068, 528-3656

<http://plata.com.ua>
order@plata.com.ua

Gamma
радіокомпоненти

Trxcom, FUZETEC, A.B.T., NORDIC, MICROCHIP, FUZETEC, A.B.T., NORDIC, HF, SIK, HOPERF, nuvoton, LAZE

ГАММА УКРАЇНА

(056) 745-46-65, (0562) 36-07-92
(044) 494-35-72, (044) 223-84-63

www.microchip.ua sale@microchip.ua

Науково-Впроваджувальна Фірма "Гранато"

Тел / факс 044-453-44-04, 453-44-06
E-mail: granat@granato.kiev.ua, office@granato.kiev.ua
http://www.granato.com.ua, http://www.multiport.com.ua
м. Київ, вул. Вацлава Гавела, 8, для листів: 03067, а/с 63, НВФ Гранато

**СИСТЕМИ ВІДОБРАЖЕННЯ, ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ ТЕЛЕКОНФЕРЕНЦІЙ,
МУЛЬТИПОРТОВІ ПЛАТИ, ЕЛЕКТРОННІ ГОДИННИКИ, КОНТРОЛЕРИ**

Інформаційні транспортні системи
Розробка та виготовлення на основі електромеханічних та світлодіодних індикаторів.

Бортові комп'ютери, передні, бокові, задні, внутрішні табло, аудіоінформатори.



група компаній GRAND Electronic

Прямі поставки від виробника

FLUKE Biomedical, AEB Group, ALEXANDER ELECTRIC, JET

Комплексні поставки електронних комплектуючих

- Автоматика
- Датчики
- Джерела живлення
- Компоненти і модулі СВЧ
- Мікросхеми
- Рознімачі
- Реле
- Системи бездротового зв'язку
- Системи відображення інформації
- Хімічні джерела струму

38 (044) 239-96-06
38 (044) 498-01-68

www.grandelectronic.com
office@grandelectronic.com

Бульвар Вацлава Гавела, 8
м. Київ, 03124

ДАСПОЛ **ВСЕ ДЛЯ СИЛОВОЇ ЕЛЕКТРОНІКИ ТА АВТОМАТИКИ**

діоди, тиристори, триаки, IPM, IGBT;
давачі струму та напруги LEM;
запобіжники BUSSMANN;
конденсатори електролітичні ВНС, плівкові, високовольтні;
резистори середньої та великої потужності;
напівпровідникові, електромеханічні реле;
вентилятори радіальні та центробіжні;
обладнання для шафів;
кінцеві вимикачі, давачі тиску, рівня, вологості;
світлові та звукові сигналізатори;
UF та IR промислові лампи PHILIPS.

02090, м. Київ, вул. Сновська, 20
E-mail: kiev@dacpol.ua, www.dacpol.ua
T./ф: (+380 44) 501 93 44, GSM: (+380 50) 447 39 12



PHOENIX CONTACT

phoenixcontact.ua

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



Промислові комп'ютери та монітори, модулі вводу виводу

ekzot.com.ua

ask@ekzot.com.ua
Київ, М. Донця, 6, оф. 102 Б
+38 (050) 807-97-62
+38 (068) 972-95-70

ЕКЗОТ

Etal

ДРУКОВАНІ ПЛАТИ
Виробництво одно-, дво-, багатшарових друкованих плат, плат 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 «РСВ-ЕТАЛ»
28000, Кіровоградська обл., м. Олександрія, вул. Заводська, 1

Для замовлення:
Тел.: +38 (066) 872-60-65
e-mail: pcb@etal.ua

Ціни знижено

EUROCOM COMPONENTS

дистрибуція електронних компонентів контрактне виробництво

08298, смт. Коцюбинське
вул. Пономарьова, 7

www.eurocom-c.com

Тел. +38 044 33 44 575
E-mail: info@eurocom-c.com

ik
Mi**Інтегральні Комплексні Системи**

Контрактне виробництво електроніки

+38 (050) 469-12-07 info@incos.kiev.ua www.incos.kiev.ua

Київ, вул. Бориспільська, 9, корпус 111

Радіодеталі зі складу – 35 000 найменувань!*Усе для розробки,
ремонту та виробництва
електроніки!*

Від резистора до мікропроцесора, радіомонтажний інструмент та вимірювальні прилади, підбір аналогів та консультації.

www.ims.kh.ua

тел.: (057) 732 04 50, 732 01 76


e-mail: imskharkov@gmail.com

(073) 757 25 21 (22, 23)



ТОВ "КОМПАНІЯ ОЛЬВІЯ"
Корпуса пластикові. Клавіатура плівкова.
Кабельно-провідникова продукція.

[044].599.7550 [044].503.3323 KORPUS.KIEV@GMAIL.COM
IC# #: 268-782-777
03113, м. Київ, вул. Дружківська, 12 А korus.kiev.ua



м. Київ, пров. Радищева, 3, офіс 307
тел. +38 (044) 451-60-80 info@mastek.com.ua
моб. +38 (067) 919-51-15 www.mastek.com.ua

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

ЕЛЕКТРОНІКА • ЕЛЕКТРОТЕХНІКА • АВТОМАТИКА

CHIP NEWS

НАУКОВО-ТЕХНІЧНИЙ ЖУРНАЛ
ВИДАЄТЬСЯ З 2001 РОКУ

(044) 490 74 99
(044) 490 74 30
03061, Київ,
просп. Відрадний, 10 info@chipnews.com.ua
www.chipnews.com.ua



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

we who are not as others **cogito**

Телефон: 044 501 90 90
Web: info@cogito.com.ua



**КОМПАНІЯ
СК-ТЕХНО**
контрактне виробництво

- контрактне виробництво
- друковані плати
- монтаж
- комплектація

http://spcb.com.ua
e-mail: info@spcb.com.ua
тел./факс: (044) 369-53-67

http://melsys.com.ua



- контрактне виробництво електроніки
- монтаж і виготовлення друкованих плат
- виготовлення трафаретів

ТОВ "Мелсис" +38 044 578 18 15
Київ, вул. Новозабарська, 2/6, оф. 204 +38 096 926 70 69
info@melsys.com.ua +38 063 435 68 10

Microdis Electronics GmbH
Rheinauer Straße 1
68766 Hockenheim
Germany

MICRODIS

Дистриб'ютор
електронних
компонентів

Роман Прокопець
Менеджер з продажу

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

www.microdis.net

Партнерство в електроніці

МИКРО ПРИБОР












03142, м. Київ, вул. Кржижановського, 4, офіс 101
 Тел.: 044 392-93-86, Факс: 044 392-93-87
 www.micropribor.com.ua sales@micropribor.com.ua

ОПТОВИЙ ПРОДАЖ ЕЛЕКТРОННИХ КОМПОНЕНТІВ

U'S MICROS

Польща | 30-198 Краків | вулиця Е. Годлевського 38
 тел. | WhatsApp | Telegram | VIBER | IMO: +48 601 480 223
 тел. +48 12 636 95 66 ext. 146 SKYPE: pavlogrd

Mi
Pa

www.otladka.com.ua

 Автоматизований SMD монтаж друкованих плат
 Фрезерування панелей, корпусів та пластику
 3D-друк

ФОП Сергій Р.Б.

+38 050 447-12-58 +38 098 661-97-97

Pcb24 — сервіс з експрес виробництва прототипів і невеликих партій одна- та двошарових друкованих плат

TOB «Крейтив Лоджік»
www.pcb24.com.ua
 info@pcb24.com.ua
 pcbprint24@gmail.com
 068 614 38 28

За 24 години виготовимо Ваше замовлення

Власне виробництво у м. Львів

PCBA

КОНТРАКТНИЙ ВИРОБНИК ЕЛЕКТРОНІКИ ПІД ЗАМОВЛЕННЯ

+38 044 338 97 73
 info@pcba.com.ua
 pcba.com.ua

PHOENIX CONTACT

phoenixcontact.ua

PCBTUT

Зручний онлайн РСВ-калькулятор мінімальне замовлення - 5 шт.

Постачання:
 - друковані плати FR-4;
 - алюмінієві друковані плати;
 - трафарети для паяльної пасти;
 - паяльна паста;
 - припії.

Сайт: **pcbtut.com**
 e-mail: **pcbtut@pcbtut.com**
 +38 (067) 674 99 14

вбудовані процесорні плати

COMexpress
 Qseven
 PC-104
 ETX

ПРОКСИС

промислові комп'ютери та системи

www.proxis.ua
 +380(44)4675977
 +380(44)5995977

RADIODETAILI

- Паяльне обладнання
- Вентилятори
- Трансформатори
- Реле
- Конденсатори
- Резистори
- Світлодіодне обладнання
- Акумулятори
- Блоки живлення
- Мобільні аксесуари

КУПУЙ ВИГІДНО

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
- вимірювальне обладнання
- блоки живлення
- рознімачі
- інструмент
- пасивні компоненти
- батареї та акумулятори та багато іншого



RAINBOW TECHNOLOGIES

Rainbow Technologies – офіційний дистриб'ютор і постачальник в Україні:

MICROCHIP, MAXIM, INFINEON, WINBOND, ALTERA, SAMSUNG (LED), LEDIL, VISHAY, ANALOG DEVICES, TEXAS INSTRUMENTS

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



ТОВ "РИЧЕЛ"

Поставки електронних компонентів
Асортимент зі складу та технічна підтримка

вул. Семена Скляренка, 9, оф. 401
04073, м. Київ
info@rekkon.kiev.ua
http://rekkon.kiev.ua

тел.: +38 (044) 490-92-50
факс: +38 (044) 494-27-08


Committed to excellence
CONSULT | COMPONENTS | LOGISTICS | QUALITY

RUTRONIK
ELECTRONICS WORLDWIDE

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

Михайло Єлізаров
представник в Україні
Тел. +038 (050) 312 01 07
Mail: Mykhaylo.Yelizarov@rutronik.com

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



Євгеній Рахно
технічна підтримка
моб. +38 (050) 14-00-345

evgenij.rakhno@simcom.com

a **SUNSEA** IOT company

МП "РЕМІКС"
www.remix.com.ua
Офіційний дистриб'ютор в Україні

FineTek, Venanzetti Vibrazioni, Nivelco

Пропонує датчики рівня рідин та сипучих матеріалів, датчики тиску, різноманітні регулятори, панель метри, пневмо та електровібратори

Тел/факс +38 04563 99-760, 99-926, 99-775

Rittal – The System.

Faster – better – everywhere.

Ріттал ТОВ · вул. Київська, 6В, 08132, Вишневе, Київська обл.
Тел.: +380 (44) 536 99 44 · Факс: +380 (44) 536 99 45
E-mail: office@rittal.com.ua
www.rittal.com.ua

ENCLOSURES POWER DISTRIBUTION CLIMATE CONTROL IT INFRASTRUCTURE SOFTWARE & SERVICES

FRIEDHELM LOH GROUP



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. Желябова, 2-А, корп. 7, кім. 303

тел.: (044) 223-12-42
(073) 705-70-05
(096) 705-70-05

info@smdua.in.ua www.smdua.in.ua

ЕЛЕКТРОНІКА • ЕЛЕКТРОТЕХНІКА • АВТОМАТИКА

CHIP NEWS

НАУКОВО-ТЕХНІЧНИЙ ЖУРНАЛ
ВИДАЄТЬСЯ З 2001 РОКУ

03061, Київ, просп. Відрадянний, 10

(044) 490 74 99
(044) 490 74 30
info@chipnews.com.ua
www.chipnews.com.ua

SOFTPROM
VALUE ADDED IT DISTRIBUTOR

Дистриб'ютор Altium в Україні
www.softprom.com/ua/vendor/altium
altium@softprom.com

Altium Designer

ТОВ "Софтпром Солошчина"

НВП ТЕХНОСЕРВІСПРИВІД
ВСЕ ДЛЯ СИЛОВОЇ ЕЛЕКТРОНИКИ ТА ЕЛЕКТРОТЕХНІКИ

Діоди та містки, діодні, тиристорні, IGBT модулі, силові напівпровідники (**SEMİKRON**), конденсатори косинусні, імпульсні, моторні (**ELECTRONICON**)

Продаж, ремонт перетворювачів частоти, пристроїв плавного пуску (DANFOSS)

Для пошти: 04211, Київ-211, а/с 141
 Тел./факс: (044) 458-47-66, 456-19-57
 E-mail: tsdrive@ukr.net, Web: www.tsdrive.com.ua

Електронні компоненти Рознімачі З'єднувачі

ТЕХПРОГРЕСС
www.tpss.com.ua

ТОВ «КП «Техпрогрес»
 04070, м. Київ,
 вул. Ігорівська, 8/10-А, оф. 38
 (044) 461-91-00

TRANSFER MULTISORT ELEKTRONIK

понад **800**
 ПРОВІДНИХ ВИРОБНИКІВ

понад **160 000**
 ПРОДУКТІВ

- ЕЛЕКТРОННІ КОМПОНЕНТИ
- ЕЛЕКТРОТЕХНІКА
- ВИМІРЮВАЛЬНІ ПРИЛАДИ
- ПРОМИСЛОВА АВТОМАТИКА
- ІНСТРУМЕНТИ

tme.eu

Łódź, Poland, +48 42 645 54 44, export@tme.eu

TMS PROJECT

Контрактне виробництво
 Сертифіковано ISO9001
 Постачання електронних компонентів

Україна, Київ
 вул. Марії Капніст, 2а, оф. 114
 тел./факс: (044) 501-9335
 URL: www.tmsproject.com.ua
 E-mail: sales@temys.kiev.ua

ELFA DISTRELEC
 ПОСТАВКИ ЕЛЕКТРОННИХ КОМПОНЕНТІВ
 ЗІ СКЛАДУ У ЄВРОПІ.

ТОК ЕЛЕКТРОНІКС
 ОФІЦІЙНИЙ ДИСТРИБ'ЮТОР В УКРАЇНІ

04080, м. Київ
 вул. Вікентія Хвойки, 18/14
 склад 10/8

www.distrelec.biz
 e-mail: ula@tok-el.com
 oksana@tok-el.com

Тел. +38 066 781 66 11
 +38 093 896 40 88

PHOENIX CONTACT

phoenixcontact.ua

Trafaret

Полімерні трафарети для SMD монтажу

www.trafaret.net.ua
 e-mail: order@trafaret.net.ua
 тел. 063-851-12-76, 098-871-58-76

ФІЛУР ЕЛЕКТРИК

Електронні компоненти
 Електротехнічна продукція
 Технологічне обладнання, інструмент, матеріали

1-й пов., вул. Попудренка, 22/14, м. Київ
 тел. 044 495 75 75, моб. 068 496 75 75

www.filur.net
 office@filur.net

People · Power · Partnership

HARTING
 Pushing Performance

HARTING
 Polska
 Sp. z o.o.

Kateryna Bodaratska
 Business Manager

ul. Duńska 11 · 54-427 Wrocław, Polska · kateryna.bodaratska@HARTING.com
 ☎ +48 (71) 352 81 71 int. 9 · mobile +48 607 078 277 · www.HARTING.com

КОНТРОЛЬНО-ВИМІРЮВАЛЬНІ ПРИЛАДИ

ЮНІТЕСТ
 ТЕХНІКА

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

KEYSIGHT TECHNOLOGIES
 Авторизований дистриб'ютор

АВТОРИЗОВАНИЙ ДИСТРИБ'ЮТОР В УКРАЇНІ
 продаж · навчання · сервіс

ВОЇНИ СВІТЛА. ВОЇНИ ДОБРА



РОЗМІРИ РЕКЛАМНИХ БЛОКІВ

1 сторінка (200×270 мм)*
 2/3 сторінки (112×240 мм)
 1/2 сторінки (170×120/83.5×240 мм)
 1/3 сторінки (54×240/112×120/170×80 мм)
 1/4 сторінки (112×100 мм)
 1/6 сторінки (54×120/112×60/127×55 мм)
 «Візитка» (80×40 мм)

* Для усунення неточностей при обрізанні, розмір реклами, яка подається, повинен бути 210×280 мм (дообрізний формат з урахуванням «вильотів» по 5 мм з кожного боку, які краще заповнити основним фоном реклами). Значимі символи (текст, логотип та інші елементи оформлення, які гарантовано не повинні потрапити під обрізку) не повинні підходити до краю сторінки менш ніж на 10 мм (післяобрізний формат сторінки 200×270 мм).

Редакція журналу «CHIP NEWS» приймає до розміщення тільки повнокольорові рекламні блоки, розміри яких повинні в точності відповідати розмірам, наведеним у таблиці.

Текст реклами повинен бути виключно українською мовою.

ЦІНА ПЕРЕДПЛАТИ НА 2023 рік

звичайна	550 грн
для студентів і бібліотек	450 грн

* ПДВ не обкладається.

ПРИ ОФОРМЛЕННІ ПЕРЕДПЛАТИ НА ЖУРНАЛ ЧЕРЕЗ РЕДАКЦІЮ, ПОЧИНАЮЧИ З БУДЬ-ЯКОГО НОМЕРА, НЕОБХІДНО:

переказати на вказаний нижче розрахунковий рахунок ТОВ «Булавія-Посад л.т.д.» суму, згідно з ціною на передплату.

Для **фізичних осіб** обов'язково передати факсом (044) 490-74-99 або на email: peredplata@chipnews.com.ua, або вислати поштою на адресу редакції заповнений талон чи копію платіжного доручення, або іншого документа, який підтверджує оплату.

Банківські реквізити:

р/р № UA403510050000026008572392300 в ПАТ «УкрСиббанк», м. Київ МФО 351005, код по ЄДРПОУ 21500793, ІПН 215007926586

Отримувач: ТОВ «Булавія-Посад л.т.д.»

Призначення платежу: Передплата на журнал «CHIP NEWS»

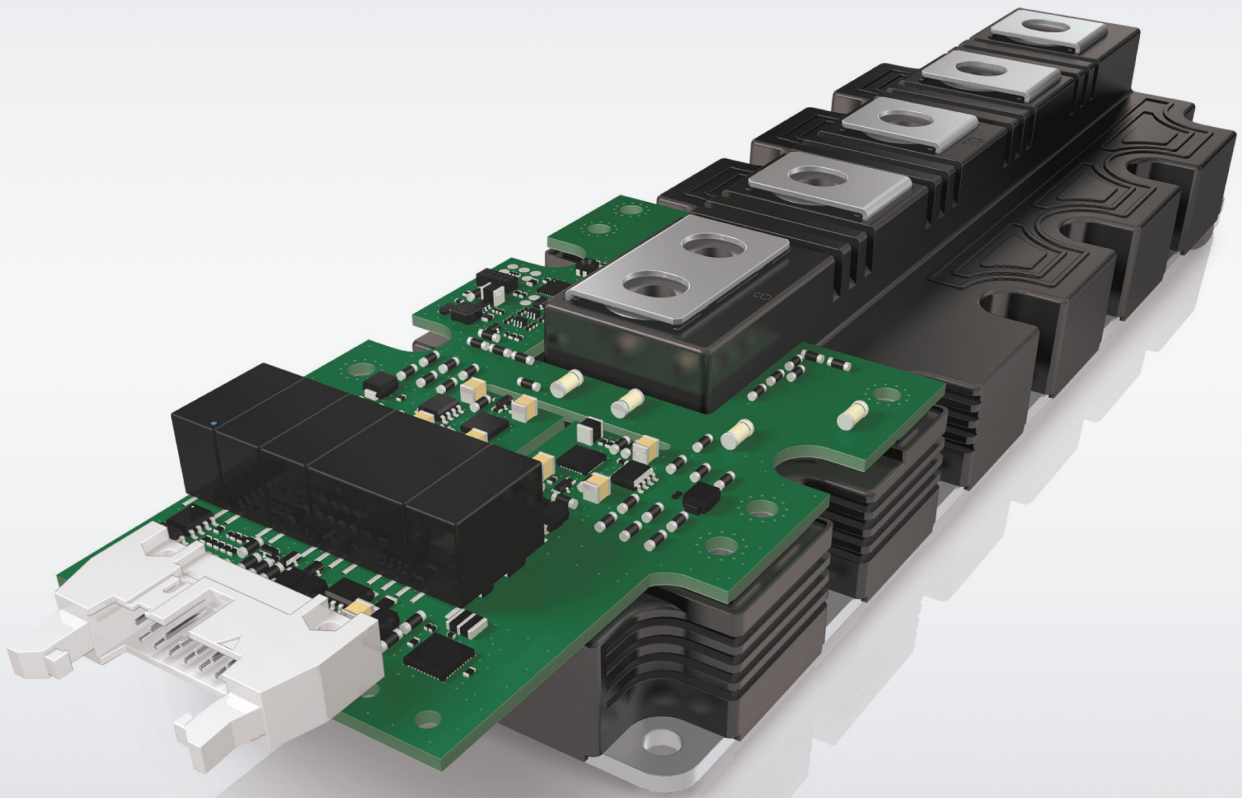
Тут також вкажіть точну поштову адресу (**індекс обов'язково**), телефон, П.І.Б. особи, відповідальної за передплату.

ВИМОГИ ДО РЕКЛАМНИХ І АВТОРСЬКИХ МАТЕРІАЛІВ

Рекламні матеріали приймаються **тільки українською мовою в форматах «.eps» або «.tif» (300 dpi)**. Кольорова модель — **СМΥК**. Сумарний процент фарб — не більше 300%. Якщо в форматі «.eps» є впроваджені растрові зображення, вони також повинні мати роздільну здатність 300 dpi і кольорову модель СМΥК. **Всі шрифти обов'язково повинні бути переведені в криві.**

Авторські матеріали. Текст статті приймається в форматі «.doc» (Microsoft Word). Всі рисунки повинні бути підготовлені **тільки в форматах «.eps»**, фотографії — в форматі «.tif» (300 dpi), кольорова модель — **СМΥК** і надані окремими файлами. Кожний рисунок повинен мати підписувачий підпис і посилання на нього в статті. Якщо в статті є таблиці, то кожна таблиця повинна мати назву, посилання на неї в статті і надаватись в форматах «*.doc» або «*.xls».

Нове покоління модулів SEMITRANS 10 і цифрових драйверів SKYPER PRIME



Діапазон потужностей 500 кВт–1,5 МВт

Модулі IGBT в стандартному промисловому корпусі

Висока стійкість до термоцикування

Цифровий драйвер із наднизьким рівнем джиттеру та вихідним струмом 50 А

Два ізольованих канали передачі сигналів сенсорів з ШІМ-модуляцією

Волоконно-оптичний інтерфейс (опціонально)



Моторні
приводи



Альтернативні
джерела енергії



Перетворювачі
потужності



Електротранспорт

www.semikron.com

shop.semikron.com



Унікальні ПЛІС за технологією flash-based

PolarFire

- базовий розмір 28 нм
- від 100К до 500К логічних елементів
- програмний процесор RISC-V
- від 8 до 24 модулів SerDes по 12,7 Гбіт/с
- 2 модулі PCIe Gen.2
- унікальний форм-фактор:
 - 11x11 мм для щільності 100К
 - 11x14 мм для щільності 200К
 - 16x16 мм для щільності 300К



Igloo2 та SmartFusion2

- базовий розмір 65 нм
- від 5К до 150К логічних елементів
- програмний процесор RISC-V
- апаратний процесор Cortex-M3
- до 16 модулів SerDes по 5 Гбіт/с
- до 4 модулів PCIe



Igloo та ProASIC3

- базовий розмір 130 нм
- від 100 до 30К логічних елементів
- програмний процесор Cortex-M1
- корпуси від 3x3 мм
- впровадження в літаках:
 - Airbus A350
 - Boeing 787
 - Lockheed Martin F-35



Чому?

- мінімальне енергоспоживання – на 50% менше, ніж конкурентні ПЛІС
- стійкість до збоїв конфігурації
- відсутність зовнішньої завантажувальної flash-пам'яті
- миттєва готовність до роботи після включення
- найменші розміри корпусів
- запобігання викраденню та клонуванню IP-ядер
- анти-тамперінг
- багата спадщина у цивільній та військовій авіації



Rainbow Technologies • www.rainbow.com.ua

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

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

ted@rainbow.com.ua