

CHIP NEWS

Microchip is...

IoT



- Економічні МК на допомогу ... стор. 10
- Технологія овального променя ... стор. 22
- Отримання потрібної швидкості ... стор. 24

- Високоточне позиціонування ... стор. 26
- Карбідокремнієві діоди Шотткі ... стор. 30
- Характеристики НВЧ-плати ... стор. 51

- 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 WL CSP	Temperature range 6 and A: -40°C-85°C 7 and B: -40°C-105°C 3 and C: -40°C-125°C D: -40°C-150°C	SiP type S: SiP 2MB SDRAM Blank=Non-SiP
			11 Specific features 11 BLE4.2 23 BLE5.2						

№ 01 (221), 2023 р.

Науково-технічний журнал
Видається з 2001 р.
ТОВ «Булавівіа-Посад л.т.д.»Зареєстрований
Міністерством юстиції України.
Свідоцтво про державну реєстрацію
друкованого засобу масової
інформації
Серія КВ № 25055-14995Р
14.12.2021 р.Головний редактор:
Сірич О. В.
E-mail: editor@chipnews.com.uaРедакційна колегія:
Войналович М. Ю., Крючатов С. Д.,
Кунчак Н. К., Кураєв П. П.,
Макаренко В. В., Олещенко Н. І.,
Поліщук С. Й., Рентюк В. К.,
Стецюк Л. В., Шевченко В. Л.Адреса редакції:
03061, Київ,
просп. Відрадний, 10E-mail: info@chipnews.com.ua
http://www.chipnews.com.ua© «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

МІКРОКОНТРОЛЕРИ

Роберт Перкел (Robert Perkel)
Використання допоміжних економічних мікроконтролерів для вирішення рутинних завдань. 10

Сергій Надейдін
Мікроконтролери RX66 від Renesas 14

СВІТЛОДІОДНЕ ОСВІТЛЕННЯ

AMY — технологія овального променя для розумного освітлення торгових залів від LEDIL 22

ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНІ КОМПОНЕНТИ

Томас Шульце (Thomas Schulze)
З'єднувачі плата-плата. Отримання потрібної швидкості 24

СИСТЕМИ ПОЗИЦІЮВАННЯ

Петер Карлссон (Peter Karlsson)
u-blox — початок роботи з Bluetooth для високоточного позиціонування в приміщенні 26

СИЛОВА ЕЛЕКТРОНІКА

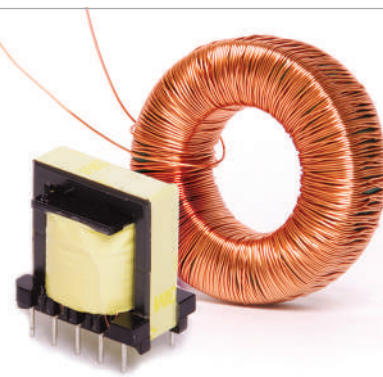
Деніел Пріндл (Daniel Prindle)
Переклад і коментарі: Андрій Колпаков
Адаптований переклад українською та технічне редагування: Сергій Поліщук
Динамічні характеристики SiC-діодів Шотткі. 30

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. 126



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

Блаж Клобуچار (*Blaž Klobučar*), Чуй Юань (*Zhihui Yuan*)
Адаптований переклад українською
та технічне редагування: Віталій Шевченко
**1200-В дискретні SiC MOSFET у порівнянні
з високошвидкісними IGBT сімейства H3
для сервопривідних систем**38

ВИМІРЮВАЛЬНА ТЕХНІКА

Нові методи аналізу імпульсних сигналів
радіолокаційних систем і засобів
радіоелектронної боротьби (РЕБ).....42

ДРУКОВАНІ ПЛАТИ

Джон Кунрод (*John Coonrod*)
**Вплив електричних і теплових взаємодій
на характеристики НВЧ-плати**.....51

Юлія Боброва, Ольга Смирнова,
Давид Мануков
**Огляд технологічних можливостей
тривимірного друку у виробництві
друкованих плат**56

ДЖЕРЕЛА ЖИВЛЕННЯ

Стів Робертс (*Steve Roberts*)
Доопрацювання: Володимир Рентюк
**Пікова та середня потужність:
як вибрати джерело живлення правильно**.....64

Жюльєн Сірап (*Julien Sirard*)
Сергій Дмитрієв
**DC/DC-перетворювачі з широким
діапазоном вхідної напруги
для застосування у виробництві
електроенергії**68

ПАСИВНІ КОМПОНЕНТИ

Олександр Корабльов
**Високовольтні керамічні конденсатори
компанії Murata**72

Адаптований переклад українською
та технічне редагування: Андрій Мовчанюк
**Новий універсальний підхід до захисту
пристроїв в мережах змінного струму**.....74

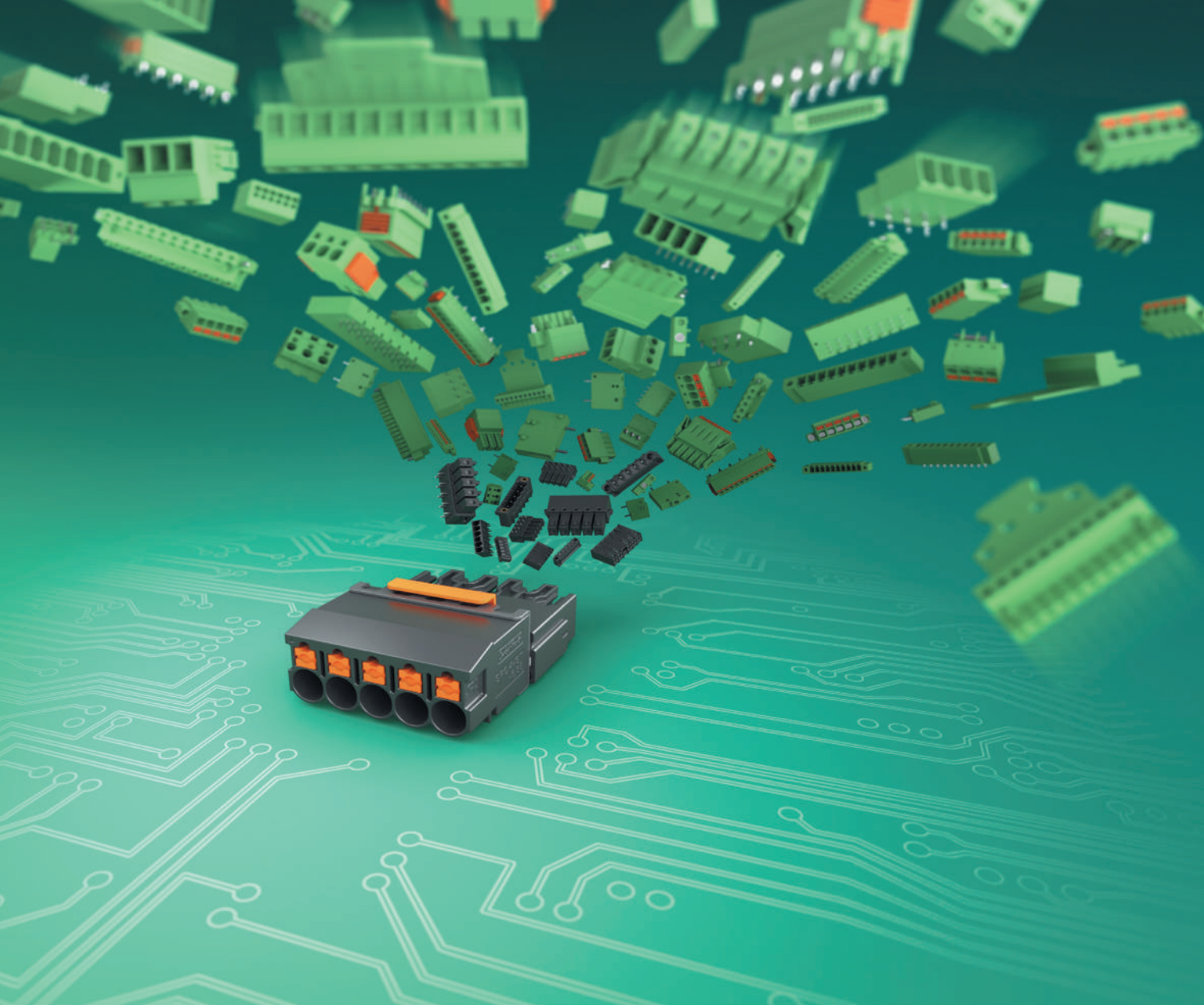
ДАТЧИКИ

Олександр Малишев
**Інтелектуальні цифрові датчики газу
iSeries компанії Honeywell**80

ВІЗИТКИ84

ВИСТАВКИ89

ІНФОРМАЦІЙНА СТОРІНКА.....94



Найкраще поєднано в одному штекері

Компактні з'єднувачі для друкованих плат серії SPC 4 від Phoenix Contact – це доказ пристрасної інженерної роботи



Серія з'єднувачів SPC 4 дуже компактна й заощаджує багато простору всередині пристрою завдяки кроку 6,35 мм. А завдяки інноваційним екранованим контактам забезпечується свобода проектування пристроїв. Блокування за допомогою верхнього замка чи центрального фланця гарантує безпечне з'єднання

Детальніше за посиланням: https://phoe.co/SPC_4

Новини світу електронних компонентів

ПРИСТРОЇ ETHERNET 10BASE-T1S З ПІДТРИМКОЮ СТАНДАРТУ 10BASE-T1S

Автомобільні розробники прагнуть замінити застарілі підсистеми шлюзів технологією, яка може мігрувати додатки в мережу Ethernet для легкого доступу до інформації з периферії в хмару. Щоб забезпечити OEM-виробників автомобільними рішеннями Ethernet, компанія **Microchip Technology** оголосила про свої перші автомобільні Ethernet-фізичні інтерфейси (PHY). Це сімейство 10BASE-T1S пристроїв з кваліфікацією AEC-Q100 Grade 1 має в своєму складі LAN8670, LAN8671 і LAN8672.

Ethernet-фізичні пристрої 10BASE-T1S LAN8670/1/2 відповідають вимогам функціональної безпеки і призначені для використання в додатках ISO 26262. Ці пристрої тепер дозволяють підключати низькошвидкісні пристрої, які раніше вимагали власних систем зв'язку, до стандартної системи Ethernet в автомобільних додатках.

«Компанія Microchip продовжує надавати пріоритет рішенням для автомобільної промисловості, розширюючи лінійку продуктів 10BASE-T1S, — сказав Маттіас Кестнер (Matthias Kaestner), віце-президент підрозділу автомобільної продукції компанії Microchip. — Ця нова технологія з'єднає датчики і виконавчі механізми, що використовуються у фізичному світі, з хмарою, і забезпечить безшовну архітектуру Ethernet скрізь».

Можливість підключення декількох Ethernet PHY до загальної шини спрощує реалізацію автомобільних додатків на основі єдиної, добре відомої архітектури і знижує витрати на впровадження за рахунок зменшення кількості кабелів і портів комутаторів. LAN8670/1/2 дозволяє периферійним пристроям мережі використовувати Ethernet та Інтернет-протокол (IP) для легкого зв'язку з рештою мережної інфраструктури. Ці пристрої включають розширену діагностику PHY, щоб надати користувачеві можливості для усунення несправностей. Крім того, функція переходу в режим сну/пробудження доз-

воляє використовувати режими з низьким енергоспоживанням.

Технічні характеристики пристроїв 10BASE-T1S включають 10 Мбіт/с, напівдуплексний режим, гнучку топологію з багаточисловою шиною і з'єднанням «точка-точка», а також використання однієї збалансованої пари провідників. Ці пристрої також мають покращені показники електромагнітної сумісності/електромагнітних завад (EMC/EMI). Підтримка Time-Sensitive Networking (TSN) дозволяє синхронізувати час у мережах Ethernet, що розгалужуються на значні відстані. Синхронізація часу є критично важливою для багатьох додатків в автомобільних зональних архітектурах.

Компанія Microchip зробила ключовий внесок у розробку стандартів спільно з IEEE для технології 10BASE-T1S, що відповідає вимогам автомобільної промисловості. Ця технологія значно спрощує проектування систем, розширюючи можливості Ethernet до пристроїв, які зазвичай знаходяться на самому краю мережі.

Ethernet-фізичні пристрої LAN8670/1/2 10BASE-T1S підтримуються EVB-LAN8670-RMII, EVB-LAN8670-USB і MPLAB® Harmony v3.

www.microchip.com

З'ЄДНУВАЧІ ПЛАТА-ПЛАТА ДО 28 ГБІТ/С

Завдяки з'єднувачам плата-плата серії FINEPITCH FR із кроком 1.27 мм **Phoenix Contact** тепер забезпечує швидкість передачі даних до 28 Гбіт/с.

Стрибок продуктивності в цій інноваційній серії став можливим завдяки продуманому дизайну компонентів та якісному виробництву. Щоб забезпечити цілісність даних і номінальний імпеданс у системах клієнтів, Phoenix Contact пропонує як послугу спеціальне моделювання.

Масштабованість з'єднувачів плата-плата і провідник-плата з парною кількістю полюсів від 6 до 100 забезпечує високу гнучкість у виборі компонентів. Можлива реалізація мезонінних і копланарних застосувань, так

само як і з'єднання материнської плати. Крім того, складна конструкція контактів дає змогу гнучко вирівнювати друковану плату. При цьому забезпечено сумісність із попередньою серією FP 1.27 та відповідною продукцією партнерів. Позолочені місця контакту забезпечують стабільну передачу сигналу зі струмом до 2.3 А.

Якщо ви зацікавлені, послуга замовлення зразків дає змогу безкоштовно й без ускладнень отримати зразки виробів.

www.phoenixcontact.com

НОВІ З'ЄДНУВАЧІ ДЛЯ ДРУКОВАНИХ ПЛАТ

Нова серія з'єднувачів для друкованих плат SPC 4 від **Phoenix Contact** заощаджує простір і виробничі витрати завдяки своїй конструкції, орієнтованій на потреби замовника.

З'єднувачі для друкованих плат серії SPC 4 із кроком лише 6.35 мм тепер потребують ще менше місця на пристрої. У поєднанні з інноваційним з'єднанням екрана процес проектування відкриває цілу низку нових можливостей для дизайну. SPC 4 дає змогу знизити виробничі витрати завдяки основам колодок THR, за допомогою яких можна реалізувати автоматизоване комплектування. Крім того, добре продумана серія добре підходить для паєння оплавленням. Перевірене з'єднання Push-in полегшує монтаж і дає змогу використовувати великі провідники до 4 мм². Завдяки збільшеному захисту від дотику на основі колодки та штекері з'єднувач забезпечує також додаткову безпеку.

www.phoenixcontact.com

ШТЕКЕРИ З ТЕХНОЛОГІЄЮ ВАЖИЛЬНОГО З'ЄДНАННЯ PUSH-IN

Важлива технологія дає змогу швидко й без зайвих зусиль виконувати багаторазове з'єднання різних типів провідників із наконечниками та без них. Ште-

кери просто вставляються у функціональні шахти клемних блоків.

За допомогою сервісних штекерів LPS **Phoenix Contact** можна швидко й легко виконувати різні тести. Для забезпечення довготривалої і стабільної якості контактні пружини мають посріблену поверхню.

Відвідні штекери LPO дають змогу легко інтегрувати додаткові відводи. Штекери LPO дають велику перевагу, особливо в разі зміни дизайну шафи керування. Спеціальна конструкція забезпечує міцне та надійне з'єднання. Нові штекери вражають максимальною простотою використання, безпечним з'єднанням, а також високою гнучкістю і швидким монтажем.

www.phoenixcontact.com

НОВИЙ ЕКОНОМІЧНИЙ 30-ВАТНИЙ DC/DC-ПЕРЕТВОРЮВАЧ

Серія THL 30W1 доповнює наявне сімейство DC/DC-перетворювачів THL від **Traco Power** новим поколінням конвекторів в корпусі 1"×1" потужністю 30 Вт. З фокусом на поєднанні економічності та якості ця серія ізолюваних високопродуктивних DC/DC-перетворювачів підходить для багатьох сфер застосування.

Серія THL 30W1 виготовляється в герметичному, екранованому металевому корпусі розміром 1"×1"×0.4 дюйма. Вони мають вбудовану функцію дистанційного вимкнення/вмикнення, а високий ККД до 88% дозволяє конвертеру працювати від -40 °C до +60 °C без зниження номінальних характеристик. Усі моделі мають широкий діапазон вхідних напруг 4:1 і точно регульовані ізолювані виходи. Вони відповідають найновішим сертифікатам IT-безпеки (UL 62368-1) і підходять для використання в мобільному обладнанні, контрольно-вимірювальних приладах, архітектурах розподіленого живлення в комунікаційній та промисловій електроніці та всюди, де економічність та ефективність є критичними факторами.

www.tracopower.com

www.chipnews.com.ua

ДЖЕРЕЛО ЖИВЛЕННЯ ТА ЗАРЯДНИЙ ПРИСТРІЙ В ОДНОМУ ВИРОБІ ПОТУЖНІСТЮ 3200 Вт

Компанія **MEAN WELL** розробила і запустила у серійне виробництво нове покоління блоків живлення для монтажу в стійку, серії NCP-3200. Ця серія має 3 моделі з різною вихідною напругою, включаючи низьковольтні, сумісні з SELV, 24 В DC/48 В DC і високовольтну 380 В DC, яку можна використовувати в широкому спектрі силової електроніки, в галузі зв'язку та в енергетичних системах.

Враховуючи вимоги до застосування систем живлення, моделі з вихідними напругами 24 та 48 В розроблені таким чином, що за допомогою програмного забезпечення можуть перемикатись в режим блока живлення чи зарядного пристрою, що підходить для використання в легкій та важкій промисловості, в автоматизації та в мобільному обладнанні, в системах 5G або в інших видах базових станцій зв'язку, в зарядних станціях, дата-центрах та в багатьох інших сферах. Крім того, модель з виходом 380 В DC роз-

роблена як джерело живлення, яке підходить для систем освітлення рослин, напівпровідникового обладнання, обладнання для накопичення енергії і т.д. Також вони чудово підходять для паралельного підключення декількох джерел живлення з ціллю створити потужну високовольтну систему живлення.

Що стосується функцій керування, то серія NCP-3200 має вбудовану функцію програмування вихідної напруги (PV) і програмування вихідного струму (PC), і користувачі можуть безпосередньо регулювати вихідну напругу або струм через зовнішні аналогові сигнали. Що стосується інтелектуальних функцій, то серія NCP-3200 підтримує PMBus і CANbus, два міжнародні протоколи зв'язку, які можна вибрати для контролю та керування живленням, також їми можна керувати безпосередньо за допомогою інтелектуального контролера CMU2 від MEAN WELL. Крім того, джерела живлення серії NCP-3200 можна легко з'єднувати паралельно в 19-дюймовій стійці, що дає можливість створити систему потужністю до 128 кВт.

www.meanwell.com

ДРАЙВЕРИ СВІТЛОДІОДІВ ОТРИМАЛИ ПІДТРИМКУ ПРОТОКОЛУ DALI-2

Серія XLG від **MEAN WELL** набула великої популярності серед клієнтів завдяки своєму дизайну, оскільки може використовуватись і для живлення постійним струмом і для живлення постійною напругою. Їх можна використовувати як у звичайних вуличних світильниках чи прожекторах, так і для живлення світлодіодної стрічки 12, 24 чи 48 В. В цьому ж році для покриття потреби клієнтів в інтеграції драйверів серії XLG в інтелектуальні системи управління освітленням, MEAN WELL також розробив моделі з функцією DALI-2.

DALI (Digital Addressable Lighting Interface) — це протокол, описаний у технічному стандарті IEC 62386 для цифрового керування системами освітлення будівель. Оскільки цифрове освітлення активно розвивається, DALI Alliance (DiiA) розробив програму сертифікації DALI-2. Усі сертифіковані продукти DALI-2 будуть більш сумісними, щоб уникнути проблем зі сполученням пристроїв різних виробників. Моделі з DALI-2 досягнуть всю лінійку про-

дукції XLG від 50 до 320 Вт. Крім того, для серій потужністю від 150 Вт буде доступна опціональна модель з додатковим виходом 12 В/250 мА.

Серія XLG працює в режимі «постійної потужності», що зручно для клієнтів які використовують для різних світильників різні струми. Щоб запобігти виходам з ладу, спричиненим аномальними температурами, MEAN WELL «оновив» захист від перегріву таким чином, щоб світлодіодний драйвер знижував вихідну потужність до 75~50% при підвищенні температури. Крім того, серія XLG має захист від перенапруги на вході (IOVP), який автоматично вимикає світлодіодний драйвер, коли вхідна напруга перевищує 320 В змінного струму, щоб уникнути пошкодження драйвера через надмірну вхідну напругу змінного струму.

До основних переваг серії XLG можна також віднести роботу в режимі постійної потужності за вихідної напруги в діапазоні 70~100% і широкий діапазон вхідних напруг 100~305 В AC або 142~431 В DC (Class I).

www.meanwell.com



Серії NTS/NTU

250-3200 Вт

Нове покоління інверторів з чистою синусоїдою

- Витримують пікові навантаження до 200%
- Коефіцієнт гармонійних спотворень (THD) < 3%
- Споживання енергії в режимі холостого ходу < 1.5 Вт
- Інтелектуальний контроль роботи вентиляторів (NTS-450~3200 / NTU-1200~3200)
- Вбудована функція UPS (NTU-1200 ~ 3200)
- До 37% менші габарити у порівнянні з минулими поколіннями TS/TN
- 3 роки гарантії

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



SEA

ІННОВАЦІЇ ТА ЕФЕКТИВНІСТЬ



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

ПОТУЖНІСТЬ 60 Вт З МЕДИЧНОЮ СЕРТИФІКАЦІЄЮ

Компанія **RECOM** анонсувала нову економічну серію REM60-W, що містить два діапазони входів: 9–36 В постійного струму і 18–75 В постійного струму, з вибором одиничних і подвійних виходів: 5 В, 5.1 В, 12 В, 15 В, 24 В ±12 В і ±15 В, всі строго регулюються. Номінальна вихідна потужність становить 60 Вт маючи розмір корпусу всього 2.3 × 1.5 × 0.5 дюйма (57.9 × 36.8 × 12.7 мм), що забезпечує кращу в галузі питому потужність, а пікова ефективність становить понад 90%, що дає змогу працювати за температури доквіля до 105 °С із певним зниженням номінальних характеристик і з меншим повітряним потоком.

Серія REM60-W має ізоляцію 5 кВ змінного струму / 1 хвилину посиленої / 2 х МОПР медичного класу за робочої напруги 250 В змінного струму. Відстань виток/зазору від входу до виходу становить понад 8 мм, а струм виток пацієнта становить максимум 4.5 мкА, що відповідає медичним додаткам В, ВF і CF.

Сертифікати медичної безпеки включають IEC/EN 60601-1 3-е видання, ANSI/AAMI ES60601-1 і CAN/CSA-C22.2 No 60601-1:14 для охоплення світових ринків. Серія також відповідає стандарту EN 60601-1-2 зі стійкості до електромагнітних завод для медичного обладнання. Інші сертифікати включають IEC/UL/EN 62368-1 для IT/мультимедійних ринків, в той час, як межі електромагнітних завод для кондуктивного шуму, EN 55032 класу А і В, можуть бути виконані за допомогою простих зовнішніх фільтрів. Зазначено роботу на висоті 5000 м, а деталі розраховані на ступінь забруднення навколишнього середовища 2 (PD2). Середній час безвідмовної роботи становить понад 1 млн годин відповідно до MIL-HDBK-217F, сприятливі умови заземлення, 25 °С. Увімкнене/вимкнене керування, дистанційне визначення та налаштування вихідної напруги, а також повний захист від вихідних перевантажень, коротких замикань, вхідної напруги та перегрівання.

Струм холостого ходу і в режимі очікування низький, а ефективність малого навантаження висока для енергочутливих додатків.

REM60-W чудово підходить для медичних і критично важливих

промислових ринків, де потрібен найвищий рівень сертифікації безпеки, а також найкращі на ринку характеристики та питома потужність.

www.recom-power.com

ВХІДНІ DC/DC 36–160 В ПОСТІЙНОГО СТРУМУ ДЛЯ ЗАЛІЗНИЧНИХ ЗАСТОСУВАНЬ

Компанія **RECOM** анонсувала економічну серію RPxx-RAW, що ідеально підходить для ізолюваних допоміжних джерел живлення на залізниці та в ширшому діапазоні напруг, з вхідним діапазоном від 36 до 160 В постійного струму, придатних для номінальної напруги 72 В, 96 В або 110 В з провалами та стрибками до 200 В (1 секунда).

Доступні одиничні виходи 3.3 В, 5 В, 12 В, 15 В, 24 В і подвійні виходи ±5 В, ±12 В і ±15 В. Серія RP03-RAW має вихідну потужність 3 Вт, RP06-RAW — 6 Вт, а RP10-RAW — 10 Вт. Всі компоненти виконані в однаковому корпусі з наскрізним виводом промислового стандарту DIP24, розміром 31.8 мм × 20.3 мм × 10.6 мм.

Передові методи схематичного і теплового проектування в серії RPxx-RAW забезпечили високоєфективну роботу з низьким підвищенням внутрішньої температури, що, в свою чергу, дозволяє працювати за повного навантаження до високих температур навколишнього середовища, зконвекційним охолодженням без зниження продуктивності: 90 °С для частини потужністю 3 Вт, 85 °С для частини потужністю 6 Вт і 75 °С для частини потужністю 10 Вт. Також можлива робота до 105 °С при зменшенні навантаження та/або повітряного потоку. Всі компоненти повністю захищені від перегріву, зниженої напруги на вході, короткого замикання на виході та перевантаження. Для відключення виходів і переходу в режим низького розсіювання передбачено вивід для керування.

Серія RPxx-RAW має посилену ізоляцію, протестовану за 3 кВ змінного струму, і має сертифікати на відповідність залізничному стандарту EN50155, а також IEC/EN/UL62368 і канадському еквіваленту для мультимедійних та IT-пристроїв. Стандарт електромагнітної сумісності EN55032 класу А виконується без зовнішніх компонентів, тоді як дода-

вання трьох невеликих зовнішніх конденсаторів дозволяє досягти рівня класу В.

Серія RPxx-RAW також підходить для загальних застосувань в жорстких умовах експлуатації з високим рівнем вхідного постійного струму, таких як датчики Інтернету речей, системи управління батареями та електричні навантажувачі.

www.recom-power.com

НОВІ ВИСОКОТОЧНІ GNSS- МОДУЛІ ПОЗИЦІЮВАННЯ

Компанія **u-blox** оголосила про випуск двох нових модулів на базі високоточної GNSS-платформи u-blox F9. Малопотужний NEO-F9P підтримує точну навігацію та автоматизацію рухомого промислового обладнання, а ZED-F9P-15B надає клієнтам на ринку мобільної робототехніки опцію L1/L5 на додаток до діапазонів L1/L2.

Особливості нового GNSS-модуля u-blox NEO-F9P включають одночасне приймання сигналів GPS, Galileo і BeiDou, багатодіапазонний L1/L5 RTK, короткий час конвергенції і надійну роботу. Модуль забезпечує сантиметрову точність за лічені секунди і має найменший в історії форм-фактор високоточних модулів — на 50% менший, ніж звичайний форм-фактор u-blox ZED.

Такий малий розмір у поєднанні з дуже низьким енергоспоживанням і сумісністю з антенами ANN-MB1 робить u-blox NEO-F9P ідеально придатним для широкого спектра застосувань, включаючи точну навігацію і автоматизацію в інтелектуальних антенах, БПЛА і мобільній робототехніці. Забезпечуючи надійне та ефективне позиціонування, модуль підтримує відкриті та стандартизовані сервіси корекції для підвищення продуктивності, такі як сервіс удосконалення GNSS u-blox PointPerfect.

«Випускаючи NEO-F9P і ZED-F9P-15B, u-blox реагує на підвищені вимоги до точної навігації та автоматизації в промислому застосуванні, особливо в секторах БПЛА і мобільної робототехніки, — говорить Алекс Нгі, менеджер з промислової навігації та робототехніки, підрозділ позиціонування Центру продуктів u-blox. — Забезпечуючи сантиметрову точність у компактному та енергоефективному

модулі, NEO-F9P, перевірений RTK-двигун u-blox, ідеально підходить для конструкцій з обмеженим простором. Тепер він доступний у форм-факторі NEO разом з опцією L1/L5. NEO-F9P пропонує клієнтам ефективний шлях оновлення від моделі u-blox NEO-M8P. Водночас, ZED-F9P-15B надає наявним користувачам ZED альтернативу L1/L5 замість L1/L2».

www.u-blox.com

ПРОСТЕ ПІДКЛЮЧЕННЯ ТА ЕФЕКТИВНЕ КЕРУВАННЯ ЖИВЛЕННЯМ ДЛЯ ЦИФРОВОГО ОБЛАДНАННЯ

Новий концентратор живлення і передачі даних **Fischer KEYSTONE™** з 6-ма портами — це інноваційне рішення, яке можна носити з собою, для вирішення тактичних завдань зв'язку, що стоять перед програмами цифрової модернізації, а саме: більше даних, вища швидкість, більша потужність і менша вага в сучасних умовах експлуатації.

Нова тактична система зв'язку дозволяє солдатам, які не мають зброї, підключати і керувати кількома комунікаційними і цифровими пристроями за допомогою одного концентратора.

Fischer KEYSTONE™ складається з 6-портового тактичного концентратора Fischer KEYSTONE™ 6, додатку для керування живленням, доступного як окремий додаток і/або як плагін для Android Team Awareness Kit (ATAK), та індивідуальних кабельних збірок з роз'ємами, розробленими відповідно до стандартів NATO STANAG 4695.

Fischer KEYSTONE™ вирішує проблему тактичного зв'язку, об'єднуючи живлення і потоки даних від усіх цифрових пристроїв солдата і одного акумулятора за допомогою легкого ергономічного компонента.

Він дозволяє солдатам легко і надійно підключати і жити свої цифрові пристрої, а також ефективно керувати потоками даних (USB 2.0 і SMBus) і живленням (100 Вт — 5 А макс.) через єдине джерело, кероване за допомогою простого у використанні додатку на своєму EUD.

«Солдат є центром цифрової трансформації в збройних силах, — підкреслює Джонатан Броссард, генеральний директор Conextivity Group, материнської

компанії Fischer Connectors. — Наші фахівці вирішили проблему забезпечення зв'язку для солдатів за допомогою розробленого у Швейцарії концентратора, який відповідає сучасним військовим стандартам. Солдати вже знають, як ним користуватися — вони одягають його, під'єднують і йдуть».

Fischer KEYSTONE™ надає військовим OEM-інтеграторам конкурентоспроможне рішення, яке можна порівняти з концентратором наступного покоління (NGH) армії США. Олів'є Торманн, менеджер з продуктів Fischer KEYSTONE™, пояснює: «Fischer KEYSTONE™ — це комплексне рішення для зв'язку, яке відповідає вимогам до продуктивності програм модернізації солдатів і цифрової трансформації, таких як Армія США 2030».

Fischer KEYSTONE™ розроблений швейцарськими інженерами для цифрового зв'язку за стандартом MIL-spec з використанням всесвітньо відомих технологій Fischer Connectors у галузі міцності, герметизації, мініатюризації та передачі даних.

www.fischerconnectors.com

НОВИЙ КОНТРОЛЕР NFC ОБ'ЄДНУЄ ФУНКЦІЇ ВИМІРЮВАННЯ ТА ЗБОРУ ЕНЕРГІЇ

Новий контролер NGC1081 від Infineon — це одночиповий NFC-контролер на стороні тегів, який дозволяє індустрії IoT розробляти недорогі мініатюрні периферійні обчислювальні та сенсорні пристрої.

Такими пристроями можна керувати та жити їх за допомогою мобільних телефонів, що може мати безліч потенційних застосувань в особистому медичному обладнанні, обслуговуванні та налаштуванні машин, побутової техніки та споживчих пристроїв, а також у підключених сенсорних додатках. Інтуїтивно зрозуміле бездротове з'єднання NGC1081 із мобільним телефоном дозволяє використовувати інноваційні хмарні бізнес-моделі. NGC1081 також можна використовувати для забезпечення гальванічно ізолюваного сенсорного інтерфейсу для додатків із прямим контактом з тілом людини.

Контролер на стороні тега підтримує подвійну функцію живлення: це дозволяє йому пра-

цювати в пасивному режимі без батареї шляхом збору енергії або в режимі живлення від батареї, працюючи як самостійний сенсорний вузол із зовнішнім джерелом живлення постачання. У пасивному режимі вся сенсорна система, включаючи мікросхему та підключені до неї датчики, може отримувати енергію за допомогою збору енергії з поля NFC мобільного телефону.

Ці функції відкривають потенціал для підтримки випадків використання датчиків, які не потребують батареї і мінімального обслуговування. Це особливо корисно для застосувань, у яких джерело живлення має бути гальванічно розв'язаним, щоб відповідати вимогам безпеки.

Контролер NGC1081 NFC виконаний на малопотужному ядрі Arm® Cortex®-M0. Він також включає інтерфейс NFC, що відповідає стандарту ISO 14443 Type A, та драйвер управління двигуном, що використовує схему H-моста з потужністю приводу до 250 мА.

Пристрій також має сенсорний блок на основі 12-бітного АЦП SAR з чотирма аналоговими входами та 10-бітного ЦАП з

одним аналоговим виходом. Крім того, датчик має перетворювач струму в напругу та вбудований датчик температури.

www.infineon.com

ШЕСТИОСЬОВИЙ ДАТЧИК РУХУ ІЗ ВБУДОВАНИМ БЛОКОМ ОБРОБКИ ШІ

Датчик руху ISM330IS від компанії STMicroelectronics, що поєднує в собі триосьовий цифровий акселерометр та триосьовий цифровий гіроскоп, містить новий блок обробки для надання даних датчика в режимі реального часу для хост-додатку.

Інтелектуальний блок обробки датчиків (ISPU) системи ISM330IS є високопродуктивним програмним ядром із наднизьким енергоспоживанням, яке може виконувати обробку сигналів та алгоритми штучного інтелекту на периферії. ISPU підтримує C програмування та підтримується екосистемою бібліотек, сторонніх інструментів та середовищ розробки. Його схема оптимізована до виконання алгоритмів у реальному часі, забезпечуючи



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)



Захист від перенапруги
(супресори обмежувачі електростатичного заряду та напруги)

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

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

CHIP NEWS, #1 (221), 2023

7

спрощену реалізацію штучного інтелекту в бездротових сенсорних вузлах.

ISM3301S має повний діапазон прискорень $\pm 2g/\pm 4g/\pm 8g/\pm 16g$. Діапазон кутових швидкостей становить від ± 125 до ± 000 градусів/с. Датчик забезпечує програмовну функцію переривання та вбудований сенсорний концентратор для внутрішнього акселерометра та гіроскопа, а також до чотирьох зовнішніх датчиків.

Корпус LGA ISM3301S має розміри 2.5 мм x 3 мм x 0.83 мм.

www.st.com

РОЗПІЗНАВАННЯ ОБЛИЧ ЗА ДОПОМОГОЮ МІКРОКОНТРОЛЕРІВ

Компанія **Espressif** пропонує розробникам ESP-WHO бібліотеки обробки зображень, а також зразки, які можна застосувати для вирішення практичних завдань. ESP-WHO супроводжується прикладами реалізації детектування і розпізнавання облич людей, детектування руху.

Компанія Espressif випускає системи-на-кристали (SoC) ESP32, з підтримкою бездротового зв'язку за протоколами 2.4 ГГц Wi-Fi і Bluetooth 5. Сучасні SoC ESP32 мають високопродуктивні ядра, що дає можливість реалізації досить складних алгоритмів.

Складовою частиною бібліотеки ESP-WHO є ESP-DL — бібліотека глибокого навчання (Deep Learning), яка надає API для нейронної мережі (Neural Network), оброблення зображень і математичних бібліотек. За допомогою ESP-DL можна використовувати мікроконтролери Espressif ESP32 для завдань, що вимагають застосування штучного інтелекту (AI).

Бібліотеки ESP-WHO і ESP-DL доступні на github і супроводжуються покроковими інструкціями запуску прикладів. У посібнику також описано, як тренувати нейронну мережу під свої завдання.

www.espressif.com

ВБУДОВАНІ СИСТЕМИ СТАЮТЬ ЩЕ ДОСТУПНІШИМИ

Компанія **Texas Instruments** (TI) розширила свій асортимент аналогових та вбудованих процесорних напівпровідникових

пристроїв, представивши лінійку масштабованих мікроконтролерів (МК) Arm® Cortex®-M0+, які мають широкий спектр обчислювальних можливостей, виводів, пам'яті та інтегрованих аналогових опцій.

З початковим випуском десятих мікроконтролерів, що підтримуються інтуїтивно зрозумілим програмним забезпеченням та інструментами проектування, портфоліо мікроконтролерів MSPM0 дозволяє проєктувальникам витрачати більше часу на інновації та менше часу на оцінювання та кодування, скорочуючи час проєктування з місяців до днів.

«TI створює найповніше в галузі портфоліо мікроконтролерів на базі Arm Cortex-M0+, розширюючи і без того широко пропозицію напівпровідникових пристроїв варіантами для конструкцій загального призначення, — говорить Вінай Агарвал (Vinau Agarwal), віцепрезидент підрозділу мікроконтролерів MSP, Texas Instruments. — Наші нові мікроконтролери забезпечують гнучкість, необхідну нашим клієнтам для покращення можливостей зондування та керування своїми системами, зменшуючи при цьому вартість, складність та час розробки».

Розробники можуть підвищити продуктивність системи та ефективність використання пам'яті за допомогою інструментарію для розробки програмного забезпечення (SDK) MSPM0. Цей SDK забезпечує цілісний досвід, який включає широкий спектр драйверів, бібліотек, понад 200 простих у використанні прикладів коду та еталонних проєктів підсистем.

Мікроконтролери MSPM0 можуть допомогти заощадити місяці часу на проєктування завдяки програмному забезпеченню, ресурсам підтримки проєктування та інструментам кодування, включаючи графічні інструменти, які спрощують конфігурацію пристрою — все це створено для того, щоб допомогти проєктувальникам написати код один раз, а потім масштабувати його в майбутніх проєктах на основі MSPM0.

www.ti.com

РЕГУЛЯТОР μ MODULE®

Компанія **Analog Devices, Inc.** (ADI) представила надзвичайно малощумний регулятор з двома виходами постійного/постійного струму μ Module з запатентованими інноваціями в області кремнію, компонування та корпусу. Працюючи від вхідної напруги до 40 В, передня частина LTM8080 являє собою високоефективний синхронний понижувальний регулятор Silent Switcher®, за яким йдуть два окремі регулятори з низьким рівнем шуму і низьким рівнем викидів (LDO). Для подальшого придушення шуму при перемиканні в корпус LTM8080 інтегрована бар'єрна стіна або екран для захисту від електромагнітних завад. Результатом є винятково низький рівень шуму < 1 мкВ середньоквадратичного значення (від 10 Гц до 100 кГц), точковий шум 2 нВ/√Гц (10 кГц) і 80 дБ PSRR (100 кГц). У порівнянні з дискретними рішеннями без екранування, LTM8080 зменшує вихідну напругу пульсацій на 70%, що робить його більш простим і тихим. LTM8080 спеціально розроблений для живлення цифрових навантажень, чутливих до шумів регуляторів, таких як перетворювачі даних, радіочастотні передавачі, пристрої вводу-виводу і синхронізації ПЛІС, операційні підсилювачі, трансивери і медичні сканери.

Інтегрована архітектура безшумного перемикання в регуляторі LTM8080 μ Module мінімізує електромагнітні завади та дозволяє пристрою відповідати стандартам CISPR22 класу B і CISPR25 класу 5 без вхідного фільтра. Регульована частота перемикання (від 200 кГц до 2 МГц) і вибір режимів роботи зводять до мінімуму ризик частотних завад для приладів з дуже низьким рівнем шуму і високошвидкісних/високоточних сигнальних ланцюгів.

www.analog.com

АВТОМОБІЛЬНА ВБУДОВАНА ПАМ'ЯТЬ MRAM З ТЕХНОЛОГІЧНИМ ПРОЦЕСОМ FINFET 16 НМ

Компанія **NXP Semiconductors** оголосила про співпрацю з TSMC з метою створення першої в галузі вбудованої автомобільної пам'яті MRAM (магнітної пам'яті з довільним доступом) за технологією 16 нм FinFET. Оскільки автовиробники переходять на програмно-визначені транспортні засоби (SDV), їм необхідно підтримувати кілька поколінь оновлень програмного забезпечення на одній апаратній платформі. Поєднання високопродуктивних автомобільних процесорів NXP S32 зі швид-

кою та високонадійною енергонезалежною пам'яттю наступного покоління, виготовленою за 16-нм технологією FinFET, забезпечує ідеальну апаратну платформу для цього переходу.

MRAM може оновити 20 МБ коду за ~3 секунди порівняно з флеш-пам'яттю, що займає близько 1 хвилини, мінімізуючи час простою, пов'язаний з оновленням програмного забезпечення, і дозволяючи автовиробникам усунути вузькі місця, які виникають через тривалі час програмування модулів. Крім того, MRAM забезпечує високонадійну технологію для автомобільних профілів, пропонуючи до мільйона циклів оновлення, що в 10 разів перевищує рівень довговічності флеш-пам'яті та інших новітніх технологій пам'яті.

SDV дозволяють автовиробникам впроваджувати нові функції комфорту, безпеки та зручності за допомогою бездротових оновлень (OTA), подовжуючи термін служби автомобіля та підвищуючи його функціональність, привабливість і прибутковість. Оскільки програмні функції стають все більш поширеними в автомобілях, частота оновлень буде зростати, а швидкість і надійність MRAM стануть ще більш важливими.

www.nxp.com

ЧИП GDDR7 — НА 40% ШВИДШИЙ ЗА GDDR6 ТА НА 20% ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІШИЙ

Компанія **Samsung** повідомила, що завершила розробку першого у світі чипа GDDR7. Пам'ять має швидкість передачі даних 32 ГТ/с, використовує амплітудно-імпульсну модуляцію (PAM3) та об'єктив підвищення енергоефективності на 20% порівняно з GDDR6.

При швидкості передачі даних 32 ГТ/с GDDR7 має пропускну здатність 128 Гбайт/с, що значно більше ніж 89.6 Гбайт/с на чип, що забезпечується GDDR6X з 22.4 ГТ/с. 384-бітна підсистема пам'яті GDDR7 з продуктивністю 32 ГТ/с забезпечить колосальну пропускну здатність 1.536 ТБ/с, що перевищує 1.008 ТБ/с у GeForce RTX 4090.

Щоб досягти безпрецедентно високої швидкості, GDDR7 використовує амплітудно-імпульсну модуляцію PAM3 з трьома різними сигнальними рівнями (-1, 0 та +1). Цей механізм дозволяє переда-

вати три біти даних за два цикли, що більш ефективно, ніж дворівневий NRZ, що використовується в GDDR6. Однак важливо відзначити, що сигнали PAM3 складніше генерувати та декодувати, ніж NRZ (що означає додаткове енергоспоживання), вони можуть бути сприйнятливіші до шуму та перешкод. Але схоже, що переваги PAM3 переважають її проблеми, тому модуляцію застосовувати у GDDR7 та USB4 v2.

Пам'ять GDDR7 споживає енергію на 20% ефективніше в порівнянні з GDDR6, хоча Samsung не уточнює метод вимірювання цього показника. Зазвичай виробники пам'яті вимірюють потужність, що передається на біт.

Однак це не означає, що мікросхеми та контролери GDDR7 споживатимуть менше, ніж GDDR6. Кодування PAM3 складніше та потребує більшої потужності. Samsung говорить про використання епоксидного формувального компаунду (EMC) з високою теплопровідністю та на 70% нижчим термічним опором для пакування GDDR7, щоб гарантувати, що активні компоненти не перегріваються. Це свідчить про сильніший нагрів пам'яті

GDDR7, особливо під час роботи на високих тактових частотах.

www.tomshardware.com

ПОКРАЩЕННЯ ПОКАЗНИКІВ ВИХОДУ ПРИДАТНИХ ЧИПІВ

В останні роки підрозділу Samsung Foundry було нелегко утримувати клієнтів, переважно через проблеми з температурою та нормою виходу придатних чипів її сучасних технологічних вузлів. Ці проблеми спонукали великих клієнтів, у тому числі Nvidia і Qualcomm, звернутися до TSMC для задоволення своїх поточних потреб. Але Samsung має намір відновити свою репутацію та повернути кілька контрактів у найближчі місяці.

Зазначається, що Samsung вдалося підвищити рівень придатності чипів для свого 4-нм виробничого процесу приблизно до 75%. Для довідки, TSMC зараз утримує пальму першості за цим показником, наближаючись до 80%. Минулого року інсайтери ланцюжка постачання відзначили, що чипи Qualcomm

Snapdragon 8 Gen 1, виготовлені з використанням 4-нанометрового техпроцесу Samsung, мають коефіцієнт придатності близько 35%. Тому Qualcomm звернулася до TSMC, коли мова зайшла про виробництво SoC Snapdragon 8 Gen 2. Аналогічно Nvidia замовила у TSMC виробництво GPU для відеокарт серії RTX 40.

Додатково повідомляється, що Samsung також досягла великих успіхів у виробництві за 3-нм техпроцесом. Поточні показники виходу придатних чипів коливаються біля позначки 60%, що навіть краще, ніж еквівалентний вузол TSMC (близько 55%). Таким чином корейська компанія має шанс переконати деяких зі своїх колишніх клієнтів вибрати її виробничі послуги. Хоча на це рішення також вплинуть ціни на пластини.

Враховуючи, що 3-нм виробничі потужності TSMC майже повністю зарезервовані Apple, найближчими роками ми можемо навіть побачити процесори AMD та чиплети GPU виробництва Samsung. Google також проявляє інтерес до виробництва чипів Tensor G3 на заводах Samsung.

www.techspot.com

МІНІАТЮРНИЙ РОЗ'ЄМ BREAK-AWAY ДЛЯ ВІЙСЬКОВОГО ЗАСТОСУВАННЯ

Компанія ODU випустила новий з'єднувач — ODU AMC® NP, що є одним з високопродуктивних, швидкороз'ємних мініатюрних з'єднувачів на ринку. Розроблений і виготовлений відповідно до військових стандартів, цей економічно ефективний роз'єм ідеально підходить для застосування у військовій сфері та сфері безпеки. Він покращує продуктивність зв'язку для солдатів в польових умовах і протестований на відповідність стандарту MIL-STD-810H і застосовним технічним вимогам. Він має силові контакти і підходить для передачі даних через USB® 2.0. ODU AMC® NP витримує щонайменше 2000 циклів з'єднання, є водонепроникним на глибині до 20 м і відповідає класу захисту IP68. Існують варіанти з'єднань під пайку, обтиск або друковану плату, просте використання, міцна конструкція Break-Away та інтегровані рішення для монтажу кабелю.

www.odu-connectors.com



RADIODETAILI

ВЕЛИКИЙ ВИБІР РАДІОДЕТАЛЕЙ!

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

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

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

Павільйон 9В+
(068) 599 56 99

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

RADIODETAILI.COM.UA

Використання допоміжних економічних мікроконтролерів для вирішення рутинних завдань

Роберт Перкел (Robert Perkel), Microchip Technology

У статті на практичному прикладі обговорюється можливість вивільнення ресурсів центрального мікроконтролера або обчислювального пристрою за рахунок використання додаткових економічних 8- і 16-біт мікроконтролерів. Розглядаються приклади створення розширювача вводу/виводу та перетворювача «напруга–частота».

У розробника з'являється готовий вузол, який легко адаптується до різних проектів.

Ми розглянемо кілька простих рутинних завдань, виконання яких можна покласти на окремі додаткові МК.

ВСТУП

У складних застосуваннях (додатках) часто необхідно розвантажити основний мікроконтролер (МК) від рутинних завдань. Подібні завдання не вимагають складних обчислень або виконання складних алгоритмів, але можуть забирати значний ресурс за рахунок частого виконання нескладних операцій або численних переривань. Ця проблема посилюється, якщо потрібне опрацювання даних у режимі реального часу.

В описаних випадках оптимальною стратегією може виявитися застосування простих 8- або 16-біт МК для вирішення деяких рутинних завдань, що дасть змогу вивільнити ресурси головного обчислювального пристрою. Наприклад, 8-біт МК можна використовувати для побудови розширювача вводу/виводу. Це просте завдання вимагає чимало процесорного часу для обслуговування переривань. Крім того, таке рішення додає гнучкості системі, спрощує процес зміни конфігурації і, отже, полегшує проектування.

РОЗШИРЮВАЧ ВВОДУ/ВИВОДУ

Робота розширювача ґрунтується на довідковій таблиці (lookup table), приклад якої наведено на рисунку 1. Зауважимо, що при такому підході віртуальна адреса відноситься не до регістрів або модулів пристрою, а тільки до довідкової таблиці. При цьому можливо додати функції, відсутні в регістрах МК, до того ж записи в таблиці легко замінити залежно від вимог конкретного застосування. Приклад роботи з довідковою таблицею показано на рисунку 2.

Ще одна перевага такого підходу полягає в можливості встановлювати дозволи або заборони в довідкову таблицю. Наприклад, можна створити регістр тільки для читання або тільки для запису. Крім того, з'являється можливість виконувати нестандартні функції. Наприклад, функція MEM OP допускає зберігати поточну конфігурацію вводу/виводу в пам'ять або скинути цю конфігурацію до початкових налаштувань після компіляції. На рисунку 3 показано приклад виконання операції MEM OP для конфігурації портів вводу/виводу.

Як видно з рисунку 3, за допомогою операції MEM OP можна налаштувати МК на завантаження збережених налаштувань під час увімкнення живлення. Наприклад, МК намагається завантажити конфігурацію 0, але якщо не проходить перевірка контрольної суми, то МК повертається до констант компіляції. Якщо функція завантаження збереженої конфігурації не потрібна, її можна легко відключити.

7	0	
0x00	ERROR	Код помилки
0x01	IOCx	Виставлення прапорця переривання (IOC)
0x02	PORTx	Поточний рівень I/O
0x03	TRISx	Регістр керування з 3 станами
0x04	LATx	Вихідний регістр-защівка
0x05	IOCxP	Дозвіл IOC за фронтом наростання
0x06	IOCxN	Дозвіл IOC за фронтом спаду
0x08	WPUx	Керування пробудженням
0x09	INLVLx	Пороговий вхідний рівень
0x0A	ODCONx	Керування відкритим стоком
0x0B	SLRCONx	Керування часом наростання
0xA0	MEM OP	Операції з пам'яттю Послідовність фіксації
	UNLOCK 1	
	UNLOCK 2	
0xB0	ADR Update	Зміна адреси через інтерфейс I2C
0xFF		

Позначення
Тільки читання
Читання та запис
Тільки запис
Тільки запис, непряма адресація
Недопустимі адреси
Тільки вибір

Рис. 1. Приклад довідкової таблиці

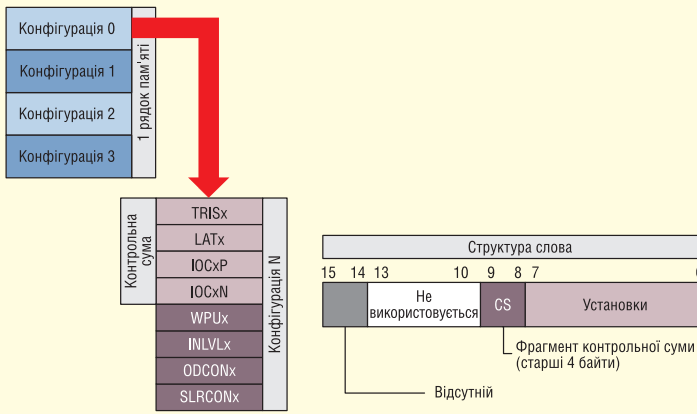


Рис. 2. Приклад роботи з довідковою таблицею

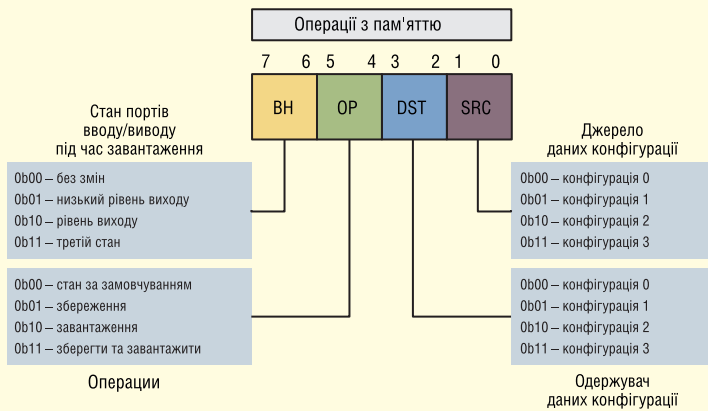


Рис. 3. Приклад виконання операції MEM OP для конфігурації портів вводу/виводу

чити. Основна перевага використання МК полягає в його простій адаптивності до умов конкретного проекту. На відміну від наявних на ринку ASIC, МК легко налаштовується на виконання нестандартних функцій, характерних для цього додатка. Наприклад, вихідний код для розглянутого вище завдання було розроблено для МК сімейства PIC16F15244.

ПЕРЕТВОРЮВАЧ НАПРУГА-ЧАСТОТА V/F

У цьому розділі ми розглянемо приклад використання апаратних периферійних пристроїв для створення функції незалежної від процесорного ядра. Завдяки перетворювачу напруга-частота реалізують на окремій мікросхемі, але його побудова на основі МК має переваги. По-перше, всі вихідні установки і параметри роботи перетворювача встановлюються програмно, що істотно спрощує модифікацію. По-друге, зменшується кількість використовуваних компонентів.

Однак у такого підходу є й недоліки. Перший із них полягає в обмеженій

роздільній здатності АЦП, яка зазвичай становить 12 або 14 біт. Кінцеву роздільну здатність має і вбудований генератор частоти з цифровим керуванням (NCO); може виникати джиттер залежно від коду АЦП. Однак для низки додатків

(застосовувать) із цими недоліками можна змиритися. Для реалізації рішення використовуємо три окремі периферійні модулі: аналогової вибірки; вихідного генератора та генератора робочого циклу. Структурну схему перетворювача наведено на рисунку 4.

Розглянемо кожен із них. Структурна схема модуля вибірки аналогового сигналу наведена на рисунку 5. Модуль формує цифровий код для керування модулем генератора. Для отримання 14-біт сигналу при використанні 12-біт АЦП застосовується режим передискретизації. У модулі накопичується кілька вибірок, які потім усереднюються. Недолік передискретизації полягає в появі додаткового шуму. Для його зменшення використовується фільтр усереднення, і додається гістерезис.

Для реалізації гістерезису використовується функція порогового перевертання. Після усереднення отримане значення порівнюється з попереднім значенням: якщо різниця між цими двома результатами менша за задане порогове значення, то результат перетворення не оновлюється.

Структурна схема модуля генератора показана на рисунку 6. Він формує тактовий сигнал заданої частоти. Вихідний сигнал цього модуля надходить на вхід генератора робочого циклу, який удвічі зменшує частоту вхідного сигналу і формує імпульсну послідовність із коефіцієнтом заповнення 0.5. Основним елементом блоку генератора є генератор із числовим керуванням (NCO). Нарощення акумулятора NCO відбувається за переднім фронтом вхідного тактового сигналу.

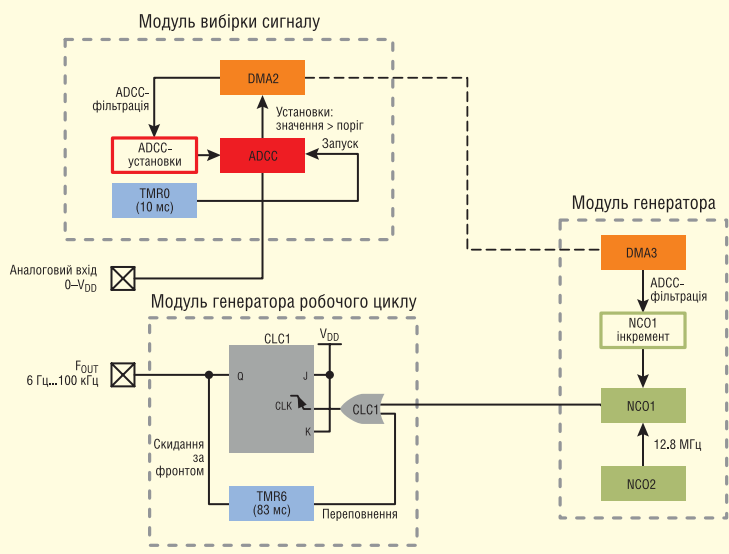


Рис. 4. Структурна схема перетворювача напруга-частота

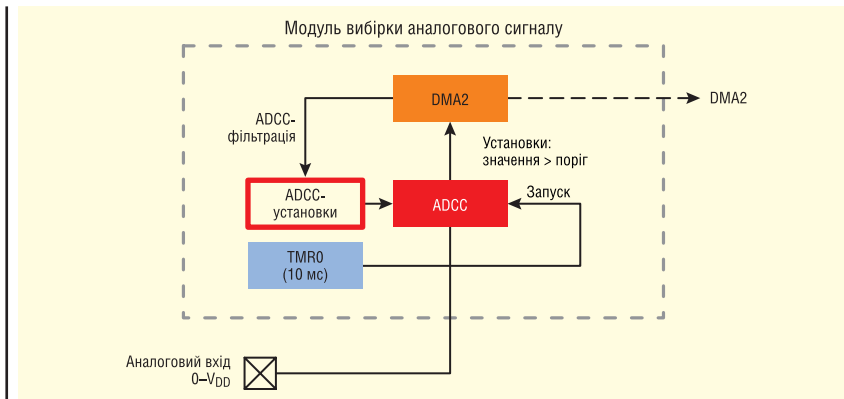


Рис. 5. Структурна схема модуля вибірки аналогового сигналу

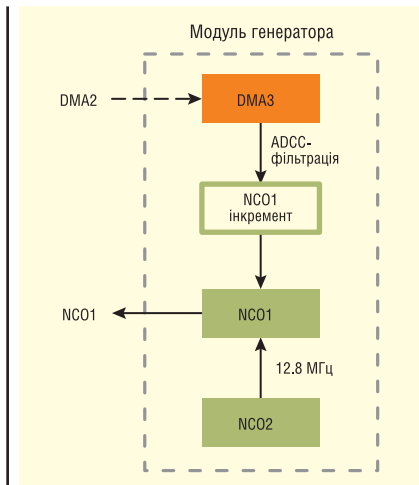


Рис. 6. Структурна схема генератора

Переповнення акумулятора ініціалізує вивідний сигнал.

У таблиці 1 наведено приклад налаштування генератора NCO2. У цьому прикладі генератор налаштовано для створення тактової частоти 100 кГц із 14-біт вхідного керівного коду, що надходить із модуля вибірки сигналу, оскільки 12-біт коду недостатньо для формування сигналу 100 кГц. Якщо змінити вихідну частоту NCO2 або використовувати інше джерело частоти, то вихідна частота масштабується відповідним чином. Наприклад, якщо зменшити частоту NCO2 в 10 разів до значення 1.28 МГц, то, як показано в таблиці 2, максимальна вихідна частота генератора становитиме 10 кГц.

Структурну схему генератора робочого циклу представлено на рисунку 7. Модуль забезпечує формування імпульсної послідовності з коефіцієнтом запо-

внення 0.5. Строго кажучи, для перетворення «напруга–частота» цей модуль не обов'язковий, а як вихідний сигнал можна використовувати і вихідний сигнал модуля генератора (див. рис. 6). Однак оскільки в цьому разі коефіцієнт заповнення імпульсної послідовності може змінюватися в широкіх межах, що не завжди зручно, модуль бажано задіяти.

Генератор робочого циклу легко формується на основі конфігурованих логічних комірок (CLC), вбудованих у МК компанії Microchip. Комірки CLC являють собою невеликі набори конфігурованих дискретних логічних елементів, які схожі на комірки ПЛІС. На базі цих комірок легко реалізуються логічні функції «І–НЕ», «АБО–НЕ», а також різні види тригерів. У нашому випадку були реалізовані J K тригери зі скиданням.

Вхідні імпульси з модуля генератора слугують тактовими імпульсами тригера.

Кожен вхідний імпульс викликає перемикання виходу тригера, тому незалежно від коефіцієнта заповнення вхідних тактових імпульсів на виході ми завжди отримуємо імпульсну послідовність з коефіцієнтом заповнення 0.5.

Таймер TMR6 використовується як сторожовий. Якщо на виході модуля протягом заданого часу (у нашому випадку 83 мс) не виявляється фронт імпульсу, відбувається переповнення таймера, і він генерує тактовий імпульс на комірку CLC. Таким чином, формується вихідна імпульсна послідовність із мінімальною частотою. У нашому випадку це 6 Гц.

Для реалізації описаних вище прикладів використовувався МК сімейства PIC18 Q43 від компанії Microchip. У МК цього сімейства вбудовано велику кількість периферійних пристроїв, на базі яких можна реалізувати різні рутинні операції.

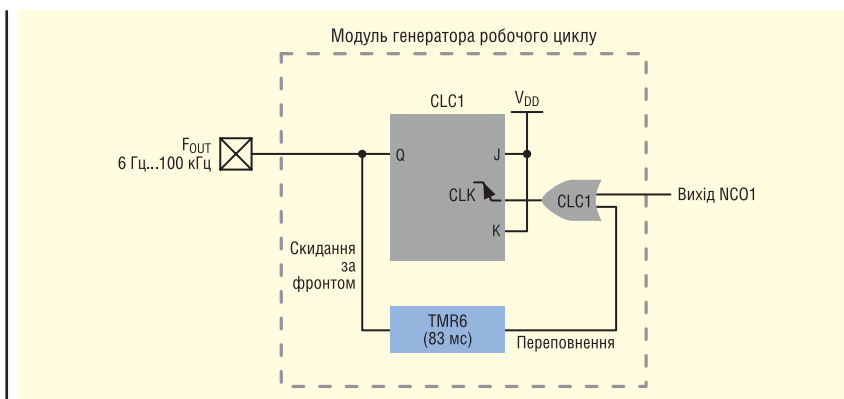


Рис. 7. Структурна схема генератора робочого циклу

ВИСНОВКИ

У статті на практичних прикладах було показано, як можна полегшити роботу центрального 32-біт МК від виконання простих рутинних операцій, що забирають чималу частину ресурсів. З цією метою слід використовувати прості й економічні 8-або 16-біт МК, на які можна перекласти розв'язання рутинних завдань, що не потребують великої обчислювальної потужності.

СН

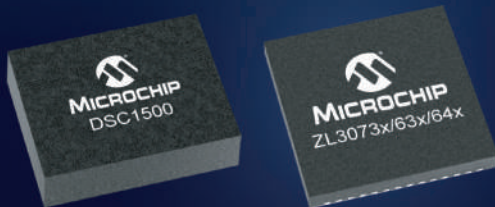
Вихід АЦП	Вихід NCO1 (подвоєна частота)	Частота вихідного сигналу
0x0000	0 Гц	0 Гц
0x0001	12.2 Гц	6.1 Гц
0x0100	3.1 кГц	1.6 кГц
0x1000	50 кГц	25 кГц
0x3FFF	200 кГц	100 кГц

Вихід АЦП	Вихід NCO1 (подвоєна частота)	Частота вихідного сигналу
0x0000	0 Гц	0 Гц
0x0001	1.2 Гц	0.6 Гц
0x0100	312.5 Гц	156.3 Гц
0x1000	5 кГц	2.5 кГц
0x3FFF	20 кГц	10 кГц

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

Мікроконтролери RX66 від Renesas

Сергій Надєждін

У статті розглядаються мікроконтролери RX66 групи RX600 від Renesas. У цих пристроях використовується процесорне ядро RХv3 власної розробки. Описано основні функціональні вузли мікроконтролера.

ВСТУП

Компанія Renesas Electronics володіє надзвичайно широкою виробничою лінійкою мікроконтролерів і систем-на-кристалі. До неї входять 8-, 16- і 32-розрядні мікроконтролери, що базуються як на своїх процесорних ядрах, так і на процесорних ядрах ARM. Таким чином, перш ніж почати розмову про сімейство мікроконтролерів (МК) RX66, слід хоча б поверхнево систематизувати продукцію компанії, щоб остаточно не заплутатися.

Сімейство RL78 об'єднує 8- і 16-біт МК. Судячи з усього, компанія задовольняється наявним набором цих МК і

не збирається розширювати сімейство. У всякому разі, цього не сталося за останні кілька років. Сімейство 32-біт МК R800H, як і SnK сімейства R-Car, призначене для використання в автомобільній електроніці і малоприматне для використання в інших додатках.

32-біт МК для широкої низки застосувань не обділені увагою компанії Renesas — таких три сімейства: Synergy, RZ і RX. На рисунку 1 показано структурну схему мікроконтролерів RX66 з сімейства RX, про які піде мова в нашій статті. Однак спочатку — кілька слів про сімейство RX загалом:

• **RX100.** МК початкового рівня з дуже малим енергоспоживанням і

широким діапазоном напруги живлення 1.8–5.5 В. Об'єм вбудованої флеш-пам'яті перебуває в межах 8–512 Кбайт, тактова частота не перевищує 32 МГц.

- **RX200.** У МК цієї групи, як вважають у компанії, знайдено баланс між енергоспоживанням і продуктивністю. Максимальна частота тактування у них збільшена до 80 МГц. Розширено набір периферійних модулів, до складу яких входять USB, CAN, 24-біт АЦП, а також модулі для керування електроприводом.
- **RX600.** Ця група МК є основною нішею у виробничій лінійці мікроконтролерів Renesas Electronics. Об'єм флеш-пам'яті МК цієї групи досягає 4 Мбайт, а склад периферійних модулів розширено за рахунок Ethernet. Максимальна тактова частота МК RX600 до появи МК RX66 дорівнювала 120 МГц, а МК RX66 підняв планку до 160 МГц.

СЛОВНИК

BCLK — частота тактування зовнішніх пристроїв

CAC — модуль вимірювання тактової частоти

CACCLK — частота тактування модуля CAC

CANMCLK — частота тактування модуля CAN

CMT — таймер порівняння

CRA, CRB — регістри для рахунку числа трансферів

DTC — контролер

CRCA — модуль перевірки за допомогою циклічно надлишкового коду

CS — зовнішній адресний простір

CSC — контролер зовнішнього адресного простору

DAR — регістр адреси призначення трансферу для даних DTC-контролера

DOC — схема обробки даних

DOCR — регістр керування DOC-модуля

DODIR — регістр вхідних даних DOC-модуля

DODSR — регістр установок DOC-модуля

DTC — контролер переміщення даних DTC-контролера

DTCADM0D — регістр режиму адресації DTC-контролера

DTCCR — регістр керування DTC-контролера

DTCST — регістр старту DTC-контролера

DTCSTS — регістр стану DTC-контролера

DTCVBR — векторний регістр DTC-контролера

ELC — контролер подій

ICLK — системна тактова частота

ICUC — контролер переривання

IWDT — незалежний сторожовий таймер

IWDTCLK — частота тактування модуля WDT

FACI — інтерфейс флеш-пам'яті

FCLK — частота тактування модуля флеш-пам'яті

FCU — модуль керування флеш-пам'яттю

GPTW — таймер W модуля ШИМ загального призначення

HRPWM — модуль ШИМ високої роздільної здатності

MPC — багатофункціональний контролер виводів

MPU — модуль захисту пам'яті

MRA, MRB — регістри встановлення режиму контролера DTC

MTU — модуль багатофункціонального таймера 3

OFSM — опціонально настроювана пам'ять

PCLKA-PCLKD — тактова частота периферійних шин A-D

POE3B — дозвіл виводу порту 3

POEG — дозвіл виводу порту для GPTW

RIIC — модуль інтерфейсу I2C

RSPIc — модуль інтерфейсу SPI

SAR — регістр джерела даних контролера DTC

SCIj, SCII, SCIIi — послідовні комунікаційні інтерфейси

TMR — 8-біт таймер

WDTA — сторожовий таймер

UCLK — частота тактування USB

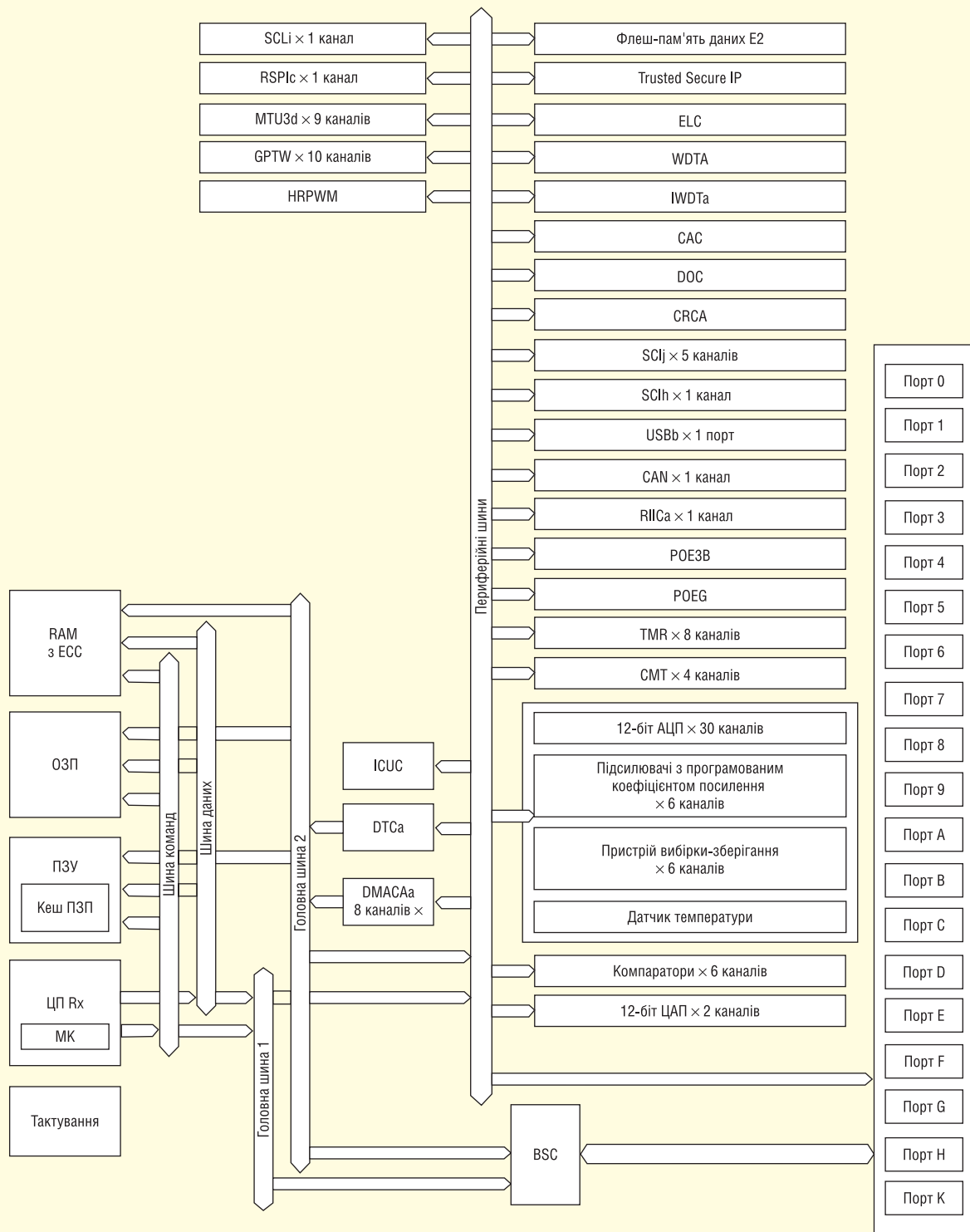


Рис. 1. Структурна схема мікроконтролера RX66

- **RX700.** МК цієї групи мають найвищу продуктивність. Їхню максимальну частоту тактування збільшено до 240 МГц, а до складу периферійних блоків введено ще один додатковий канал Ethernet.

МК RX66 виготовляється в наступних корпусах:

- PLQP0144KA-B (20×20 мм);
- PLQP0112JA-B 20 (20×20 мм);
- PLQP0100KB-B (14×14 мм);
- PLQP0080KB-B (12×12 мм);
- PLQP0064KB-B.

Діапазон робочої температури становить $-40...105$ або $-40...125$ °C залежно від модифікації.

ПРОЦЕСОРНЕ ЯДРО І КОНТРОЛЕР ПЕРЕРИВАНЬ

До теперішнього часу залишилися мало виробників МК, які використовують і продовжують удосконалювати процесорні ядра власної розробки. Renesas — один з останніх могікан у

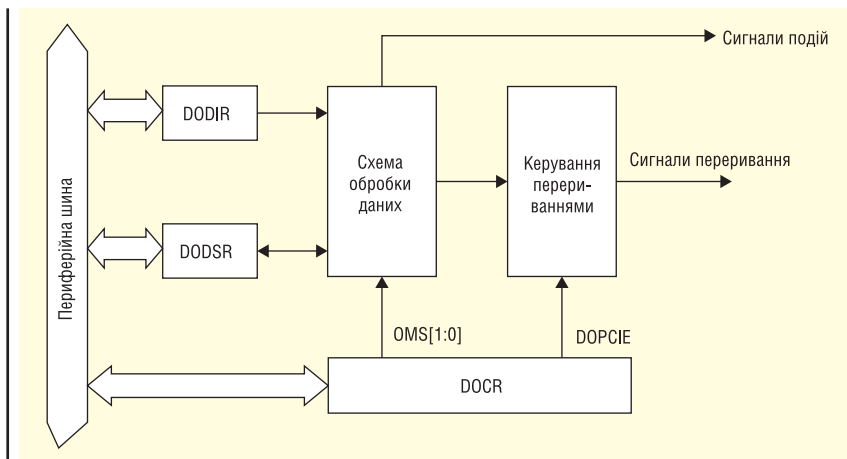


Рис. 2. Структурна схема модуля DOC

читання; для стирання і програмування флеш-пам'яті доступ здійснюється через периферійну шину.

Запит на вибірку команди і операнда відбувається через головну шину 1; при цьому пріоритет віддається доступу до операнда. Якщо запит приходить до різних шин пам'яті, то операції можуть виконуватися одночасно: наприклад, можливий одночасний доступ до ОЗП і флеш-пам'яті.

Пам'ять пов'язана з іншими модулями через три 64-біт шини. ОЗП під'єднується до шини 1, флеш-пам'ять — до шини 2, а ОЗП із виправленням коду ECC — до шини 3. Пріоритети доступу до шин пам'яті встановлюються у відповідних регістрах. Головні шини складаються з двох сегментів. Один із них, шина 1, використовується ЦП, а шина 2 надана в розпорядження інших провідних пристроїв — контролерів DTC і DMAC. Найбільший пріоритет має контролер DMAC.

Усі периферійні модулі, зокрема порти, комутуються шістьма периферійними шинами. У разі одночасного запиту до периферійної шини від головних шин арбітр периферійної шини визначає черговість обробки запитів. Пріоритети встановлюються в спеціальному регістрі. Як правило, запити від головної шини 2 мають пріоритет над запитами від головної шини 1.

Передбачено моніторинг помилки шини: у разі виявлення помилки майстер її індицирує помилку та формує переривання. Розпізнаються помилки двох типів: неприпустима адреса доступу до шини і перевищення часу очікування. Остання помилка фіксується, якщо операція не завершена протягом 768 циклів. У разі виявлення помилки шини не гарантується коректне виконання операцій.

Для роботи з інтерфейсом зовнішніх шин передбачено багатofункціональний контролер виводів MPC. З його допомогою призначається порт для зовнішньої шини, а також входи/виходи зовнішніх пристроїв і виводи апаратних переривань. Контролер дає змогу уникнути конфліктних ситуацій, за яких для одного й того самого виводу МК можуть обиратися кілька різних функцій.

ПАМ'ЯТЬ

У мікроконтролери вбудовано такі види пам'яті:

- флеш-пам'ять програм ємністю 256, 512 або 1024 Кбайт залежно від модифікації;

цьому сегменті. Ба більше, ядра Renesas використовують архітектуру CISC, що тепер у МК загального застосування є великою рідкістю. І в МК RX66 компанія Renesas вперше використовує вже третю версію власного ядра RXv3.

Завдяки поліпшеній комбінації одночасно виконуваних інструкцій, у цій версії ядра продуктивність збільшена до 5.8 CoreMark/МГц. Нагадаємо, що продуктивність процесорних ядер RXv2 попереднього покоління становила 4.55 CoreMark/МГц. До складу ядра входять 16 32-біт регістрів загального призначення, 10 32-біт регістрів управління та два 72-біт регістри акумулятора.

До 109 команд ядра RXv2 додано нові команди. Усього використовуються 111 команд. Серед них — 77 базових команд, 23 DSP-команди і 11 команд для операцій з числами з плаваючою комою. Крім того, в модуль операцій з числами з плаваючою комою FPU додані операції з подвійною точністю. Адресний простір процесора становить 4 Гбайт.

Процесорне ядро працює в режимі супервізора або користувачькому режимі. У першому випадку надається більше прав і ресурсів. У призначеному для користувача режимі недоступні деякі ресурси і привілейовані команди, які виконуються тільки в режимі супервізора. Операції здійснюються з 8-, 16- і 32-біт числами зі знаком або без знака, а також з числами з плаваючою комою з одинарною або подвійною точністю.

Обробка даних проводиться не тільки в процесорному ядрі, а й у спеціалізованому модулі обробки даних DOC. Його структурна схема показана на рисунку 2. Модуль оперує з 16-біт даними і виконує операції додавання, віднімання і порівняння, а також формує переривання і події за такими ознаками:

- збіг або розбіжність даних у результаті операції порівняння;
- результат операції перевищує FFFFH;
- результат операції менше 0000H.

Контролер переривань ICUC обробляє переривання від зовнішніх джерел (16 зовнішніх виводів МК), від вбудованих периферійних модулів і програмні переривання. Усього в МК можливі 256 переривань. Пріоритет кожного з них встановлюється в спеціальному регістрі. Передбачена функція швидкої обробки переривання, коли час обробки переривання зводиться до мінімуму, але вона реалізується тільки для одного переривання.

Як і у всіх інших МК, переривання в МК RX66 поділяються на масковані та немасковані. Останні формуються такими джерелами переривання:

- зовнішній вивід NMI;
- припинення тактової послідовності;
- сторожовий WDT- і незалежний сторожовий таймери;
- монітори напруги I і 2;
- помилка ОЗП.

ШИНИ

Мікроконтролери мають RX66 розгалужену систему шин:

- шина команд ЦП;
- шина даних ЦП;
- три шини пам'яті;
- шість периферійних шин.

На рисунку 3 показано структурну схему розподілу шин з підключеними до них модулями. Ширина шини команд ЦП становить 64 біт, а шини даних — 32 біт. Через ці шини ЦП здійснює прямий доступ до ОЗП і флеш-пам'яті, омиваючи головні шини, але прямий доступ до флеш-пам'яті виконується тільки для

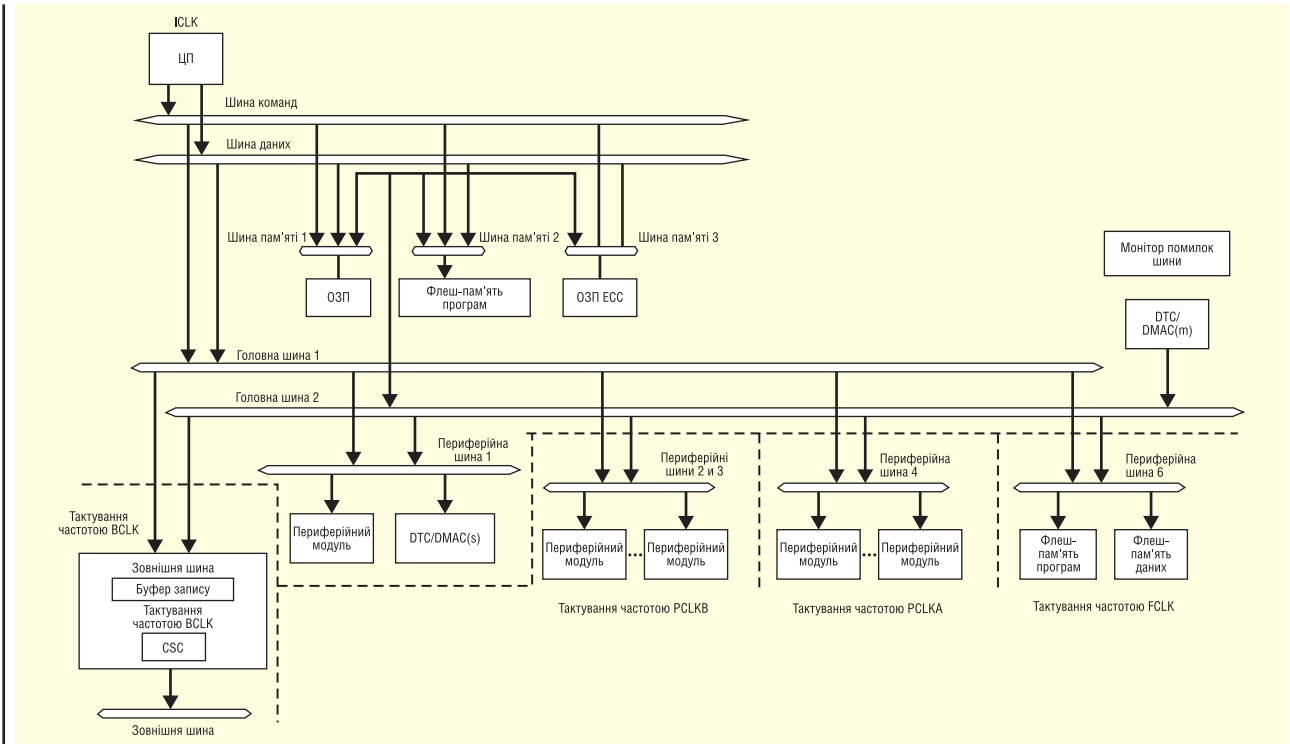


Рис. 3. Структурна схема розподілу шин з під'єднаними до них модулями

- флеш-пам'ять даних об'ємом 32 Кбайт і ресурсом 100 тис. циклів стирання/запису;
- ОЗП ємністю 64 або 128 Кбайт залежно від модифікації;
- ОЗП ємністю 16 Кбайт з корекцією коду (ЕСС);
- опціонально настроювана пам'ять OFSM, до якої належить низка спеціалізованих регістрів.

Загальний обсяг флеш-пам'яті становить 1 Мбайт, з них 8 Кбайт виділено під ПЗП і 32 Кбайт під пам'ять даних. Причому флеш-пам'ять програм і ПЗП доступні для читання під час операцій запису або стирання флеш-пам'яті даних. Найкраще проілюструвати будову модуля флеш-пам'яті та його інтерфейс із ЦП допоможе рисунок 4. Передбачено захист флеш-пам'яті від читання або перезапису з боку зовнішнього джерела.

Енергоспоживання ОЗП можна зменшити за рахунок припинення тактування пам'яті. Для цього достатньо встановити відповідні біти в регістрі керування. Однак слід враховувати, що переведення ОЗП у стан зниженого енергоспоживання має здійснюватися лише за відсутності звернення до пам'яті. Крім того, в режимі зниженого енергоспоживання доступ до ОЗП і ЕСС ОЗП заборонено. Зауважимо, що є буфер запису в ОЗП. Якщо відразу після операції запису за тією ж адре-

сою відбувається читання, можуть бути прочитані дані з буфера запису, а не з комірки ОЗП.

Модуль захисту пам'яті MPU охоплює весь адресний простір, який можна розділити на вісім областей. Для кожної з них визначаються свої умови захисту. Слід мати на увазі, що захист пам'яті здійснюється тільки в режимі користувача, а в режимі супервізора він не діє. Усього можливі три види захисту:

- захист від читання;
- захист від запису;
- захист від виконання коду.

ТАКТУВАННЯ

Мікроконтролери RX66 мають досить розгалужену систему синхронізації. Як джерела частоти використовують кілька осциляторів, зокрема зовнішній

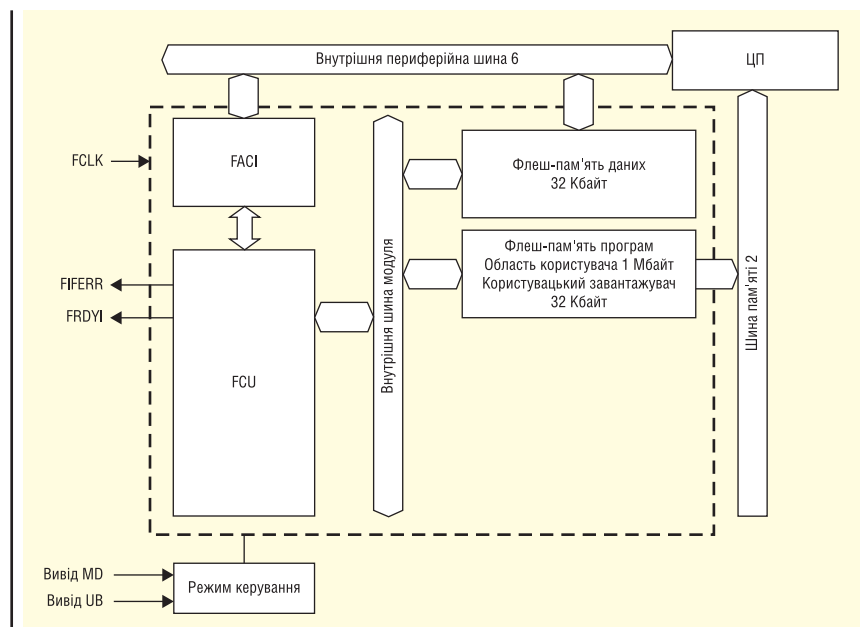


Рис. 4. Будова модуля флеш-пам'яті

осцилятор для системної частоти і модуль ФАПЧ. Для різних модулів формуються такі тактові послідовності (під час їх перерахування зазначено максимально допустимі значення частоти):

- BCLK — тактування зовнішніх пристроїв, 60 МГц;
- SACCLK — частота тактування модуля САС, як у опорної частоти, обраної для вимірювання;
- CANMCLK — частота тактування модуля CAN, 24 МГц;
- FCLK — тактування модуля флеш-пам'яті, 4–60 МГц;
- ICLK — системна тактова частота, 160 МГц;
- IWDTCLK — частота тактування модуля WDT, 120 кГц. Тактується окремим вбудованим осцилятором;
- PCLKA-PCLKD — тактова частота периферійних шин А–D, 120 МГц (шина А), 60 МГц (шина В), 160 МГц (шина С), 8–60 МГц (шина D);
- UCLK — частота тактування USB, 48 МГц.

Модуль САС вимірює одну з тактових частот шляхом її порівняння з опорною частотою. Вимірювання проводяться за допомогою підрахунку імпульсів вимірюваної частоти за заданий проміжок часу. Останній фіксується за допомогою опорної тактової частоти. Якщо кількість підрахованих імпульсів виходить за межі заданого діапазону, формується переривання.

ТАЙМЕРИ ТА ШІМ

До складу МК входять чотири 8-біт двоканальних таймери TMR, кожен з яких містить два канали 8-біт лічильників. Таймери TMR можна використовувати для підрахунку зовнішніх подій, а також для формування сигналів скидання, запитів на переривання та інших аналогічних завдань. Модуль 1 TMR застосовується для генерації тактової частоти для інтерфейсів SCI. Усі таймери TMR тактуються частотою PCLKB.

Таймер ШІМ GPTW містить 10 32-біт каналів, кожен з яких має два зовнішні вводи/виводи. Крім того, до складу кожного каналу входять два регістри захоплення/порівняння, для збереження записів у яких передбачено чотири буферні регістри. Таймер GPTW формує мертвий час комплементарних ШІМ. Можливі одночасні операції (старт, зупинка, очищення) в декількох каналах. Таймер також формує імпульси запуску для АЦП. Тактується таймер частотою PCLKA. Установчі регістри таймера можуть бути захищені від запису.

Багатофункціональний таймер MTU, що складається з десяти 16-біт таймерів, може формувати 45 переривань. У ньому реалізовано функцію захоплення порівняння та формування імпульсної вихідної послідовності в разі збігу результатів порівняння. Крім того, можливе синхронне очищення і запис у лічильники каналів початкових значень. Таймер може формувати 14-фазний сигнал ШІМ. Крім того, таймер формує

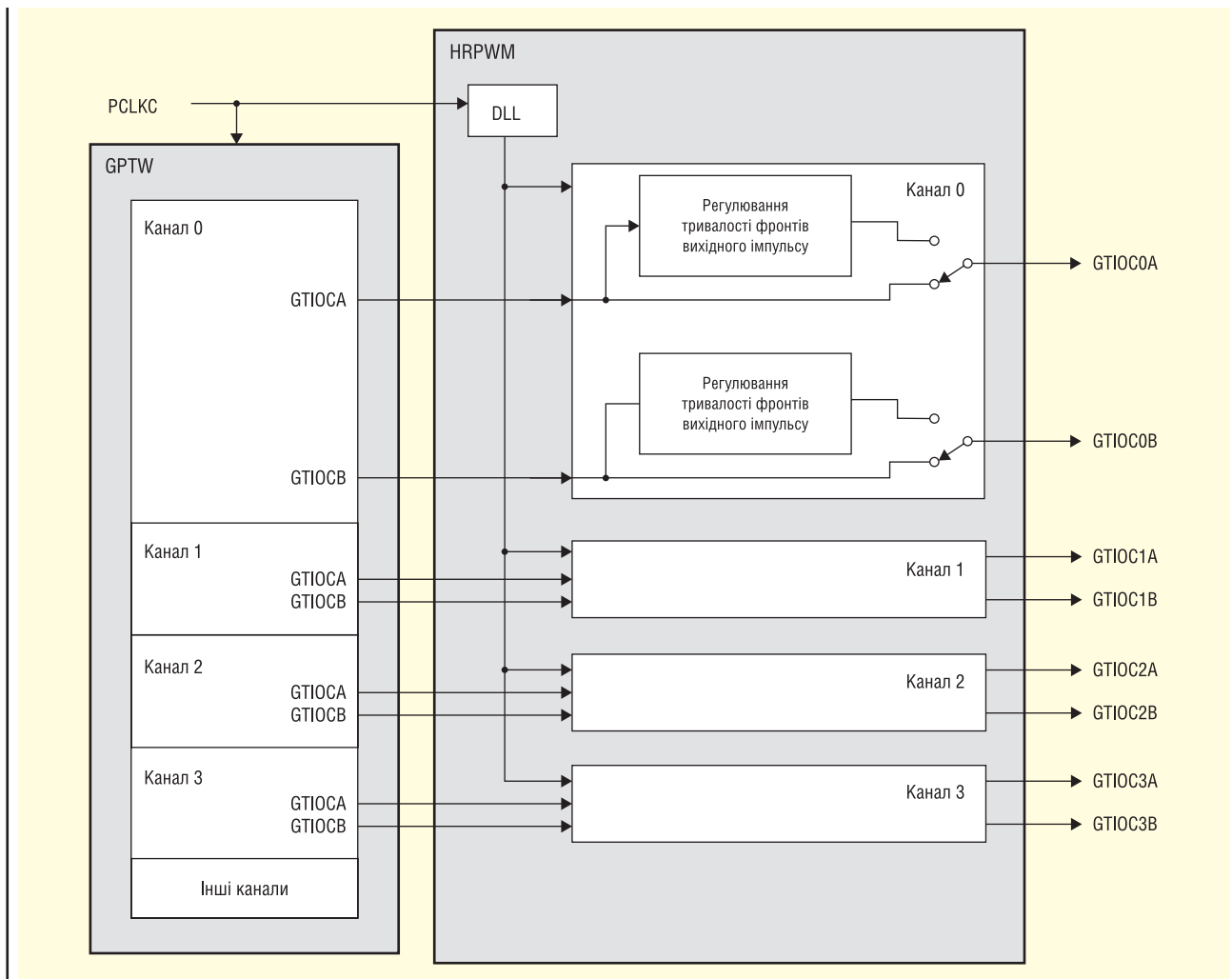


Рис. 5. Структурна схема модуля ШІМ

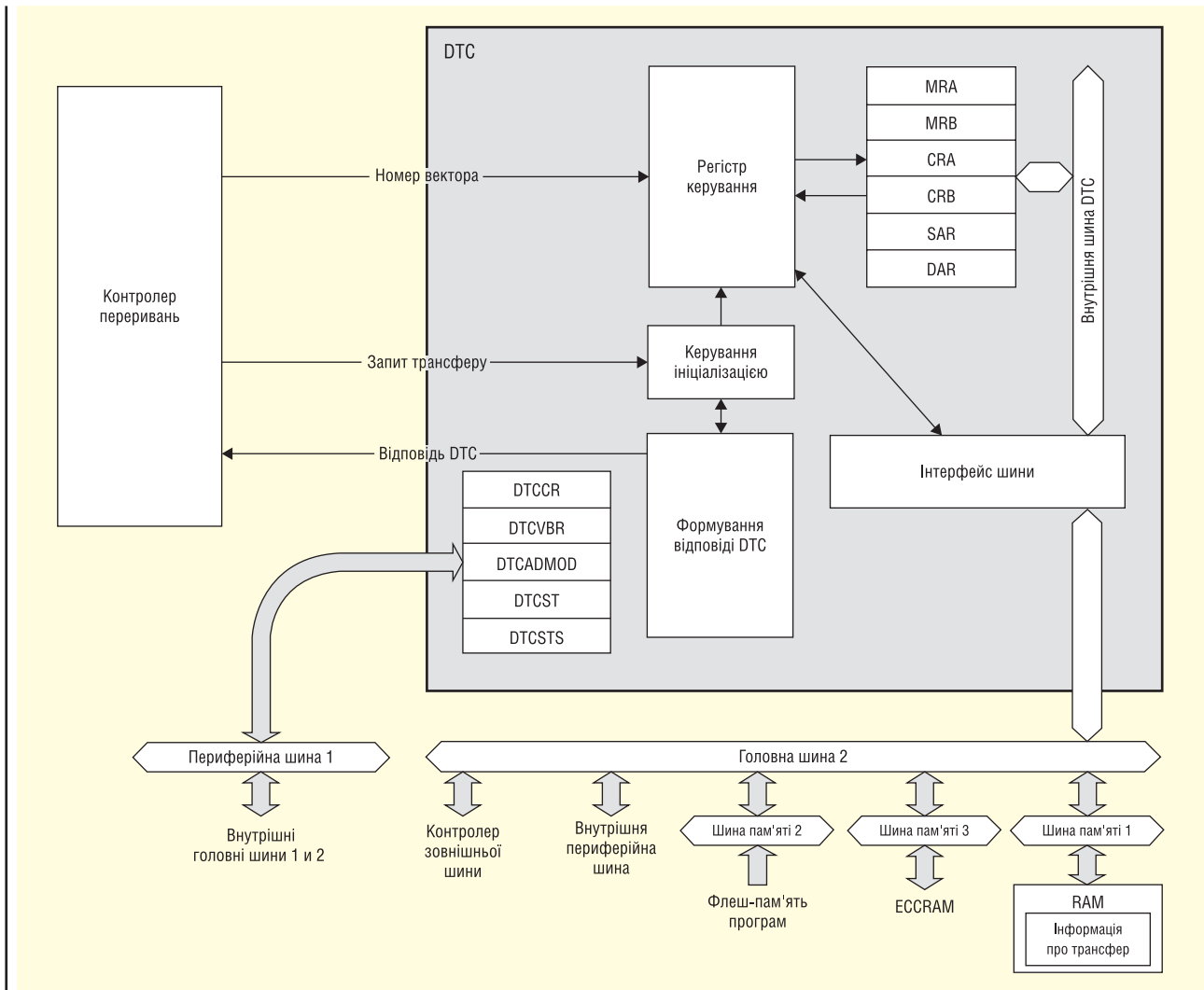


Рис. 6. Структурна схема контролера DTC

сигнал запуску АЦП без затримки і з затримкою. В останньому випадку ініціалізація перетворень може синхронізуватися з вихідним сигналом ШІМ.

Кожен із двох таймерів порівняння СМТ, що входять до складу МК, складається з двох 16-біт таймерів. Будь-який із них може формувати переривання в разі збігу значень лічильника таймера і коду, записаного в регістрі порівняння. У разі одночасної появи двох подій — формування сигналу порівняння та команди очищення лічильника — пріоритет має команда очищення лічильника. Так само за одночасної появи команди запису в лічильник та інкрементування пріоритет має перша команда.

Модуль ШІМ високої роздільної здатності HRPWM за допомогою таймерів GPTW формує послідовності ШІМ з роздільною здатністю 195 пс. Однак з такою високою роздільною здатністю можуть працювати тільки чотири канали. Структурну схему модуля ШІМ, що

пояснює його будову, і службові сигнали показано на рисунку 5. Частота тактування ШІМ регулюється в межах 80–160 МГц. Індивідуально можна налаштувати тривалість фронту вихідного імпульсу. Усі описані вище таймери і модуль ШІМ можна зупинити під час переходу МК у режим зниженого енергоспоживання.

КОНТРОЛЕР ПЕРЕДАВАННЯ ДАНИХ DTC

Контролер DTC реалізує передавання даних між периферійними модулями МК, а також між МК і зовнішніми пристроями. Структурна схема контролера DTC показана на рисунку 6. Ініціюється передача даних за запитом переривань. Можливі такі режими передачі даних:

- нормальний режим;
- режим, що повторюється;
- режим передавання блоку даних.

У нормальному режимі відбувається одноразове передавання даних. У повторюваному режимі після закінчення передавання даних контролер знову повертається до початкової адреси і повторно передає наявні за цією адресою дані. У цьому режимі можна реалізувати не більше 256 трансферів, після чого передача припиняється. Максимальний обсяг переданих даних за один трансфер не може перевищувати 256×32 біт = 1024 байт. Мінімальний розмір переданих даних становить 1 байт, 1 слово (2 байти), 1 довге слово (4 байти).

У режимі короткої адресації адресний простір контролера обмежено величиною 16 Мбайт, а в режимі повної адресації контролеру доступний увесь адресний простір — 4 Гбайт. Після закінчення передачі контролер формує переривання і події.

Уся інформація про передані дані має записуватися в ОЗП. У регістрі

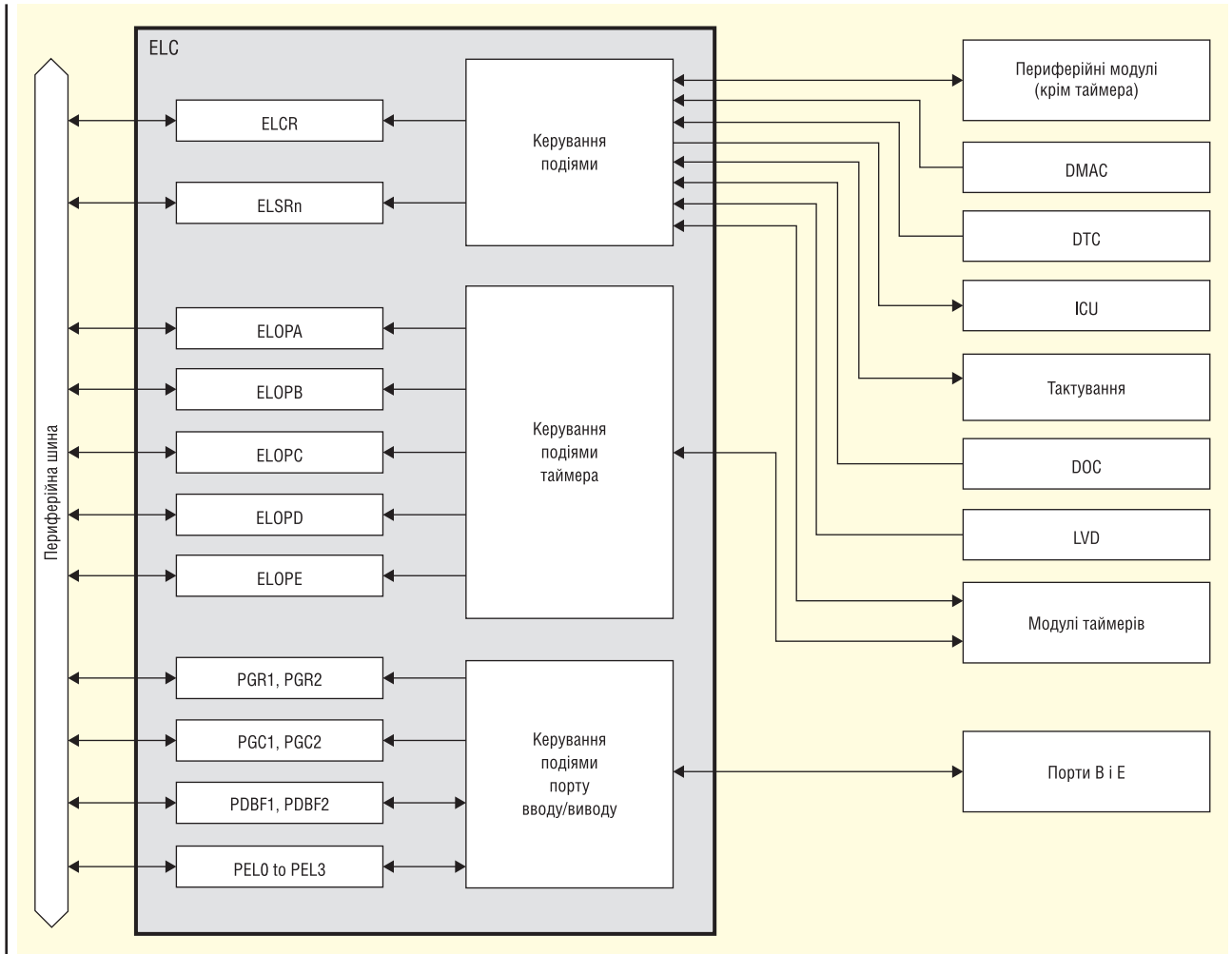


Рис. 7. Структурна схема контролера ELC

управління контролера DTCCR вказано вектор з адресою звернення для зчитування необхідної інформації. При отриманні запиту на передачу даних контролер DTC звертається до ОЗП і зчитує необхідну інформацію. Адреса джерела даних для передачі зберігається в регістрі SAR, а адреса приймача даних — у регістрі DAR. Дані в цих

регістрах оновлюються після закінчення трансферу даних.

КОНТРОЛЕР ПОДІЙ ELC

Активіація контролера подій відбувається за сигналами переривання від периферійних модулів. Такі переривання

сприймаються контролером як події, за якими він встановлює зв'язок між периферійними модулями, для обміну даними без участі центрального процесорного ядра. Структурна схема контролера ELC показана на рисунку 7. Можна сформувати до 188 подій, що активують контролер. Крім того, можуть комутуватися і зовнішні пристрої через

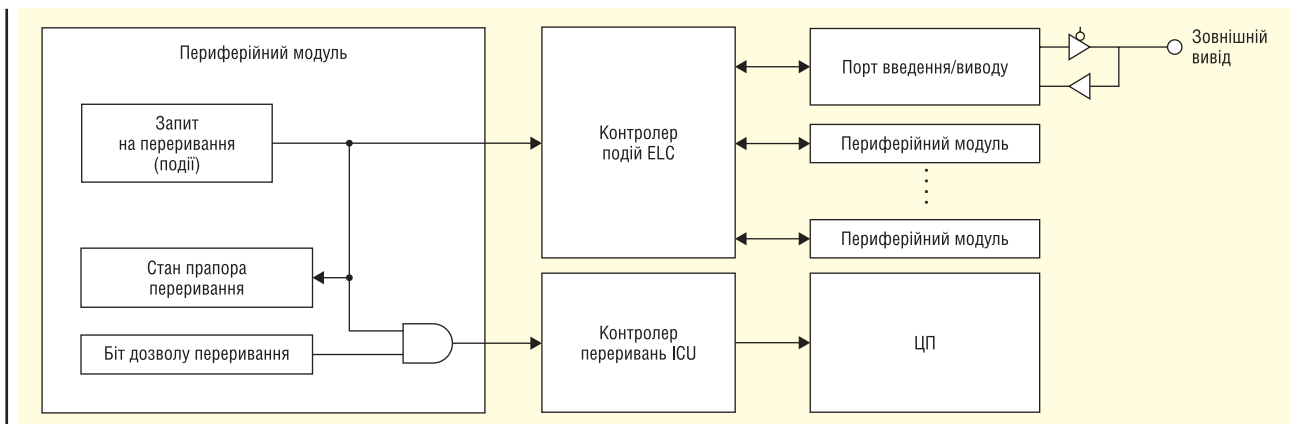


Рис. 8. Зв'язок контролера ELC з модулями МК

порти В і Е. На рисунку 8 показано зв'язки контролера з іншими модулями МК. Рисунок дає змогу оцінити комутаційні можливості контролера ELC.

Під час формування переривання, якщо воно дозволене, периферійний пристрій виставляє прапорець, за яким ЦП починає обробку переривання. Контролер ELC сприймає прапорець, виставлений периферійним пристроєм, як подію, за якою слід провести комутацію цього модуля з іншими модулями. При цьому обмін даними між модулями відбувається на апаратному рівні і не вимагає написання ПЗ.

Заборона переривання від конкретного периферійного модуля не означає заборону формування події. Таким чином, навіть якщо переривання заборонено, контролер ELC може продовжувати «бачити» прапорець модуля і комутувати його з іншими модулями. Ця обставина дуже зручна — вона збільшує автономність периферійних пристроїв не тільки під час взаємодії один з одним, а й під час взаємодії із зовнішніми пристроями. Слід мати на увазі, що кожен модуль можна пов'язати тільки з однією подією. Оскільки заборона переривання не забороняє подію, слід ввести додаткову заборону, щоб заборонити периферійному модулю формувати сигнал події.

КОМУНІКАЦІЙНІ ІНТЕРФЕЙСИ

До складу МК RX66 вбудовано такі типи комунікаційних інтерфейсів:

- **USB 2.0.** У повношвидкісному режимі швидкість передавання даних становить 12 Мбіт/с, у низькошвидкісному — 1.5 Мбіт/с, вбудовано буфер даних об'ємом 2 Кбайт.
- **SCI.** 7 каналів послідовних інтерфейсів, що працюють у синхронному або асинхронному режимах, а також у режимі інтерфейсу смарт-карт. Підтримується інтерфейс LIN.
- **I2C.** Максимальна швидкість передачі даних становить 400 Кбіт/с.
- **CAN.** Відповідає стандарту ISO11898-1.
- **SPI.** В одному трансфері можна передати максимум чотири кадри, об'єм яких не повинен перевищувати 32 байти; вбудований буфер ємністю 128 байт.

АНАЛОГОВІ МОДУЛІ

Залежно від модифікації до МК входять до трьох модулів 12-біт АЦП

послідовного наближення — два 8-канальні АЦП і один 14-канальний. Один з каналів АЦП підключається до вбудованого датчика температури з похибкою вимірювань ± 1 °С. До складу модулів входить шість операційних підсилювачів з програмовним коефіцієнтом посилення і шість пристроїв вибірки-зберігання. Час вибірки встановлюється окремо для кожного каналу. Мінімальний час перетворення становить 0.9 мкс за тактової частоти 60 МГц. Можливі три режими роботи:

- одиночне опитування каналів;
- безперервне опитування каналів;
- групове опитування.

Запуск перетворення може здійснюватися програмним способом, за сигналами таймерів MTU, TMR і контролера подій ELC або зовнішнім пристроєм. У режимі одиночного опитування довільно обрані канали опитуються один-єдиний раз. У режимі безперервного опитування довільно обрані канали опитуються безперервно. У режимі групового опитування канали поділяються на дві або три групи. Причому, умови опитувань для кожної з груп обираються незалежно.

Результати перетворення зберігаються в 12-біт регістрах. Передбачено самодіагностику та виявлення обриву лінії вхідного сигналу. Передбачено функцію порівняння сигналів перетворення. За результатами порівняння можна сформувати сигнал події або переривання.

Крім АЦП у МК вбудовано два канали 12-біт ЦАП. Їхні вихідні сигнали змінюються в межах від 0 до напруги живлення AVCC2 і можуть використовуватися, наприклад, як опорна напруга для аналогових компараторів. Під час старту перетворення різко зростає струм живлення ЦАП, що може призвести до виникнення перешкод під час роботи АЦП, оскільки АЦП і ЦАП використовують одну й ту саму шину живлення. Якщо подібне явище відбувається, передбачено кілька можливостей синхронізації перетворень. Наприклад, старт перетворення ЦАП може відбуватися тільки після завершення перетворень АЦП.

До складу МК входять шість аналогових компараторів. Як опорну напругу для них, крім вихідного сигналу ЦАП, можна вибрати сигнал від зовнішніх джерел напруги, під'єднаних до виводів CVREFC0 і CVREFC1 МК. За результатами порівняння вхідного сигналу з опорною напругою формуються переривання і події.



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

www.adcgr.com

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

AMY – технологія овального променя для розумного освітлення торгових залів від LEDIL

В статті описано переваги використання ламп з овальною колобою для генерування широкого променя світла та їх рівномірний розподіл по приміщенню на базі кращої пропозиції на ринку – низькопрофільних лінз серії AMY для тонких і елегантних світильників на шинах і стельових світильників з овальним променем розмірів 35, 50 і 70 мм, які забезпечують оптимальне освітлення для проходів та поздовжніх об'єктів.

Правильно організоване освітлення може допомогти залучити увагу клієнтів до продуктів, зробити їх більш привабливими і збільшити продажі, тому основне завдання такого освітлення в магазинах полягає в створенні комфортної атмосфери для покупців, яка стимулюватиме їх до покупки.

Освітлення поздовжніх площ магазину повинно бути достатнім, щоб дозволити клієнтам бачити продукти з різних кутів і відстані. Важливо, щоб світло було рівномірним і не створювало тіней, оскільки це може спотворити колір продуктів.

Компанія LEDIL пропонує технологію овального променя для освітлення приміщень, що базується на використанні спеціальних ламп з овальною формою колби. Такі лампи генерують широкий промінь світла, та мають більш рівно-

мірний розподіл світлового потоку по приміщенню (рис. 1).

Основні переваги цього освітлення полягають в економії кількості світильників для замовника та більш комфортного перебування у торгових площах для покупців. Завдяки променю, оптимізованому для проходу, потрібно менше світильників. При однаковій кількості світильників точковий промінь не справляється (рис. 2а), в той час, як овальний — на відмінно (рис. 2б). Крім того, овальний промінь світла може допомогти зменшити відблиски на поверхнях і знизити втомленість очей. Він застосовується як для освітлення проходів, так і для будь-яких поздовжніх об'єктів, таких як вітрини, внутрішні вивіски та полиці (рис. 3).

Сім'яство низькопрофільних лінз AMY для тонких і елегантних світильників

ПРОМОКОД*

15% знижки за промокодом **SVITLO_CNO109** на світлодіодну продукцію та оптоелектроніку!

Вкажіть промокод в темі електронного листа на пошту: info@sea.com.ua або у розділі «Коментар» при оформленні замовлення на сайті.

Нехай буде світло навколо нас та в душі кожного українця!

* Використайте промокод до 01.09.2023 включно.

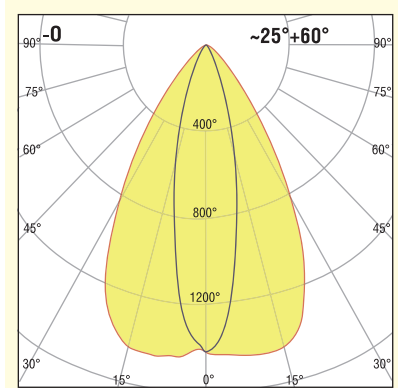


Рис. 1. Рівномірний розподіл світлового потоку по приміщенню з широким променем світла



Рис. 2. Різниця в освітленні при використанні точкових та поздовжніх лінз AMY 50 однакової кількості



Рис. 3. Підсвічування будь-яких поздовжніх об'єктів, таких як вітрини, внутрішні вивіски, стелажі



Рис. 4. Сімейство низькопрофільних лінз АМУ

на шинах і стельових світильників пропонує овальний промінь з розмірами 35, 50 і 70 мм (рис. 4), що забезпечує оптимальне освітлення для різних торгових приміщень.

Обидві лінзи виготовляються з високоякісного оптичного матеріалу, що забезпечує їх довговічність, ефективне розсіювання та фокусування світла. Вони дозволяють досягти високої якості освітлення та енергоефективності і є 100% вдалою інвестицією.

AMY-35 та AMY-50 оптимізовані для COB розміром до 10 мм LES, а AMY-70 — для COB розміру LES до 14.5 мм. Ці лінзи COB можна легко прикріпити до світильника за допомогою верхнього

фланця або двох тримачів для конекторів HEKLA, B+W та VJB.

Компанія Ledil є одним з провідних виробників оптичних компонентів та систем освітлення в галузі оптики та освітлення і має найбільше портфоліо світлодіодних лінз, відбивачів і тримачів COB LED для внутрішнього та зовнішнього світлодіодного освітлення. Вона відома своїми унікальними розробками такими як лінзи з технологією мультикол, що дозволяє рівномірно розсіювати світло. Компанія Ledil розробляє лінзи, які мають кругову поляризацію, що дозволяє отримувати кращі результати в оптичних системах; лінзи для автомобільних фар;

лінзи, які мають надвисоку точність ідеального кута випромінювання, що дозволяє досягти максимальної ефективності та точності у світлодіодних системах, а також інтегровані оптичні системи, що містять лінзи, рефлектори та інші оптичні компоненти, що дозволяє максимально ефективно використовувати світло.

За додатковою інформацією, а також з питань придбання продукції LEDIL звертайтеся до офіційного дистриб'ютора LEDIL на території України — Компанії SEA: (044) 330-00-88, e-mail: info@sea.com.ua **CN**

TRACO POWER

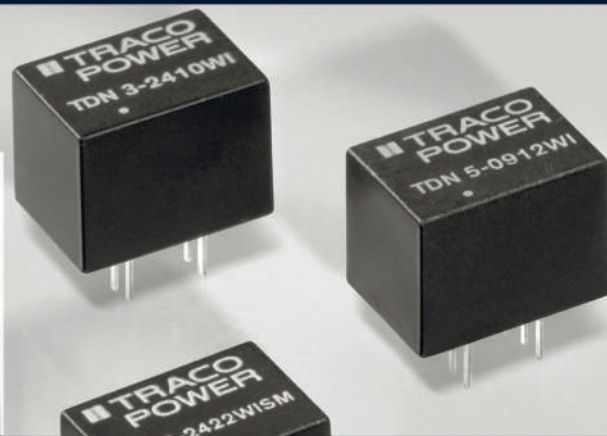
tracopower.com

Надійно. Доступно. Зараз.

Нове покоління мініатюрних та високоефективних DC/DC-перетворювачів

Серії TDN

- Моделі потужністю від 1 до 5 Вт
- Розміри корпусу 13,2×9,1×10,2 мм
- Діапазони вхідних напруг 5...18, 9...36 та 18...75 В DC
- Одно- та двополярні виходи з номіналами напруг від 3,3 до 15 В
- Напруга ізоляції вхід-вихід 1600 В DC
- Функція віддаленого вмикання/вимикання



Офіційний дистриб'ютор TRACO Electronic AG на території України



ІННОВАЦІЇ ТА
ЕФЕКТИВНІСТЬ



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

З'єднувачі плата-плата

Отримання потрібної швидкості

Томас Шульце (Thomas Schulze), магістр наук, продукт-менеджер напрямків з'єднувачі плата-плата, роз'єми для друкованих плат, Phoenix Contact GmbH & Co. KG
E-mail: ua-office@phoenixcontact.com

Швидкість передачі даних є вирішальною характеристикою з'єднувачів плата-плата. Але чи завжди потрібне високошвидкісне рішення? У цій статті ми розглянемо, які критерії є важливими під час вибору відповідного компонента (рис. 1).

Якщо ви шукаєте термін «швидкість» в Інтернеті, вам не доведеться далеко прокручувати сторінку, перш ніж ви натрапите хоча б на одну згадку про «обмеження швидкості». Тут ми бачимо типову конотацію з терміном «швидкість» — ми думаємо або про обмеження швидкості або про максимальну швидкість. Але висока швидкість не завжди потрібна. Набагато важливіше досягти правильної швидкості для конкретного застосування. Зрештою, вам не потрібен космічний корабель, щоб подолати п'ять кілометрів до місцевого продуктового магазину. Але якщо ви хочете дістатися до клієнта, який знаходиться за 100 кілометрів від вас, за дві години, ви не поїдете туди на велосипеді.

ШВИДКІСТЬ ЯК КРИТИЧНА ВИМОГА

Схожа ситуація і з компонентами з'єднання електронних пристроїв. Коли йдеться про швидкість передачі даних, то мається на увазі не максимальна допустима швидкість, а необхідна швидкість передачі даних для конкретного застосування. В останні роки чітко простежується тенденція до збільшення швидкості. У світі, де все більше зростає мережева взаємодія, потрібні все більш високі швидкості передачі даних, щоб забезпечити комунікацію між різними учасниками — як людьми, так і комп'ютерами. У той же час, системи і процеси стають все більш електрифікованими. Тому поряд з простими і

відповідними рішеннями зростає попит на надійні та технологічно складні з'єднувальні компоненти.

Ринок з'єднувачів плата-плата пропонує саме таку різноманітність з'єднувальних компонентів. На додаток до простих штирів і гніздових колодок в різних варіантах компонування, існують також захищені гніздові роз'єми та штекери в ізоляційних корпусах, а також високошвидкісні з'єднувачі для дуже високих вимог (рис. 2).

ЩО ВАЖЛИВО В ПРОЦЕСІ ВИБОРУ?

Під час вибору найбільш підходящого з'єднувача вирішальну роль, окрім швидкості передачі даних, відіграють вимоги до простору. Для сучасних електронних виробів характерні високі значення щільності компонентів. Отже, мініатюризація — це не тільки мета для розмірів пристроїв, але вона також обов'язково поширюється і на з'єднувачі плата-плата.

З одного боку, розмір з'єднувача є ключовим; з іншого боку, вирішальне значення має простір, який може бути досягнутий за допомогою з'єднувача для мезонінного розташування друкованих плат. Мінімальна відстань між друкованими платами становить близько 6 мм, що є типовим для промислових застосувань. У побутовій електроніці відстань між друкованими платами набагато менша. Щоб з'єднувачі плата-плата займали якомога менше

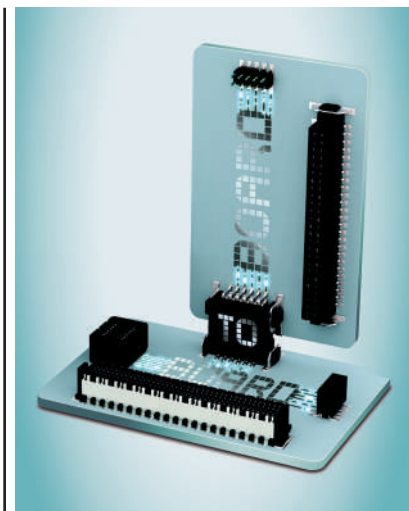


Рис. 1. Різні вимоги під час з'єднання друкованих плат: в той час як для деяких пристроїв достатньо простих штирів і гніздових колодок, для інших застосувань потрібні високошвидкісні з'єднувачі плата-плата

дорогоцінного простору на поверхні друкованої плати, в останні роки на ринку стали використовуватися з'єднувачі з кроком менше одного міліметра. І тут також існує відмінність між промисловою та побутовою електронікою. Якщо ви уважно подивитеся на дизайн вашого смартфона або планшета, то побачите, що ці пристрої мають набагато менші розміри кроку.

Тепер необхідно точно дотримуватися відповідного профілю вимог. У багатьох промислових застосуваннях міцність і надійність є додатковими ключовими критеріями вибору. Щоб обладнання і системи могли бути об'єднані в мережу, пов'язані з ними електронні системи мають бути адаптовані до умов навколишнього середовища. Навантаження, викликані вібраціями, немінучі для ба-

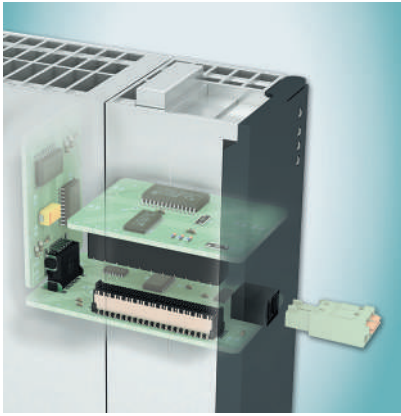


Рис. 2. З'єднання для будь-яких розмірів: лінійка продуктів FINERITCH від Phoenix Contact включає в себе різні типи і версії з'єднувачів плата-плата



Рис. 3. Вібросійке з'єднання в обмеженому просторі: подвійні контакти ScaleX мають гібридну конструкцію

гатьох машин і систем. Крім того, для забезпечення безперервної роботи має бути передбачена можливість заміни модулів у процесі експлуатації. Для цього система з'єднань між платами має компенсувати різні умови монтажу і, таким чином, забезпечувати надійну роботу.

НАДІЙНЕ, МІЦНЕ З'ЄДНАННЯ

У порівнянні з досить просто спроектованими штирями і гніздовими колодками, для вимогливих промислових застосувань слід обирати складні, але міцні контактні системи. Одна з таких контактних систем встановлена в з'єднувачах плата-плата серії FP 0.8 від Phoenix Contact. Гніздові роз'єми та штекери з кроком 0.8 мм оснащені інноваційними подвійними контактами ScaleX. Контакти розроблені як гібридні, тобто складаються з роз'єму та штекера. Це забезпечує вібросійке

з'єднання в дуже обмеженому просторі. Існує також діапазон стирання, який дозволяє гнучко змінювати відстань між друкованими платами в межах 1.5 мм на пару компонентів. Незважаючи на цей допуск стирання, забезпечується перекриття контактів на 0.8 мм (рис. 3).

При встановленій висоті двох штекерів і двох роз'ємів можна реалізувати відстань між друкованими платами від 6 до 12 мм. Найближчим часом до лінійки продукції будуть додані версії для більшої відстані між друкованими платами, що забезпечить більшу свободу під час проектування пристроїв.

Завдяки великому діапазону фіксації ± 0.7 мм і допуску нахилу до 4° , ізолювані корпуси забезпечують зручне і надійне з'єднання — в тому числі в умовах експлуатації. Крім того, під час підключення забезпечується компенсація допуску ± 0.3 мм. З одного боку, це дозволяє компенсувати виробничі допуски під час монтажу та пайки SMD.

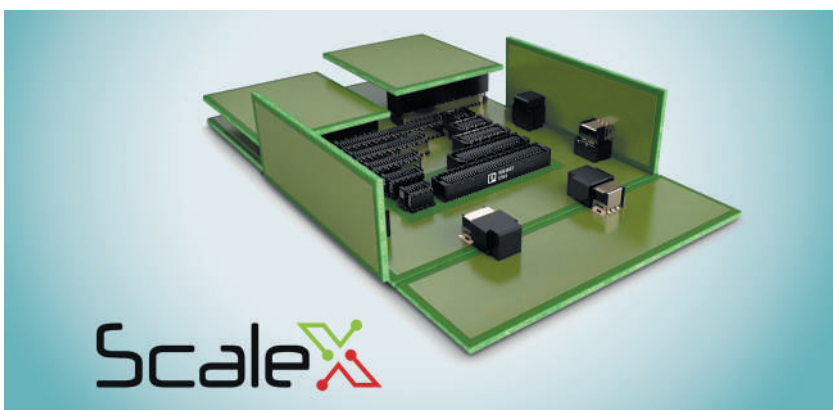


Рис. 4. Технологія ScaleX: з'єднувачі плата-плата серії FP 0.8 дозволяють гнучко компонувати друковані плати — екрановані та неекрановані версії з 12–80-ма контактами відповідають тенденції до мініатюризації електронних модулів

З іншого боку, велика компенсація допуску дозволяє розміщувати кілька з'єднувачів FP 0.8 на одній друкованій платі, що неможливо у випадку зі звичайними з'єднувачами плата-плата.

ГОТОВНІСТЬ ДО МАЙБУТЬОГО

З'єднувачі придатні як для передачі даних, так і для передачі сигналів. Через кожен контакт може передаватися струм до 1.7 А. Таким чином, можлива швидкість передачі даних до 16 Гбіт/с. Це означає, що система також відповідає майбутнім вимогам цифрового світу.

Узгодження імпедансу є дуже важливим, особливо у випадку високошвидкісної передачі даних. Значення 50 Ом є типовим для односторонніх сигналів, а 100 Ом — для диференціальних застосувань. Щоб уникнути будь-яких можливих перешкод, з'єднувачі доступні в екранованому виконанні як опція. Крім того, екранування може також використовуватися для живлення з силою струму до 10 А на кожен екран.

Ця гнучкість щодо використання екранування також очевидна у виборі найбільш підходящої версії для конкретного застосування. На додаток до типів для мезонінного розташування друкованих плат, існують також кутові типи для ортогональних і компланарних з'єднань для друкованих плат з різною кількістю контактів — від 12 до 80 контактів на роз'єм (рис. 4).

РЕЗЮМЕ

Швидкість і умови навколишнього середовища є важливими факторами: якщо промислове застосування вимагає високошвидкісної передачі даних, то з'єднувачі плата-плата серії FP 0.8 від Phoenix Contact є ідеальним рішенням. Вони забезпечують високу швидкість, механічну міцність і додаткове екранування. Цей унікальний повний пакет ідеально підходить для промислового застосування. Використання інших типів з'єднувачів має бути вираженням у випадку спрощених профілів вимог.

Для отримання додаткової інформації переходьте, будь ласка, за посиланням:

<https://www.phoenixcontact.com/uk-ua/produkcija/board-to-board-connectors#ex-content-transclusion-snippet--213>

CN

u-blox – початок роботи з Bluetooth для високоточного позиціювання в приміщенні

Петер Карлссон (Peter Karlsson), старший директор продуктового центру радіозв'язку малого радіуса дії, u-blox AG

Успіх супутникового позиціювання у зовнішньому середовищі створив відкладений попит на такі ж універсальні, точні та надійні рішення для позиціювання всередині приміщень. Bluetooth® став сильним кандидатом на заповнення цієї прогалини завдяки функції пеленгації – нещодавньому доповненню до специфікації Bluetooth, що дозволяє визначати напрямок руху радіосигналів від мобільної мітки до однієї або декількох фіксованих точок прив'язки. Коли розгорнуто групу таких багатоантенних якорів, для триангуляції точного розташування мобільного пристрою або мітки можна використовувати методологію кута прибуття (AoA).

У цій статті ми представляємо високоточне внутрішнє позиціювання у приміщенні за допомогою Bluetooth, досліджуємо, що потрібно для розгортання такого рішення, і ділимося досвідом, отриманим під час випробування технології на промисловому складі.

ВСТУП

Завдяки своїй універсальності, точності та надійності практично у всіх зовнішніх умовах, технологія глобальних навігаційних супутникових систем (GNSS) стала частиною нашого повсякденного життя, і ми сприймаємо її як належне. Автомобільні навігаційні системи, високоточне відстеження вантажів і контекстно-орієнтовані послуги — це лише деякі з найпоширеніших застосувань, що базуються на цій технології, а також багато нових прикладів використання і сфер застосування, які постійно розширюються (рис. 1).

Очікування, пов'язані з успіхом технології GNSS, створили відкладений попит на рішення для позиціювання всередині приміщень, які б з такою ж точністю доповнювали ті, що використовуються на вулиці. Попит на такі ж універсальні, точні і надійні рішення для позиціювання в приміщеннях для відстеження і навігації призвів до розробки численних стандартів

і запатентованих технологій — RFID, надширокопasmовий зв'язок, Wi-Fi sniffing, позиціювання на основі камер — кожна з яких створює певні варіанти використання.

Глобальна пандемія ще більше прискорила глобальний прогрес на шляху до принципів Індустрії 4.0 — використання технологій сенсорного моніторингу, бездротового зв'язку та хмарних додатків у всіх сферах промислового сектору та за його межами. Під час пандемії зростання попиту на точний контроль і відстеження товарів супроводжувалося зростанням попиту на рішення для персональної навігації та виявлення наближення для підтримки соціального дистанціювання в соціальному та професійному середовищі.

Ці події підкреслили переваги глобальних, стандартизованих рішень для задоволення потреб і вимог до позиціювання всередині приміщень. Простота розгортання, експлуатації та обслуговування стали ключовими критеріями вибору рішень для позиціювання всередині приміщень. А функціональна сумісність компонентів є необхідною умовою для того, щоб компоненти працювали разом як єдине системне рішення.

Визнаючи зростання попиту на більш точні рішення для позиціювання в приміщеннях і послуги визначення розташування в реальному часі (RTLS), Bluetooth SIG випустила Bluetooth 5.1 в січні 2019 року, головною особливістю якого є функція Bluetooth-пеленгації. Використовуючи сукупність багатоантенних якорів, Bluetooth-пеленгація може бути використана для триангуляції точного розташування



Рис. 1. Области застосування технології глобальних навігаційних супутникових систем (GNSS)

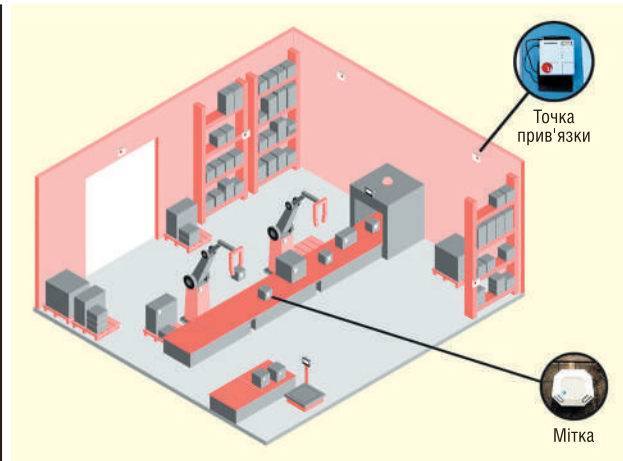


Рис. 2. Ілюстрація розгортання системи внутрішнього позиціювання на виробничій лінії

мобільного пристрою або мітки в закритому приміщенні (рис. 2). У цьому технічному документі ми розглянемо, як Bluetooth-пеленгацію можна використовувати для забезпечення субметрової точності визначення розташування. Потім ми представимо огляд випадків використання, які виграють від технології позиціювання в приміщенні за допомогою Bluetooth. Нарешті, ми поділимося нашим досвідом випробування рішень для позиціювання в приміщенні на промисловому складі та обговоримо питання проектування, щоб максимізувати їхню ефективність.

ВІД BLUETOOTH-ПЕЛЕНГАЦІЇ ДО ПОЗИЦІЮВАННЯ В ПРИМІЩЕННІ

Bluetooth зарекомендував себе як один з найуспішніших світових комунікаційних стандартів і технологій. Bluetooth з низьким енергоспоживанням (Bluetooth 4.0) вже широко застосовується для базового визначення дальності, виявлення наближення та позиціювання, використовуючи індикацію рівня прийнятого сигналу (RSSI) сигналу Bluetooth як вхідний сигнал. Такі рішення для позиціювання на основі RSSI зазвичай забезпечують точність у кілька метрів, дозволяючи, наприклад, визначати, чи знаходяться люди або пристрої в приміщенні. Замість того, щоб вимірювати силу сигналу Bluetooth, Bluetooth-пеленгація використовує опорні точки з багатоантенними решітками для обчислення кута прибуття (AoA) вхідного сигналу або кута відправлення (AoD) вихідного сигналу.

ПЕЛЕНГАЦІЯ: КУТ ПРИБУТТЯ (АОА)

У випадку AoA мобільний об'єкт оснащений міткою, яка передає сигнал Bluetooth-пеленгації, що містить пакет розширення постійного тону (СТЕ). У цьому сценарії вимірювання, зроблені антенними решітками, використовуються для обчислення кута вхідних сигналів СТЕ за допомогою алгоритму, який працює локально в кожній точці прив'язки. Як показано на рисунку 3, сигнали, що передаються мобільним клієнтом, досягають антен, які входять до складу багатоантенної решітки кожної антени, з невеликим фазовим зсувом відносно решітки. Припускаючи, що сигнал поширюється плоскою хвилею, ці невеликі фазові відмінності можуть бути використані для обчислення кута прибуття сигналу. AoA мож-

на використовувати для реалізації послуг визначення розташування в реальному часі (RTLS) або для відстеження.

ПЕЛЕНГАЦІЯ: КУТ ВІДПРАВЛЕННЯ (АОD)

У випадку AoD мобільний клієнт отримує сигнали пеленгації Bluetooth, що передаються однією або кількома антенними решітками (рис. 4). Тут мобільний клієнт використовує вимірювання вхідного сигналу для обчислення напрямку виходу сигналу з антенної решітки. Використовуючи AoD, сигнали пеленгації, що передаються кожним елементом антенної решітки якоря, досягають клієнта з невеликою різницею фаз відносно решітки. Маючи інформацію про геометрію антенних решіток, клієнт може розрахувати кут відправлення сигналу від антенної решітки, використовуючи виміряну різницю фаз. AoD можна використовувати для реалізації навігації та пошуку шляхів.

BLUETOOTH ДЛЯ ВИСОКОТОЧНОГО ПОЗИЦІЮВАННЯ ВСЕРЕДИНІ ПРИМІЩЕНЬ

Завдяки використанню Bluetooth-пеленгації, система позиціювання може точно розрахувати розташування об'єкта за допомогою триангуляції, використовуючи кут надходження радіосигналів щонайменше від трьох, а часто і більше, анкерів і визначаючи місце їх перетину. Системи внутрішнього позиціювання на базі Bluetooth 5.1 можуть надавати високоточну інформацію про розташування з субметровою точністю (рис. 5 та 6). Відповідність стандартам, визначеним Bluetooth SIG, гарантує сумісність формату повідомлень, що використовуються пристроями та точками прив'язки, між різними виробниками. Широка екосистема Bluetooth, яка забезпечує основу для глобальних рішень на різних ринках і в різних галузях, обіцяє полегшити впровадження пеленгації і позиціювання в приміщенні.

РОЗГОРТАННЯ ВИСОКОТОЧНИХ РІШЕНЬ ДЛЯ ПОЗИЦІЮВАННЯ В ПРИМІЩЕННЯХ

Рішення для позиціювання в приміщеннях на основі Bluetooth-пеленгації складаються з п'яти основних компонентів.



Рис. 3. Використання різниці фаз для обчислення кута прибуття. Адаптовано з Bluetooth SIG

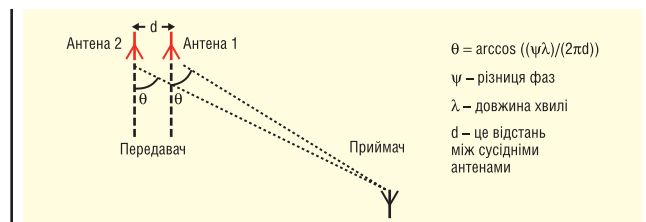


Рис. 4. Використання різниці фаз для обчислення кута відправлення. Адаптовано з Bluetooth SIG

Теги

Люди або об'єкти, які відстежуються, повинні бути оснащені мікросхемою або модулем Bluetooth 5.1 (або новішої версії), здатним передавати сигнал Bluetooth-пеленгації з постійним тональним розширенням (CTE) відповідно до специфікації Bluetooth SIG.

Точки прив'язки

Для отримання точних результатів необхідно правильно розмістити три або більше опорних точок, кожна з яких має приймач Bluetooth 5.1 (або новішої версії) і багатоантенну решітку, щоб покрити територію, що контролюється (рис. 6).

Система позиціонування

Розміщений на локальному пристрої або в хмарі, система позиціонування запускає програмне забезпечення, яке використовується для перетворення об'єднаних вхідних даних з опорних точок в точне значення положення, враховуючи багатопроменеві сигнали та інші перешкоди.

Карта будівлі

Для отримання точних даних позиціонування в приміщенні необхідна карта (2D або 3D в залежності від варіанту використання), яка містить геометрію приміщення, а також розташування, висоту та орієнтацію опорних точок.

Інтерфейс користувача

Розташований локально або в хмарі, інтерфейс користувача дозволяє користувачам конфігурувати налаштування позиціонування в приміщенні, спростити введення в експлуатацію нових міток і точок прив'язки, а також відстежувати розташування міток в реальному часі.

ВИПРОБУВАННЯ ВИСОКОТОЧНОГО ПОЗИЦІЮВАННЯ BLUETOOTH У ПРИМІЩЕННІ НА ПРОМИСЛОВОМУ СКЛАДІ

Ми провели реалістичне випробування технології позиціонування Bluetooth в приміщенні в типовому сценарії розгортання для відстеження вантажів: промисловий склад розміром 30 на 50 метрів, на якому зберігається обладнання та коробки на металевих полицях. Випробування було проведено у партнерстві з Traxmate, загальною хмарною системою відстеження, як доповнення до нашої системи внутрішнього позиціонування u-blox Bluetooth.

Для випробування ми використовували комплексну систему пеленгації та внутрішнього позиціонування, розроблену власними силами, з оптимізованою функціональністю для досягнення високої точності позиціонування та частоти оновлення, щоб відстежувати будь-які переміщення міток у режимі реального часу. Ми оптимізували всі важливі частини системи: радіочастотну передню панель і антени, вбудовані алгоритми і програмне забезпечення, що працює в модулях Bluetooth, а також передачу кутів від точок прив'язки до системи позиціонування, де робилися остаточні оцінки положення мітки (рис. 7).

Особливу увагу ми приділили багатоантенним решіткам, які надають дані про азимут і рівень вхідних сигналів CTE від міток для алгоритмів AoA, вбудованих в модулі Bluetooth 5.1 NINA-B4, що встановлені в анкерних точках. Щоб збалансувати розмір і продуктивність анкерних точок, ми використовували п'ять двополяризованих антенних елементів, розташо-

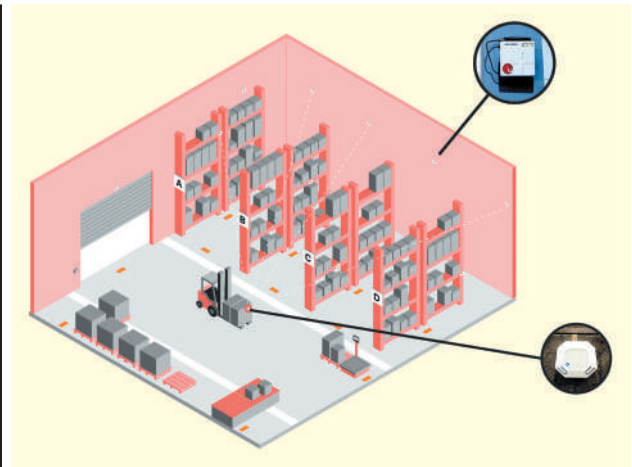


Рис. 5. Типова установка для триангуляції точного розташування мобільних пристроїв або міток у приміщенні складається з декількох багатоантенних якорів



Рис. 6. Встановлення точки прив'язки

ваних у Г-подібній конфігурації, як показано нижче (на рис. 7 без пластикового корпусу).

Точки прив'язки були оснащені світлодіодами для візуалізації в трьох вимірах напрямку сигналу Bluetooth-пеленгатора, отриманого від мітки. Після обчислення анкери передавали азимут і кути підйому вхідного сигналу до системи позиціонування за допомогою Wi-Fi. Потім програмне забезпечення, розміщене на ПК, виконувало фінальні етапи триангуляції та фільтрації.

У нашому дослідженні було використано десять опорних точок для покриття приблизно 1 000 квадратних метрів площі складу в приміщенні шестиметрової висоти. Повне встановлення системи позиціонування на складі зайняло близько двох годин. Анкерні точки були встановлені на стінах і стелажах на висоті від 3 до 5 метрів, а також було організовано зворотний зв'язок Wi-Fi від кожної анкерної точки до системи позиціонування. Напрямки антенної решітки були відредаговані на карті, а система позиціонування була налаштована з правильними координатами і напрямками для коректної мультиангуляції. Редагування було виконано за допомогою програмного рішення Traxmate, яке також надавало API для налаштування системи позиціонування.

РЕКОМЕНДАЦІЇ З ПРОЄКТУВАННЯ ДЛЯ РОЗГОРТАННЯ РІШЕНЬ ДЛЯ ВНУТРІШНЬОГО ПОЗИЦІЮВАННЯ ЗА ДОПОМОГОЮ BLUETOOTH

Ефективність розгортання високоточних систем позиціонування Bluetooth у приміщеннях залежить від багатьох факторів,

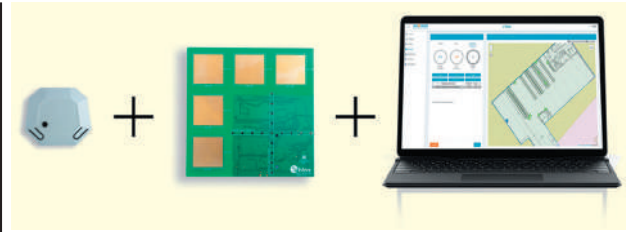


Рис. 7. Всі важливі частини системи високоточного позиціонування Bluetooth

які необхідно враховувати в кожному конкретному випадку. Наступні рекомендації щодо проектування ґрунтуються на досвіді, який ми отримали під час випробувань на складі.

1. Розміщення опорних точок є важливим для отримання хороших оцінок кута від кожної мітки. Антенні решітки повинні бути розташовані на відкритому просторі, щоб максимізувати ймовірність прямої видимості (LoS) між усіма можливими позиціями тегів і щонайменше трьома анкерами. У більшості випадків найкращих оцінок положення можна досягти, встановивши анкери високо на стінах або на стелі.
2. Для отримання повноцінних результатів, система позиціонування повинна бути налаштована таким чином, щоб відображати координати та орієнтацію точок прив'язки. Це можна спростити за допомогою програмних інструментів і цифрових карт. У нашому дослідженні ми використовували Traxmate, який дозволив нам легко ввести положення і тривимірну орієнтацію десяти використовуваних опорних точок і відповідно налаштувати систему позиціонування.
3. Тривалий час автономної роботи міток має важливе значення для надійної роботи системи та уникнення експлуатаційних витрат на заміну або зарядку батарей, особливо при розгортанні системи з використанням тисяч міток. Завдяки притаманному їм низькому енергоспоживанню, модулі Bluetooth з низьким енергоспоживанням мають явну перевагу. Дуже коротка передача початкових пакетів даних і CTE забезпечують типовий термін служби батареї монетного типу від декількох місяців, коли використовується найвища швидкість передачі (20 мс між CTE), до декількох років, коли вважається достатнім менша швидкість передачі.
4. Щоб зменшити багатопроменеві ефекти, ми використовували сигнали CTE на всіх трьох рекламних каналах Bluetooth, подвійні поляризовані антени в якорях і вдосконалений метод прямого збору даних з розповсюдуювача (PDDA) для пошуку кутового спектра.
5. Існує компроміс між кількістю анкерних точок і точністю, яку можна досягти. У випробуваннях на складі ми використовували десять опорних точок, розташованих приблизно на відстані десяти метрів одна від одної. Таке розташування забезпечило хорошу середню точність позиціонування і дозволило нам відстежувати положення міток в реальному часі.
6. Після обчислення розраховані кути необхідно відправити до програмного забезпечення системи позиціонування, яке може бути реалізоване на локальному комп'ютері, локальному сервері або в хмарі. У нашому випадку комунікаційною основою для передачі даних про кути до системи позиціонування був Wi-Fi на частоті 5 ГГц. Це далеко не єдине рішення: якщо є можливість, для підключення і передачі даних до системи позиціонування можна використовувати, наприклад, Ethernet.

СТВОРЕННЯ РІШЕНЬ ДЛЯ ПОЗИЦІЮВАННЯ ВСЕРЕДИНІ ПРИМІЩЕНЬ ЗА ДОПОМОГОЮ u-blox

Створення високоточних рішень для позиціонування всередині приміщень з нуля може бути складним завданням. Щоб прискорити оцінку та розгортання високоточних рішень Bluetooth для позиціонування всередині приміщень, ми розробили два «набори для початківців». Початковий комплект u-blox XPLR-AOA-1 містить всі компоненти, необхідні для отримання безпосереднього досвіду використання Bluetooth-пеленгації.

Більш просунутий комплект u-blox XPLR-AOA-2 містить всі елементи, необхідні для досягнення субметрової точності позиціонування в приміщенні — від мітки до якоря і хмари:

- чотири антени плати u-blox C211, які виступають як опорні точки;
- чотири мітки u-blox C209 для маркування мобільних активів;
- все програмне забезпечення, необхідне для використання технології AoA для різних застосувань.

І мітка, і точка прив'язки використовують низькоенергетичний модуль u-blox NINA-B4 Bluetooth 5.1 з nRF52833 Bluetooth Low Energy System-on-Chip (SoC) від Nordic Semiconductor. Програмне забезпечення u-blox u-connectLocate, що працює на вбудованому мікроконтролері SoC, обчислює кути вхідних радіосигналів, не вимагаючи додаткової обробки або зовнішніх компонентів.

Зовнішнє програмне забезпечення для позиціонування містить програмне забезпечення для триангуляції положення мітки на основі кутів від опорних точок. XPLR-AOA-2 не залежить від системи і працює з різними локальними або хмарними рішеннями для відстеження.

ЗАРАЗ САМЕ ЧАС СТАТИ ПЕРШОПРОХІДЦЕМ

Попит на рішення для позиціонування всередині приміщень швидко зростає з метою доповнення технології GNSS, яка вже повсюдно використовується для зовнішніх застосувань. Bluetooth-пеленгація, випущена Bluetooth SIG в Bluetooth Release 5.1, і високоточне позиціонування всередині приміщень, яке вона забезпечує, має потенціал для задоволення цього попиту.

У компанії u-blox ми випробували технологію позиціонування Bluetooth в реальних умовах промислового складу, надійно досягнувши субметрової точності в трьох вимірах за допомогою міток, точок прив'язки і програмного забезпечення системи позиціонування, розробленого нами. У поєднанні з комерційно доступним дослідницьким комплектом XPLR-AOA-2 це рішення пропонує швидкий і простий спосіб оцінити продуктивність технології та прокладає шлях до ефективних інсталяцій і широкомасштабних розгортань.

Щоб дізнатися більше про Bluetooth-пеленгацію, високоточне позиціонування всередині приміщень, а також про оцінку та розгортання рішень, ми рекомендуємо вам звернутися до найближчого інженера u-blox або відвідати сторінку продукту *u-blox XPLR-AOA-2 explorer kit*.

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

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

Динамічні характеристики SiC-діодів Шотткі

Деніел Пріндл (Daniel Prindle)

Переклад і коментарі: Андрій Колпаков

Адаптований переклад українською та технічне редагування:

Сергій Поліщук, к.т.н.

E-mail: sp.tsdrive@gmail.com

У статті описано основні особливості карбідокремнієвих діодів з бар'єром Шотткі (SiC SBD) і їхні відмінності від так званих тільки (технологічних) p-n-діодів MOSFET.

ВСТУП. ОСОБЛИВОСТІ SiC-ТЕХНОЛОГІЇ

Відмінності Si і SiC напівпровідникових приладів насамперед обумовлені властивостями базових напівпровідникових матеріалів. Кремнієві чипи виготовляються з чистих пластин Si, тоді як пластини SiC містять як кремній, так і вуглець. Це дає карбід кремнію широкий спектр переваг порівняно з чистим кремнієм, головними з яких є вища швидкість перемикання та ефективніше розсіювання тепла (рис. 1).

Легування напівпровідників

Кремній може бути «позитивно» або «негативно» легований шляхом імплантації різних домішок у кристалічну структуру. Наприклад, у бору на один електрон менше, ніж у кремнію. Коли він займає місце атома кремнію

(рис. 2, зліва/посередині), електрон, якого бракує, створює дірку (відсутність електрона), що слугує носієм позитивного заряду. Таким чином, кремній, легований бором, вважається «позитивно» легованим (p), при цьому

відносна кількість домішок часто позначається знаками «+» (сильно) або «-» (слабо).

І навпаки, у фосфору на один електрон більше, ніж у кремнію, відповідно, у разі використання такої домішки (рис. 2, праворуч) додатковий електрон стає носієм негативного заряду. Тому кажуть, що кремній у такому разі легований «негативно» (n). Використовуються й інші «позитивні» та «негативні» легуючі домішки.

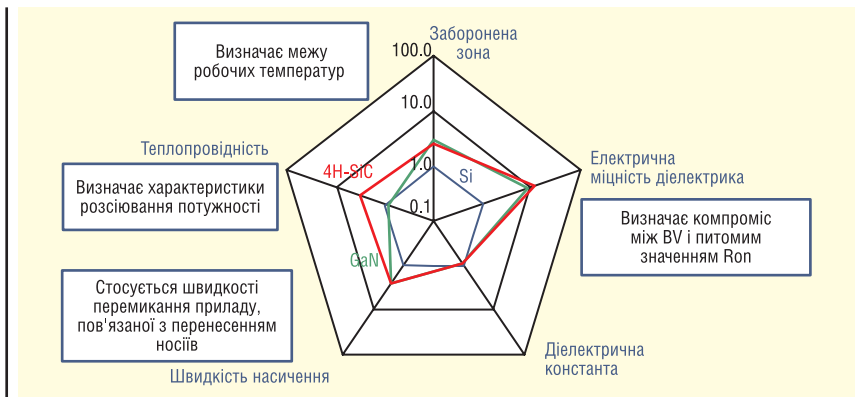


Рис. 1. Вплив фізичних параметрів напівпровідникових матеріалів [2]

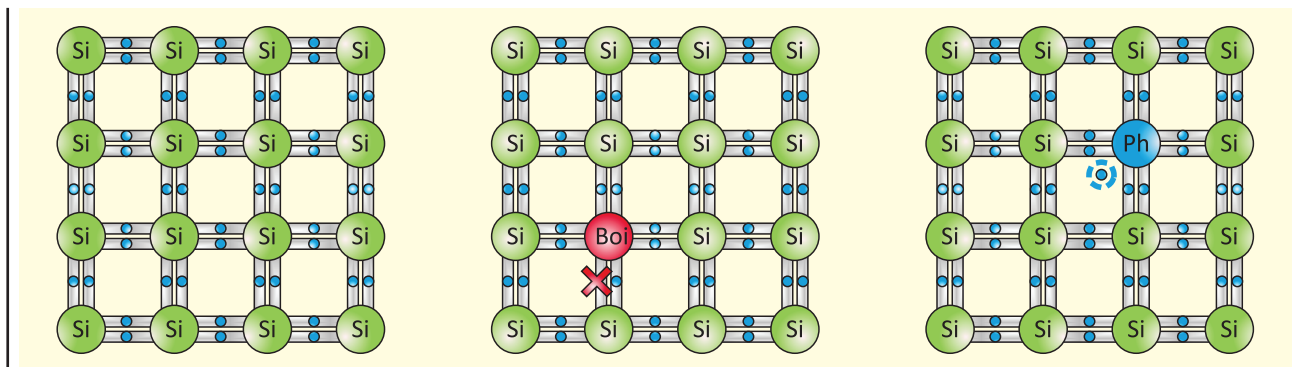


Рис. 2. Ліворуч: чистий кремній; у центрі: легування бором; праворуч: легування фосфором

ПОРІВНЯННЯ P-N-ПЕРЕХОДУ ТА БАР'ЄРА ШОТТКІ

Як можна побачити на рисунку 3, ліворуч, р-п-діод з одиночним р-п-переходом утворюється в зоні контакту позитивно (р) і негативно (п) легованого кремнію. Під час прямого зсуву вільні електрони в п-легованій ділянці та дірки в р-легованій ділянці переміщуються через кристал, формуючи електронно-діркову плазму. Оскільки електрична провідність створюється взємним рухом електронів і дірок, р-п-діоди називаються біполярними приладами.

Бар'єр Шотткі формується при безпосередньому з'єднанні шару металу з п-легованим напівпровідником. Такий перехід поводить як діод, і отриманий елемент називається діодом з бар'єром Шотткі (SBD). Він не має р-легууючої домішки, відповідно, в процесі провідності не утворюються дірки. Їхня відсутність означає, що для перенесення струму в SBD використовуються тільки електрони (рис. 3, праворуч), тому такі прилади називаються уніполярними.

Прямий зсув кремнієвих р-п-діодів зазвичай становить близько 0.7 В, початкова пряма напруга Si-діодів Шотткі помітно менша (≈ 0.3 В). Карбідокремнієві прилади мають ширшу заборонену зону (рис. 1), що є енергією, необхідною для переміщення електрона з валентної зони в зону провідності, де його можна використовувати для перенесення струму. Для прямого зсуву переходу тут потрібно більше енергії, отже, SiC р-п-переходи мають набагато більш високе падіння напруги, ніж Si. З цієї причини в діодах, виготовлених із карбиду кремнію (та інших матеріалів із широкою забороненою зоною), зазвичай передбачено бар'єр Шотткі.

Інша причина, через яку SBD-структура є кращою під час виробництва карбідокремнієвих приладів, пов'язана з блокувальною здатністю. Без зворотно зміщеного р-п-переходу діоди Шотткі мають набагато меншу напругу пробивної здатності, що історично обмежувало застосування кремнієвих SBD у силовій електроніці. Однак більш висока напруженість пробивного електричного поля SiC дозволяє виготовляти комерційні діоди Шотткі з напругою 650 В і вище.

АНТИПАРАЛЕЛЬНІ ДІОДИ MOSFET

Коли на затвор MOSFET-транзистора подають позитивну напругу, р-легована технологічно-інтегральна область зміщується, канал відкривається, внаслідок чого струм може протікати від стоку до витoku (рис. 4, ліворуч). Р-легована область і п-леговані дрейфові зони MOSFET (Si або SiC) утворюють так званий технологічно-інтегральний р-п-діод. Він

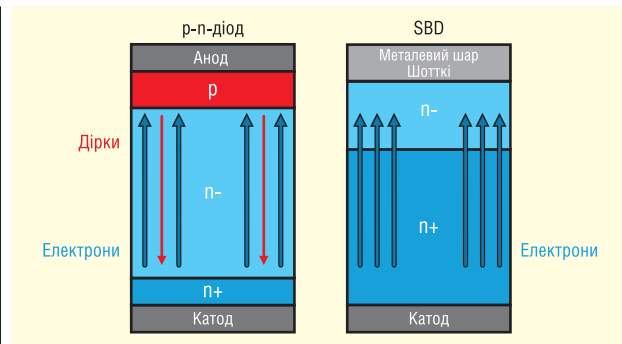


Рис. 3. Базова структура двох типів діодів

виявляється зміщеним у прямому напрямку (тобто активним) у разі зворотного зміщення MOSFET (рис. 4, у центрі).

Технологічно-інтегральний діод електрично антипаралельний каналу «стік-витік» MOSFET, тому його поведінка різко змінюється залежно від напруги на затворі. Якщо транзистор вимкнений ($V_{GS} \leq 0$ В), він поводить як звичайний р-п-діод з експоненціально зростаючою прямою напругою залежно від струму (рис. 4, у центрі). За позитивної напруги на затворі канал MOSFET частково відкривається, формуючи шлях із меншим імпедансом (рис. 4, праворуч), унаслідок чого основний струм забезпечується електронами. При цьому падіння напруги виявляється нижчим, ніж за провідності тільки за рахунок технологічно-інтегрального діода (рис. 5).

Характеристики вимкнення різних типів діодів

Характеристики вимкнення діода дуже важливі для оцінки стабільності роботи силового ключа та розрахунку динамічних втрат. Випрямлячі з бар'єром р-п і Шотткі демонструють різну поведінку під час вимкнення (наприклад, у процесі перекомутації струму з діода на транзистор у напівмостовій схемі).

Під час роботи реального фізичного пристрою можна контролювати тільки загальний струм «стік-витік» (I_{DS} або I_t), який у різних напівпровідникових структур (наприклад, р-п або SBD-діодів) залежить від внеску різних носіїв заряду. Таким чином, загальна величина струму складається з декількох складових. Множення кожної з них на V_{DS} (V_A) та інтегрування результату дає змогу обчислити відповідну частку загального значення E_{sw} .

Струм MOSFET, що спостерігається під час вимкнення діода ($-I_{DS}/I_t$), складається з трьох компонентів (рис. 6):

- струм зворотного відновлення, I_{rr} ;
- ємнісний струм переходу, I_{Cj} ;
- паразитний струм увімкнення (можливо), I_{plot} .

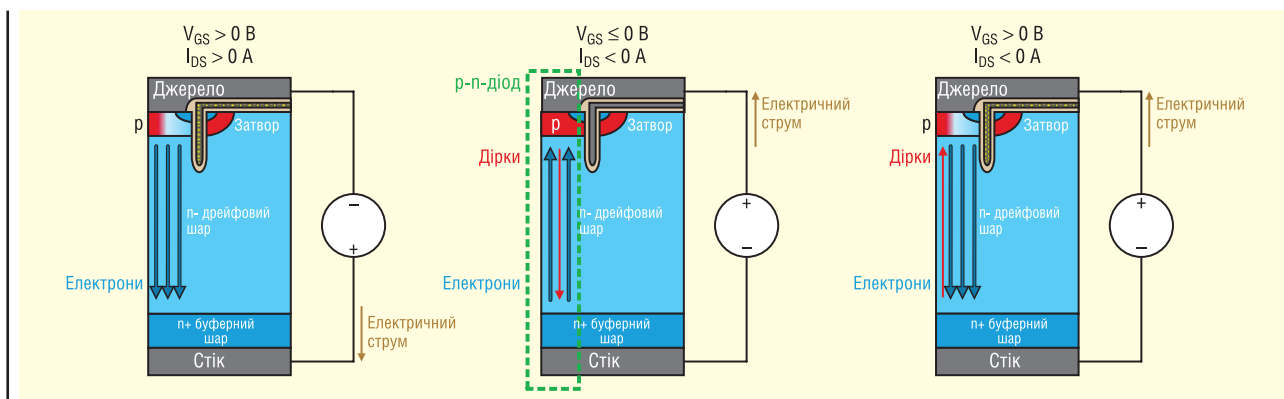


Рис. 4. Базова структура Trench MOSFET

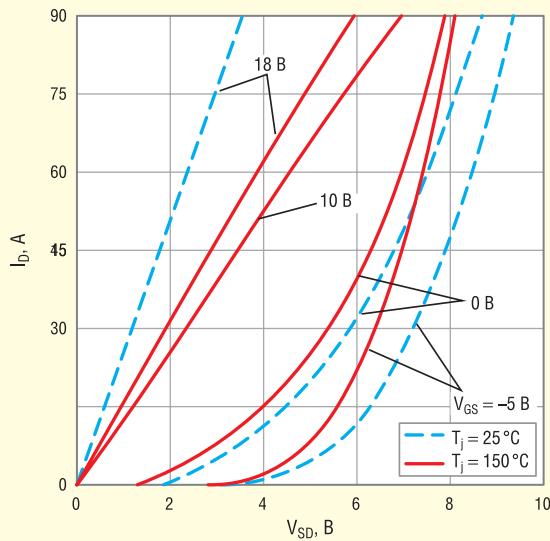


Рис. 5. Приклад прямої характеристики технологічно-інтегрального діода MOSFET [4]

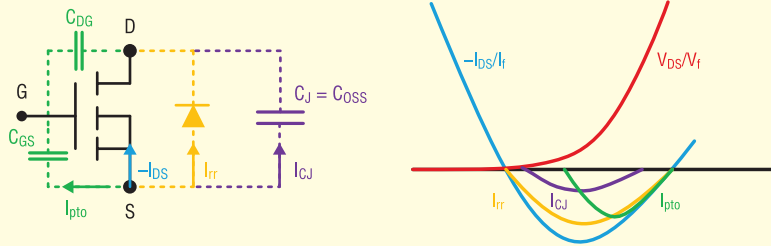


Рис. 6. Складові зворотного струму технологічно-інтегрального діода MOSFET

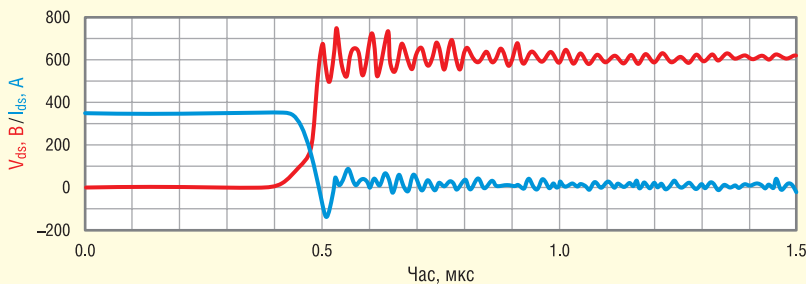


Рис. 7. Вимкнення діода модуля SKM350MB120SCH15

Розглянемо спрощений підхід, що ґрунтується на моделюванні та потрібен для кращого розуміння паралельних динамічних процесів. Струм зворотного відновлення I_{rr} у $p-n$ -технологічно-інтегральному діоді MOSFET, генерований у процесі рекомбінації електронно-дірчастої плазми, пропорційний прямому струму, що протікає перед вимкненням пристрою. У міру віддалення плазми результуючий заряд зворотного відновлення (Q_{rr}) розсіюється в чипі, в результаті чого генеруються втрати E_{rr} .

Ще один компонент струму (I_{CJ}) заряджає ємність переходу, в результаті відбувається зростання напру-

жності. Енергію, що надходить у ємність, можна приблизно оцінити як:

$$E_{CJ} \approx \frac{(C_J \times V^2)}{2}.$$

Однак оскільки цей параметр є суто ємнісним, то E_{CJ} генерує тільки незначні втрати потужності, зумовлені активним опором ланцюга.

Струм I_{PT0} протікає через MOSFET, якщо напруга на затворі піднімається вище порогового значення. Багато SiC MOSFET транзисторів мають низький поріг увімкнення і менше значення $-V_{GS}^{off}$ ніж у IGBT (наприклад, -4 В проти -15 В для IGBT). Також у карбідокрем-

нієвих ключів вищий ризик паразитного увімкнення через крутіші фронти dv/dt .

Ємності «стік-затвор» і «затвор-витік» з'єднані послідовно (виділені зеленим на рис. 6), що створює ємнісний дільник напруги. Якщо до ланцюга «стік-витік» прикладається позитивне значення dv/dt , то C_{GS} заряджається і канал може частково відкритися. Паразитне включення MOSFET призводить до генерації втрат, які називаються E_{pto} . Як правило, це не є проблемою, проте навіть короткий період провідності створює додаткове розсіювання потужності в пристрої. Крім того, втрати E_{pto} не завжди рівномірно розподіляються по чипу. При багаторазовому протіканні надлишкового струму I_{PT0} можуть виникати зони локального перегріву.

Приблизний характер вимкнення діода SiC MOSFET (модуль SKM350MB120SCH15 у 62-мм корпусі SEMITRANS 3) показано на рисунку 7. Піковий струм зворотного відновлення, що досягає при відключенні 350 А ($V_{ds} = 600$ В), становить -140 А.

SiC MOSFET з антипаралельним діодом Шотткі

Зворотний струм SiC MOSFET з антипаралельним SBD при відключенні діода ($-I_{DS}/I_T$) складається з двох компонентів (рис. 8):

- ємнісний струм переходу, I_{CJ} ;
- паразитний струм увімкнення (можливий), I_{PT0} .

За нормальної роботи ключа основна частина струму протікає через SBD, технологічно-інтегральний діод проводить тільки невелику його складову, в результаті в ньому генерується дуже мало дірок. По суті, тільний $p-n$ -діод SiC MOSFET не створює струм зворотного відновлення I_{rr} . Крім того, як пояснювалося раніше, у SBD відсутній звичайний механізм рекомбінації втрат E_{rr} . Ця фундаментальна відмінність у поведінці пояснює, чому SiC-діоди Шотткі розсіюють набагато меншу потужність перемикавання.

Струм I_{PT0} дуже схожий на I_{rr} при цьому він виникає в тих випадках, коли поява I_{rr} не очікується. Втрати, що генеруються за рахунок I_{PT0} , не можна відносити до діода, оскільки нагрівання відбувається в чипі MOSFET, а не SBD. Термін E_{rr} у специфікаціях SiC MOSFET SEMIKRON відноситься тільки до складових E_{CJ} і E_{PT0} . Оскільки параметр E_{CJ} є суто ємнісним і не робить істотного внеску в саморозігрів, його можна відняти від E_{rr} (MOSFET), щоб отримати точнішу оцінку фактичних втрат. У технічних специфікаціях SEMIKRON цього не зроблено, щоб

фізичні характеристики приладу були відображені найреальніше.

Приклад поведінки при вимкнанні діода Шоттки, паралельного SiC MOSFET, показано на рисунку 9. Модуль SKM350MB120SCH17 відрізняється від згаданого SKM350MB120SCH15 наявністю вбудованого SBD. Пікове значення струму зворотного відновлення в цьому випадку набагато нижче через відсутність I_{rr} технологічно-інтегрального діода, тут він зменшується до -70 А (але не до нуля). Те, що сприймається як зворотний струм, насправді являє собою поєднання I_{CJ} і I_{pto} . Точно визначити їхнє співвідношення шляхом прямого вимірювання неможливо.

У разі використання SBD як окремого діода струм під час вимкнення (I_f) має тільки одну складову — I_{CJ} (рис. 10). Як було сказано, ця ємнісна компонента не створює розсіювання в чипі, а тому динамічні втрати при комутації SiC SBD незначні.

На рисунку 11 показано процес відключення антипаралельного SiC-діода Шоттки в гібридному модулі SKM200GB12T4SiC2 (62-мм корпус SEMITRANS 3). Ризик паразитного спрацьовування IGBT тут практично дорівнює нулю, оскільки напруга вимкнення V_{GEoff} становить -15 В, а результуюче значення dv/dt набагато нижче, ніж у SiC MOSFET.

У карбідокремнієвих діодів відсутній процес зворотного відновлення. Спостерігається тільки незначний струм перезарядки ємностей переходів IGBT і SBD, а також невеликий «брязкіт», викликаний наявністю паразитних елементів.

У будь-якій із розглянутих раніше схем може спостерігатися деякий сплеск струму в процесі або після вимкнення залежно від розподілених комутаційних індуктивностей і ємностей. Причиною паразитних осциляцій у SiC SBD стають тільки паразитні елементи, цей процес не пов'язаний з процесами рекомбінації (рис. 12). Такий «брязкіт» практично не генерує тепло, спостерігаються лише незначні резистивні втрати на провідних ланцюгах.

ТЕХНІЧНІ СПЕЦИФІКАЦІЇ SEMIKRON

У цьому розділі пояснюється, як нормуються втрати зворотного відновлення для різних типів модулів SEMIKRON.

SiC MOSFET без зовнішнього антипаралельного діода

Під час вимкнення від'ємного струму в MOSFET-модулях із технологічно-ін-

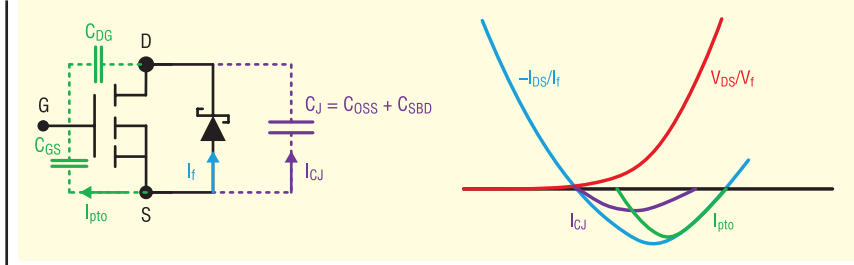


Рис. 8. Складові зворотного струму SiC MOSFET з діодом SBD

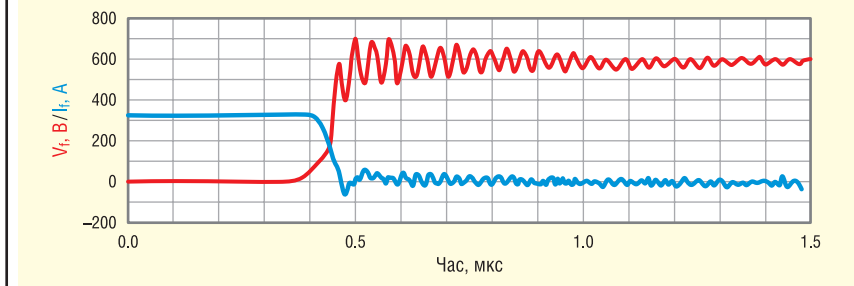


Рис. 9. Процес вимкнення антипаралельного діода SKM350MB120SCH17

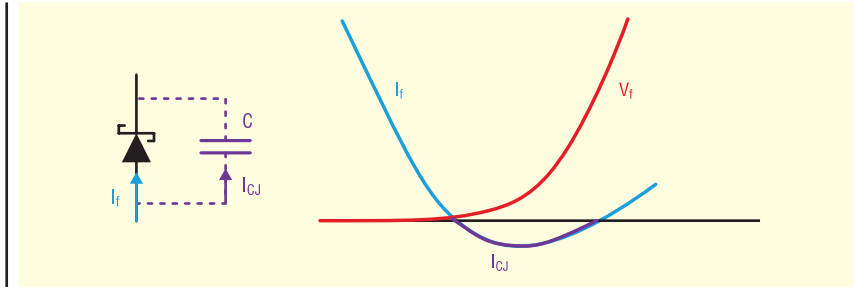


Рис. 10. Складові зворотного струму SBD

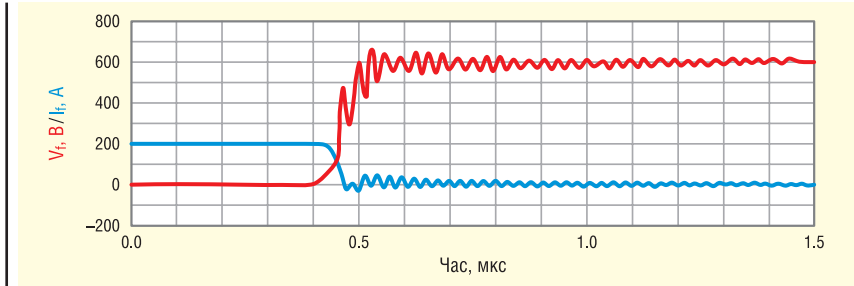


Рис. 11. Процес вимкнення антипаралельного діода гібридного модуля SKM200GB12T4SiC2

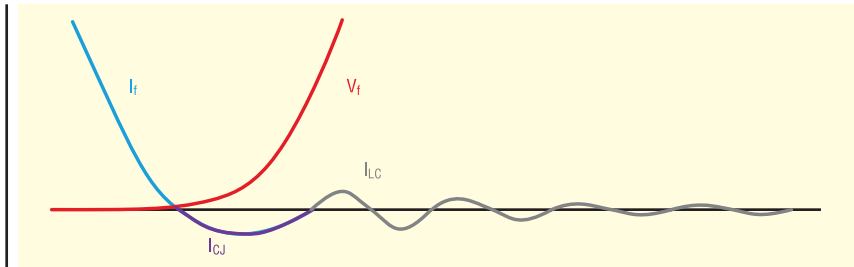


Рис. 12. «Брязкіт» SBD не пов'язаний зі зворотним відновленням

тегральним діодом відбувається його зворотне відновлення, відповідно, для нього унормовано значення I_{rr} , Q_{rr} і E_{rr} (рис. 13). Ці величини можуть враховувати ефекти паразитного ввімкнення,

але, оскільки всі втрати генеруються в одному й тому самому приладі, немає сенсу проводити відмінність між ними, так само як і немає можливості розділити їх шляхом прямого вимірювання.

t_{rr}	$V_{DD} = 600\text{ В}$	$T_j = 150\text{ }^\circ\text{C}$	62	нС
Q_{rr}	$-I_{D1} = 175\text{ А}$	$T_j = 150\text{ }^\circ\text{C}$	7.2	мкС
I_{rr}	$di/dt_{off} = 7.5\text{ кА/мкс}$	$T_j = 150\text{ }^\circ\text{C}$	232	А
E_{rr}	$V_{GS} = -5/+20\text{ В}$	$T_j = 150\text{ }^\circ\text{C}$	3.3	мДж
	$R_{G1on-off} = 0.5\text{ Ом}$			

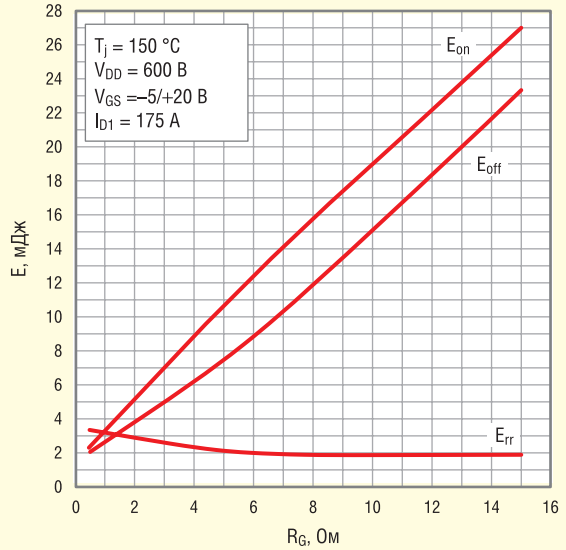
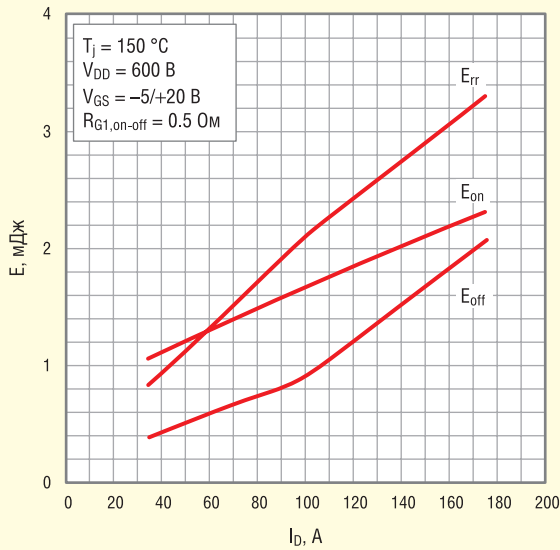


Рис. 13. Фрагмент технічної специфікації модуля SKM350MB120SCH15 [6]

Параметри зворотного відновлення включають ефекти, пов'язані із зарядом ємності переходу C_{oss} , але цей процес не створює втрат потужності. Цей компонент втрат для SKM350MB120SCH15 можна приблизно оцінити за допомо-

гою наведеної нижче формули. Слід пам'ятати, що ємності переходу залежать від прикладеної напруги:

$$E_{CJ} \approx \frac{1}{2} C_{oss} V^2 = \frac{1}{2} \times 1.1 \text{ нФ} \times$$

$$\times (600 \text{ В})^2 = 0.2 \text{ мДж.}$$

Як і у випадку з *p-n*-діодами, струм, di/dt і температура кристала впливають на характер зворотного відновлення технологічно-інтегрального діода

C_j	parallel to C_{oss} , $f = 1\text{ МГц}$, $V_R = 800\text{ В}$, $T_j = 25\text{ }^\circ\text{C}$	0.42	нФ
Q_c	$V_R = 800\text{ В}$, $di/dt_{off} = 500\text{ А/мкс}$, $T_j = 25\text{ }^\circ\text{C}$	0.33	мкС

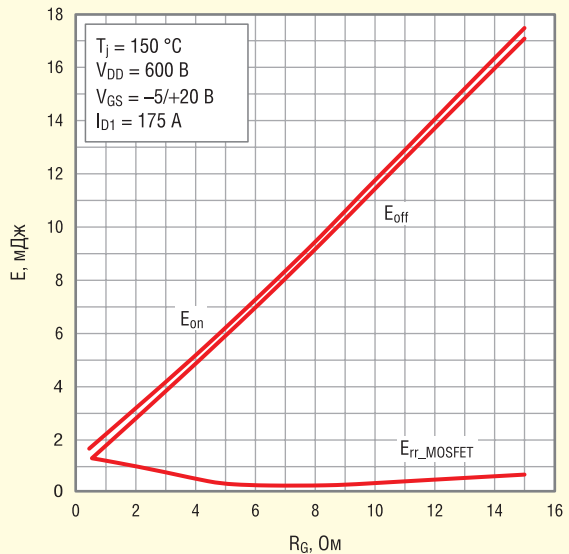
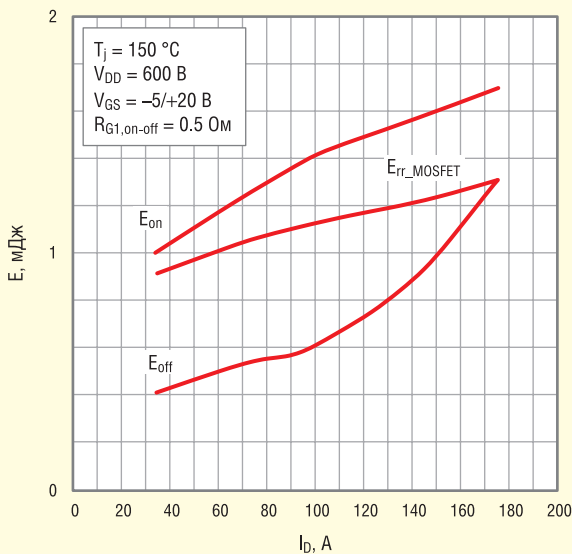


Рис. 14. Фрагмент технічної специфікації модуля SKM350MB120SCH17 [7]

C_j	$f = 1 \text{ МГц}, V_R = 800 \text{ В}, T_i = 25 \text{ }^\circ\text{C}, \text{ parallel to } C_{oss}$	0.68	нФ
Q_c	$V_R = 800 \text{ В}, di/dt_{off} = 500 \text{ А/мкс}$	0.53	мкс

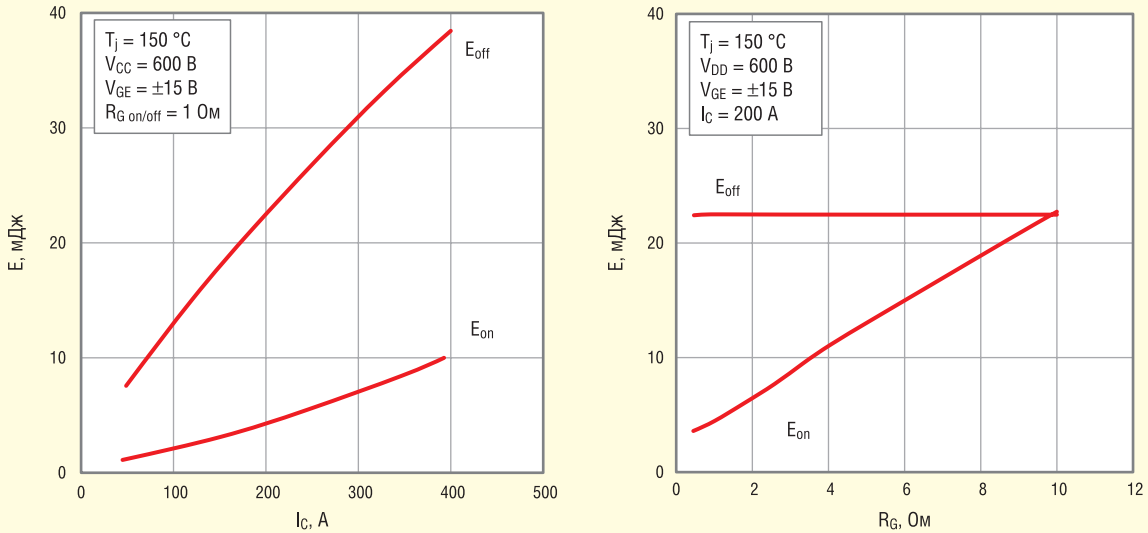


Рис. 15. Фрагмент технічної специфікації модуля SKM200GB12T4SiC2 [5]

MOSFET. Ці параметри відображені в специфікаціях, і їх потрібно враховувати під час порівняння транзисторів.

SiC MOSFET з антипаралельним діодом SiC Шоттки

Використання діодів SBD як антипаралельних покращує динамічні характеристики силового ключа. Величина E_{rr} (MOSFET) враховується в динамічних кривих, щоб підкреслити втрати E_{plo} і відсутність помітного розсіювання під час комутації SBD. У процесі перемикання відбувається заряд ємності C_{oss} MOSFET і ємності переходу діода C_j , результуюче значення E_{Cj} визначається таким чином:

$$E_{Cj} \approx \frac{1}{2} (C_{oss} + V_j) V^2 = \frac{1}{2} \times (1.1 + 0.42) \text{ нФ} \times (600 \text{ В})^2 = 0.27 \text{ мДж}$$

Величини ємності переходу C_j SBD і накопиченого заряду Q_c , що вказуються в технічній специфікації, досить добре описують його динамічну поведінку (рис. 14).

IGBT з антипаралельним діодом SiC Шоттки (гібридний модуль)

У гібридних модулях, що містять Si IGBT і SiC SBD, для діодного режиму

визначається величина Q_{cr} але не Q_{rr} , I_{rr} , E_{rr} . Ризик паразитного ввімкнення (E_{pfo}) IGBT практично відсутній за напруги вимкнення $V_{Goff} = -15 \text{ В}$. Швидкість комутації dv/dt у гібридів також набагато нижча, ніж у SiC MOSFET. У діодів SBD відсутні втрати відновлення, тому величина E_{rr} не нормується. Значення C_j і Q_c включаються в специфікацію для розрахунку E_{Cj} (рис. 15).

Для SiC-діодів Шоттки, які використовують як швидкі випрямлячі, вказують тільки параметри C_j і Q_c , фрагмент специфікації одиночного діода SKKE60S12 у корпусі SEMIPACK 2 представлено на рисунку 16. Як обговорювалося раніше, SBD не має заряду зворотного відновлення, тому ніяких інших динамічних параметрів або кривих (наприклад, для розрахунків випрямляча або понижувального/підвищувального перетворювача) не потрібно.

ВИСНОВОК

Розвиток технології карбіду кремнію дає змогу виробляти високовольтні SiC діоди Шоттки, які мають низку важливих переваг перед традиційними кремнієвими p-n-діодами. Найважливішою з них є від-

сутність заряду і струму зворотного відновлення, що дає суттєві переваги під час роботи з високою частотою комутації.

Нині широкому застосуванню карбидокремнієвих ключів перешкоджає обмежена навантажувальна здатність кристалів і висока ціна. Основним шляхом розширення струмового діапазону є збільшення розміру чипів, однак це не найкращий спосіб щодо SiC структур, оскільки він веде до різкого зростання відсотка дефектних кристалів і подальшого підвищення вартості готових виробів. Кремнієві чипи виробляються на «умовно бездефектних» (не більше 10% пошкоджених чипів) пластинах діаметром 8 і 12" за питомою ціною близько 0.1 €/см². Щільність дефектів і, відповідно, вартість SiC-пластин діаметром 4" поки що приблизно на порядок вища.

Зазначимо, що за інших рівних умов кристали карбіду кремнію можуть мати меншу площу, тобто вищу щільність струму, отже, на SiC-пластинах можна розмішувати більшу кількість чипів. Очевидно, що зі збільшенням щільності пакування кристалів витрати на їхнє виготовлення мають знижуватися. Останні досягнення SiC-технології призвели до помітного зменшення щільності дефектів, яка, однак, як і раніше, набагато вища, ніж у кремнієвих приладах. Найбільш відомими «ворогами» SiC-структур є так звані мікротрубки, або мікропори, що представляють собою кристалографічні дефекти структури. У разі використання новітньої технології

C_j	$f = 1 \text{ МГц}, V_R = 800 \text{ В}, T_j = 25 \text{ }^\circ\text{C}$	0.340	нФ
Q_c	$V_R = 800 \text{ В}, di/dt_{off} = 500 \text{ А/мкс}, T_j = 25 \text{ }^\circ\text{C}$	0.26	мкс

Рис. 16. Фрагмент технічної специфікації SKKE60S12 [8]

Dow Corning щільність мікропор підтримується на рівні менше $1/\text{см}^2$.

Ступінь виходу придатних SiC здебільшого обмежена поверхневими дефектами, що утворюються під час хімічного осадження з газової фази під час епітаксiального процесу (CVD). На сьогодні це найбільш значуща проблема, що різко знижує ефективність роботи напівпровідникових пристроїв. Розміри епітаксiальних дефектів залежать від товщини плівки, а їхня щільність ($1.5\text{--}2/\text{см}^2$) характерна для приладів із блокувальною напругою до 2 кВ.

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

**03057, м. Київ,
пр-т Берестейський, 56,
офіс 335,
тел. +38 (044) 458-47-66,
e-mail: sp.tsdrive@gmail.com,
https://tsdrive.com.ua**

Література:

1. Матеріали сайту www.semikron-danfoss.com
2. Wintrich A., Nicolai U., Tursky W., Reimann T. Application Manual Power Semiconductors. 2nd edition. ISLE Verlag, 2015.
3. Schmidt C., Röblitz M. A Performance Comparison of SiC Power Modules with Schottky and Body Diodes. PCIM, 2017.
4. Sochor P. et al. Understanding the Turn-off Behaviour of SiC MOSFET Body Diodes in Fast Switching Applications, PCIM Europe digital days, 2021.
5. SKM200GB12T4SiC2 Datasheet, Retrieved 2021-11-09. <https://www.semikron-danfoss.com/service-support/downloads.html#show/sort/title+date=1/search/SKM200GB12T4SiC2/>
6. SKM350MB120SCH15 Datasheet Rev. 1.0, Retrieved 2021-10-07. <https://www.semikron-danfoss.com/service-support/downloads.html#show/sort/title+date=1/search/SKM350MB120SCH15/>
7. SKM350MB120SCH17 Datasheet Rev. 1.0, Retrieved 2021-10-07. <https://www.semikron-danfoss.com/service-support/downloads.html#show/sort/title+date=1/search/SKM350MB120SCH17/>
8. SKKE60S12 Datasheet Rev. 1.0, Retrieved 2021-10-07. <https://www.semikron-danfoss.com/service-support/downloads.html#show/sort/title+date=1/search/SKKE60S12/>

SEMIKRON DANFOSS — НАЙКРАЩИЙ ПАРТНЕР У ГАЛУЗІ СИЛОВОЇ ЕЛЕКТРОНІКИ

Компанії **SEMIKRON** та **Danfoss Silicon Power** об'єднали зусилля для створення остаточного партнера в галузі силової електроніки. І в серпні 2022 року, менш ніж через п'ять місяців після першого оголошення, новий лідер у виробництві силових напівпровідникових модулів розпочав свою діяльність як *Semikron Danfoss*.

Маючи штат з більш ніж 3500 спеціалістів у галузі силової електроніки, *Semikron Danfoss* надаватиме технологічну експертизу світового рівня своїм лояльним клієнтам. Злиття супроводжується потужним планом зростання та твердим зобов'язанням щодо майбутніх інвестицій, прокладаючи шлях до зеленого зростання та більш стійкого, енергоефективного та декарбонізованого майбутнього.

Новостворений спільний бізнес *Semikron Danfoss* належить нинішнім власникам — сім'ям **SEMIKRON** та *Danfoss Group*, причому мажоритарним власником є *Danfoss*. *Semikron Danfoss* зберігає два основних місця розташування в Німеччині, Нюрнберзі та Фленсбурзі. Всі глобальні дочірні компанії, виробничі майданчики, а також канали дистрибуції продовжують свою діяльність.

Генеральним директором *Semikron Danfoss* був призначений Клаус А. Петерсен (*Claus A. Petersen*). Він зазначив: «*Semikron Danfoss* буде надихати майбутнє. Час для створення нової компанії є ідеальним. Зважаючи на стрімке зростання на наших ключових ринках — автомобільному, промисловому та відновлюваній енергетиці — злиття є чудовою можливістю для клієнтів, партнерів та наших співробітників. Крім того, з переходом технологій від кремнію до карбиду кремнію, що намічається, ми станемо найсильнішим партнером для наших клієнтів».

Карл-Хайнц Гаубац (*Karl-Heinz Gaubatz*) пішов з посади генерального директора **SEMIKRON** 22 серпня, щоб зосередитися на своїй ролі технічного директора і підтримувати процес злиття до запланованого виходу на пенсію в кінці цього року. «Це дійсно хвилюючий момент для **SEMIKRON** та *Danfoss Silicon Power*! Це злиття є ідеальним рішенням для всіх учасників, — сказав Карл-Хайнц Гаубац (*Karl-Heinz Gaubatz*). — Нам вдалося позиціонувати **SEMIKRON** як лідера на ринку промислових модулів та модулів для відновлюваних джерел енергії, а 2021 рік став одним з найуспішніших років у нашій історії. Цілком правильно, що тепер ми об'єднуємо зусилля з такою ж цілеспрямованою та інноваційною компанією».

Президент і головний виконавчий директор *Danfoss* Кім Фаусінг став головою правління *Semikron Danfoss*. Він сказав: «Електрифікація є одним з основних рушіїв зеленого переходу, а технології *Semikron Danfoss* є ключовими компонентами в промисловості, відновлюваній енергетиці та автомобільній тязі. Поєднуючи більш ніж 90-річний досвід технологічного лідерства в галузі упаковки силових модулів, ми маємо пристрась, компетенції, технології та зобов'язання стати кращим партнером з декарбонізації для клієнтів».

За інформацією Міжнародного енергетичного агентства (МЕА) очікується, що зі зростанням інтересу до електромобілів попит на них зростатиме на 30% щороку протягом наступних років. У 2021 році майже 10% світових продажів автомобілів були електромобілями, що в чотири рази перевищувало частку ринку у 2019 році, а у 2030 році 64% світових продажів легкових автомобілів повинні бути електромобілі, щоб досягти мети «чистого нуля» за сценарієм МЕА до 2050 року. Це свідчить про величезний потенціал зростання силових модулів, оскільки вони є ключовим компонентом для живлення електродвигунів та автомобільних зарядних пристроїв.

Semikron Danfoss є світовим технологічним лідером у галузі силової електроніки. Асортимент продукції компанії включає напівпровідникові пристрої, силові модулі, блоки та системи.

У світі, який стає електричним, технології *Semikron Danfoss* є більш актуальними, ніж будь-коли. Завдяки інноваційним рішенням для автомобільної, промислової та відновлюваної енергетики компанія допомагає світу використовувати енергію більш ефективно та раціонально, значно зменшуючи загальні викиди CO_2 , що є однією з найбільших проблем, з якою людство стикається сьогодні.

Semikron Danfoss дає про своїх співробітників і створює цінність для клієнтів, інвестуючи значні кошти в інновації, технології, виробничі потужності та сервіс, щоб забезпечити найкращі в галузі показники та сталий розвиток.

www.semikron-danfoss.com

НВП "ТЕХНОСЕРВІСПРИВІД"

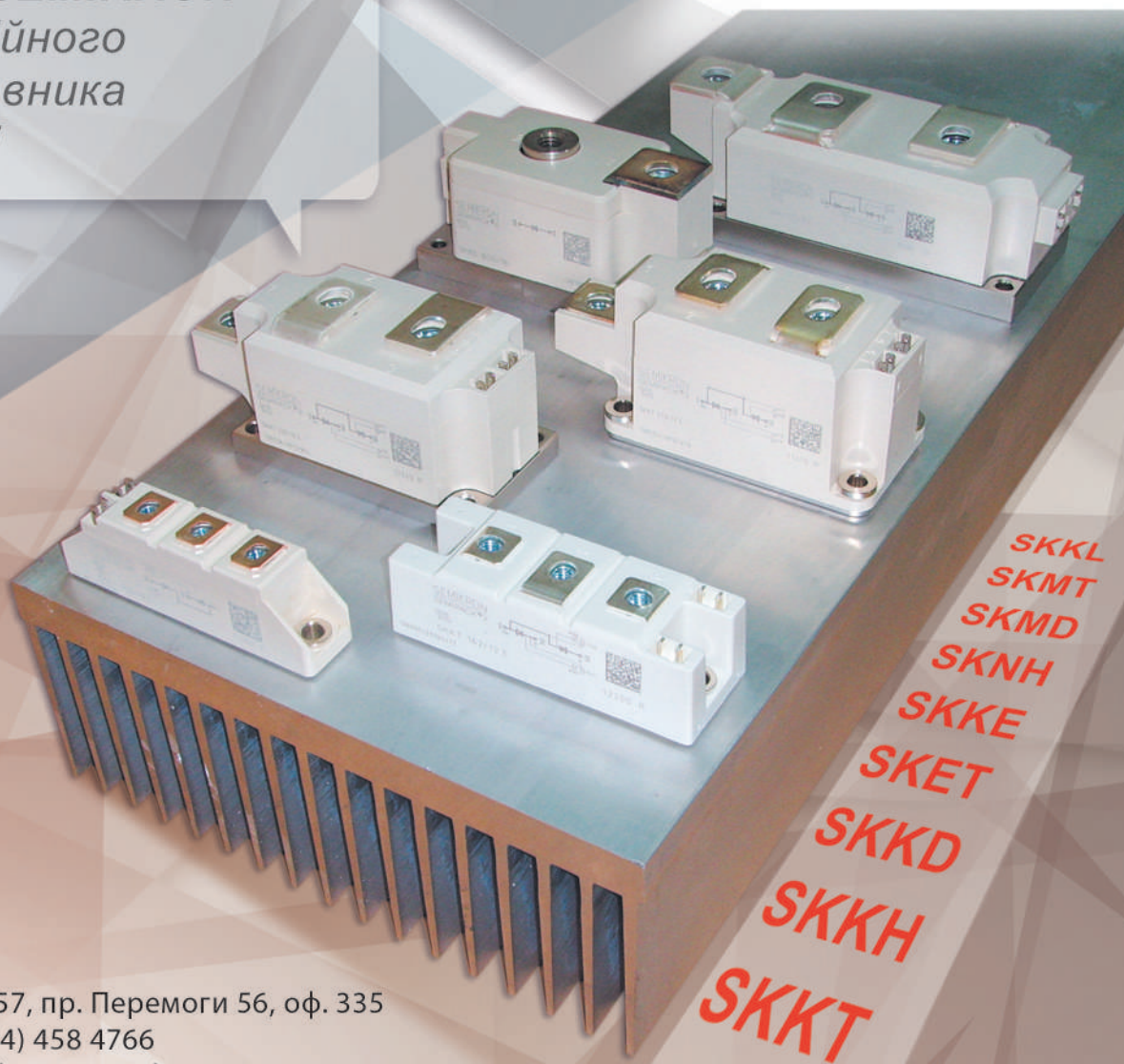
Офіційний представник Semikron Danfoss в Україні

www.tsdrive.com.ua



**SEMİKRON
DANFOSS**

*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: sp.tsdrive@gmail.com

1200-В дискретні SiC MOSFET у порівнянні з високошвидкісними IGBT сімейства H3 для сервопривідних систем

Блаж Клобуچار (Blaž Klobučar), Чуй Юань (Zhihui Yuan), Infineon Technologies
Адаптований переклад українською та технічне редагування:
Віталій Шевченко, технічний спеціаліст, Rainbow Technologies
 E-mail: svl@rainbow.com.ua

У статті розглядаються переваги використання ключів CoolSiC MOSFET порівняно з високошвидкісними IGBT-ключами сімейства H3 у сервопривідних системах. Зокрема, завдяки зниженню втрат застосування CoolSiC MOSFET відкриває нові можливості щодо вдосконалення систем.

ВСТУП

Рішення із сервоприводами повинні мати не тільки певні масогабаритні показники, а й працювати в умовах обмежених можливостей охолодження. Дискретні CoolSiC MOSFET повною мірою відповідають цим вимогам і покращують робочі характеристики систем. Зниження втрат дає змогу реалізувати конструкцію, якій не потрібен вентилятор для примусового охолодження і, отже, технічне обслуговування. Крім того, електродвигун і привід можна об'єднати, зменшивши розмір стійки керування і спростивши прокладання кабелів.

CoolSiC MOSFET У СЕРВОПРИВОДАХ

Одним із застосувань, на роботу яких великий вплив мають параметри CoolSiC MOSFET, є системи сервоприводів. У цих рішеннях зазвичай встановлені ефективні компактні інвертори, наприклад ті, що застосовуються в промислових роботах і системах автоматизації. Знизити втрати на провідність і комутацію можна у всіх режимах роботи, включно з режимами розгону, постійної швидкості та гальмування. Використання CoolSiC MOSFET у сервоприводах дає такі переваги:

- великий крутний і гальмівний моменти, які є ключовими параметрами сервоприводу;
- висока надійність, малі експлуатаційні витрати завдяки приводу без вентилятора.

CoolSiC MOSFET у сервоприводах також допускають інтеграцію двигуна і приводу, завдяки якій від стійки керування йде тільки один кабель, що знижує витрати завдяки простоті під'єднання і підвищує надійність системи завдяки використанню меншої кількості кабелів або менш складного кабельного розведення. Крім того, не потрібна стійка для керування інвертором (або використовується стійка меншого розміру).

Сервоприводи зазвичай працюють понад 90 % часу в режимі постійної швидкості з малим крутним моментом, тобто за низького струму. У режимі розгону і гальмування привід, як правило, працює в діапазоні набагато більшого струму. Динамічні втрати можна зменшити на 50% порівняно з Si IGBT навіть за низької швидкості комутації (5 кВ/мкс).

ПОРІВНЯННЯ ДИСКРЕТНОГО 1200-В Si IGBT З SiC MOSFET

Порівняно з пропонованими рішеннями з використанням Si IGBT, CoolSiC

MOSFET забезпечують найкращі показники в багатьох застосуваннях. Завдяки тому, що CoolSiC MOSFET мають резистивну характеристику, їхні втрати на провідність до 80% менші, ніж у IGBT за малих струмів. У результаті CoolSiC MOSFET дають змогу значно зменшити загальні втрати в системі, оскільки сервоприводи функціонують понад 90% часу за відносно низького струму. Порівняно з Si IGBT, 1200-В CoolSiC MOSFET, що використовуються в перетворювачах потужності, мають набагато менші динамічні втрати, що зумовлено уніполярною структурою MOSFET, у якій неосновні носії заряду не беруть участі в процесах перемикання. Комутаційні втрати CoolSiC MOSFET не зростають з температурою, як у IGBT.

КОМУТАЦІЯ

Ключу CoolSiC MOSFET не потрібен додатковий діод: використовується внутрішній діод, який працює як антипаралельний. Використання внутрішнього діода в MOSFET дає змогу значно зменшити заряд QRR порівняно з внутрішніми діодами кремнієвих MOSFET. Було встановлено, що завдяки використанню CoolSiC MOSFET замість Si IGBT дає змогу скоротити розмір радіатора на 63% [3] і вагу до 65% [4].

Для таких застосувань як серводвигуни та промислові роботи-маніпулятори, де можливості охолодження обмежені, а ефективність важлива, використання CoolSiC MOSFET дає величезні переваги, особливо якщо масогабаритні показники є ключовими пріоритетами.

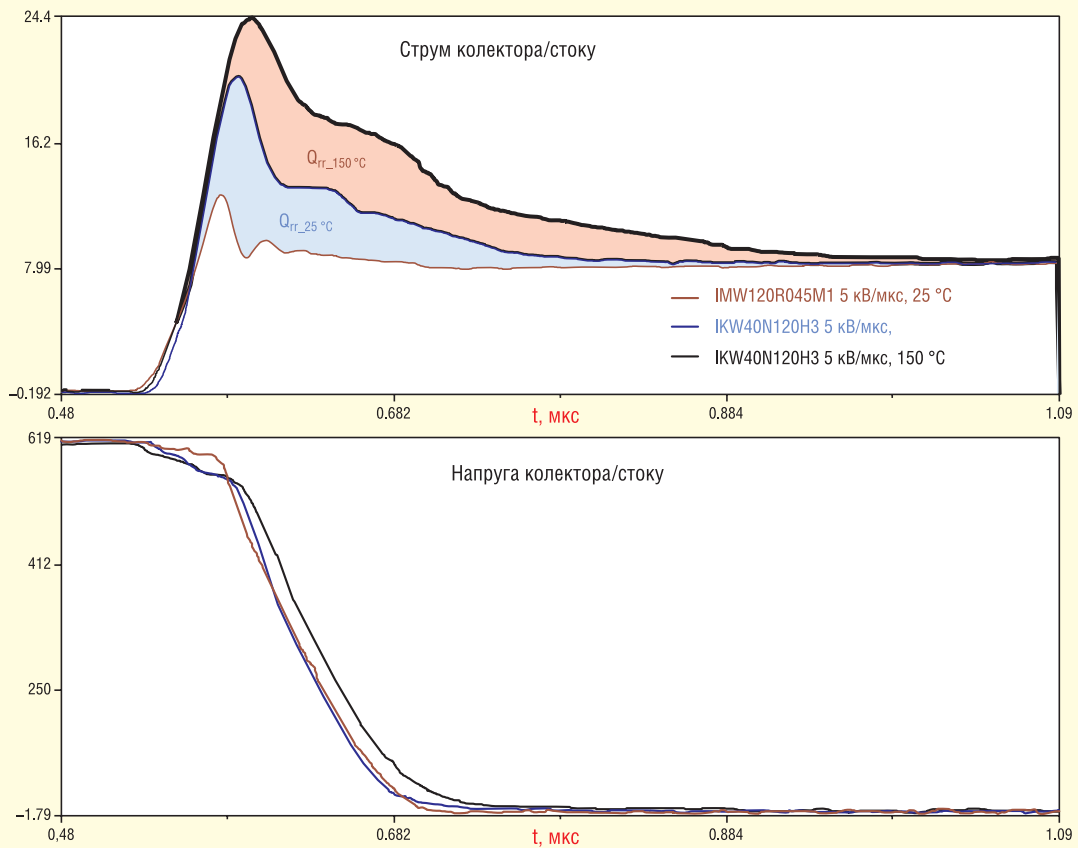


Рис. 1. Порівняння комутаційних характеристик під час увімкнення Si IGBT з CoolSiC MOSFET за 5 кВ/мкс

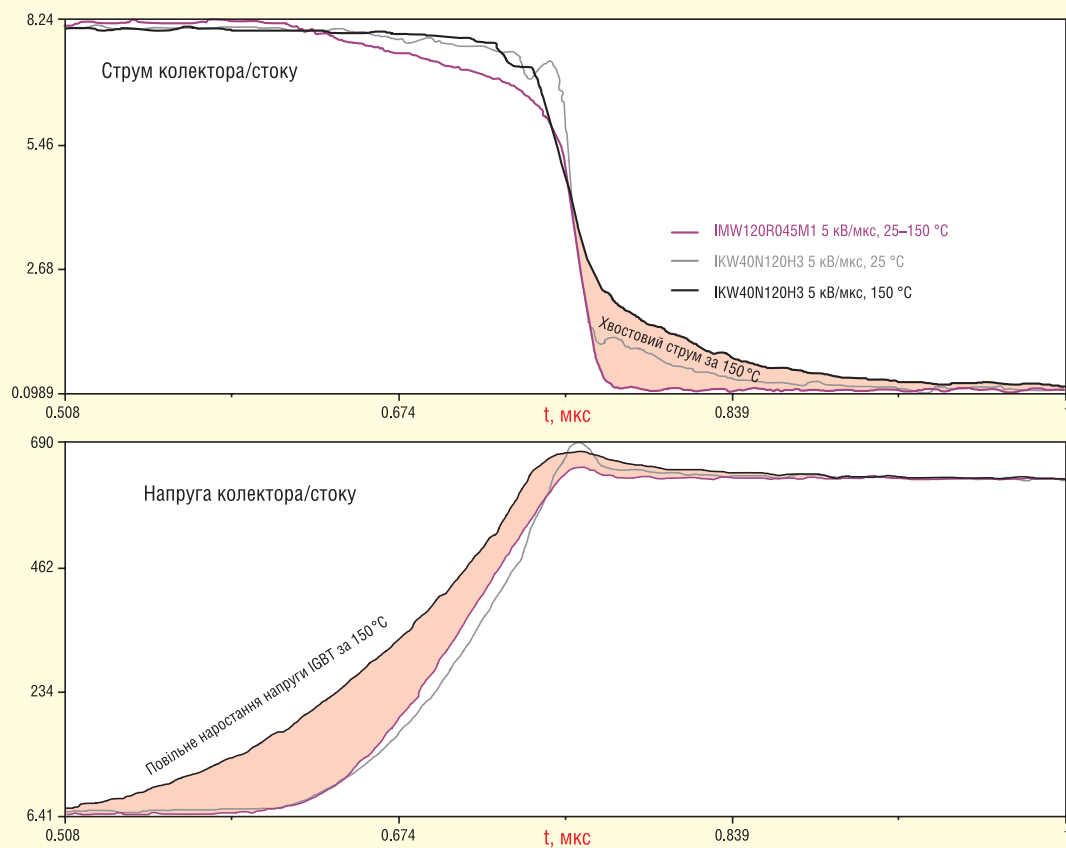


Рис. 2. Порівняння комутаційних характеристик під час вимкнення Si IGBT і CoolSiC MOSFET за 5 кВ/мкс

Через довгі кабелі електродвигуна в ньому виникають високі пікові напруги, які несприятливо впливають на ізоляцію обмотувальних проводів і підшипники електродвигуна, створюючи ударні моменти. Для захисту приводу потрібно, щоб швидкість перемикавання не перевищувала 5 кВ/мкс. Якщо CoolSiC MOSFET працює за малого значення dv/dt , його комутаційні втрати збільшуються. Однак втрати на перемикавання у CoolSiC MOSFET нижчі більш ніж на 50%, якщо порівняти з високошвидкісними IGBT за 5 кВ/мкс. На рисунку 1 порівнюються комутаційні характеристики Si IGBT з CoolSiC MOSFET при 5 кВ/мкс.

Крім того, у CoolSiC MOSFET комутаційні втрати не залежать від температури і мають місце менші викиди напруги завдяки більш плавному спаду

струму. У напруги під час комутації IGBT — вищі викиди, і швидкість перемикавання цього компонента значно сповільнюється за вищих температур (див. рис. 2). CoolSiC MOSFET можуть перемикатися зі швидкістю, що перевищує 60 кВ/мкс; більше того, відомий спосіб зменшити втрати, встановивши на виході інвертора фільтр dv/dt . Таким чином, цей напівпровідник може перемикатися з максимальною швидкістю, а фільтр запобігає навантаженню на обмотки двигуна під час високих значень dv/dt і пікових напруг. Цей спосіб уже реалізовано у високошвидкісних електроприводах. У різних дослідженнях фільтри dv/dt були вдосконалені шляхом їх підключення до середнього потенціалу шини постійного струму. Спільне використання нових елек-

тродвигунів з посиленою системою ізоляції та фільтрів, що працюють з мінімізованою швидкістю dv/dt , дає змогу реалізувати весь потенціал ключів SiC [6].

МОДЕЛЮВАННЯ ТА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ПЕРЕВІРКА

Щоб оцінити працездатність пристроїв CoolSiC і поведінку сервоприводів у різних умовах, було проведено моделювання, результати якого порівнювали з даними експериментальних випробувань. Оскільки температуру переходу пристроїв у реальній системі дуже важко виміряти, зазвичай вимірюється температура корпусу. Для більш

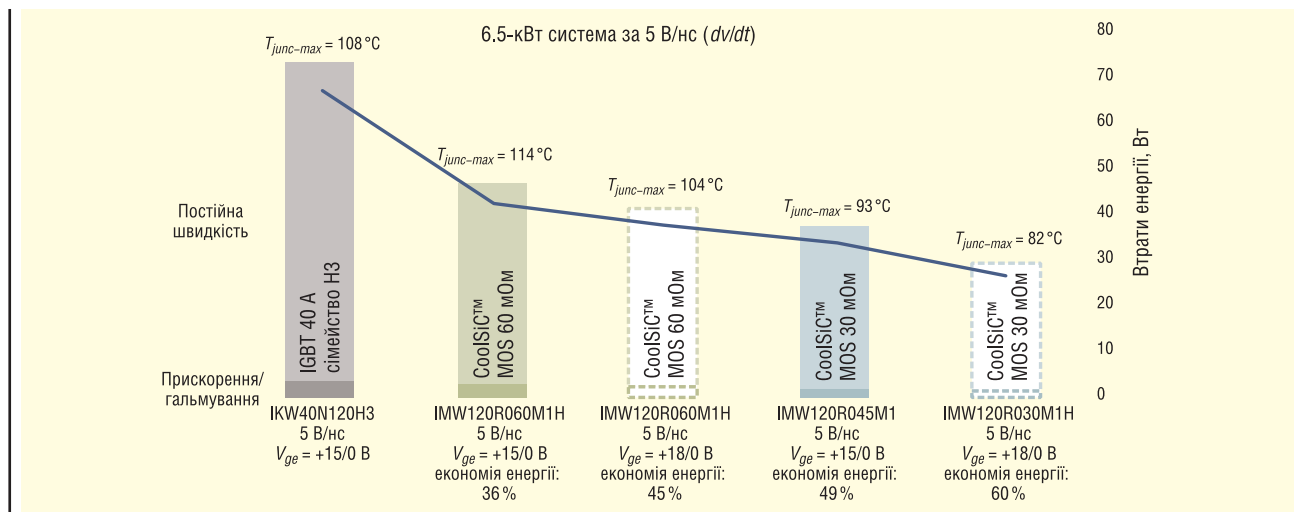


Рис. 3. Порівняння теплових характеристик і втрат CoolSiC MOSFET з аналогічними показниками високошвидкісних IGBT сімейства H3 у випадку системи потужністю 6.5 кВт за швидкості перемикавання 5 кВ/мкс у режимі постійної швидкості та прискорення/гальмування

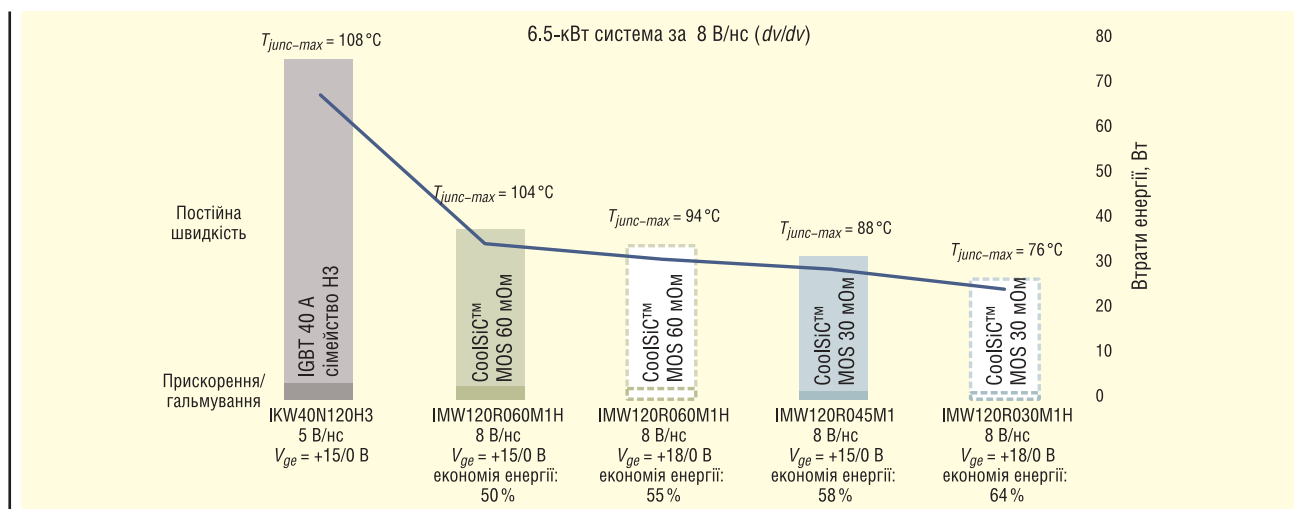


Рис. 4. Порівняння теплових характеристик і втрат CoolSiC MOSFET з аналогічними показниками високошвидкісних IGBT сімейства H3 у випадку системи потужністю 6.5 кВт за швидкості перемикавання 8 кВ/мкс у режимі постійної швидкості та прискорення/гальмування

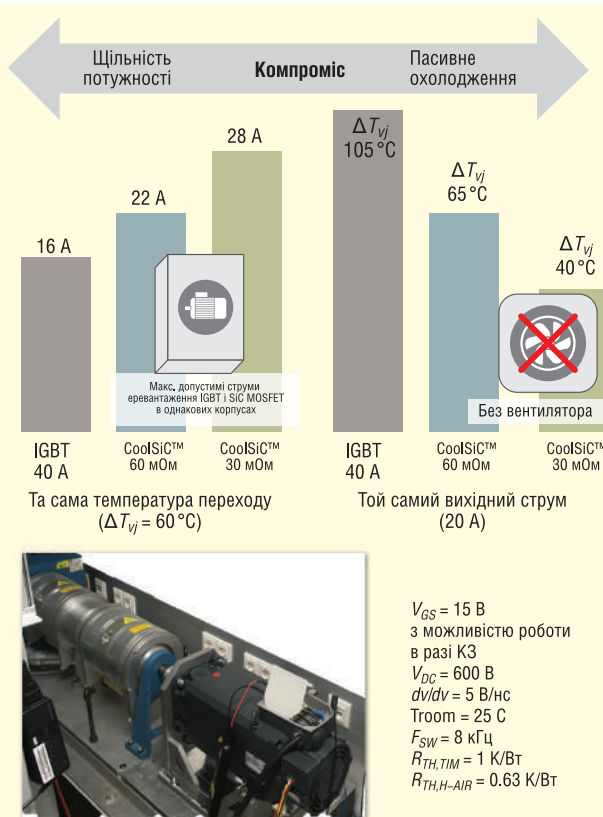


Рис. 5. Приклад вибору $R_{DS(on)}$ з урахуванням різних вимог до сервоприводного рішення і вид випробувальної установки електродвигуна

точної оцінки температури переходу рекомендується використовувати результати моделювання.

Щоб якомога точніше порівняти ефективність пропонованого дискретного рішення з використанням CoolSiC MOSFET з високошвидкісним IGBT-рішенням, було створено модель на основі трифазної топології В6 для оцінювання температури переходу T_j і відповідних втрат інвертора.

З рисунка 3 видно, що навіть за 5 кВ/мкс у сильно сповільнених CoolSiC MOSFET скорочення втрат досягає 60% і на 38% менше підвищується температура переходу, якщо порівняти з високошвидкісним IGBT. Це пов'язано з тим, що внутрішні діоди CoolSiC MOSFET не мають (або мають дуже низький) заряд зворотного відновлення Q_{RR} . Крім того, у цих ключів відсутній хвостовий струм, як на рисунках 1–2.

Згідно з новими правилами [6], швидкість перемикання високошвидкісних приводів можна збільшити до 8 кВ/мкс за комутаційної частоти 16 кГц. Через набагато менші викиди напруги CoolSiC MOSFET, якщо порівняти з IGBT, перші з них у деяких випадках можна використовувати і за вищої частоти. У сервоприводах зазвичай не застосовують довгих

кабелів, що також забезпечує більш швидке перемикання.

Якщо керування ключами CoolSiC MOSFET буде здійснюватися зі швидкістю 8 кВ/мкс (замість 5 кВ/мкс), втрати можна буде скоротити до 64% і на 47% зменшити зростання T_j , якщо порівнювати з високошвидкісними IGBT сімейства НЗ (див. рис. 4).

Ключі CoolSiC MOSFET від Infineon, що працюють за напруги затвора $V_{GS, On} = 15\text{ В}$, мають унікальну функцію, що допускає можливість короткого замикання тривалістю до 3 мкс за максимальних номінальних значень, зазначених у технічному описі. Для коректного порівняння з іншими SiC MOSFET на ринку зауважимо, що керування CoolSiC MOSFET від Infineon за напруги затвора $V_{GS, On} = 18\text{ В}$ забезпечує не менше допустиме навантаження за струмом/потужністю за меншого опору відкритого каналу (водночас відсутня можливість роботи в умовах короткого замикання).

ВИСНОВКИ

Дані випробувань і перевірка результатів моделювання підтверди-

ли, що використання CoolSiC MOSFET у сервоприводах дає змогу скоротити втрати на 64% і зменшити зростання температури на 47% за низьких швидкостей перемикання (5–8 кВ/мкс).

У разі використання 60-мОм CoolSiC MOSFET для заміни 40-А IGBT у сервоприводі зі збереженням вимог до тепловідведення та dv/dt загальні втрати в напівпровідниках зменшуються майже вдвічі за аналогічних максимальних температур переходу.

Зниження втрат CoolSiC відкриває нові можливості щодо вдосконалення системи:

- досягається компроміс між вихідним струмом, T_j охолодженням і вибором $R_{DS(on)}$ (див. рис. 5);
- низьке значення ΔT_j у CoolSiC MOSFET дає змогу використовувати пасивне охолодження.

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

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

Література:

1. Blaž Klobučar and Zhihui Yuan. 1200 V Discrete SiC MOSFETs in a Comparison with the High-Speed 3 IGBTs for Servo-Drive Systems. Bodo's Power Systems. January. 2021 // www.bodospower.com.
2. Dr. Fanny Björk, Dr. Zhihui Yuan. Infineon Technologies AG, Austria. CoolSiC SiC MOSFETs: a solution for bridge topologies in three-phase power conversion. 2019.
3. Benjamin Sahan, Anastasia Brodt. Infineon Technologies AG, Germany. Enhancing power density and efficiency of variable speed drives with 1200V SiC T-MOSFET. PCIM Europe 2017, 16–18 May 2017. Nuremberg. Germany.
4. Tiefu Zhao, Jun Wang, Alex Q. Huang. Comparisons of SiC MOSFET and Si IGBT Based Motor Drive Systems. 2007.
5. S. Tiwari, O. M. Midtgard, T. M. Undeland. SiC MOSFETs for Future Motor Drive Applications 2016.
6. K. Vogel, A. Brodt, A. Rossa. Improve the efficiency in AC-Drives: New semiconductor solutions and their challenges. EEMODS 2015.
7. Eval-M5-IMZ120R-SiC // www.infineon.com

Нові методи аналізу імпульсних сигналів радіолокаційних систем і засобів радіоелектронної боротьби (РЕБ)

У статті розглядається використання передових засобів вимірювань і новітніх розробок для різних видів аналізу імпульсних сигналів, а також методи відображення та аналізу для різних типів сигналів і вимірювальних завдань. Крім того, розглядаються основні методики виявлення та обробки сигналів, такі як запуск за амплітудою сигналу проміжної частоти (ПЧ) і за частотною маскою, захоплення і постобробка сигналів.

ВСТУП

Імпульсні сигнали широко використовуються в системах радіолокації та РЕБ, і точне вимірювання їхніх параметрів є необхідною умовою правильної оцінки загроз і створення засобів протидії. Однак через низку чинників вимірювання параметрів імпульсних сигналів є особливо важким завданням. Під час їх вимірювання необхідно враховувати таке:

- широка смуга модуляції для імпульсних сигналів, як результат малої тривалості імпульсів і крутості їхніх фронтів;
- складність сигнально-завадового середовища зумовлена, як правило, наявністю імпульсних сигналів від різних джерел, часто зі значно різними характеристиками, включно зі смуги сигналу, частотою повторення і типом модуляції;
- необхідність аналізу або формування складного сигнального середовища з широким динамічним діапазоном амплітуд імпульсів;
- необхідність демодуляції та декодування або вимірювання параметрів імпульсів зі складною модуляцією;
- складність виявлення імпульсів через дуже малий коефіцієнт заповнення, накладення інших сигналів і низький рівень середньої потужності в точці аналізу.

На щастя, багато вдосконалених технологій оброблення сигналів та аналого-цифрового перетворення, що дають можливість формувати складні імпульсні сигнали та послідовності, також призводять до появи нових ефективних

методів їхнього аналізу. Ці рекомендації щодо застосування охоплюють питання використання передових засобів вимірювань і новітніх розробок для різних видів аналізу імпульсних сигналів, а також методи відображення та аналізу для різних типів сигналів і вимірювальних завдань. Крім того, розглядаються основні методики виявлення та обробки сигналів, такі як запуск за амплітудою сигналу проміжної частоти (ПЧ) і за частотною маскою, захоплення і постобробка сигналів.

Описані тут методи аналізу реалізовані у двох програмах для всебічного аналізу імпульсних радіолокаційних сигналів. Програма для вимірювання параметрів імпульсних сигналів N9067C серії X — це новий вбудований програмний продукт для аналізаторів сигналів Keysight серії X, що представляє собою високоєфективне програмне рішення для вимірювань у смузі частот до 1 ГГц. Роботою цієї програми можна керувати як через сенсорний інтерфейс передньої панелі, так і за допомогою команд SCPI. Опція VHQ для програмного забезпечення (ПЗ) 89600 VSA додає до загальних вимірювальних функцій векторного аналізу сигналів широкий набір інструментів і статистичних звітів про характеристики імпульсів. Цей програмний продукт сумісний і з аналізаторами ВЧ-/НВЧ-сигналів, і осцилографами.

В обох програмах використовуються одні й ті самі алгоритми, що забезпечує повторюваність результатів вимірювань і певність у їхній якості. У цій статті представлено асортимент

прикладного програмного забезпечення та відповідних апаратних платформ, а також доступні види запуску, безпосередньо вимірювань і візуалізації їхніх результатів.

ІМПУЛЬСНІ СИГНАЛИ ТА СКЛАДНОЩІ ПРИ ЇХ ЗАХОПЛЕННІ

У минулому вимірювання основних параметрів імпульсних сигналів проводилися, як правило, за допомогою аналізаторів спектра. Смуга пропускання фільтра проміжної частоти (ПЧ) або смуга пропускання роздільного фільтра ПЧ (RBW) аналізатора спектра зазвичай була вузькою за ефективну смугу частот імпульсу, тому аналізатор спектра використовували для вимірювань параметрів підсумкового спектра імпульсів. Далі отримані результати вимірювань параметрів спектра імпульсного сигналу можна було використовувати для обчислення основних характеристик сигналу, таких як частота повторення або період проходження (PRI) імпульсів, коефіцієнт заповнення, потужність тощо. Аналізатори спектра також використовувалися і більш традиційними способами для проведення позасмугових вимірювань, таких як оцінка паразитних і гармонійних складових спектра імпульсних сигналів.

Такий непрямий і дещо громіздкий підхід до вимірювання параметрів імпульсних сигналів, заснований на аналізі форми спектра, був придатний для простих імпульсних сигналів і сигнального середовища, яке містить тільки одну імпульсну послідовність, де перебудова за частотою була незначною або могла бути проігнорована.

Сучасні системи використовують набагато складніші типи імпульсів, і багато сигналів або сигнальних середовищ містять безліч різних імпульсів (поряд з іншими сигналами) від одного або

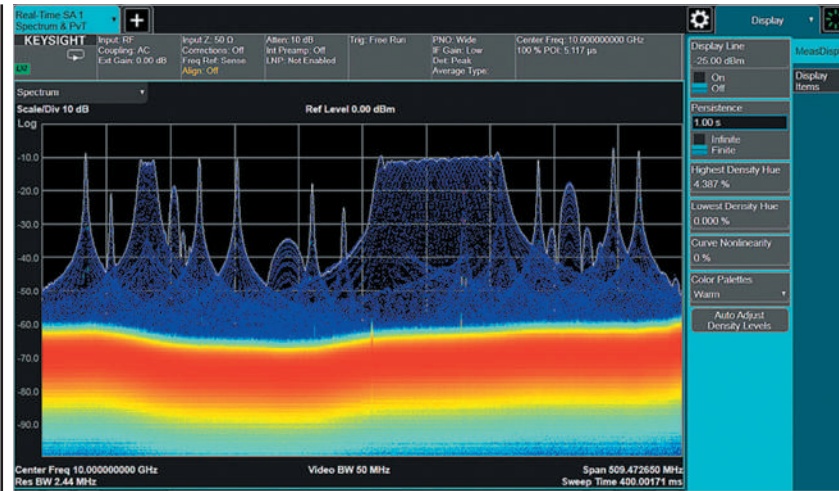


Рис. 1. Вимірювання параметрів спектра (спектральної густини) в реальному часі за умов наявності сигналів від декількох джерел

декількох джерел, як показано на рисунку 1, що ілюструє результати вимірювань параметрів спектра в реальному часі. Ідентифікація потрібного сигналу і вимірювання його параметрів у такому сигнальному середовищі є складним завданням, яке найкращим чином вирішується за допомогою поєднання апаратних засобів і програмного забезпечення, описаних у цій статті.

Сукупність комплексних сигналів і суворих вимог до деталізації результатів вимірювань їхніх параметрів призвела до необхідності застосування сучасних методів цифрового оброблення (DSP) попередньо оцифрованих сигналів.

ВЧ-/НВЧ-ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ АНАЛІЗУ СИГНАЛІВ

Найважливішим першим кроком є вибір основної апаратної платформи для вимірювань — вибір, який визначає склад програмного забезпечення для вимірювань параметрів імпульсних сигналів, про який ми поговоримо далі. Швидке розширення смуги пропускання аналізаторів сигналів і поліпшення роздільної здатності цифрових осцилографів постійно змінюють ситуацію в галузі вимірювань параметрів імпульсних сигналів.

Для розв'язання такого роду вимірювальних завдань зазвичай використовують дві апаратні платформи для ВЧ-/НВЧ-вимірювань, показані на рисунку 2: аналізатори сигналів із широкосмуговим цифровим трактом ПЧ та осцилографи або аналого-цифрові перетворювачі (АЦП) із частотою дискретизації, яка є досить високою, щоб безпосередньо обробляти ВЧ-/НВЧ-сигнали

в основній смузі частот (без перенесення на ПЧ). Осцилографи забезпечують ширшу смугу пропускання, але мають гірші показники за роздільною здатністю та можливостями вимірювань нелінійних спотворень. Сучасні аналізатори сигналів забезпечують вищі характеристики в смузі частот аналізу до 1 ГГц.

Для більшості вимірювань параметрів імпульсних сигналів ці два основні підходи до побудови апаратних інтерфейсів концептуально схожі. В обох випадках на виході ВЧ/НВЧ апаратного інтерфейсу (після відповідного опрацювання) ми отримуємо потік або файл даних, що являє собою масив вибірок синфазних і квадратурних складових сигналу або сукупності сигналів (сигнального середовища). Принципова архітектурна відмінність полягає в етапі, на якому виконуються операції аналого-цифрового перетворення, і видах оброблення, яке виконують з метою обмеження області аналізу до смуги частот, що цікавить.

Аналізатори сигналів використовують фундаментальний або гармонічний

принцип змішування аналогових сигналів і аналогові фільтри для перетворення ВЧ- або НВЧ-сигналів на ПЧ, де виконуються операції аналого-цифрового перетворення.

Осцилографи (та інші пристрої аналого-цифрового перетворення, що працюють у часовій області, наприклад модульні АЦП) виконують дискретизацію ВЧ-/НВЧ-сигналів безпосередньо в основній смузі частот, а подальше перетворення з пониженням частоти та обмеження смуги частот виконують у процесі цифрового опрацювання сигналів (ЦОС).

Аналізатори сигналів і осцилографи здебільшого дають змогу виконувати ті самі виміри, проте оптимальний вибір вхідного апаратного інтерфейсу найчастіше визначається двома вимогами: смугою пропускання і динамічним діапазоном. Високошвидкісні АЦП у ВЧ-/НВЧ-осцилографах забезпечують надзвичайно широку смугу пропускання і хорошу лінійність фазової характеристики. Водночас аналізатори сигналів, що мають повільніші АЦП, але виконують смугову фільтрацію оброблюваних сигналів, забезпечують кращий динамічний діапазон. У випадках, коли їхньої смуги пропускання, що досягає нині значення 1 ГГц, достатньо, вони мають кращі характеристики з погляду виявлення і вимірювання параметрів слабких сигналів або одночасного аналізу параметрів слабких сигналів на тлі сильніших. Ці та інші переваги і недоліки будуть розглянуті нижче більш детально.

Максимальна смуга пропускання доступних нині аналізаторів сигналів становить 1 ГГц для Keysight N9040V серії UXA, 510 МГц для N9030V серії PXA і 160 МГц для N9020V серії MXA. Діапазон робочих частот під час прямих вимірів може становити до 110 ГГц в аналізаторі N9041B серії UXA або 50 ГГц в інших моделях аналізаторів



Рис. 2. Аналізатори сигналів і осцилографи — основні апаратні платформи для вимірювань параметрів імпульсних сигналів на ВЧ і НВЧ: аналізатор сигналів Keysight серії UXA (а); осцилограф Keysight серії S (б)

сигналів, а зовнішні змішувачі з програмним керуванням, такі як Keysight M1971E, дають змогу розширити цей діапазон до 90 ГГц за умови смуги пропускання аналізатора до 1 ГГц і смуги пропускання змішувача до 2 ГГц. Ці змішувачі з програмним керуванням оснащені інтерфейсом USB з технологією plug-and-play, яка забезпечує автоматичне конфігурування аналізатора сигналів відповідно до типу під'єданого змішувача, включно із завантаженням даних про втрати на перетворення й автоматичною компенсацією втрат у тракці гетеродина.

Одна з практичних переваг аналізатора сигналів як вимірювальної платформи полягає в його здатності забезпечувати плавне перемикання між вимірами в режимі хитання частоти, векторними вимірами та вимірами в реальному часі. Використовуючи зовнішні змішувачі з програмним керуванням, цей вимірювальний інструмент, за допомогою єдиного інтерфейсу користувача, здатний підтримувати ці можливості в широкій смузі огляду і для робочих частот до 90 ГГц.

ПРОГРАМНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ДЛЯ ВИМІРЮВАНЬ І ОБРОБКИ СИГНАЛІВ

Існують різні програмні рішення для аналізу захопленого потоку дискретизованих даних про параметри сигналу в широкій смузі частот. Зазвичай для цих цілей використовують два основні типи прикладного програмного забезпечення (ПЗ).

Вбудоване ПЗ приладів і спеціальні вимірювальні додатки, які впродовж уже деякого часу використовуються в осцилографах. Предметом аналізу цього ПЗ є, головним чином, параметри синхронізації імпульсів і вимірювання в часовій області. Наразі для розширеного аналізу параметрів імпульсних сигналів у частотній і часовій сферах із використанням аналізаторів сигналів із широкою смугою пропускання пропонуються вбудовані програми, як-от вбудований застосунок для вимірювань параметрів імпульсів N9067C серії X.

ПЗ для векторного аналізу сигналів (VSA) належить до другого типу програм, що застосовуються для аналізу параметрів імпульсних сигналів. ПЗ VSA можна використовувати в поєднанні з багатьма типами ВЧ/НВЧ апаратних інтерфейсів, включно з аналізаторами сигналів, осцилографами та модульни-

ми дигітайзерами. ПЗ VSA дає змогу виконувати аналіз у часовій ділянці, але може бути особливо корисним, коли потрібно провести аналіз у частотній ділянці та демодуляцію (або аналіз якості модуляції). Базова версія ПЗ VSA 89600 забезпечує захоплення безлічі імпульсів і вимірювання різних параметрів кожного імпульсу окремо. Додавання опції ВНЧ відкриває доступ до можливостей великого статистичного багатоімпульсного статистичного аналізу, опис яких наведено нижче.

Аналіз спектра в реальному часі (RTSA) також є корисною функцією для вимірювань в умовах імпульсного сигнального середовища. Спочатку функцію RTSA було реалізовано у вигляді окремого типу аналізаторів спектра, оскільки для широкої смуги частот, необхідної для аналізу ВЧ-/НВЧ-імпульсів, потрібні спеціалізовані апаратні засоби, що відповідають вимогам RTSA. На щастя, нещодавній прогрес у галузі обчислювальної техніки дав змогу реалізувати цей підхід у вигляді спеціального вимірювального застосунку, який можна додати до аналізаторів сигналів загального призначення під час купівлі приладу або під час його модернізації. Концепція RTSA передбачає безперервне опрацювання вибірок сигналу або, щонайменше, опрацювання з мінімальними перервами, щоб унеможливити пропуск навіть найрідкісніших подій. Функція RTSA може бути корисною для виявлення важких для виявлення сигналів, а також гнучких налаштувань щодо запуску за імпульсами. Ці функції будуть описані нижче.

Об'єднання перерахованих програмних рішень для аналізу параметрів імпульсів може дати чудові результати під час вирішення складних вимірювальних завдань. Наприклад, функція RTSA може бути унікальним за ефективністю інструментом для налаштувань режимів запуску під час наступних вимірів, що виконуються за допомогою програмного забезпечення VSA або додатків для вимірювання параметрів імпульсних сигналів.

ПРОЦЕС ТА ІНСТРУМЕНТИ АНАЛІЗУ ІМПУЛЬСНИХ СИГНАЛІВ

Процес аналізу імпульсних сигналів часто описується як сукупність трьох основних етапів: запуск, захоплення сигналу і його вимірювання або аналіз (див. рис. 3). Це стислий, зручний і корисний опис, проте етапи не завжди є незалежними та вибудовані в послідовності, показаній на рисунку.

Запуск (triggering) — це процедура ініціювання процесу синхронних (пов'язаних єдиною часовою шкалою) вимірювань, що починається з подачі умовного сигналу (імпульсу синхронізації) або в момент настання обумовленої події. Її необхідність пов'язана з тим, що досліджувані сигнали за визначенням є такими, що змінюються в часі. Для забезпечення синхронності може використовуватися зовнішнє джерело сигналів синхронізації (явний запуск) або обладнання, що входить до складу вимірювальної системи (умовний запуск). Для періодичних сигналів необхідна синхронізація за часом, яка також може полягати в простому виборі відповідного інтервалу часу вимірювань за допомогою функції часової селекції.

Захоплення сигналу може являти собою короткий (наприклад, один кадр) або тривалий запис, призначений для подальшої обробки. Запис може бути безперервним або сегментованим, коли деякі непотрібні дані відкидаються для підвищення ефективності використання доступної пам'яті. Смуга захоплення сигналу може бути обрана на ділянці спектра, зайнятій одним імпульсом, або на ширшій смузі для захоплення частини загального сигнального оточення, що містить у собі кілька різних імпульсів, а також інші сигнали.

Процес вимірювань може бути кадровим або включати процедуру постобробки, коли для проведення синхронного аналізу може бути виконано розподіл отриманих результатів за шкалою часу відносно загальної опорної

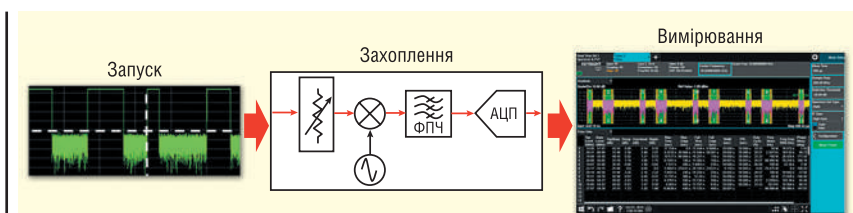


Рис. 3. Вимірювання сигналів, що змінюються в часі, часто описується як послідовність із трьох етапів

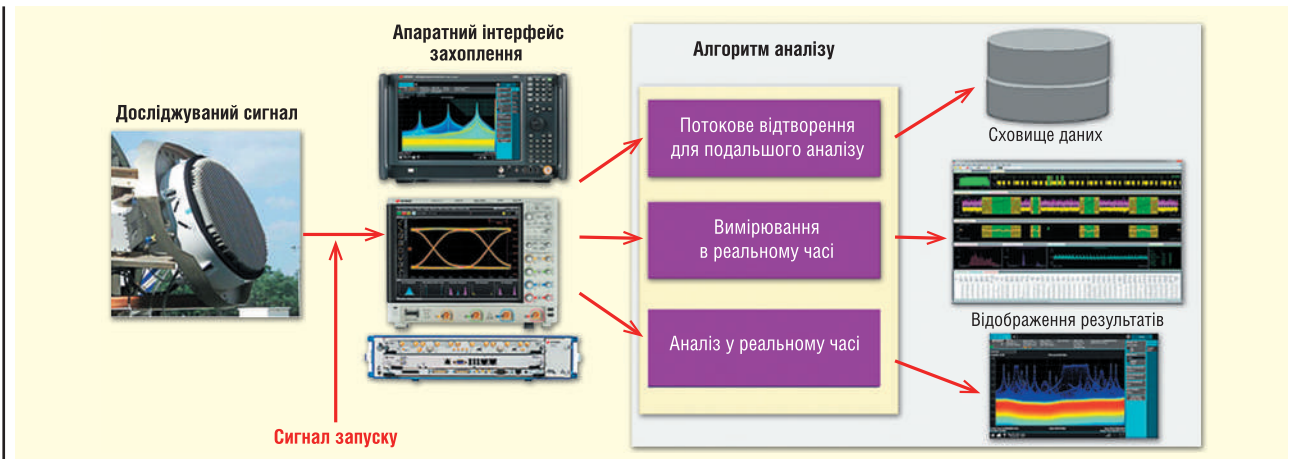


Рис. 4. Функціональні блоки процесу вимірювань параметрів імпульсів або сигнального середовища

точки відліку або певної події. У разі захоплення або запису сигналу з використанням ПЗ 89600 VSA центральну частоту і діапазон вимірювань можна змінити після закінчення часу захоплення.

Під час глибокого вивчення процесу вимірювань параметрів імпульсних сигналів, описаний вище перший крок може викликати додаткові труднощі: дані для забезпечення синхронності фактично можуть бути отримані під час наступних вимірювань/аналізу, наприклад, для запуску за частотною маскою (FMT) під час аналізу спектра в реальному часі. Це може надати всьому процесу вимірювань рекурсивного характеру, як описано нижче.

ФУНКЦІОНАЛЬНІ БЛОКИ ПРОЦЕСУ ВИМІРЮВАНЬ ПАРАМЕТРІВ ІМПУЛЬСНИХ СИГНАЛІВ

Етапи в описаному вище процесі можуть виконуватися окремо різними пристроями або одним аналізатором у кілька етапів, включно з вимірюванням усіх параметрів імпульсів. Узагальнене схематичне представлення процесу показано на рисунку 4. Оскільки результатом захоплення сигналу є набір цифрових вибірок, сигнал може бути поміщений у сховище даних для подальшого (або повторного) оброблення різними способами.

Апаратні засоби захоплення сигналу можуть бути реалізовані за принципом оцифрування сигналів в основній смузі частот або на ПЧ, і виконані в окремому корпусі або у вигляді модульних систем. Найважливішими характеристиками апаратних засобів є смуга пропускання і динамічний діапазон, хоча також важливими є глибина пам'я-

ті, кількість каналів та інші фактори, які більш детально описані нижче.

Алгоритми аналізу перетворюють оцифровані сигнали на вимірювальні дані, що відображаються на екрані у вигляді графіків і таблиць з отриманими результатами. Ці алгоритми можуть бути частиною загального набору інструментів векторного аналізу сигналів або спектра, а також можуть бути інтегровані в пакети вимірювальних додатків для аналізу параметрів імпульсів. Такі додатки особливо ефективні, коли необхідний складніший аналіз параметрів імпульсів, наприклад статистичний аналіз або визначення характеристик сигнального середовища.

Великий обсяг пам'яті має важливе значення у випадках, коли необхідно аналізувати велику кількість суміжних імпульсних сигналів з масиву даних, захоплених без пропусків, або коли доступ до досліджуваного сигналу обмежений, і аналіз буде проводитися пізніше. Сховище захоплених даних використовується при подальшій обробці для отримання необхідних результатів аналізу і може також використовуватися для відтворення сигналу.

Операції запуску можуть ініціювати або синхронізувати процес вимірювань параметрів імпульсного сигналу або можуть використовуватися для прив'яз-

ки наявних вибірок до єдиної шкали часу під час аналізу імпульсів. Оскільки запуск може бути ініційовано безпосередньо за вхідним сигналом або організовано в процесі його опрацювання, наприклад, аналізу в реальному часі або постобробки даних зі сховища, синхронізація може бути частиною будь-якого з основних функціональних блоків процесу вимірювань, показаних на рисунку 4.

СКЛАДНОЩІ, ЩО ВИНИКАЮТЬ У ПРОЦЕСІ АНАЛІЗУ СКЛАДНИХ ІМПУЛЬСНИХ СИГНАЛІВ

Знаходження сигналу, що цікавить, і прив'язка вимірювань до єдиної часової шкали — це перші кроки під час аналізу імпульсних сигналів, які можуть бути і найскладнішими. Це особливо справедливо в умовах складного сигнального середовища, яке може бути зумовлене наявністю джерел випромінювань з частотою і амплітудою, що швидко змінюються, а також численних джерел сигналів з широким розкидом амплітуд.

Запуск за амплітудою сигналу ПЧ

Одним із найбільш корисних і простих у використанні способів запуску є

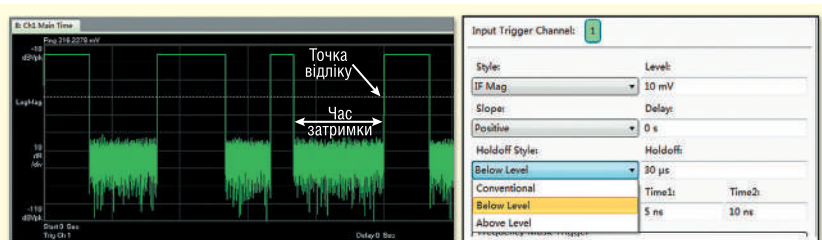


Рис. 5. Запуск за амплітудою сигналу ПЧ у ПЗ 89600 VSA є найефективнішим і найгнучкішим способом запуску для ВЧ-/НВЧ-імпульсів

запуск за амплітудою сигналу ПЧ (IF magnitude trigger) у реальному часі. Більшість апаратних інтерфейсів компанії Keysight ВЧ-діапазону, що використовують ПЗ 89600 VSA, містять у собі спеціальні апаратні або програмні засоби для виконання в реальному часі розрахунків повної амплітуди сигналу в обраному діапазоні частот або смугі ПЧ. ПЗ VSA використовує результати цих обчислень для організації режиму запуску за амплітудою з регульованою затримкою, пороговим рівнем і часом утримання, як показано на рисунку 5. Використовуючи функції утримання і негативної затримки запуску (попереднього запуску), сигнали можна легко виміряти до безпосереднього настання події запуску.

Такий підхід не робить частотну вибірковість вже заданої смуги огляду аналізатора, а можливість задати параметри часу і порога спрацювання для режиму запуску за амплітудою на ПЧ забезпечують достатню гнучкість для врахування специфіки багатьох імпульсних вимірювань. Комбінуючи позитивні та негативні (завчасний запуск) затримки з відповідними значеннями і типами утримання (див. рис. 5), серед інших можна виділити одиничний імпульс. Якщо присутня періодично повторювана послідовність, то для запуску можна використати її найбільший за амплітудою сигнал, а позитивні або від'ємні часові затримки допоможуть вибрати будь-який інший одиничний імпульс або часовий інтервал. Функцію утримання також можна використовувати для виключення помилкових запусків через коливання амплітуди імпульсу внаслідок модуляції.

Такий запуск за амплітудою доступний у ПЗ VSA як для вимірювань у реаль-

ному часі, так і для відтворення записів сигналів. Основним недоліком цього методу є вимірювання низькорівневих сигналів у тій самій смузі частот огляду, що й потужніших, де слабші сигнали не мають відомої або стабільної прив'язки в часі до потужніших, які використовують для запуску за амплітудою сигналу ПЧ.

Запуск за частотною маскою

Швидкість цифрового опрацювання сигналів збільшилася до такої міри, що розрахунок спектральних характеристик (хоч і з деякими обмеженнями) в аналізаторах сигналів серій UXA і PXA може виконуватися в реальному часі зі смугою пропускання до 510 МГц. Після цього результати обробки можна перевірити з використанням низьких обмежувальних лімітів або маски, що є надзвичайно ефективним способом частотно-вибіркового запуску (див. рис. 6). Це дає змогу організувати запуск з урахуванням особливостей спектра вхідного сигналу. Функціональність цього способу запуску доповнюється гнучкими критеріями вибору необхідної поведінки сигналу.

Запуск за частотною маскою (FMT) особливо корисний під час пошуку та вимірювання параметрів короткочасних або завадостійких сигналів, а також у захопленні сигналів із певною поведінкою, яку можна якнайкраще розпізнати в частотній ділянці. Обробка із запуском за частотною маскою здійснюється в реальному часі або після захоплення без пропусків і гарантує, що будь-який сигнал або перебудова сигналу, що відповідає критеріям запуску, ініціює запуск процесу вимірювань або початок відліку часу.

Частотні маски можна формувати вручну або на основі результатів ви-

мірювань зразкових параметрів спектра, вводячи зміщення або редагуючи контрольні точки амплітуди/частоти. Гнучкий вибір критеріїв запуску робить запуск за частотною маскою вкрай ефективним інструментом для виявлення певної зміни сигналу або певної події в загальному сигнальному оточенні (див. праву частину рис. 6). Запуск можна ініціювати під час «входу» або «виходу» сигналу з маски і навіть для складнішої поведінки, наприклад, під час покидання маски після події входу. Ці логічні критерії запуску можуть бути корисними для захоплення сигналів, які перемикаються між каналами або використовують методи псевдовипадкової перебудови робочої частоти (ППРЧ).

Функція запуску за частотною маскою може використовуватися спільно з додатком для вимірювань параметрів імпульсних сигналів аналізаторів серії X. Таке об'єднання двох інструментів обробки сигналів дасть змогу ефективно виявляти й аналізувати імпульсні сигнали, які задовольняють специфічним критеріям за частотою, амплітудою та поведінкою.

У поєднанні з ПЗ 89600 VSA запуск за частотною маскою в реальному часі можна використовувати для того, щоб ініціювати початок відліку часу при виконанні безперервного запису сигналу для подальшої обробки. Тоді як запуск за частотною маскою працює тільки в частотній ділянці, записи сигналів можна здійснювати в частотній і часовій ділянці, а також за параметрами модуляції. Записи містять інформацію про часову синхронізацію захоплення даних, що дає змогу повністю схарактеризувати різні елементи сигнального середовища і встановити будь-які взаємозв'язки між різними областями аналізу.

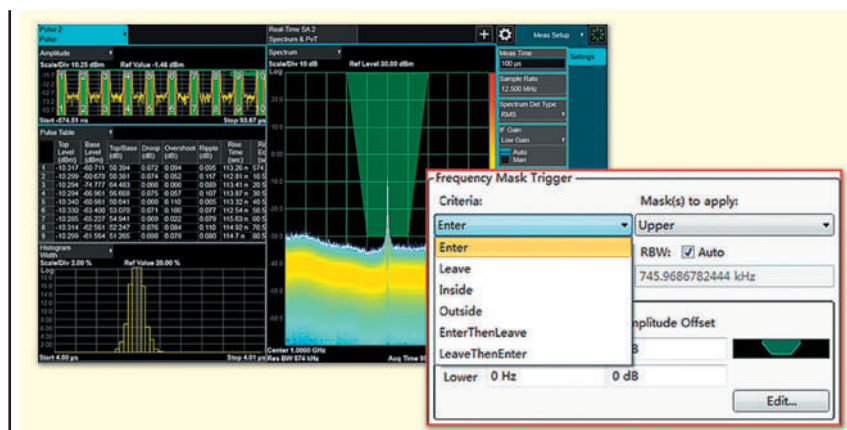


Рис. 6. Під час запуску за частотною маскою виконується порівняння результатів аналізу спектра в реальному часі із заданим користувачем амплітудним/частотним шаблоном

Запуск за часовими параметрами

Описані вище методи запуску і засоби обробки сигналів задовольняють більшість потреб у вимірюванні параметрів імпульсів. Тривалість і коефіцієнт заповнення імпульсів є важливими змінними в деяких сигналах, і запуск із селекцією за часовими параметрами (TQT) може допомогти виділити їх для вимірювання.

Тригер із поділом за часом доповнює методи запуску за частотною маскою та амплітудою сигналу ПЧ і дає змогу безперервно відстежувати тривалість подій у смузі захоплення. Таким чином, TQT встановлює часовий параметр на додаток до вже наявних пара-

метрів амплітуди або спектра. Тимчасові критерії та приклади подій показано на рисунку 7. Всупереч тому, що критерії можуть бути дотримані тільки після появи досліджуваного сигналу, виміряти його параметри дасть змогу негативна затримка запуску (попередній запуск).

З TQT пов'язані три параметри: «Час 1», «Час 2» і «Часові критерії». Ці параметри дають змогу задати як відкриті, так і закриті часові інтервали.

Під час використання TQT захоплення відліків для аналізу здійснюється після того, як подія спостерігалася протягом зазначеного часу. Якщо потрібен аналіз попередніх подій, можна використовувати від'ємну затримку, яка зрушить момент початку захоплення сигналу в негативну точку часової шкали (до настання події запуску). Спрощений приклад застосування TQT показано на рисунку 8, де два сигнали накладаються один на одного в частотній області. Ці сигнали розділяються, виходячи з відмінностей у тривалості імпульсів.

Два сигнали в цьому прикладі можна розділити, виходячи з їхньої повної потужності або форми спектра, однак на практиці під час роботи з сигналами, амплітуда яких постійно змінюється, форма імпульсу може бути надійнішою відмінною ознакою досліджуваних сигналів.

Затримка запуску в осцилографіях

Оскільки осцилографи працюють за принципом оцифрування сигналу в основній смузі частот, у них зазвичай не застосовують складних сполучень описаних вище методів запуску з використанням часової та частотної областей. Однак вони пропонують можливості запуску, які можуть бути корисними під час роботи з ВЧ імпульсними сигналами.

Одним із прикладів є простий запуск за фронтом у поєднанні із затримкою запуску. Запуск відбувається, коли рівень вхідного сигналу перевищує граничне значення напруги, як і відбувається при появі ВЧ-імпульсу в міру зростання його амплітуди. Якщо задати час затримки, що перевищує тривалість найдовшого очікуваного імпульсу, то така затримка гарантує, що запуск буде проводитися тільки на початку ВЧ-імпульсів. Найбільш передбачувано цей метод працює щодо імпульсних сигналів з постійною тривалістю.

Під час використання ПЗ 89600 VSA спільно з осцилографами та іншими пристроями, що працюють за принципом оцифрування сигналу в основній смузі частот, також можна реалізувати

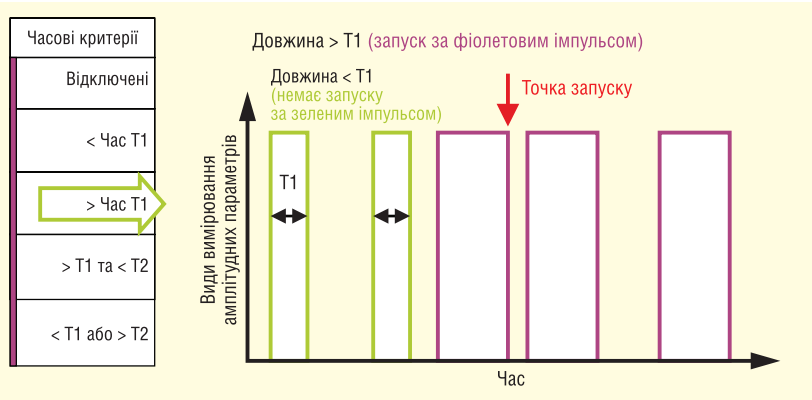


Рис. 7. Запуск за часовими параметрами відбувається в разі дотримання одного або двох часових критеріїв

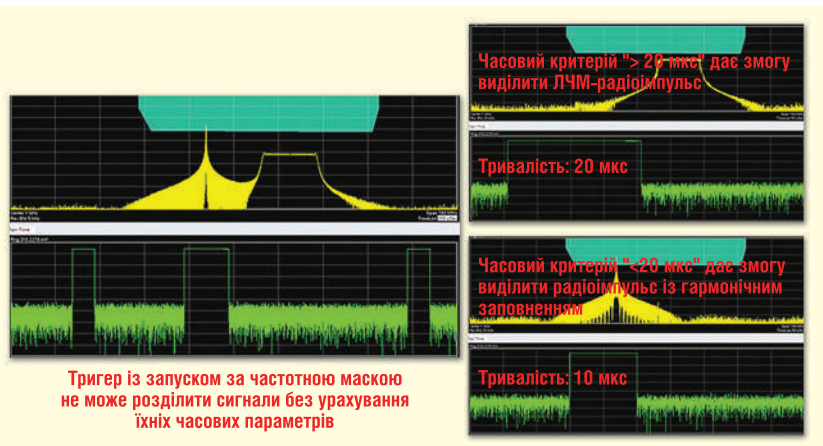


Рис. 8. Запуск за часовими параметрами дає змогу розділити два імпульсні сигнали, спектри яких частково накладаються один на одного

вибірковий запуск за частотою й амплітудою ВЧ-сигналу. Це двоетапний процес, під час якого відліки сигналу спочатку захоплюються в режимі вільного запуску без пропусків з використанням функції захоплення впродовж заданого часу цього ПЗ. А потім за допомогою ПЗ 89600 VSA під час постобробки сигнал відтворюється з моменту настання події запуску, як описано вище.

КОМПРОМІС МІЖ ДИНАМІЧНИМ ДІАПАЗОНОМ І СМУГОЮ ЧАСТОТ ПІД ЧАС ОБРОБКИ ШИРОКОСМУГОВИХ СИГНАЛІВ

Широкі та надширокі смуги пропускання відіграють дедалі важливішу роль під час роботи з імпульсними сигналами з низки причин:

- надширокопasmові радіолокатори забезпечують високу роздільну здатність за дальністю, а також підвищену стійкість до виявлення і впливу навмисних перешкод;
- передавачі з ППРЧ працюють у широкому діапазоні частот, а отже,

щоб повністю схарактеризувати сигнал і уникнути пропуску задіяних частотних каналів, потрібно виконати захоплення сигналу в широкій смузі; системи радіотехнічної розвідки (PTR) для виявлення цілей вимагають збору даних у широкій, безперервній смузі частот.

Оцифрування сигналів у широкій смузі частот, за своєю суттю, накладає певні обмеження на характеристики, хоча з часом ситуація, пов'язана з компромісами, на які доводиться при цьому йти, поліпшується. Ці обмеження в основному пов'язані зі збільшенням рівня шумів при розширенні смуги пропускання і зменшенням ефективних розрядів АЦП у міру збільшення частоти дискретизації. Їх необхідно зіставити з вимогами до таких характеристик, як динамічний діапазон, чутливість, нелінійні спотворення, похибка вимірювань амплітуди і фазовий шум.

Як було описано раніше, основними інструментами обробки під час аналізу імпульсних ВЧ-/НВЧ-сигналів є аналізатори сигналів та осцилографи в поєднанні з програмою векторного аналізу

сигналі 89600 VSA або додатком для вимірювань параметрів імпульсів, що працює на аналізаторах сигналів серії X. Найпродуктивнішими з них є аналізатор сигналів UXA та осцилографи серії S (див. рис. 2). Надамо коротке порівняння їхніх характеристик.

Аналізатор сигналів UXA: смуга пропускання 1 ГГц (12 біт), 510 МГц (14 біт)

Переваги:

- найкращий динамічний діапазон, чутливість, точність і динамічний діапазон, вільний від паразитних складових (SFDR) — 78 дБ за 14-розрядного АЦП;
- повнофункціональний високопродуктивний аналіз спектра;
- можливість використання програми для вимірювання параметрів імпульсів N9067C;
- охоплення сигналів сантиметрового і міліметрового діапазонів довжин хвиль.

Недоліки:

- ширина смуги пропускання обмежена — 1 ГГц (UXA) або 510 МГц (PXA).

Осцилографи серії S: смуга пропускання — 8 ГГц (10 біт)

Переваги:

- найширша смуга захоплення/аналізу;
- нижча вартість, ніж у високопродуктивних аналізаторів сигналів;
- сегментація пам'яті для аналізу великої кількості імпульсних сигналів.

Недоліки:

- обмежений динамічний діапазон (проте чудовий для осцилографа);
- необхідність виконання перетворення частоти зі зниженням і фільтрації під час вибірки в основній смузі частот сигналу з використанням ПЗ VSA;
- продуктивність вимірювань може знижуватися під час використання високої роздільної здатності за частотою і під час роботи з тривалими часовими інтервалами або великими масивами захоплених даних.

Альтернативним рішенням є використання аналізатора ВЧ-/СВЧ-сигналів, такого як Keysight серії PXA, як перетворювача з пониженням частоти в поєднанні з відповідним осцилографом для цифрування сигналу ПЧ аналізатора. Характеристики такої вимірювальної системи будуть аналогічні характеристикам осцилографа, який має діапазон робочих частот, що відповідає обраному типу аналізатора сигналів. За такої конфігурації можна отримати смугу аналізу понад 1 ГГц, забезпечивши в такий спосіб економічне рішення для вимірювальних завдань, які потребують смуги пропускання понад 500 МГц та/або охоплення сантиметрового і міліметрового діапазонів довжин хвиль. Як зазначалося раніше, аналізатор сигналів серії UXA безпосередньо забезпечує смугу пропускання до 1 ГГц на частотах до 50 ГГц і вище (у разі використання моделі N9041B).

ЗАХОПЛЕННЯ ВЕЛИКОЇ КІЛЬКОСТІ ІМПУЛЬСІВ З ЕФЕКТИВНИМ ВИКОРИСТАННЯМ ПАМ'ЯТІ

Довжина масиву або обсяг даних, які мають бути отримані для проведення вимірювань, є важливим аспектом під час розв'язання більшості прикладних задач аналізу імпульсних сигналів. З погляду часових показників довжина масиву даних особливо важлива під час аналізу динамічного сигнального середовища, коли необхідно забезпечити захоплення сегмента, тривалість якого є достатньою для відображення динаміки, що розглядається. Кожна апаратна платформа має обмежену глибину пам'яті, і її ефективне використання забезпечить збір максимального обсягу даних і найкращі з можливих для цієї платформи результати вимірювань параметрів сигналу.

Для систем із дискретизацією даних максимальна довжина масиву захоплен-

них даних для заданого обсягу пам'яті є лінійною функцією смуги захоплення даних. Ця обставина дає аналізатору сигналів перевагу перед осцилографом, оскільки аналізатор сигналів оцифровує тільки смугу ПЧ. Осцилограф же повинен оцифрувати весь спектр сигналу в основній смузі частот з подальшим скороченням обсягу даних для перенесення на обмежену смугу ПЧ. Результатом є набагато коротший інтервал безперервного захоплення сигналу. Як зазначалося раніше, передача й обробка даних, захоплених в основній смузі частот, також може призводити до зниження продуктивності під час виконання вимірювань.

Під час оцифрування широкосмугових сигналів з малим коефіцієнтом заповнення в основній смузі частот нестача пам'яті може стати проблемою. Аналізатори сигналів виконують оцифрування вузких смуг ПЧ, а не всієї смуги частот, тому захоплені ними масиви даних можуть містити набагато більше імпульсів, ніж осцилографи, які використовують всю доступну пам'ять. У таблиці 1 наведено порівняння варіантів безперервного захоплення сигналу із лінійною частотною модуляцією.

У багатьох випадках для розв'язання цієї проблеми використовується функція сегментування пам'яті, що застосовується в деяких осцилографах. Коли цю функцію ввімкнено, пам'ять осцилографа, призначена для захоплення сигналів, розбивається на безліч маленьких сегментів рівної довжини. Довжину сегмента пам'яті вибирають дещо більшою, ніж потрібно для захоплення найширшого з розглянутих імпульсів.

У наведеному вище прикладі використання тих самих параметрів дискретизації та вибір довжини сегмента 1.2 мкс у пам'яті осцилографа дають змогу виконати захоплення понад 16 000 імпульсів, що, в принципі, відповідає можливостям UXA. Такий підхід не забезпечує безперервного

Таблиця 1. Порівняння варіантів безперервного захоплення сигналу, смуга частот 500 МГц, тривалість імпульсу 1 мкс, період повторення імпульсів 50 нс

Довжина масиву даних					
Аналізатор сигналів серії UXA			Осцилограф серії S		
Переносить спектр сигналу на ПЧ і оцифровує	Частота дискретизації	500 Мвиб/с × 1.28 = 640 Мвиб/с	Оцифровує сигнал безпосередньо на ВЧ (в основній смузі)	Частота дискретизації	20 Гвиб/с
	Глибина пам'яті:	536 Мвиб		Глибина пам'яті	500 Мвиб використовується в ПЗ VSA
	Максимальна тривалість захопленого сигналу	536 Мвиб/640 Мвиб/с = 0.8375 с		Максимальна тривалість захопленого сигналу	500 Мвиб/20 Гвиб/с = 0.025 с
Кількість захоплених імпульсів		10.8375 с/50 мкс = 16 750 імпульсів	Кількість захоплених імпульсів		0.025 с/50 мкс = 500 імпульсів

захоплення, однак відкинуті дані не містять корисної інформації, а пам'ять використовується набагато ефективніше, ніж без сегментування.

Сегментування пам'яті також значно полегшує відтворення та перегляд захоплених імпульсів у часовій області за допомогою осцилографа. Щоб розібратися в послідовності імпульсів перед обробкою сегментів пам'яті за допомогою програмного забезпечення, такого як 89600 VSA, користувач може перемикатися між сегментами вручну або автоматично.

ВСЕБІЧНЕ ВИЗНАЧЕННЯ ХАРАКТЕРИСТИК ІМПУЛЬСНОЇ МОДУЛЯЦІЇ

Поєднання аналізу в часовій області за допомогою осцилографа, аналізу спектра в реальному часі за допомогою аналізатора сигналів і програми векторного аналізу сигналів VSA, що дає змогу проводити складні вимірювання на обох платформах, відповідає вимогам безлічі завдань з аналізу імпульсних сигналів. Однак у деяких випадках потрібні ще більш масштабні можливості, які дадуть змогу збирати інформацію про сотні або тисячі імпульсів і представляти результати аналізу в табличній або графічній формі. Нижче наведено такі випадки:

- дослідження параметрів передавачів і компонентів радіотехнічних систем;
- оцінка стабільності імпульсної модуляції;
- визначення характеристик загроз (SIGINT);
- перевірка на виявлення змодельованих загроз;
- перевірка реакції на постановку навмисних перешкод.

Результати всебічних вимірювань параметрів імпульсних сигналів найчастіше набувають форми низки графічних залежностей у кількох вікнах на екрані та таблиць, як показано на рисунку 9. На цій складеній екранній формі, створеній за допомогою опції VHQ для ПЗ 89600 VSA, відображено одразу кілька різних характеристик великої групи імпульсів. Такий різнобічний погляд на результати вимірювань параметрів імпульсів у часі є потужним інструментом контролю, а також виявлення та усунення неполадок.

Розуміння і кількісна оцінка стабільності та повторюваності безлічі характеристик імпульсних сигналів є критично

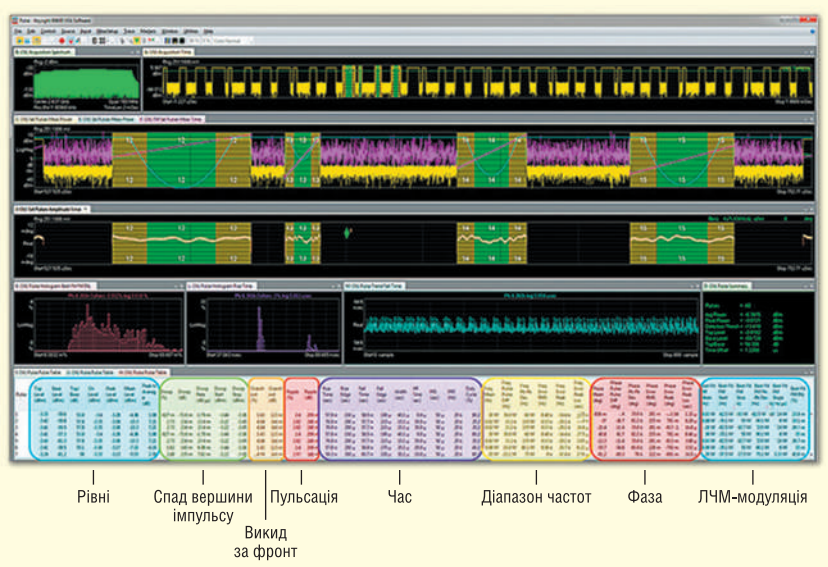


Рис. 9. Результати вимірювань одразу кількох різних характеристик великої групи імпульсів

важливими завданнями. Ці програмні рішення для аналізу пропонують такі можливості:

- вимірювання всіх значущих параметрів, включно з тривалістю імпульсу, періодом повторення імпульсів, часом наростання і спаду фронтів імпульсів, падінням потужності впродовж імпульсу і характеристиками модуляції, такими як внутрішньоімпульсна частотна і фазова модуляція;
- надання статистичної інформації про параметри, включно з гістограмами та трендами, з точним узагальненням поведінки великої кількості імпульсів. Крім того, опція VHQ для ПЗ VSA підтримує роботу із зовнішніми інтерфейсними модулями та цифровими осцилографами для захоплення ВЧ-/НВЧ-сигналів, а також функцію сегментованої пам'яті.

Сукупний аналіз великої кількості імпульсів дає змогу виявити поведінку, яку іншими способами виявити або оцінити кількісно важко. Зосередивши зусилля на аналізі амплітудних параметрів, як-от максимальна/базова потужність, спад вершини імпульсу, викид на фронті імпульсу і нерівномірність, можна отримати результати, подібні до показаних на рисунку 10.

Зрозуміло, для роботи з імпульсною модуляцією необхідне розуміння параметрів сигналу в часовій області, таких як тривалість імпульсу, коефіцієнт заповнення і час наростання/спаду фронту. Після того як користувач визначить діапазон дійсних значень тривалості імпульсів і часу наростання/спаду фронту, функції аналізу імпульсних сигналів у вимірювальному застосунку серії X або ПЗ 89600 VSA з опцією VHQ можуть ав

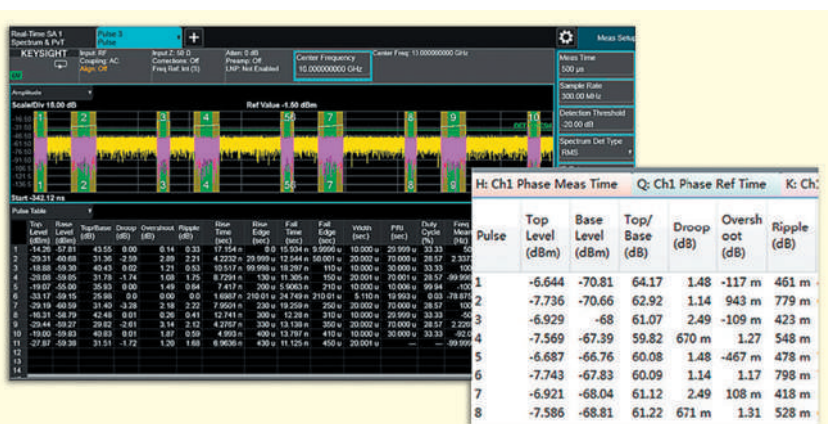


Рис. 10. Графічне представлення результатів захоплення імпульсів (ліворуч) і амплітудні або енергетичні параметри імпульсів у вигляді зведеної таблиці (праворуч)

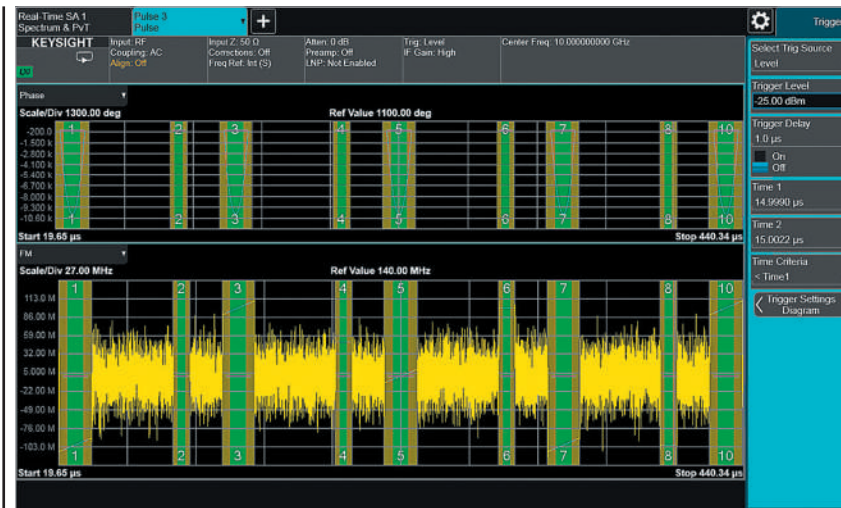


Рис. 11. Результати роботи спеціальних додатків для вимірювання параметрів імпульсів

передавача порівняно з вимірюваннями окремих імпульсів.

ВИСНОВОК

Зростання якісних показників та ефективності сигналів, які використовуються в системах радіолокації та РЕБ, супроводжується розширенням можливостей цифрового оброблення сигналів і появою вимірвальних застосунків у поєднанні з новими апаратними засобами для захоплення ВЧ-/НВЧ-сигналів. Ці нові апаратні засоби забезпечують значне розширення можливостей аналізу в поєднанні з розширенням смуги пропускання і динамічного діапазону. Це стосується як аналізаторів сигналів, так і осцилографів.

Запуск за частотною маскою, запуск за часовими параметрами та аналіз спектра в реальному часі можна використовувати з новітніми апаратними інтерфейсами для збирання даних, забезпечуючи впевнене вилучення досліджуваних сигналів в умовах найскладнішого сигнального оточення.

Новий вимірвальний додаток серії X, що працює на аналізаторах сигналів, доповнює програму векторного аналізу сигналів 89600 VSA з опцією BHQ, забезпечуючи найточніші та найповніші виміри параметрів складних модульованих сигналів і сигнального середовища. Ці рішення дозволяють проводити автоматизовані вимірювання великої кількості імпульсів і узагальнюють отримані результати, формуючи виразну статистику поведінки сигналів.

Максимальна смуга пропускання для аналізу в 1 ГГц, охоплення смуги частот до 50 ГГц і вище та підтримка зовнішніх широкосмужових змішувачів для розширення діапазону частот аналізатора сигналів UXA у поєднанні з застосунком N9067C надають широкі можливості для вимірювання параметрів імпульсів із використанням одного приладу з єдиним призначенням для користувача інтерфейсом.

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

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

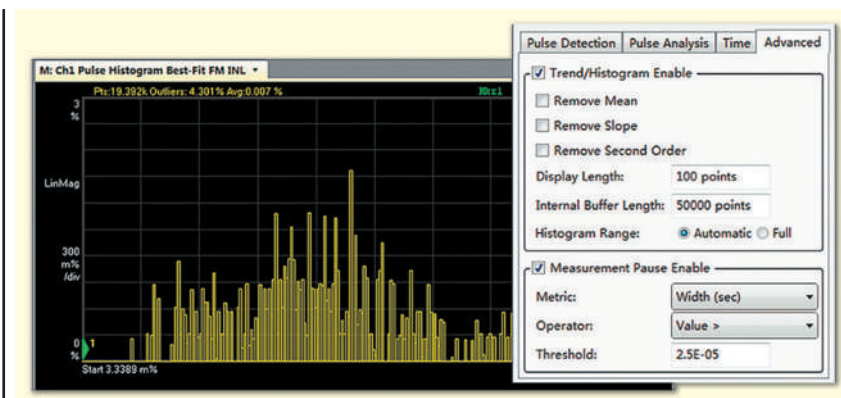


Рис. 12. Відображення зведених характеристики безлічі імпульсних сигналів на одному графіку

томатично синхронізувати імпульси та відображати параметри часової області у вигляді таблиці. Імпульси можна впорядкувати за будь-яким параметром, наприклад, за тривалістю.

Базова версія ПЗ 89600 VSA дає змогу вимірювати частоту/фазу окремих імпульсів, водночас спеціальні додатки для вимірювання параметрів імпульсів можуть оптимізувати цей процес завдяки груповому опрацюванню, автоматично ідентифікуючи імпульси та накладаючи результати одночасних вимірювань з узгодженням за часом, як показано на рисунку 11. Вони дають змогу одночасно вимірювати низку параметрів кількох імпульсних сигналів і відображають результати вимірювань разом з автоматично виявленими та пронумерованими імпульсами. Формат відображення з накладенням може бути корисний під час пошуку та усунення неполадок.

Такі узгоджені в часі вимірювання параметрів імпульсної модуляції особливо корисні для діагностики проблем,

також дане ПЗ може використовувати методи оптимального наближення та апроксимації для побудови зведених таблиць параметрів, таких як обвідна ЧМ-сигналу і дев'яція частоти.

За великої кількості вимірюваних імпульсів застосунок може використовувати отримані на підставі аналізу цих імпульсів статистичні дані для створення гістограм і графіків, як показано на рисунку 12. Гістограма, що відображає зведені характеристики безлічі імпульсних сигналів на одному графіку і призначена для застосування методів оптимального наближення та апроксимації з метою визначення деяких параметрів ЧМ-сигналу. Це узагальнене уявлення об'єднує накопичену за деякий час інформацію і є прекрасним інструментом для виявлення тенденцій і побудови трендів.

За одним або кількома сеансами захоплення сигналів може бути зібрано статистику, яка забезпечує набагато більшу чутливість до дефектів і дає повніше уявлення про характеристики

Вплив електричних і теплових взаємодій на характеристики НВЧ-плати

Джон Кунрод (John Coonrod), інженер, Rogers Corp.

Нагрівання високочастотних кіл і матеріалів друкованої плати відбувається від встановлених на неї пристроїв або від зовнішніх джерел енергії. У статті докладно описується низка досліджень, що показують, як електричні та теплові взаємодії впливають на параметри різних матеріалів плат.

Властивості друкованої плати змінюються під час її нагрівання. Взаємодія між електричними і тепловими ефектами позначається на характеристиках плати не в кращий бік. Наприклад, на популярне запитання розробників про величину максимальної допустимої потужності конкретної друкованої плати можна дати чітку відповідь тільки після аналізу електричних і теплових взаємодій. Розуміння цих взаємодій і того, як вони впливають на параметри плат, надає значну допомогу під час роботи з матеріалами для плат і в усуненні неполадок у НВЧ-додатках високої потужності.

Теплопровідність і деякі електричні характеристики впливають одна на одну. Щоб краще зрозуміти електричні та теплові взаємодії в матеріа-

лі друкованої плати, уявімо його за допомогою теплової моделі. Така модель складається з гарячих і холодних областей, або резервуарів, з'єднаних теплопровідним матеріалом (див. рис. 1а). Непоганим провідником тепла є мідь із теплопровідністю (ТС) близько 400 Вт/м/К, що вважається хорошим показником. Для імітації теплового потоку в мікросмужковій друкованій платі без наскрізних металізованих отворів (PTH) у базову теплову модель встановлюють теплоізолятор між гарячим і холодним резервуарами (див. рис. 1б). Більшість підкладок, використовуваних у виробництві друкованих плат, вважаються теплоізоляторами з типовими значеннями теплопровідності в діапазоні 0.20–0.30 Вт/м/К. Передбачається, що верхній шар міді є сигнальним шаром (або гарячим резервуаром), а нижній шар міді — заземлювальним (холодним резервуаром). З рисунка 1б видно, що тепловідвід прикріплений до заземленої поверхні.

Співвідношення, що описує передачу тепла між гарячим і холодним резервуарами в базовій тепловій моделі на рисунку 1а, має такий вигляд:

$$H = -kA \frac{\Delta T}{L},$$

де H — тепловий потік; k — теплопровідність; A — площа на межі розділу «резервуар — провідник тепла»; $\Delta T = T_H - T_C$ — різниця температур і L — довжина провідника тепла, що з'єднує резервуари. У цій моделі передбачається, що температура провідника тепла досягла рівноваги. Проста модель і рівняння вказують на те, що теплопереда-

ча між резервуарами в разі провідника з низькою теплопровідністю порівняно менша. Так відбувається в мікросмужковій схемі на рисунку 1б, де підкладка виступає в ролі провідника з низькою теплопровідністю. Відстань між резервуарами також впливає на кількість переданого тепла: наприклад, тонший провідник сприяє передачі більшого теплового потоку. Такий потік ефективніше передає тепло заземлювальному шару (радіатору), більшою мірою сприяючи охолодженню друкованої плати.

Найпростіша теплова модель мікросмужкової плати передбачає, що тепло генерується на сигнальному шарі, хоча таке уявлення не є цілком коректним. У загальному випадку джерелом тепла всередині друкованої плати є радіочастотний нагрів або встановлений на ній активний пристрій. Якщо тепло генерується таким пристроєм, використовується проста модель, у якій вважають, що тепловий потік виникає в сигнальному шарі.

У разі радіочастотного нагріву генерація тепла пов'язана з внесеними втратами і часто викликана поєднанням втрат, включно з втратами провідника в сигнальному шарі та діелектричними втратами в матеріалі підкладки. У цьому сценарії джерело тепла не перебуває повністю в сигнальному провіднику, але у відносно тонких платах, де переважають втрати в провіднику, більша частина тепла генерується в сигнальному шарі. Точніше, найбільше тепло виділяється в областях, де щільність струму найвища, тобто на межі розділу «мідь — підкладка» сигнального провідника. У додатках, де тепло є результатом радіочастотного нагріву, розподіл тепла збігається з розподілом щільності струму. Маючи це на увазі, можна моделювати розподіл тепла, порівнюючи лінію передавання зі смужковою лінією з крайовим зв'язком (зв'язком з вузького боку) або шлейфом (відгалуженням) на друкованій платі.

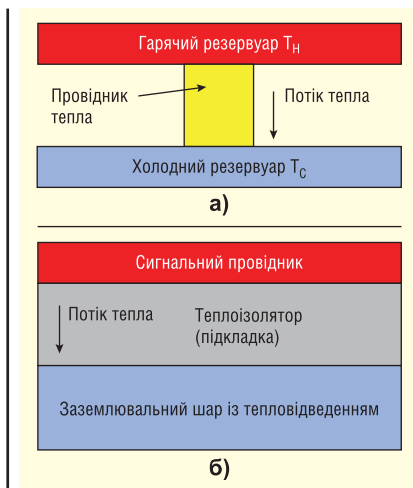


Рис. 1. Базова модель: теплового потоку в друкованій платі (а); мікросмужкової лінії (б)

ВЛАСТИВОСТІ МАТЕРІАЛУ

Теплопровідність більшості матеріалів друкованих плат мала. Підкладки з майже чистого ПТФЕ мають дуже хороші електричні характеристики на надвисоких частотах, але зазвичай характеризуються низькими значеннями теплопровідності близько 0.2 Вт/м/К. У деяких підкладах із ПТФЕ з керамічним наповненням — вища теплопровідність у діапазоні 0.4–0.7 Вт/м/К. Загалом теплопровідність матеріалу друкованої плати, вища за 0.5 Вт/м/К, вважається хорошою, а якщо вона більша за 1.0 Вт/м/К, то відмінною.

Іншими параметрами матеріалу, що впливають на тепловий режим друкованої плати, є коефіцієнт теплового розширення (КТР), температура склування (Tg), тангенс кута втрат (Df), діелектрична проникність (Dk, або ε), номінальний тепловий індекс (RTI), шорсткість мідної поверхні, тепловий коефіцієнт діелектричної проникності (TCDk) та тепловий коефіцієнт тангенса кута втрат (TCDf). Параметри КТР і Tg зазвичай використовуються для забезпечення надійності. RTI — показник, що присвоюється матеріалам із сертифікатом UL для визначення максимальної температури, якій сировина може піддаватися необмежений час без погіршення характеристик.

Щодо сировини, яка використовується в друкованій платі, діє ще один показник, який найбільшою мірою стосується допустимої потужності плати. Це максимальна робоча температура (MPT). MPT визначає максимальну температуру, якій може піддаватися плата, не втрачаючи критично важливих властивостей. MPT завжди менше, ніж RTI матеріалу. Під час оцінювання максимальної радіочастотної пропускної здатності друкованої плати MPT використовують як максимальну температуру, якої схема може зазнавати протягом тривалих проміжків часу.

Наприклад, плата після зростання температури на 70 °C за температури довкілля 25 °C повинна витримувати вплив 95 °C необмежений час. Вплив РЧ-потужності, який спричиняє таке підвищення температури, вважається прийнятним, якщо номінальна MPT дорівнює 105 °C. Однак якщо збільшення температури плати перевищує 80 °C відносно довкілля, стає неприйнятним рівень прикладеної РЧ-потужності, який спричинив таке підвищення.

Параметри матеріалу Df і шорсткість мідної поверхні впливають на тепло, що

Таблиця 1. Поширені матеріали друкованих плат і типові значення їхніх параметрів, що визначають тепловий режим

	Dk	Df	Теплопровідність	TCDk
Майже чистий ПТФЕ	2.2–2.4	0.001	0.2	–150
ПТФЕ з керамічним наповнювачем	3.5	0.002	0.5	–30
ПТФЕ з керамічним наповнювачем і високим Dk	> 6	0.0025	0.7	–250
Вуглеводневий матеріал із керамічним наповнювачем	3.5	0.0035	0.6	50

виділяється друкованою платою, впливаючи на втрати, які вносяться: що втрати більші, то більше тепло, що виділяється, за умови РЧ-потужності, що подається. У плати з низьким Df і гладкою мідною поверхнею втрати, що вносяться, і тепло, що виділяється, менші під впливом РЧ-потужності. Показник Dk також впливає на втрати, оскільки матеріали з меншим Dk дають змогу використовувати плати з ширшими провідниками за заданого імпедансу, що призводить до менших втрат у провідниках і менших загальних втрат, що вносяться, а також до меншого виділення тепла. Таким чином, в ідеальній НВЧ-плати показники Dk і Df мають бути малими, мідна поверхня — гладкою, підкладка — тонкою, теплопровідність і MPT — високими. У таблиці 1 наведено зведені характеристики матеріалів, що використовуються в НВЧ-платах, які впливають на їхні теплові характеристики.

Іншими характеристиками матеріалу схеми, важливими для розуміння електротермічних взаємодій, є TCDk і TCDf.

TCDk — властивість усіх матеріалів плати і показник того, наскільки зміниться Dk при заданій зміні температури. Показник TCDf є мірою зміни Df при зміні температури. Ці параметри зазвичай вважаються визначальними для плат, що експлуатуються в середовищах зі змінною температурою. Наприклад, друкована плата з високим TCDk може

зазнавати змін імпедансу, що впливають на характеристики згоджувальних ланцюгів, оскільки Dk змінюється з температурою. Показник TCDf може виявитися необхідним для плат з обмеженими бюджетами втрат, де підвищення температури може призвести до зростання Df і втрат. TCDk і TCDf — параметри, які слід враховувати, щоб контролювати їхній вплив на електротермічні взаємодії.

На працездатність друкованої плати з мідними провідниками впливає також температурний коефіцієнт опору (ТКО) міді, який є мірою зміни її опору під час нагрівання. Відносно простий розрахунок цього параметра для застосувань із постійним струмом ускладнюється на надвисоких частотах. Це пов'язано з тим, що на вищих частотах втрати в провіднику, які є складовою частиною загальних внесених втрат, мають частотну залежність від питомого опору через глибину поверхневого шару.

ЕЛЕКТРОТЕРМІЧНІ ВЗАЄМОДІЇ НА НВЧ-ПЛАТАХ

Для того, щоб краще зрозуміти електротермічні взаємодії на НВЧ-платах, було проведено низку досліджень. У першому з них розглядалися відмінності тільки за теплопровідністю, коли плату нагрівали під час проходження постійного струму; водночас ігноруюва-

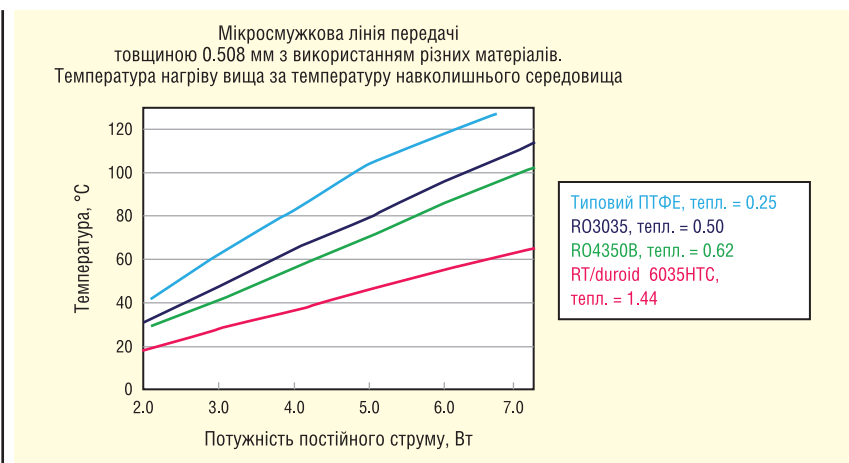


Рис. 2. Результати дослідження показують різне зростання температури при використанні матеріалів зі значно різною теплопровідністю

ли проблеми, пов'язані з впливом РЧ-потужності та втратами. У другому дослідженні розглядали зовнішнє нагрівання мікросмужкових фільтрів, і відстежували відповідні зміни їхніх характеристик. У третьому дослідженні лінії передачі з різними конфігураціями з різних матеріалів піддалися нагріванню під впливом РЧ-потужності на різних частотах. Нарешті, ми коротко проаналізуємо теплові зображення мікросмужкового смужкового фільтра, що нагрівається під впливом РЧ-потужності, і обговоримо кілька конфігурацій теплового розподілу.

На рисунку 2 показано результати дослідження з використанням матеріалів однакової товщини, але зі значно різною теплопровідністю. Схеми було виконано на простих друкованих платах із подвійним шаром міді та узгоджувальним резистором поверхневого монтажу, припаяним до середини ланцюга. На плати подавали потужність постійного струму, і вимірювали рівноважні температури за різних її рівнів. Схеми були змонтовані на радіаторі з водяним охолодженням. Видно, що лінії на основі матеріалів із вищою теплопровідністю нагрівалися меншою мірою відносно температури навколишнього середовища [1].

У наступному дослідженні використовували плати, виготовлені з декількох матеріалів; усі плати мали однакову стандартну конструкцію. На плати було встановлено фільтри Чебишева на мікросмужковій лінії з крайовим електромагнітним зв'язком. Рівень пульсацій фільтрів: 0.1 дБ; центральна частота: 2.5 ГГц; смуга пропускання: 235 МГц; зворотні втрати в смузі пропускання: кращі, ніж 15 дБ. Через відмінності у виготовленні плат і властивостей матеріалів центральні частоти і смуги пропускання різних фільтрів дещо різнилися, але

	Заявлені TCDk	Виміряні TCDk
RT/duroid 6002	12	17
RO4350B	50	51
ПТФЕ з керам. нап., Dk = 6.15	-262	-256
RO4360G2, Dk = 6.4	-131	-127

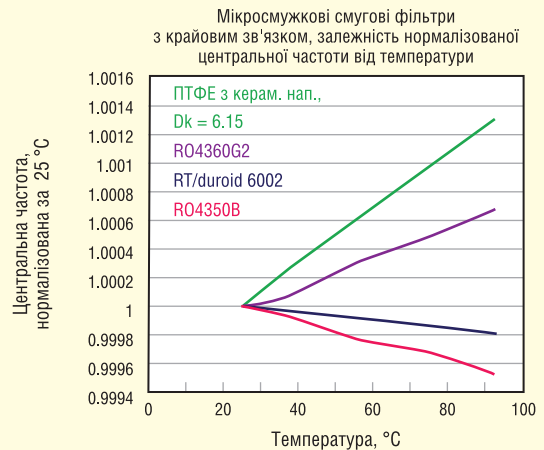


Рис. 3. Графік залежності нормованої Dk від температури у стандартних високочастотних друкованих плат

варіації центральної частоти в результаті були нормалізовані. Метою цього дослідження було встановити, як показник TCDk впливає на центральну частоту при нагріванні фільтра. На рисунку 3 порівнюються заявлені виробниками значення TCDk

ПРОДАМ

матеріали Rogers

зі складу або на замовлення

ЄВРОКОНТАКТ
www.eurocontact.kiev.ua
 Т/ф +380 44 500 7991
info@eurocontact.kiev

ЄВРОКОНТАКТ
www.eurocontact.kiev.ua
 Т/ф +380 44 500 7991
info@eurocontact.kiev.ua

матеріалів із вимірними TCDk плат, які зазнали впливу різних температур.

Як видно з рисунка 3, є відмінності між вимірними значеннями TCDk фактичних плат, якщо порівняти зі значеннями, зазначеними в технічних описах. На те є кілька причин. Технічні описи часто є результатами дослідження матеріалів у тесті з фіксованим смужковим резонатором, у якому зазвичай аналізують необроблену підкладку. У цьому тесті використовується слабко зв'язаний смужковий резонатор, і тест набагато меншою мірою чутливий до калібрування вимірювальної системи, кабелів і роз'євів. У ньому використовується менше змінних, ніж у вимірах з мікросмужковими фільтрами з крайовим зв'язком, де центральну частоту можна змінити за допомогою калібрування, кабелів і роз'євів. Це дослідження було задумано з метою вивчення однієї схеми для кожного набору даних, і через їхню обмеженість отримані результати не можна вважати статистично вірогідними. Навпаки, випробування з фіксованим смужковим резонатором на необробленій підкладці проводилося на великій кількості зразків, і дані є статистично вірогідними.

Третє дослідження проводилося з використанням ліній передачі з різними властивостями матеріалів. Лінії піддалися РЧ-нагріву на різних частотах і рівнях потужності. У таблиці 2 подано коротку інформацію про характеристики схем і критичні властивості матеріалів плат у третьому дослідженні. Наведені в таблиці 2 значення внесених втрат були отримані в результаті тестування ланцюгів за допомогою методу диференціальної довжини [2]. У схемах використовувалася чиста нелуджена мідь без покриття.

У цьому дослідженні лінії передачі були пофарбовані чорною фарбою з відомою випромінювальною здатністю

для забезпечення точних вимірювань за допомогою тепловізійної камери. Чорна фарба збільшила внесені втрати, які залежно від конфігурації схеми виявилися більш-менш значними. У першому рядку таблиці 2 шорсткість (нерівність) міді дорівнює 2.8. Це нетипове значення було обрано для цілей дослідження. Усі схеми були мікросмужковими лініями передачі, за винятком схеми в третьому рядку, яка є заземленою сильнозв'язаною копланарною лінією; вплив на втрати, що вносяться, через фарбу в цій схемі є значнішим.

Схеми в перших двох рядках мають однакову товщину і шорсткість міді, але істотно відрізняються значеннями Df і теплопровідності. Незважаючи на те, що внесені втрати нижчі у матеріалі в першому рядку, перевага високої теплопровідності проявляється в меншому збільшенні теплового потоку за різних частот і рівнів потужності.

У лінії передачі в четвертому і п'ятому рядках — однакова товщина і дуже схожі параметри матеріалів, проте шорсткості мідної поверхні істотно різні. Перевага більш гладкої міді проявляється в меншому зростанні температури.

Нарешті, у лінії у шостому і сьомому рядках — вкрай різні значення параметрів. Матеріал в останньому рядку має найкращу комбінацію властивостей для цього дослідження, результати якого свідчать про найменше тепловиділення з порівняння різних рівнів потужності на різних частотах. Приклад деяких отриманих тепловізійних зображень наведено на рисунку 4, де показано відмінності між матеріалами плат у другому і четвертому рядках.

Термограми на рисунку 4 являють собою вигляд зверху плат з областю запуску сигналу у верхній частині зображення. На рисунках видно відмінності між тепловиділенням двох плат, що використовують одні й ті самі матеріали;

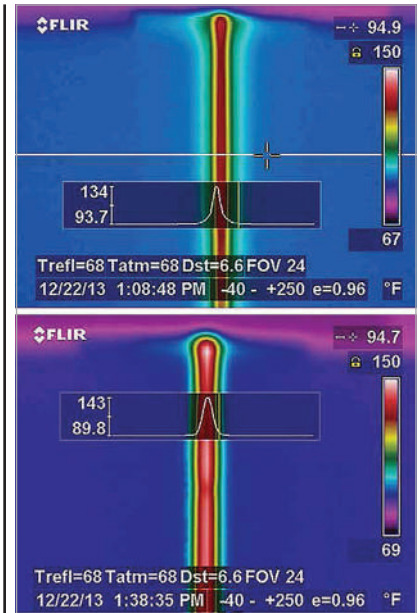


Рис. 4. Термограми з характеристиками плат, згаданими в рядках 2 і 4 таблиці 2; нагрівання потужністю величиною 85 Вт на частоті 3.4 ГГц

єдиною істотною різницею між платами є товщина підкладки. Тестування з вищою потужністю показало перевагу у використанні тоншої плати з коротшим тепловим трактом.

Завершальне дослідження було виконано для виявлення відмінностей у розподілі тепла під час використання інших схемних рішень НВЧ-ланцюгів, які значно відрізняються від ліній передачі. Як приклад для цього дослідження було використано фільтр із крайовим зв'язком.

Фільтр був виготовлений на ламінаті RO4003STM товщиною 0.508 мм. Він був розрахований на центральну частоту 2 ГГц, смугу пропускання 175 МГц і зворотні втрати в смугі пропускання 15 дБ. Після нанесення чорної фарби значення кількох параметрів змінилися: централь-

Таблиця 2. Порівняння теплових характеристик ліній передачі на основі різних підкладок

Матеріал схеми	Тип лінії передачі	Dk	Df	Теплопровідність, Вт/м/К	Шорсткість поверхні міді (СКЗ)	Внесені втрати без чорної фарби на 3.4 ГГц, дБ/дюйм	Внесені втрати з чорною фарбою на 3.4 ГГц, дБ/дюйм	Підвищення температури, °C, 30 Вт при 2 ГГц	Підвищення температури, °C, 85 Вт при 3.4 ГГц
10 мм RT/duroid 5880 High Profile ED cu	Мікросмужкова	2.20	0.0009	0.20	2.8	0.12	0.18	13	34
10 мм RO4350B High Profile ED cu	Мікросмужкова	3.66	0.0037	0.64	2.8	0.17	0.27	8	22
10 мм RO4350B High Profile ED cu	СРPW, w18s6	3.66	0.0037	0.64	2.8	0.20	0.43	9	27
20 мм RO4350B High Profile ED cu	Мікросмужкова	3.66	0.0037	0.64	2.8	0.12	0.19	7	29
20,7 мм RO4350B LoPro; Low Profile ED cu	Мікросмужкова	3.55	0.0037	0.64	0.6	0.10	0.14	3	22
20 мм High Perf FR-4 Std. ED cu	Мікросмужкова	4.25	0.0200	0.25	1.4	0.36	0.37	10	74
20 мм RT/duroid 6035HTC Std. ED cu	Мікросмужкова	3.60	0.0013	1.44	1.8	0.08	0.11	2	14

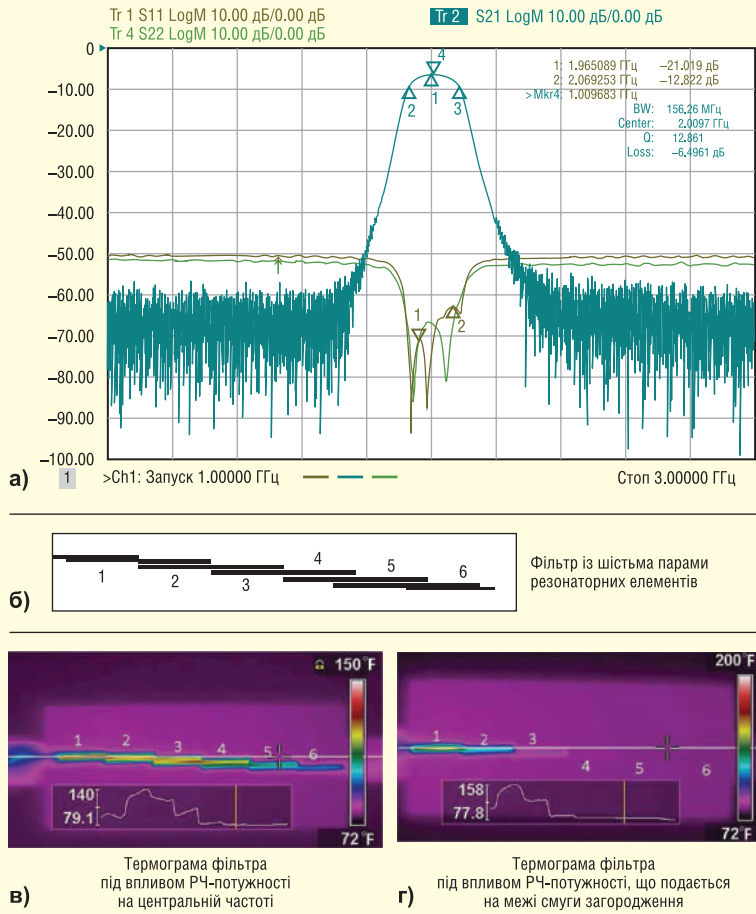


Рис. 5. Виміряні S-параметри аналізованого фільтра (а); вид згори базової конфігурації схеми (б); термограма фільтра на центральній частоті 2.010 ГГц за подавання 30 Вт (в); та сама прикладена потужність, але на частоті 1.900 ГГц у смузі загородження фільтра (г)

на частота становила 2.010 ГГц, смуга пропускання — 156 МГц, втрати, що вносяться, — 6.5 дБ у смузі пропускання. На рисунку 5 наведено докладні відомості про фільтр разом із термограмами, отриманими після подачі РЧ-потужності.

На рисунку 5в показано теплову діаграму мікросмужкового смужового фільтра на центральній частоті, отриману під час впливу РЧ-потужності величиною 30 Вт. Якщо, наприклад, частота прикладеної потужності зрушиться на 40 МГц, залишившись у смузі пропускання, діаграма спрямованості зміниться відносно вихідної. Біла лінія на цьому рисунку вирівняна по високотемпературних ділянках резонаторів фільтра на лівому боці схеми. Видно, що найвища температура (140 °F = 60 °C) щодо цієї білої лінії спостерігалася на кінці першого пов'язаного резонатора.

Унаслідок зміщення частоти випромінювання приблизно на 80 МГц донизу до рівня 1.93 ГГц, що розташований трохи нижче за межу смуги загородження, виникає тепловий розподіл, показаний

на рисунку 5г. З рисунка видно, що найвища температура спостерігається біля перших резонаторних елементів фільтра. Радіочастотна потужність надходить зліва від фільтра, а кінцеве навантаження знаходиться від нього праворуч.

Більш детальну інформацію щодо продукції компанії Rogers можна отримати, звернувшись до торгового представника в Україні — ТОВ «Євроконтакт»:
тел.: (044) 500-79-91,
e-mail: info@eurocontact.kiev.ua,
www.eurocontact.kiev.ua

Література:

1. John Coonrod. Improved Thermal Management of Microwave PCBs using Advanced Circuit Materials. Microwave Journal. November. 2011.
2. John Coonrod. Understanding the Variables of Dielectric Constant for PCB Materials Used at Microwave Frequencies. European Microwave Week. 2011.

СЕМІНАР КОМПАНІЇ ROGERS

В червні цього року компанія **Rogers** провела в країнах Європи низку семінарів, орієнтованих на кінцевих споживачів та на виробників друкованих плат ВЧ/НВЧ напрямку. Приємно, що такий захід не пройшов повз уваги споживачів з України. Хоча для учасників з України семінар відбувався у форматі вебінару, але це зрозумілі наслідки ситуації, в якій зараз знаходиться наша країна.

Компанія **Rogers** — один з потужних світових учасників ринку з виробництва матеріалів для ВЧ/НВЧ застосувань, в тому числі ламінованого матеріалу для плат. Вона має багаторічний успішний досвід в розробці спеціалізованих матеріалів. Крок за кроком компанія накопичує свій інтелектуальний та технічний потенціал. Її розробки, в яких використовуються різні технології, відносяться до різноманітних сфер застосування. Продукцію компанії можна знайти в бездротовій інфраструктурі, підсилювачах потужності, радарних системах, високошвидкісних цифрових мережах, гібридно-електричних транспортних засобах, високовольтній рейковій тязі, лазерних системах і в сфері перетворення енергії вітру та сонця.

На згаданому вже семінарі мова йшла про лінійку загальних PTFE та термостабільних матеріалів, про принципи визначення показників D_k та D_f . Також було презентовано інформацію щодо магнітно-діелектричних матеріалів та діелектричних матеріалів для 3D друку. Не оминули й цікаву тему щодо загальних технічних властивостей ВЧ/НВЧ матеріалів. Були згадані принципи та рекомендації щодо їх вибору в залежності від фактичної сфери застосування. На семінарі також приділили увагу технічним та технологічним нюансам, пов'язаним із обробкою матеріалів під час виробництва друкованих плат.

Семінар пройшов на одному диханні. В цілому, захід відбувся на достойному рівні, інформації було надано в достатку.

Очікувано, що деякі теми семінару з'являться і на сторінках журналу CHIP NEWS у вигляді статей, цікавих та корисних. Тож уважно слідкуйте за публікаціями!

www.rogers.com

Огляд технологічних можливостей тривимірного друку у виробництві друкованих плат

Юлія Боброва, Ольга Смирнова, Давид Мануков

Статтю присвячено порівняльному аналізу можливостей тривимірного друку та традиційної комбінованої позитивної технології при виготовленні прототипів багат шарових друкованих плат. Наведено класифікацію методів тривимірного друку, на основі якої сформульовано вимоги до методів, придатних для прототипування багат шарових плат. Дано початкові відомості про методи, технології та матеріали для 3D-друку плат. Описано конструкції перспективних виробів, які можуть бути отримані завдяки тривимірному друку.

ТРАДИЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ ВИРОБНИЦТВА ДРУКОВАНИХ ПЛАТ: ОБМЕЖЕННЯ ДЛЯ РОЗРОБНИКА

Розробка будь-якого виробу електронної техніки не обходиться без такого обов'язкового етапу, як прототипування ДП і друкованого вузла (ДВ), що лежить в його основі. Найпоширеніші протягом багатьох років варіанти прототипування ДП і ДВ за допомогою макетних або двосторонніх плат з металізованими отворами роблять процес макетування багат шарових плат складним, якщо не неможливим. У таких випадках розробникам доводиться вдаватися до послуг серійних виробників ДП, замовляючи

їм окремі зразки або пілотні партії з декількох виробів, і тут вони стикаються з труднощами, зумовленими особливостями промислових технологій виготовлення ДП.

У традиційному комбінованому позитивному процесі, що застосовується для випуску ДП, використовується широкий діапазон різних конструкційних матеріалів, а також численні витратні хімічні речовини, ввезення, експлуатація та утилізація яких може регламентуватися нормативними документами.

Різноманітність конструкційних матеріалів (зокрема, фольгованих діелектриків), що застосовуються при традиційному виробництві ДП, спричинена насамперед призначенням електронної

апаратури, частиною якої стане друкований вузол на основі плати, що виготовлюється (рис. 1), тобто умовами її експлуатації та вимогами до довготривалості безвідмовної роботи згідно із заявленими технічними характеристиками (рис. 2). Крім того, ця різноманітність відіграє ключову роль під час отримання реальних технічних характеристик плат у межах конструкторських допусків, оскільки вони забезпечуються не тільки відпрацьованим технологічним процесом, а й фізичними властивостями базових матеріалів: діелектричними характеристиками, які відповідають

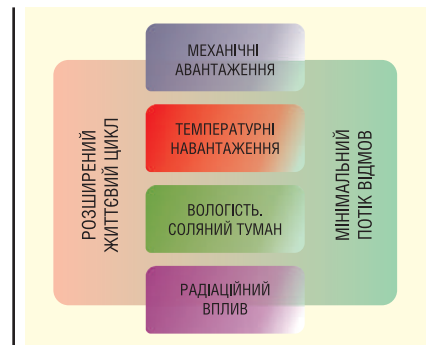


Рис. 2. Перелік вимог до друкованих плат для високонадійної електронної апаратури



Рис. 1. Температурні діапазони роботи електронної апаратури

частоті функціонування електронного пристрою, розмірною стійкістю матеріалу під дією механічних та температурних навантажень, високою електропровідністю та пластичністю металізації, стабільністю діелектричних параметрів при різноманітних впливах довкілля тощо.

Однак виготовлення плат традиційним комбінованим позитивним способом пов'язане з безліччю складнощів як під час організації виробництва, так і під час експлуатації обладнання. Технологічний процес складається з операцій, різнорідних за своєю фізичною і хімічною суттю, і деякі з них потребують підтримання кліматичних умов у заданих межах, а допуски на геометричні розміри типових елементів плат, вимоги до адгезії та суцільності покриттів, що наносяться, та інші умови — дотримання певних рівнів чистоти виробничих приміщень.

Виробники ДП, які працюють із серійною продукцією, не здатні виготовляти по одній платі в запуску: деякі з видів обладнання, яке застосовують на підприємстві, наприклад, конвеєрні лінії струменевого травлення, проявлення і видалення фоторезисту, високооб'ємні гальванічні лінії, мають обмеження за мінімальною площею оброблюваної заготовки. Значна частина дороговартісного обладнання — зокрема, установки фотолітографії, пресування, термічного оброблення — підібрана і закуплена для роботи із заготовками типових розмірів, для конкретного виробництва. Усе це призводить до того, що при виникненні необхідності виготовлення одиначної, наприклад прототипної, ДП вона симетрично мультиплікується в центральній ділянці заготовки типового розміру в кількості, яка залежить від співвідношення розмірів плати і заготовки, і виготовляється з низьким коефіцієнтом використання всіх конструкційних матеріалів. При цьому все задіяне обладнання відпрацьовує повноцінний технологічний цикл, витрачаючи електроенергію, хімічні розчини, воду тощо. Таким чином, використання великого парку обладнання для виготовлення пари плат не вигідне не тільки з погляду рентабельності та повернення інвестицій за цим обладнанням, а й через високі поточні експлуатаційні витрати.

Інженерне забезпечення умов виробництва на всіх ділянках, необхідність організації численних робочих місць міжопераційного контролю, обов'язкова наявність великої кількості кваліфікованих операторів різної спеціалізації та багато інших статей витрат, неминучих для великого підприємства зі складним технологічним процесом, також роблять свій внесок у погіршення економіки виробництва при виконанні нетипових для нього малооб'ємних замовлень.

Ситуація ускладнюється високою ймовірністю подальших змін топології прототипованої плати під час відпрацювання її конструкції з подальшим виготовленням чергових версій. Весь технологічний процес доведеться повторювати, незважаючи на те, що для ухвалення рішення про правильність функціонування майбутнього електронного приладу на основі такої плати достатньо одного-двох придатних зразків, решта стануть відходами виробництва, кількість яких буде збільшуватися пропорційно кількості ітерацій, необхідних для отримання макета плати, завершеного з погляду розробника.

Так виникає серйозна проблема, з якою стикаються розробники електроніки: потреба протестувати новий пристрій впирається в неможливість і небажання компанії, що займається терміновим виготовленням ДП виготовляти поштучні плати через низьку рентабельність. Крім того, кількість технологічних операцій, що складають комбінований позитивний процес виробництва багатшарових друкованих плат, може сягати півтори сотні, що позначається на

часі, що проходить від моменту розміщення замовлення у виробництво до його отримання.

3D-ДРУК ПРОТОТИПІВ ДП: ОБМЕЖЕННЯ ТА ПЕРЕВАГИ

Технологія 3D-друку — один із сучасних варіантів вирішення проблеми прототипування ДП. Звичайно, конструкційні матеріали, що застосовуються в 3D-технологіях, поки що не можуть забезпечити настільки широкий спектр властивостей кінцевого продукту, який доступний традиційним виробництвам. Але мала номенклатура матеріалів, що використовуються у 3D-друку, економічно вигідна і в більшості випадків достатня для прототипування або як мінімум перевірки працездатності схемних рішень. Полімерні сполуки, що містять електропровідні частинки (метали, речовини на основі графену), напівпровідники у вигляді рідких керамік і речовин на основі кремнію та діелектрики, зокрема фото- й термочутливі полімери, — усі ці матеріали, які застосовують у 3D-друку, на етапі виготовлення дають змогу підбирати електропровідність струмопровідних матеріалів завдяки зміні відсоткового вмісту металевих частинок, поверхневий опір, діелектричну проникність напівпровідникових елементів, діелектричні характеристики ізолювальних шарів, наприклад діелектричну проникність і тангенс кута діелектричних втрат.

За умови прийнятності обмежень за властивостями конструкційних матеріалів на перший план виступає основна перевага 3D-технології як ефективного засобу прискорення та здешевлення розроблення друкованих плат. Для кількісної оцінки цієї переваги колективом авторів було проведено порівняльний аналіз тривалості процесу виготовлення ДП за двома розглянутими технологіями.

Оцінний розрахунок часу, що витрачається на виготовлення розроблених ДП комбінованим позитивним методом у складі групової заготовки, показано в таблиці 1. Схематичне зображення конструкцій, використаних у розрахунку восьмишарової та чотиришарової ДП, наведено на рисунку 3.

Для порівняння з наведеними вище даними розглянемо чотиришарову ДП (рис. 4), отриману за допомогою тривимірної друку на 3D-принтері DragonFly (Nano Dimension, Ізраїль). Представлена тут ДП має мінімальний діаметр отворів (наскрізних, прихованих, глухих), що не перевищує 200 мкм, містить BGA-майданчик із кроком виводів 500 мкм. Час, витрачений на виготовлення такого зразка, становить 8 год.

Порівняння часу виготовлення чотиришарової плати показує, що при використанні традиційного промислового ме-

Таблиця 1. Оцінний розрахунок часу виготовлення восьмишарової та чотиришарової ДП комбінованою позитивною технологією

Часовий параметр виробництва	Значення параметра	
	Виготовлення восьмишарової ДП	Виготовлення чотиришарової ДП
Сумарний час виготовлення t , год	14.9	13.4
Коефіцієнт наближення*, k	2	2
Скоригований час, $T = k \times t$, год	29.8	26.8
Тривалість зміни t_s , год	8	8
Кількість робочих змін на виготовлення, $M = T/t_s$	3.73	3.35
Примітка. * Коефіцієнт наближення аналогічний коефіцієнту запасу за часом і слугує для компенсації похибки розрахунку сумарного часу технологічного процесу, що не нормований і різниться від виробника ДП до виробника.		

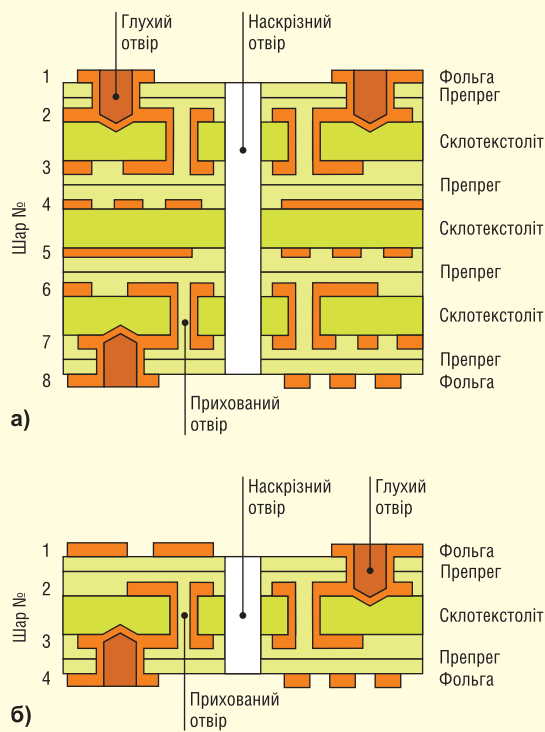


Рис. 3. Схематичне зображення поперечного перерізу друкованих плат: восьмишарова плата (а); чотиришарова плата (б)

тоду розробник отримує зразок приблизно за чотири робочі зміни, тобто за 32 год, а 3D-друк дасть йому змогу скоротити час до 8 год — у чотири рази. Причому оцінний розрахунок не враховує час, що витрачається на організацію взаємодії конструкторського підрозділу з виробництвом, він може бути дуже великим, особливо в тому випадку, якщо за виготовленням ДП доводиться звертатися до сторонньої компанії. При цьому зрозуміло, що зазначений ефект знижується в міру збільшення кількості плат, які потрібно виготовити, ускладнення їхньої топології та збільшення кількості шарів.

Під час порівняння двох класів технологій слід також враховувати, що сучасні системи тривимірного друку, орієнтовані на застосування у виробництві електронних вузлів, дають змогу виготовити ДП розміром до 200×200 мм, тобто одночасне виготовлення кількох плат обмежене їхніми розмірами. За один цикл роботи 3D-принтера можна виготовити чотири ДП із розмірами, зазначеними на рисунку 4, або в перерахунку на одну плату витрачений час становитиме 2 год. У процесі, розрахунок якого показано в таблиці 1, використовували групову заготовку на 14 плат, відповідно, питомий час виготовлення однієї ДП становить трохи менше ніж 2 год.

Таким чином, паритет за витратами часу між двома класами технологій настає вже за необхідності отримання чотирьох плат зазначеного розміру і складності. Якщо ж кількість необхідних плат більша, то звичайні промислові технології йдуть далеко вперед, і не тільки через більший розмір групового замовлення, а й внаслідок можливості запускати у виробництво великі партії заготовок. До того ж відмінність тривалості процесу виготовлення восьмишарової та чотиришарової ДП комбінованим позитивним методом із застосуванням групового замовлення є несуттєвою (табл. 1), тоді як для 3D-друку тривалість процесу багато в чому залежить від обсягу матеріалу, що друкується.

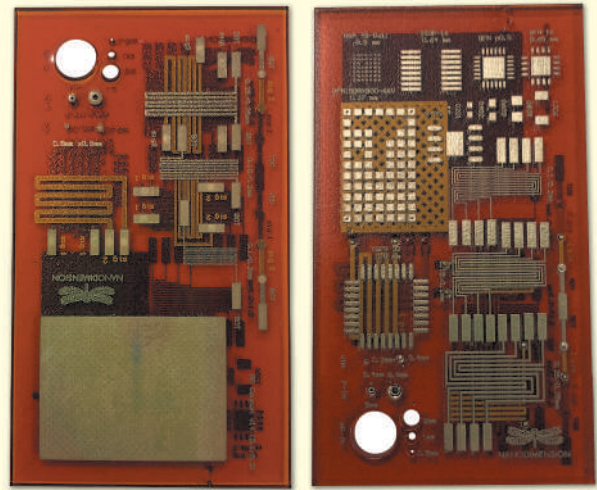


Рис. 4. Чотиришарова друкована плата розміром 38×19 мм, виготовлена методом 3D-друку

3D-ДРУК І ЦИФРОВЕ ВИРОБНИЦТВО

Цифрове виробництво, «Індустрія 4.0» та «Інтернет речей» мають на увазі об'єднання всіх пристроїв, датчиків і обладнання в єдину мережу з можливістю управління з єдиного робочого місця. Безумовно, це зменшить витрати часу, роботи тощо для всіх типів технологій. Однак на 3D-друку це позначиться найсуттєвіше, оскільки в даній технології принципово відсутня необхідність внутрішньоцехової логістики — перенесення заготовок між ділянками та установками, що обов'язково в тій чи іншій кількості існуватиме на традиційних виробництвах. Фактично робота за 3D-технологією полягатиме у своєчасній доставці сировини та управлінні єдиним комп'ютерним центром.

ВИДИ 3D-ДРУКУ ДЛЯ ПРОТОТИПУВАННЯ ДРУКОВАНИХ ПЛАТ

Відповідно до класифікації Американського товариства з випробування матеріалів (ASTM), виділяють сім категорій адитивних технологій:

- фотополімеризація у ванні (VAT Photopolymerization, VP);
- струменеве нанесення матеріалу (Material Jetting, MJ);
- струменеве нанесення сполучного (Binder Jetting, BJ);
- екструзія матеріалу (Material Extrusion, ME);
- синтез на підкладці (Powder Bed Fusion, PBF);
- листову ламінацію (Sheet Lamination, SL);
- пряме підведення енергії та матеріалу (Direct Energy Deposition, DED).

Однак вже за кілька років з'явилися десятки нових методів друку, особливості яких не можна повною мірою відобразити, використовуючи цю класифікацію. У зв'язку з цим пропонується розділити наявні методи за способом подачі основного матеріалу та методами формування і фіксації (затвердіння) шару (табл. 2).

Для того щоб застосувати той чи інший метод тривимірного друку під час прототипування багатшарових ДП, він має відповідати таким вимогам:

- Забезпечувати можливість друку мінімум двома матеріалами (провідним і непровідним). Причому не важливо, як буде здійснюватися друк — одночасно двома матері-

Таблиця 2. Класифікація наявних методів тривимірному друку					
Спосіб подачі основного матеріалу	Метод формування шару	Метод фіксації (затвердіння) шару		Позначення (назва) методу	
Резервуар	Літографія	УФ-лазер		SLA (Stereolithography), aser SLA (Laser Stereolithography) 3SP (Scan, Spinand Selectively Procure)	
		УФ-матриця		DLP (Digital Light Processing), MFP (Pixel Resolution Enhancement Technology)	
		УФ-матриця	Кисень	CLIP (Continuous Liquid Interface Production), DLS (Digital Light Synthesis), CDLP (Continuous Digital Light Processing)	
			Дисплей	LCD (Liquid Crystal Display), MSLA (Mask Stereolithography)	
		Денне світло		DPP (Daylight Polymer Printing)	
	Фетмосекундний лазер		TPP (Two Photon Polymerization), 2PP (Two Photon Polymerization)		
	Спінання	Потік гарячого повітря		SHS (Selective Heat Sintering)	
		Лазер	DMLS (Direct Metal Laser Sintering), DMP (Direct metal printing), HTLS (High-Temperature Laser Sintering), LaserCUSING IMLS (Indirect Metal Laser Sintering)		
			SLS (Selective Laser Sintering), PLS (Plastic Laser Sintering)		
	Сплавлення	DMLM (Direct Metal Laser Melting), LMF (Laser Metal Fusion)			
		SLM (Selective Laser Melting), LPBF (Laser Powder Bed Fusion), LBM (Laser Beam Melting)			
	Струменеве нанесення	Електронний промінь		EBM (Electron beam Melting)	
		Хімічна реакція клею		CJP (Color Jet Printing), 3DP (3D Printing, Three-Dimensional Printing), SBJ (Sand Binder Jetting), Color Jet	
		ІЧ-нагрівання	Агент	MJF (Multi Jet Fusion)	
			Агент	Спінання	SPJ (Single Pass Jetting)
Спінання			BJ (Binder Jetting), DOS (Drop on Solid Deposition), Ink Jet		
Спінання		SIS (Selective Inhibition Sintering)			
Сопло	ІЧ-нагрівання	NJP (Nano Particle Jetting)			
		DOD (Drop on Demand), TIJ (Thermal Inkjet Printing)			
		УФ-випромінювання	MFAM (Multi-Functional Additive Manufacturing) MJ (Material Jetting) MJM (Multi Jet Modeling), MJP (Multi Jet Printing)		
	AJ-P (Aerosol Jet Printing), AJ (Aerosol Jet) PJP (PolyJet Printing), PolyJet, PJ (Photopolymer Jetting)				
	SGC (Solid Group Curing), FTI (Film Transfer Imaging), SBC (Solid Base Curing)				
	Пластична деформація		CSAM (Cold spray Additive Manufacturing), CS (Cold Spray)		
	Екструзія	Сплавлення		CFC (Composite Filament Co-extrusion), CFF (Continuous Fiber Fabrication) FDM (Fused Deposition Modeling) FFF (Fused Filament Fabrication), FLM (Fused Layer Modeling/Manufacturing), PJP (Plastic Jet Printing) MJS (Multi Jet Solidification) SEAM (Screw Extrusion Additive Manufacturing)	
		ІЧ-нагрівання		LAM (Liquid Additive Manufacturing)	
		УФ-випромінювання		GDP (Gel Dispensing 3D Printing)	
		Спінання	BMD (Bound Metal Deposition) DIW (Direct Ink Writing), RC (Robocasting), DWA (Direct-Write Assembly), μRD (Microbotic Deposition)		
			ADAM (Atomic Diffusion Additive manufacturing)		
		Атомне розсіювання			
	Зовнішній механізм подачі	Осадження	Плавлення		CBAM (Composite-Based Additive Manufacturing)
			Лазер	DMT (Laser-aided Direct Metal Tooling), DMD (Direct Metal Deposition) LMD (Laser Metal Deposition), LDW (Laser Deposition Welding), LBAM (Laser-based additive manufacturing), DLD (Directed Laser Deposition), LC (Laser Cladding) LENS (Laser Engineered Net Shaping), LPF (Laser Powder Forming) DLF (Directed Light Fabrication)	
				EBAM (Electron Beam Additive Manufacturing), EBF3 (Electron Beam Free Form Fabrication)	
Електронний промінь					
Зварювання		Електрична дуга		3DMP (3D Metal Printing), WAAM (Wire Arc Additive Manufacturing)	
		Плазма		RPD (Rapid Plasma Deposition)	
		Ротаційне тертя		FSAM (Friction Stir Additive Manufacturing)	
Вал	Нарізання	Ультразвук		UAM (Ultrasonic Additive Manufacturing), UC (Ultrasonic Consolidation)	
		Лезо	Нагрівання	SDL (Selective Deposition Lamination)	
				SLCOM (Selective Lamination Composite Object Manufacturing)	
	Лазер	LOM (Laminated Object Manufacturing), PSL (Plastic Sheet Lamination)			
	Лазерний імпульс	Осадження	LIFT (Laser-Induced Forward Transfer)		

Таблиця 3. Принтери для виготовлення прототипів ДП

Технологія	Модель принтера	Виробник	Країна
Краплинне нанесення матеріалу	Squink	Bot Factory	США
	SV2 PCB Printer		
	DragonFly 2020 Pro	Nano Dimension	Ізраїль
Пряме нанесення + моделювання методом наплавлення	Voxel8	Voxel8	США
Пряме нанесення	V-One	Voltera	Канада
Аерозольне нанесення матеріалу	Aerosol Jet 5X	Optomec Inc.	США

алами, по черзі або один матеріал буде наноситися на підготовлену заздалегідь поверхню іншого.

- Не використовувати як спосіб подачі матеріалу резервуар, оскільки одночасно в резервуарі не може перебувати два матеріали. Проте існує можливість послідовного завантаження резервуарів з різними матеріалами, але це збільшить тривалість друку за рахунок введення операції заміни порошку і значно ускладнить або унеможливить повторне використання порошку (після завершення процесу друку в робочій площині перебуватимуть одночасно порошки двох різних матеріалів).
- Не допускати безпосереднього впливу потужних джерел випромінювання на матеріали під час формування та/або фіксації шарів (лазер, плазма, електронний промінь тощо), оскільки під час друку у такий спосіб створюється локальне розігрівання матеріалу, що може призвести до термоудару, деструкції та зміни властивостей нижнього діелектричного полімерного шару тощо.
- Забезпечувати можливість реалізації типових елементів конструкції багат шарових ДП, найбільш популярних 3–5-го класів точності:
 - товщина діелектричного шару: ≤ 200 мкм;
 - товщина друкованої плати: ≤ 3.2 мм;
 - граничне відхилення товщини плати: ± 0.3 мм;
 - мінімальна ширина провідника/зазору: від 0.1/0.1 до 0.25/0.25 мм;
 - граничне відхилення розмірів провідного рисунка: від ± 0.03 до ± 0.1 мм;
 - позиційний допуск розташування друкованого провідника щодо сусіднього елемента провідного рисунка: 0.05–0.1 мм;
 - мінімальний діаметр наскрізного металізованого отвору: 0.3–0.6 мм;
 - позиційний допуск розташування осей отворів: 0.05–0.08 мм.

На даному етапі розвитку технологій 3D-друку ці вимоги можуть бути якнайповніше реалізовані такими методами: крапельне нанесення матеріалу (DOD), пряме нанесення (DIW), аерозольне нанесення матеріалу (AJ-P), мультифункціональний друк (MFAM).

Існує ціла низка моделей 3D-принтерів, на яких успішно виготовляються прототипи ДП (табл. 3). Всі ці моделі відносяться до промислового обладнання для адитивного виробництва, тобто можуть становити інтерес і для великих виробників ДП, які беруть участь у пошукових і експериментальних роботах зі створення зразків нової техніки. Наприклад, принтер PJ15X (Neotech AMT, Німеччина) зацікавить тим, що дає змогу підібрати друкувальну головку залежно від його кінцевого застосування. У комплектації передбачені сопла для аерозольного нанесення матеріалу, струменевого друку, моделювання методом наплавлення та інші пристрої.

ЗАГАЛЬНИЙ ТЕХНОЛОГІЧНИЙ МАРШРУТ ДРУКУ ПРОТОТИПУ ПЛАТИ

3D-друк дає змогу виготовити друковану плату, використовуючи лише вихідний CAD-файл, що містить тривимірну модель об'єкта. Незалежно від обраного методу друку загальний технологічний маршрут складатиметься з таких етапів:

1. Створення 3D (CAD) моделі.
2. Переведення CAD-даних у формат STL/AMF, виправлення помилок.
3. Передача геометрії моделі в пропрієтарне програмне забезпечення принтера, яке віртуально «розширює модель» за віссю Z, що відповідає товщині плати, на шари заданої товщини.
4. Створення керуючої програми (перенесення STL-даних у принтер), позиціонування, налаштування принтера.
5. Друк шару, що складається з ділянок діелектричного та/або провідного матеріалу.
6. Процес затвердіння для надання шару необхідних електромеханічних властивостей після його друку.
7. Повторення кроків 5 і 6 для всіх наступних шарів.
8. Виймання плати.

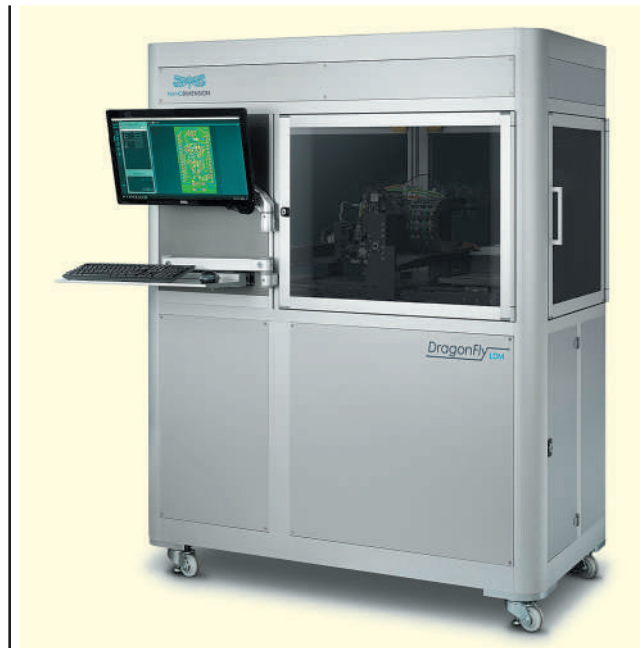


Рис. 5. Принтер DragonFly 2020 Pro, Nano Dimension

Таблиця 4. Характеристики принтера DragonFly 2020 Pro, Nano Dimension

Характеристика	Значення
Кількість друкувальних головок	2
Мінімальне відношення провідник/зазор, мкм	100/100
Максимальні габаритні розміри плати, мм	200×200×3
Мінімальна товщина провідного шару, мкм	10
Мінімальна товщина непровідного шару, мкм	9
Максимальна товщина непровідного шару, мм	2
Мінімальний діаметр наскрізного отвору, мкм	400
Мінімальний діаметр глухого заповненого отвору, мкм	200
Мінімальна відстань від отвору до полігону, мкм	275
Вхідні формати файлів	Gerber, Excellon
Габаритні розміри принтера, мм	1444×1063×1810
Вага, кг	500

Залежно від застосованого методу друку або принтера процес друку і затвердіння шару можуть мати свої особливості. Як приклад розглянемо особливості процесу друку ДП методом крапельного нанесення матеріалу за допомогою принтерів Nano Dimension DragonFly 2020 Pro і Bot Factory SV2 PCB Printer.

Принтер DragonFly 2020 Pro (рис. 5, табл. 4), переміщаючи по робочій платформі дві друкарські головки (одна — для провідної пасти, інша — для полімеру), краплями розміром приблизно 30 мкм осаджує матеріали в необхідних місцях. За друкувальними головками слідує два інструменти для затвердіння: ІЧ-лампа (для спікання провідного матеріалу) і УФ-лампа (для фотополімеризації полімеру), які отверджують нанесений матеріал, що формує перший шар «розширеної» плати. Після завершення шару друковані головки та інструменти для затвердіння переміщуються вгору на товщину шару, і процес повторюється, поки вся плата не буде надрукована. Відмінність способу друку принтером SV2 PCB Printer полягає в тому, що він спочатку формує провідний рисунок шару, а потім додруковує діелектричні області.

Однак якщо для формування друкованої плати буде використовуватися метод аерозольного нанесення матеріалу, то процес друку і затвердіння значно зміниться. Як вихідний матеріал виступатимуть чорнила в'язкістю 1–1000 сП, які під час розпилення всередині модуля друку створюють аерозоль високої густини з розподілом розмірів крапель 1–5 мкм. Потім аерозоль транспортується до друкувальної голівки за допомогою азоту високої чистоти як газу-носія і фокусується в ній за допомогою обмежувального газового кільця. Після чого джерело УФ-випромінювання отверджує нанесений матеріал.

Крім того, якщо прототипування ДП виконувати методом прямого нанесення, в якому так само, як і в методі аерозольного нанесення, як вихідний матеріал передбачено чорнило, процеси друку і затвердіння при застосуванні кожного з методів будуть різними. Під час реалізації методу прямого нанесення чорнило з необхідними реологічними властивостями поміщають у шприц і екстрадують через конічну/циліндричну насадку з певною об'ємною швидкістю потоку, необхідною для підтримання постійної швидкості осадження. Після формування топології об'єкта його витягують із зони друку і спікають. Такий метод друку діє в принтерах Voxel8 і

VolteraV-One тільки для друку провідними чорнилами. Для отримання діелектричної основи в першому випадку використовується технологія моделювання методом наплавлення, а в другому — готовий склотекстоліт, що виводить завдання прототипування багатшарових друкованих плат за межі штатного застосування цих принтерів.

Слід зазначити, що найважливішою операцією під час 3D-друку ДП є процес спікання (Sintering). Його особливий вплив на технологічний процес полягає в тому, що під час спікання змінюються геометричні розміри всіх видів надрукованих елементів. З огляду на досить високі вимоги до допусків плат 3–5-го класів точності (граничне відхилення діаметра металізованого отвору 0.3–0.5 мм становить ± 0.05 мм для всіх розглядуваних класів точності), відхилення геометричних розмірів перехідних отворів до 10–15% перебуватимуть на межі браку виробу.

Свого часу було досліджено вплив на усадку трьох основних параметрів процесу спікання. Ці параметри: ізотермічна температура спікання, швидкість нагріву і час спікання. Під час експерименту проводили спікання металопластику, що містить понад 80% об'єму металевих наночастинок сталі 316L, моделлю був куб із розміром ребра, що дорівнював 15 мм, вихідним параметром була лінійна усадка за трьома ортогональними осями. Дисперсійний аналіз показав, що фактором, який має найбільший вплив на величину усадки, є ізотермічна температура спікання. При цьому було виявлено набір оптимальних параметрів спікання,

який дав змогу зменшити величину лінійної усадки до 1.5%.

Можливість отримання величини лінійної усадки струмопровідних елементів у межах 1.5%, а також контроль розмірної точності процесу друку за правильного добору технологічних параметрів дає змогу говорити про те, що технологія 3D-друку може бути використана для прототипування плат 3–5-го класів точності.

МАТЕРІАЛИ

Наразі при тривимірному друку плат як конструкційні матеріали використовують електропровідні матеріали: полімерні компаунди, що містять наночастинки срібла, золота, міді, нікелю, сталі, графен, відновлений оксид графену, а також діелектрики: полілактид (PLA), акрилонітрилбутадієнстирол (ABS), нейлон, полікарбонат (PC), поліпропілен (PP), поліарілефіркетон (PAEK) та ін.

У таблиці 5 наведено інформацію для порівняння різних струмопровідних паст між собою і для порівняння їхньої основної характеристики — електричного опору — з опором чистих металів, що застосовуються як провідники ДП.

Незважаючи на те що найбільшого поширення в традиційній технології виробництва ДП знайшла мідь, у 3D-друку преважують пасти на основі срібних і золотих наночастинок, що насамперед пов'язано з інертністю цих металів до кисню за нормальних умов. Наразі дуже невелика кількість виробників струмопровідних матеріалів створили рецептуру і

Таблиця 5. Характеристики струмопровідних матеріалів

Струмопровідний матеріал	Матеріал основи	Метод нанесення пасти	Обробка після нанесення	Питомий опір, $\times 10^{-8}$ Ом·м
Пасти				
Наночастинки срібла	Поліімід	Трафаретний друк	+250 °С	5.6
	Папір	Струменевий друк	Без обробки	3.66
	Поліетилентерефталат	Струменевий друк	Плазма	28
Наночастинки міді	Поліімід	Трафаретний друк	+240 °С	1.62
	Скло	Струменевий друк	+325 °С	1.72
Наночастинки золота	Поліімід	Струменевий друк	+140 °С	19.9
	Папір	Струменевий друк	ІЧ-випромінювач	0.5
Наночастинки нікелю	Поліімід	Аерозольне розпилення	УФ-випромінювач	7.8
	Поліімід	Центрифугування	УФ-випромінювач	76.3
Наночастинки сталі	Скло	Пошарове наплавлення	+1 010 °С	2.31
Графен	Поліімід	Струменевий друк	+250 °С	4×10^3
	Поліімід	Трафаретний друк	+300 °С	5.37×10^3
Метали				
Срібло	Поліімід, склотекстоліт	Вакуумне наплення + гальванічне осадження	Без обробки	1.6
Мідь				1.72
Золото				2.2
Нікель				8.7

Таблиця 6. Характеристики непровідних матеріалів

Матеріал (діелектрик)	Густина, г/см ³	Межа міцності, МПа	Модуль пружності, Па	Відносне подовження, %	Діелектрична постійна	Діелектрична міцність, МВ/м	Об'ємний опір, Ом·м
Поліпропілен	1.19	38	1.6	16	2.2	55	10 ¹⁵
АБС	1.09	26	2.2	2	2.6–2.86	13	від 4×10 ¹³ до 3.3×10 ¹⁴
Полікарбонат	1.17	52	2.6	6	2.5–3.1	23	від 5×10 ¹² до 10 ¹⁵
Поліарілефіркетон	1.32	90	4.2	2.8	3.2–3.4	24	10 ¹⁴

технологію виготовлення паст і чорнила на основі наночастинок міді. Але роботи в цьому напрямі продовжують вести.

З таблиці 5 видно, що отримані тривимірним друком провідні шари за опором не поступаються, а в деяких випадках і перевершують електричні показники провідників із чистих металів. Отримувані після спікання метали являють собою дрібнозернисті структури з прийнятними механічними властивостями, які за щільністю практично не поступаються листовим металам.

Непровідні матеріали, або діелектрики, що застосовуються в 3D-друку ДП, є класичними полімерами-пластмасами. Механічні та електричні характеристики основних полімерів, що використовуються сьогодні в цій технології, наведено в таблиці 6.

ПЕРСПЕКТИВИ 3D-ДРУКУ У ВИРОБНИЦТВІ ДРУКОВАНИХ ПЛАТ

Сьогодні технологію 3D-друку багатшарових ДП використовують переважно для створення макетних зразків, що дають змогу в лабораторних умовах перевірити правильність функціонування розроблюваного пристрою, а також для виготовлення прототипів електронних вузлів із помірними вимогами до електричних і експлуатаційних характеристик. Однак при створенні

термостійких полімерних матеріалів для 3D-друку, що володіють більш високими і стабільними діелектричними характеристиками, заданими оптичними властивостями, низькою гігроскопічністю, високою адгезією до теплопровідних керамік, анодованого алюмінію, міді або іншими необхідними властивостями, стане можливим виготовляти плати таких конструкцій (рис. 6), які не можуть бути реалізовані традиційними технологіями виробництва ДП.

До таких конструкцій належать плати із замкнутими порожнинами контрольованих геометричних розмірів і властивостей їхніх поверхонь. Наприклад, конструкція плати з хвилеводами НВЧ-діапазону (рис. 5а), які можуть бути надруковані не тільки прямолінійними, а й вигнутими, скрученими або мати змінний поперечний переріз.

Для реалізації таких плат, крім розв'язання питання отримання нових матеріалів зі стабільними діелектричною проникністю і тангенсом кута діелектричних втрат, також необхідно розв'язати питання розроблення спеціальних заходів зі зниження вібрацій, що виникають у процесі 3D-друку. У деяких джерелах наводиться залежність шорсткості бічної поверхні формованого елемента від вібрацій за різних швидкостей друку. Дослідження показали, що вібрації мають малий вплив на якість виробу під час друку в стандартних діапазонах швидкостей. Однак у разі пе-

ревищення швидкості друку більш ніж у півтора раза вібрації за віссю Z набувають істотного значення. Результати таких досліджень свідчать про те, що за необхідності підвищення продуктивності друку відсутність системи віброізоляції не дає змоги досягати потрібного мінімального зазору між струмопровідними елементами плати, а також впливає на шорсткість бічних граней елементів через зміщення шарів, що друкуються.

Великий інтерес викликає можливість поєднання 3D-друку з інтеграцією корпусних пасивних електронних компонентів (рис. 5б). Існують підтвердження припущення про те, що під час зупинки принтера в ручному режимі для встановлення, паяння, монтажу на клей радіоелектронних елементів (РЕ) можливе продовження друку без будь-яких наслідків, зокрема без погіршення якості електромеханічного з'єднання з контактами РЕ. У цих дослідженнях демонструється функціонуючий світлодіодний пристрій, у якому на окремо виготовлену оптично прозору полімерну основу встановлюють контактами догори діод типу 5050, а потім на тому самому принтері створюють провідники за допомогою провідної пасти Electrifi (Multi3D LLC, США).

Під час розроблення матеріалів, що дають змогу формувати пасивні компоненти (резистори, конденсатори, котушки індуктивності тощо) безпосередньо на шарах багатшарової друкованої плати, а також інтегрувати корпусовані компоненти без застосування операції паяння, можливе одержання друкованих вузлів того рівня надійності, що є прийнятним для виробів широкого вжитку.

У зв'язку з розвитком оптоелектронних технологій виникла необхідність досліджень і розробок у сфері конструкцій плат з оптичними міжз'єднаннями. Тривимірний друк може стати найбільш технологічним рішенням під час виготовлення багатшарових друкованих плат

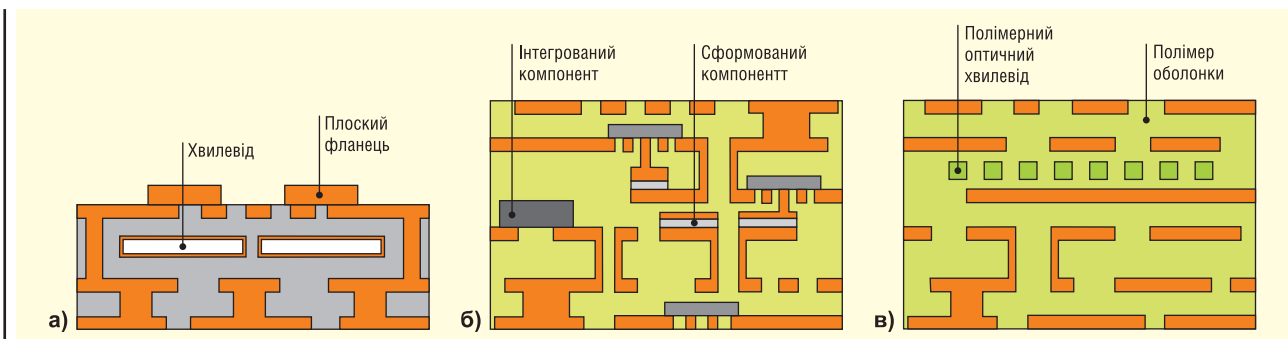


Рис. 6. Конструкції друкованих плат, доступні технології 3D-друку: ДП із хвилеводами НВЧ-діапазону (а); багатшарова ДП із вбудованими компонентами (б); оптоелектронна плата з полімерними оптичними хвилеводами (в)

із полімерними оптичними хвилеводами (рис. 5в): процес можна реалізувати як друк на полімерному шарі оболонки з коефіцієнтом заломлення n_1 оптично щільнішим полімером серцевини з коефіцієнтом заломлення n_2 ($n_1 < n_2$) з подальшим запечатуванням матеріалом оболонки і друком електричних шарів плати.

У даному випадку, крім мінімізації шорсткості бічних граней і підвищення точності взаємного розташування оптичних хвилеводів у площині XY (розмір квадратного перерізу серцевини від одиниць до десятків мікрметрів, крок 125 мкм), завдяки поліпшенню систем віброізоляції необхідно розробити оптично прозорі полімери із заданими коефіцієнтами заломлення на довжинах хвиль, характерних для функціонування приймачів-передавачів пристроїв (довжини хвиль 780, 850 або 980 нм).

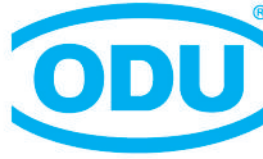
ВИСНОВОК

Отримувані вже сьогодні методами 3D-друку низькочастотні плати і пристрої відносяться до класу не ремонтпридатних виробів з обмеженою надійністю, що, однак, є некритичним для прототипів і товарів широкого вжитку, але неприйнятним для виробів спеціального призначення. Перспективи підвищення надійності в рамках цієї технології обмежені фізико-хімічними властивостями застосовуваних матеріалів, як-от температурна і хімічна деградація діелектриків, їхня крихкість, низька механічна міцність, недостатні для роботи на високих частотах значення діелектричних параметрів, а також високі контактні опори, нестабільність і погіршення електричних характеристик провідників у часі тощо. Реалізація широкого спектра потенційних можливостей тривимірного друку для виготовлення багат шарових основ електронних вузлів передбачає як серйозну науково-дослідну роботу з удосконалення обладнання для 3D-друку (об'єднання в одному принтері кількох методів друку двома-трьома матеріалами, поліпшення системи віброізоляції та ін.), так і розробку нових конструкційних матеріалів із заданими властивостями.

Хай там як, але сьогодні і в найближчій перспективі тривимірний друк навіть для підприємств з обмеженими обсягами виробництва друківаних плат може розглядатися тільки як доповнення до традиційних адитивних і субтрактивних технологічних процесів, але не як їхня повноцінна заміна.

RAINBOW

TECHNOLOGIES



A PERFECT ALLIANCE.

Наступне покоління рознімачів для модернізації військової техніки — рознімачі серії ODU AMC

Радіотелефонія та передача даних по радіоканалу

- Відмінне екранування
- Відмінні характеристики

3'єднання з каскою

- Мінімальні розміри / низькопрофільний рознімач

Прилади нічного бачення / дисплеї TFR

- Версія з підпружиненими контактами rого pin

Персональний комп'ютер

- Малий розмір
- Мала вага
- Можливе колірне кодування

Модуль навігації

- Версія з простим очищенням контактів

Обмін даними з автомобілем

- 3'єднання-роз'єднання під навантаженням

Блок управління, що носитья

- 3'єднання кабель-кабель

GPS антена

- Ковксіальні рознімачі розміру "0"
- Push-pull заскочка

www.odu.de

Rainbow Technologies

www.rainbow.com.ua

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

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

esp@rainbow.com.ua

Пікова та середня потужність: як вибрати джерело живлення правильно

Стів Робертс (Steve Roberts)

Доопрацювання: Володимир Рентюк

Одне з питань, що потребують вирішення на ранніх етапах, звучить приблизно так: яку концепцію електроживлення буде використано в проєкті? Потім, коли основні вузли (каскади) спроектовано і їхнє енергоспоживання відоме, необхідно зробити вибір конкретної реалізації системи електроживлення під раніше обрану концепцію. І тут розробник стикається з дилемою, який варіант джерела живлення вибрати: потужний і переплатити або більш доступний, але менший за потужністю, а значить, у разі чого виключає свободу для маневру. У цій статті компанії Rescom представлено аналіз ситуації та запропоновано рішення.

Нерідко під час вибору джерела живлення інженери сильно перестраховуються і обирають його з дворазовим запасом за потужністю — наприклад, за реального споживання в 5 Вт використовують дорожчий і габаритніший 10-Вт. Такий вибір обґрунтований певним коефіцієнтом безпеки, а не тільки резервом для додаткового навантажен-

ня або подальшого додавання функцій, зокрема, масштабування. Часто це робиться безпідставно, за принципом «у житті всяке буває і дуже часто» або «всі так роблять», особливо якщо раніше обпикався і на молоці, то починаєш дути і на воду. Якщо і резерв для додаткового навантаження, наприклад у разі масштабування системи, реальний, це,

безсумнівно, досить вагомий аргумент, однак такий підхід не завжди раціональний і ефективний.

Розглянемо для прикладу типовий графік залежності ККД від навантаження для 10-Вт модуля AC/DC-перетворювача RAC10-12SK/277 компанії Rescom [1], представлений на рисунку 1.

Залежність ККД у діапазоні навантажень понад 20% має вигляд плоскої кривої, однак за споживання 5 Вт ККД залежно від напруги на вході змінюється в межах 77–81% (рис. 1, помаранчева лінія). За 100%-го навантаження ККД становить 83% незалежно від напруги живлення (рис. 1, блакитна лінія). Різниця може здатися несуттєвою, проте економія 6% у втратах, які перейдуть у тепло, вже є значущою величиною. У разі заміни модуля RAC10-12SK/277, наприклад, на менший за габаритами та дешевший RAC05-12SK/277 потужністю 5 Вт [2], його ККД буде вже сталим, незалежно від вхідної напруги,

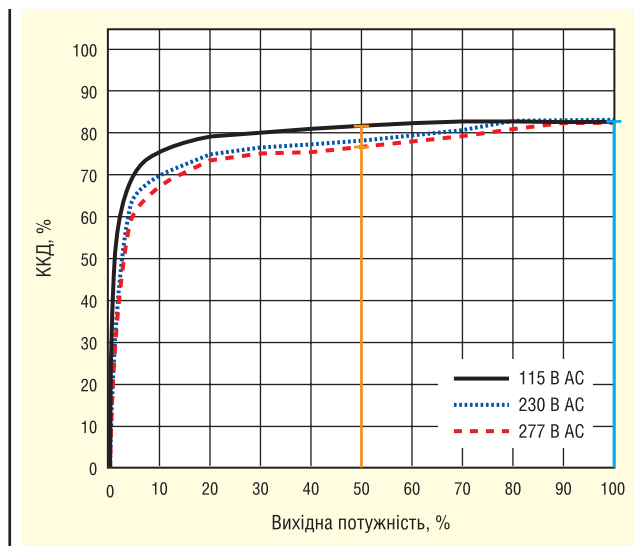


Рис. 1. Графік залежності ККД від навантаження для 10-Вт AC/DC-перетворювача RAC10-12SK/277 компанії Rescom

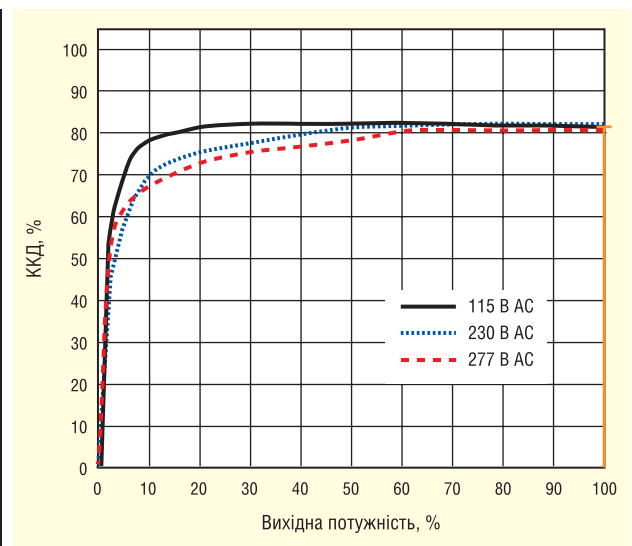


Рис. 2. Графік залежності ККД від навантаження для 5-Вт AC/DC-перетворювача RAC05-12SK/277 компанії Rescom

Пікове навантаження

Розрахунок пікового навантаження

$$P_r = \frac{P_{\text{ном}} \times (t_1 + t_2) - P_p \times t_1}{t_2}$$

$P_{\text{ном}}$ = будь ласка, зверніться до графіка зниження номінальних характеристик

$$P = 1.2 \times P_{\text{ном}}$$

$$t_1 \leq 30 \text{ с}$$

$$t_2 \geq 2 \times t_1$$

Практичний приклад:

$$P_r = \frac{5 \text{ Вт} \times (30 \text{ с} + 60 \text{ с}) - (6 \text{ Вт} \times 30 \text{ с})}{60 \text{ с}} = 4.5 \text{ Вт}$$

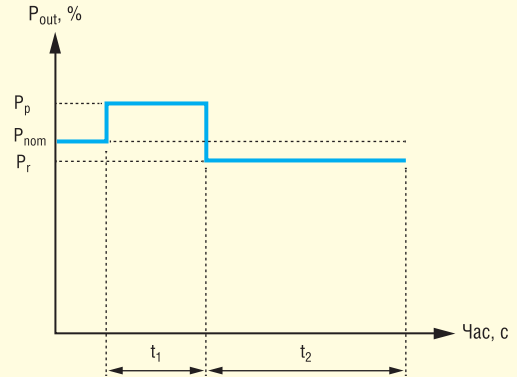
$P_{\text{ном}}$ = ном. вихідна потужність, Вт

P_p = пікова вихідна потужність, Вт

P_r = відновлена потужність, Вт

t_1 = тривалість пікового навантаження, с

t_2 = час відновлення, с

**Рис. 3. Розрахунок пікової потужності для 5-Вт AC/DC-перетворювача RAC05-12SK/277 компанії Recom**

оскільки ми перебуваємо в робочій точці 100%-вого навантаження (рис. 2).

Ще раз звернемо увагу, що габаритні розміри та вартість 5-Вт модуля RAC05-12SK/277 є значно меншими, а це призводить до додаткової економії, тобто ми маємо вигоду не лише від менших витрат, а й меншого виділення тепла.

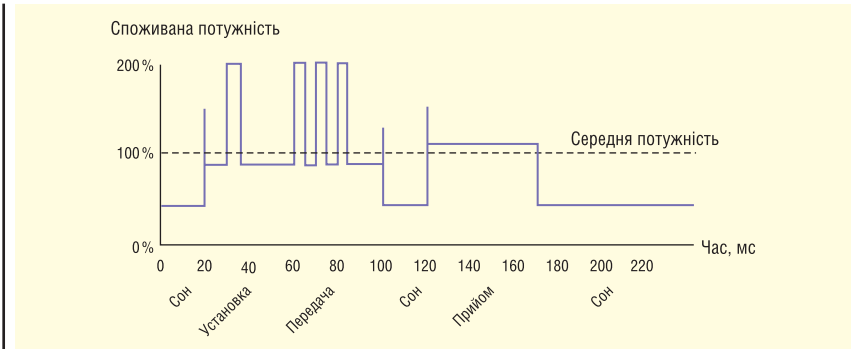
ПІКОВА ТА СЕРЕДНЯ ПОТУЖНІСТЬ

А що з приводу пікової потужності? Як джерело, що в найгіршому сценарії працює в режимі постійної споживаної потужності, впорається з короткочасними перевантаженнями?

Ключовою фразою є «найгірший сценарій» — під час нормальної роботи навантаження зазвичай менше. Навіть якщо конвертер функціонує за постійної великої потужності, він зможе витримати короткочасне перевантаження, оскільки конструктивно має запас на тепловиділення в режимі роботи з перевантаженням. Наприклад, документація RAC05-SK/277 дає розрахунок для визначення максимально допустимої потужності, представлений на рисунку 3 [2].

Важливим показником тут є P_p — пікова вихідна потужність. Для модуля RAC05-SK/277 номінальна становить 5 Вт, хоча він може видавати і 6 Вт без спрацьовування захисту від перевантаження. Для перевантаження менше 120% від номінального ключовим моментом є внутрішня температура компонентів модуля. Якщо давати перетворювачу достатній час для охолодження між перевантаженнями, він здатний без збоїв працювати в режимі багаторазових циклічних перевантажень, підтримуючи стабільну напругу на виході.

У разі короткочасних, але більш суттєвих перевищень потужності, для забезпечення вихідного струму і недопущення спрацьовування захисту від

**Рис. 4. Типовий профіль споживання при живленні датчика з бездротовим підключенням до мережі**

перевантаження можна встановити зовнішній конденсатор. Такий прийом доцільно використовувати для мікроконтролерних пристроїв із бездротовим під'єднанням, де піковий струм під час передавання досягає великих значень, проте середня споживана потужність залишається на значно нижчому рівні (рис. 4). У цьому разі модуль живлення обирають, виходячи із середньої, а не пікової потужності.

Вище ми розглядали тільки AC/DC-перетворювачі, але і для DC/DC-перетворювачів можна застосувати аналогічний підхід. Основна відмінність полягає лише в тому, що DC/DC-перетворювачі створені для тривалої роботи в діапазоні 80–100% від номінального навантаження, а їхній ККД за менших навантажень сильно знижується. Отже, робота на малих вихідних струмах зовсім не означає, що такий перетворювач менше гріється.

Як правило, тут узагалі слід уникати підходу з великим запасом за потужністю і використовувати, наприклад, 10-Вт DC/DC-перетворювач за 5-Вт навантаження, хоча іноді немає іншого способу забезпечити необхідний діапазон робочих температур, беручи до уваги деградацію вихідної потужності при зростанні температури (derating). Так, серія DC/DC-перетво-

рювачів RS12-Z [3] забезпечує 12 Вт у компактному корпусі SIP8 габаритами 21.8×12.8×9.6 мм. В умовах природної конвекції та за номінальної напруги живлення 24 В перетворювач RS12-Z забезпечує 100%-ву вихідну потужність до температури +75 °С, з її зниженням на 50% за +85 °С. Отже, зниження навантаження вдвічі спричинене лише додатковими +10 °С до температури навколишнього середовища, оскільки конвертер більше не працює в режимі максимального ККД (рис. 5). Слід зазначити, що 6-Вт модель у корпусі SIP8 забезпечує роботу в повному промисловому діапазоні температур -40...+85 °С без зниження вихідної потужності, що значно краще, ніж рішення конкурентів, де необхідно використовувати примусове охолодження, тобто вентилятор, з усіма супутніми проблемами.

ЗАХИСТ ВІД ПЕРЕВАНТАЖЕННЯ ЗА СТРУМОМ

Безліч бюджетних AC/DC- і DC/DC-перетворювачів оснащено найпростішим захистом від перевантаження за струмом, який ґрунтується на вимірюванні падіння на внутрішньому шунті (див. рис. 6).

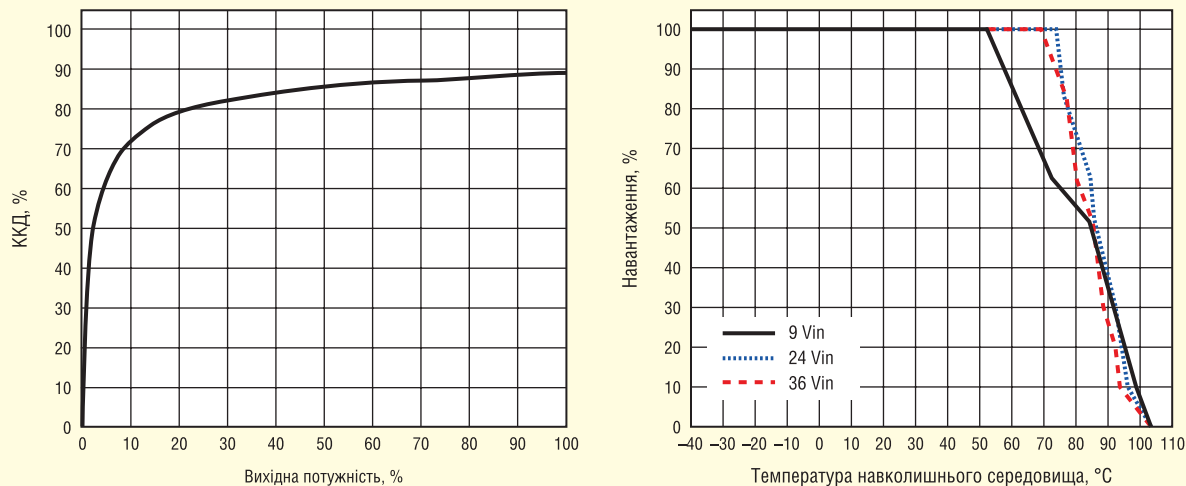


Рис. 5. Графік залежності ККД від навантаження для 5-Вт DC/DC-перетворювача RS12-2412SZ компанії Recom і графік зниження номінальної потужності залежно від температури

Ця схема захисту досить ефективна і просто реалізована, проте має широкую межу за спрацьовуванням через допуски шунтувального резистора і порогової напруги база-емітер V_{BE} спрацьовування $n-p-n$ -транзистора. Значення компонентів розраховуються на підтримання роботи за 100%-го навантаження і максимальної робочої температури. Однак це дає 140%-вий поріг вимкнення за кімнатної температури. Проте подібні конвертери надійно функціонують за повного навантаження і мають необхідний запас для роботи в режимі перевантаження.

Виятком тут стають імпульсні стабілізатори у вигляді незольованих DC/DC-перетворювачів, які зазвичай діють за значно більших частот перемикання. Мінімізація габаритних розмірів (а для понижувального перетворювача збільшення частоти зменшує як котушку індуктивності, так і вихідний

конденсатор) призводить до зменшення запасу в разі виникнення перевантаження. З цією метою шунт зазвичай вбудовується в основний кристал разом з керуючим імпульсним контролером і має більш жорсткі межі, що дає меншу зміну порогових значень струму. Крім того, у більшості імпульсних контролерів використовується моніторинг значення струму в кожному циклі перемикання за точним сигналом з компаратора, а не на основі неточного значення напруги переходу V_{BE} . В результаті при виникненні перевантаження або короткого замикання схема відключається практично миттєво. Виходячи з цього, імпульсні стабілізатори необхідно вибирати, враховуючи піковий, а не середній струм у навантаженні.

ВИСНОВОК

Орієнтир на пікове споживання і створення великого запасу під час вибору AC/DC- або DC/DC-перетворювача — це неефективний підхід, що може призвести до вибору надмірно потужного компонента, ніж реально необхідно. Беручи до уваги середнє навантаження і найгірший випадок пікового споживання, можна вибрати оптимальне рішення, що забезпечує стабільну напругу живлення за менших витрат. Однак якщо під час ухвалення рішення виникають сумніви, технічні фахівці компанії Recom [4] готові провести консультації та допомогти зробити оптимальний вибір для конкретного проекту. Слоган компанії Recom «We Power YourProducts» має два варіанти перекладу: «Ми живимо ваші продукти» і «Ми приводимо ваші продукти в дію». Обидва вони правильні.

Література:

1. RAC10-K/277 10 Watt 2"x1" Single and Dual Output, RECOMREV. 8/2020. www.recom-power.com/pdf/Powerline_AC-DC/RAC10-K_277.pdf
2. RAC05-K/277 5 Watt Single Output, RECOM REV. 4/2020. www.recom-power.com/pdf/Powerline_AC-DC/RAC05-K_277.pdf
3. RS12-Z 12 Watt SIP8 Single Output, RECOM REV. 1/2020. www.recom-power.com/pdf/Econoline/RS12.pdf
4. www.recom-power.com

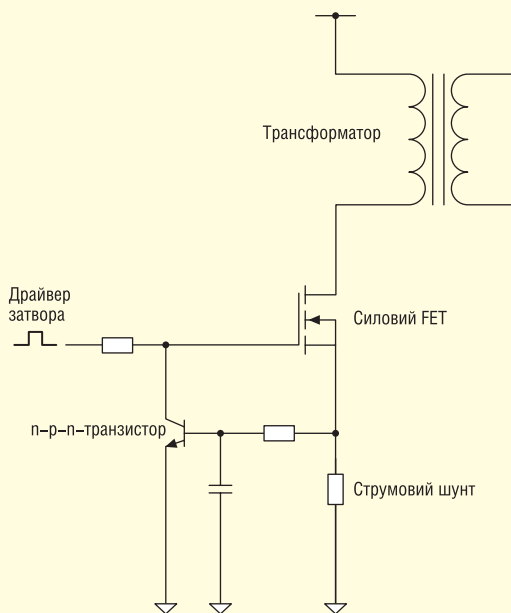


Рис. 6. Захист від перевантаження за струмом (у разі падіння понад 0.7 В $p-n-p$ -транзистор відкривається і, замикаючи затвор польового транзистора на загальний дріт, вимикає його)

MORNSUN®



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

IGBT Driver · LED Driver · EMC Auxiliary Device

MORNSUN®

MORE THAN RELIABILITY

Офіційні поставки в Україні від компанії «НВП ЄВРОКОМ КОМПОНЕНТС»



EUROCOM COMPONENTS

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

DC/DC-перетворювачі з широким діапазоном вхідної напруги для застосування у виробництві електроенергії

Жюльєн Сірап (Julien Sirard)
Сергій Дмитрієв

У статті розглядаються характеристики серії DC/DC-перетворювачів від компанії Aimtec, що мають широкий діапазон вхідної напруги та призначені для застосувань у фотовольтаїчних, вітроенергетичних та інших системах.

Щороку виробники сонячних модулів (систем ФВ) прагнуть створювати більш ефективні сонячні панелі, використовуючи нові технологічні рішення та матеріали. Хоча останніми роками вдалося підвищити ефективність фотовольтаїчних систем, існує ще простіший спосіб збільшити їхню ефективність — наприклад, використовувати DC/DC-перетворювачі серії AM10/15/40/45/200-NZ від Aimtec (рис. 1), що гарантують надзвичайно широкий діапазон вхідної напруги

(200–1500 В DC). Вони дають змогу підвищити ефективність на 1.5–2%, якщо порівняти з перетворювачами постійного струму 1 000 В, які наразі доступні на ринку. Крім того, перетворювачі фірми Aimtec допомагають спроектувати просту, дешеву і компактну систему з основних електричних компонентів, що беруть участь у процесі вироблення сонячної енергії. Створення такої системи можливе завдяки інноваційній конструкції та безперешкодній інтеграції з широким спектром виробів

компанії Aimtec. Використання таких рішень приносить вигоду виробникам, оскільки скорочується час, необхідний для запуску виробу в експлуатацію, знижуються витрати і підвищується продуктивність всієї системи.

ГЛОБАЛЬНІ ДІЇ НА ПІДТРИМКУ ВІДНОВЛЮВАНИХ ЕКОЛОГІЧНИХ ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГІЇ

У 2015 році після того, як пройшла конференція ООН зі зміни клімату, в Парижі було підписано угоду про скорочення глобальних викидів парникових газів. Ухвалення цієї угоди позитивно вплинуло на розвиток і збільшило популярність екологічних відновлюваних джерел енергії, таких як сонячні батареї та вітроенергетика. Велика суспільна підтримка відновлюваних екологічних джерел енергії, зниження виробничих витрат і нові технології, що підвищують ефективність, є факторами, що мають збільшити попит на фотовольтаїчні та вітроенергетичні системи.

Використання нових перетворювачів сприяє збільшенню продуктивності. Наразі фотовольтаїчні системи розробляють на основі моделі з використанням вхідної напруги 1 000 В DC — це на 33% нижча, ніж напруга 1 500 В DC, підтримувана новими технічними рішеннями фірми Aimtec. Згідно з розрахунками фірми GTM, системи з вищою напругою підвищують ефективність на 1.5–2%. У зв'язку з цими висновками ситуація прояснилася: наступним кроком у розвитку фотовольтаїчних систем має стати заміна внутрішніх компонентів



Рис. 1. DC/DC-перетворювачі від компанії Aimtec: AM10W-60005S-NZ-ST (а); AM15W-80024S-NZ (б); AM40W-80024S-NZ-ST (в)

тів пристроїв, що входять до складу цих високотехнологічних систем.

DC/DC-ПЕРЕТВОРЮВАЧІ СЕРІЇ AM10/15/40-800XXS-NZ

Перетворювачі DC/DC із серії AM10/15/40-800xxS-NZ є унікальними виробами на ринку, доступними тільки у деяких постачальників. Вони пропонують діапазон вхідної напруги 200–1500 В DC, ізоляцію 4000 В AC і вбудовані комплексні захисні функції, які можуть бути корисними в різних фотовольтаїчних системах та інших галузях застосування, що потребують стабільного і надійного джерела живлення (наприклад, у вітрових турбінах). Характеристики серії перетворювачів постійного струму Aimtec відрізняють їх від інших пристроїв цього типу:

- Унікальний, дуже широкий діапазон вхідної напруги: 200–1500 В DC.
- Стандартна вихідна напруга: 5/12/15/24 В.
- Можливість використання при створенні невеликих і більш компактних виробів (інвертор, системи моніторингу).

- Численні види захисту:
 - захист від зниженої напруги на вході;
 - захист від зворотної полярності;
 - захист від перевантаження за струмом на виході;
 - захист від короткого замикання;
 - захист від перенапруги.
- Висока надійність у складних умовах навколишнього середовища.
- Промисловий діапазон робочих температур: –40...+70 °С.
- Висока продуктивність, низький рівень вібрації та шуму.
- Сертифікація EN62109, очікується сертифікація UL508.
- Монтаж друкованих плат PCB, можливість монтажу на DIN-рейці.

DC/DC-перетворювач дозволяє силовому модулю в матриці сонячних панелей приймати вихідну напругу, що перевищує 1000 В. Це має ключове значення, оскільки вихідна напруга змінюється залежно від інтенсивності сонячного світла. Надмірно висока вихідна напруга протягом тривалого часу може призвести до втрати стабільності робочої напруги, несправностей кабелю та коротких замикань, що, своєю чергою, здатне

спричинити збій живлення всієї системи. Схеми перетворювача ґрунтуються на топології flyback, завдяки вдосконаленій і надійній системі керування PWM. У ній також передбачено два високовольних транзистори, з'єднаних послідовно, і силову ізоляцію. Високовольтна пускова система побудована за допомогою запатентованої пускової технології фірми Aimtec і оснащена низкою вбудованих засобів захисту.

ПРОСТЕ ЗАСТОСУВАННЯ У ФОТОВОЛЬТАІЧНІЙ СИСТЕМІ

Живлення пристрою моніторингу з'єднувального блоку у фотовольтаїчній установці

Для цього типового пристрою, що виконує моніторинг з'єднувального блоку в обладнанні сонячної панелі, широкий діапазон вхідної напруги перетворювача постійного струму та ізоляція 4000 В AC спрощують процес перетворення потужності з матриці панелі на напругу 24 В DC, яка потрібна для пристрою моніторингу. DC/DC-перетворювач AM1DS-0505SH30-NZ живить датчик Холла і забезпечує



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

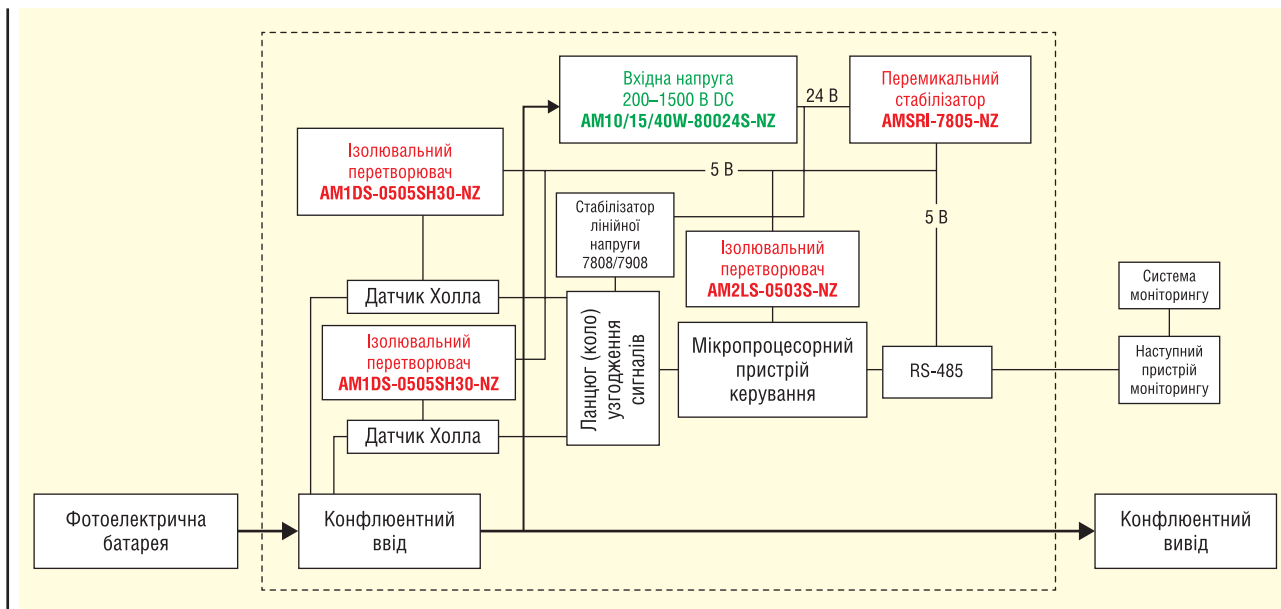


Рис. 2. Живлення пристрою моніторингу з'єднувального блоку

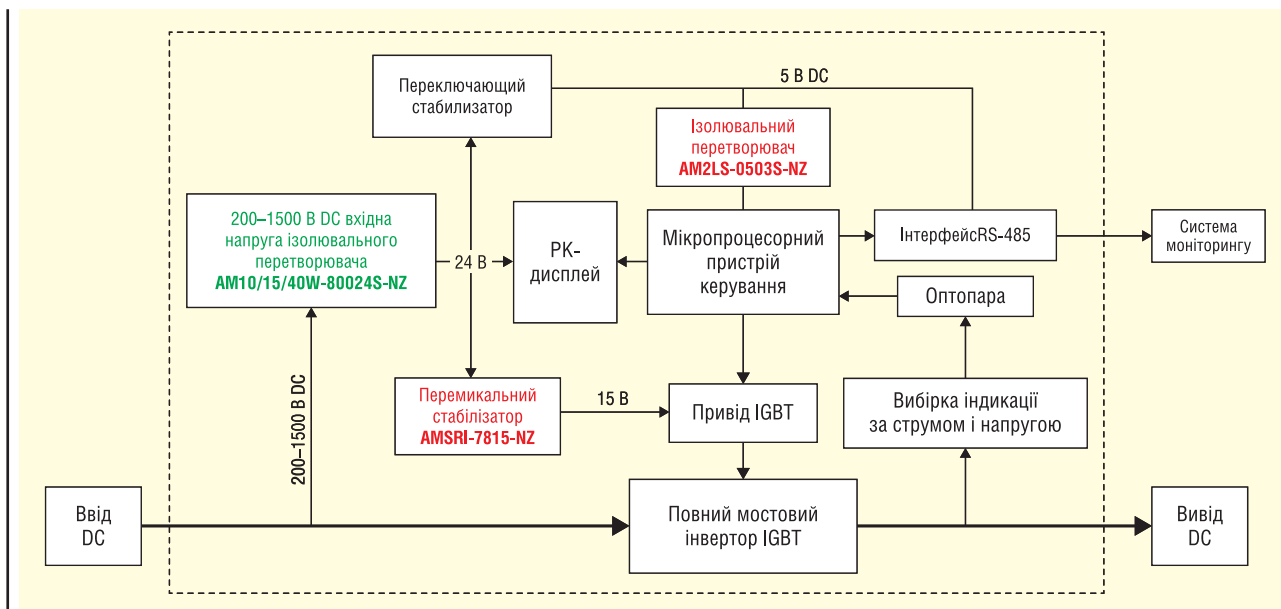


Рис. 3. Живлення пристрою моніторингу інвертора

ізоляцію високої напруги від низької. Перетворювач AM2LS-0503S-NZ створює ізольовану напругу 3.3 В для мікроконтролера. І нарешті, приймач RS-485 підтримує ізольовану послідовну передачу та живлення, що зменшує електромагнітні завади та запобігає завадам, які виходять від контуру заземлення. Це рішення є функціональним і гарантує безпеку на найвищому рівні (рис. 2).

Живлення пристрою моніторингу інвертора у фотовольтаїчній установці

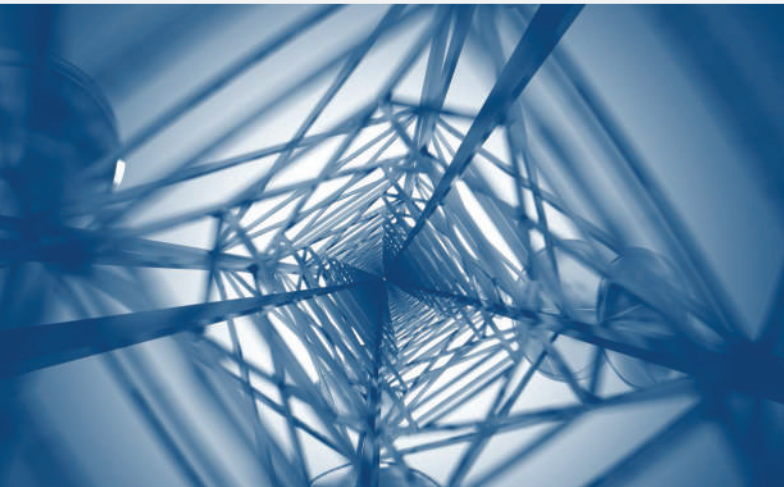
З'єднувальний блок збирає струм, що надходить з матриць сонячних ба-

тарей, який потім проходить через електричну шафу постійного струму і перетворюється на змінний струм в інверторі. Цей процес має контролюватися для забезпечення відповідності напруги чинним вимогам. На схемі, наведеній на рисунку 3, видно, що пристрій AM10/15.40W-800-NZ отримує струм від високовольтної шини і зменшує напругу до 24 В DC. Потім перетворювачі AMSRI-7805-NZ і перетворювачі AMSRI-7815-NZ постачають з дуже високою ефективністю струм відповідної напруги для наступної системи. Перетворювач AM2LS-0503S-NZ подає ізольований постійний струм на мікроконтролер (рис. 3).

Перетворювачі Aimtec серії AM10/15/40-800xxS-NZ пропонують найширший у галузі діапазон вхідної напруги: 200–1500 В DC. Вони доповнюються повним асортиментом продукції, що дає змогу підвищити ефективність фотовольтаїчних установок на 2%. Ба більше, найкращий у своєму класі захист гарантує безпечну та надійну роботу обладнання. Вироби Aimtec відомі в усьому світі винятковою продуктивністю і надійністю.

Рішення компанії Aimtec для фотовольтаїчних установок надає замовникам величезні переваги, спрощуючи їхні проекти, знижуючи витрати і підвищуючи загальну ефективність систем. **CN**

AMPLEON



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

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



MASTEK

Авторизований дистриб'ютор
Ampleon в Україні

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

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

Високовольтні керамічні конденсатори компанії Murata

Олександр Корабльов

У статті розглянуто високовольтні керамічні конденсатори з максимально допустимою робочою напругою понад 1000 В компанії Murata. Наведено короткі відомості про дискові та чип-конденсатори.

Важко знайти застосування, в яких не використовуються керамічні конденсатори. Іноді в низьковольтних схемах конкуренцію їм можуть скласти танталові конденсатори — буває, що вони навіть виграють «битву» за рахунок відсутності залежності ємності від температури та напруги заряду. Однак коли йдеться про високовольтні схеми з робочою напругою 1000 В і вище, керамічні конденсатори завдяки своїм відмінним частотним характеристикам і здатності пропускати значні пульсуючі струми залишаються поза конкуренцією.

Як приклад використання високовольтних керамічних конденсаторів можна навести схему інвертора, пока-

зану на рисунку 1. У цьому прикладі керамічний конденсатор С1, увімкнений паралельно згладжувальному електролітичному конденсатору, призначений для фільтрації імпульсів напруги тривалістю кілька десятків наносекунд (голок), що виникають під час комутації силових ключів. Електролітичний конденсатор через ці не цілком придатні характеристики на низьких частотах не можна використовувати для цих цілей.

Крім того, високовольтні керамічні конденсатори знаходять широке застосування в снабберних колах і активних обмежувачах напруги (active clamp) високовольтних перетворювачів. Зауважимо, що спосіб обмеження коротких

імпульсів напруги керамічними конденсаторами принципово відрізняється від такого у варисторах і газових розрядниках. Останні в разі перевищення напругою заданого порогового рівня замикають коло, що захищається, накопичують заряд, що призводить до протікання через них значного струму. Такий спосіб доречний у разі коротких неповторюваних імпульсів, але в разі силових перетворювачів з робочою частотою від декількох кілогерц до десятків кілогерц він неприйнятний, оскільки призведе до перегріву обмежувачів і збоїв у роботі перетворювача.

Вибір високовольтних керамічних конденсатів у продуктивній лінійці компанії Murata досить широкий. До неї входять дискові конденсатори для монтажу в отвори з номінальною напругою до 15 кВ і чип-конденсатори для поверхневого монтажу з номінальною напругою до 3.15 кВ.

Перед тим як перейти до розгляду конкретних типів конденсаторів, зазначимо деякі особливості їхніх параметрів. Під час вибору номінальної напруги конденсатора слід враховувати, що виробник зазначає напругу V_{P-P} (від піку до піку), як це показано на рисунку 2. Отже, необхідно враховувати амплітуду можливих сплесків напруги, що виникають під час перехідних процесів.

Максимально допустима напруга залежить і від частоти. На рисунку 3 як приклад показано цю залежність для конденсаторів сімейства DEA з номінальною напругою 2 кВ. Оскільки частотну залежність наведено для синусоїдальної напруги, за прямокутної форми напруги, яка часто спостерігається в силових перетворювачах, можливо, доведеться враховувати третю гармоніку.

Гармоніки високої частоти можуть спричинити додаткові втрати в діелектрику, і тому бажано, щоб робоча напруга конденсатора була такою, за якої температура його корпусу за темпера-

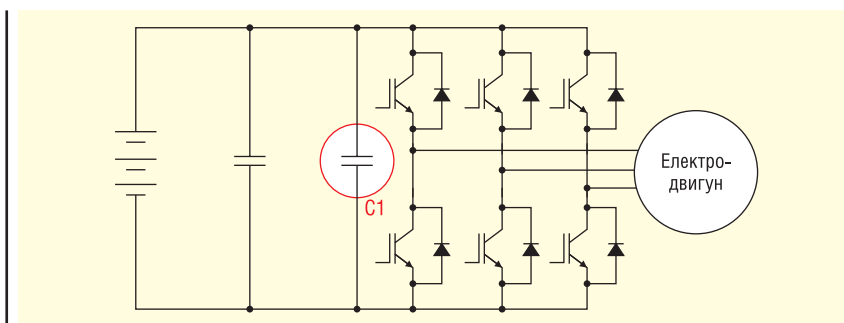


Рис. 1. Високовольтний керамічний конденсатор С1 у схемі інвертора

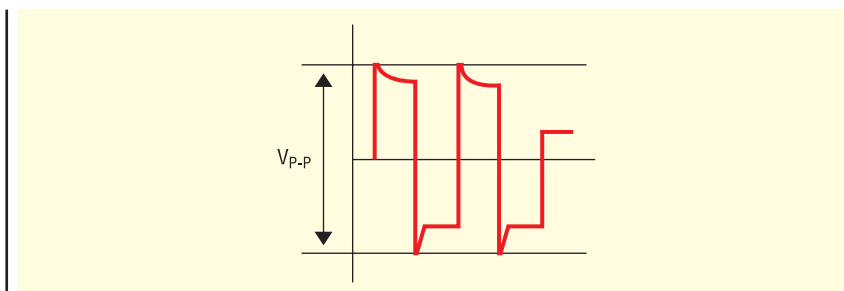


Рис. 2. Напруга V_{P-P} (пік-пік)

Таблиця 1. Основні параметри дискових високовольтних конденсаторів

Сімейство конденсаторів	Напруга макс., кВ	Ємність (ном.), пФ	Відхилення від номінальної ємності	Розміри без урахування виводів, мм	
				діаметр диска	товщина диска
DEA	2	10–560	±5%	4.5–15	5,6
	3.15	27–390	±5%	6–16	6
DEB	2	100–10000	±10%, +80/–20%	4.5–15	5,6
	3.15	1000–10000	+80/–20%	6–16	6
DEC	6.3	10–2200	±5%, ±10%	7–15	7
DEH	2	150–4700	±10%	6–21	5,6
	3.15	150–2700	±10%	6–19	6
DHR	10	100–1000	±20%	8–15	7
	12	100–1000	±20%	8–16	7.5; 7.7
	15	100–1000	±20%	8–18	8.2; 8.5

Таблиця 2. Основні параметри високовольтних чип-конденсаторів

Сімейство конденсаторів	Напруга (макс.), кВ	Ємність (ном.), пФ	Відхилення від номінальної ємності	Довжина x ширина x товщина, мм
GRM	1000	820–6800	±5%	3.2×1.6×1.8; 3.2×2.5×1.25; 3.2×2.5×2.0; 4.5×3.2×1.5; 5.7×5.0×1.0
	2000	1850–220	±5%	3.2×2.5×1.25
	3150	10–100	±5%	4.5×2.0×1.0
GRJ	1000	470–68000	±10%	3.2×2.5×1.0; 3.2×2.5×1.5; 3.2×2.5×2.0; 4.5×3.2×2.0; 5.7×5.0×2.0
GR4	2000	100–10000	±10%	4.5×2.0×1.5; 4.5×3.2×1.5; 5.7×5.0×2.0
KRM	1000	68000–100000	±10%	6.1×5.3×3.0

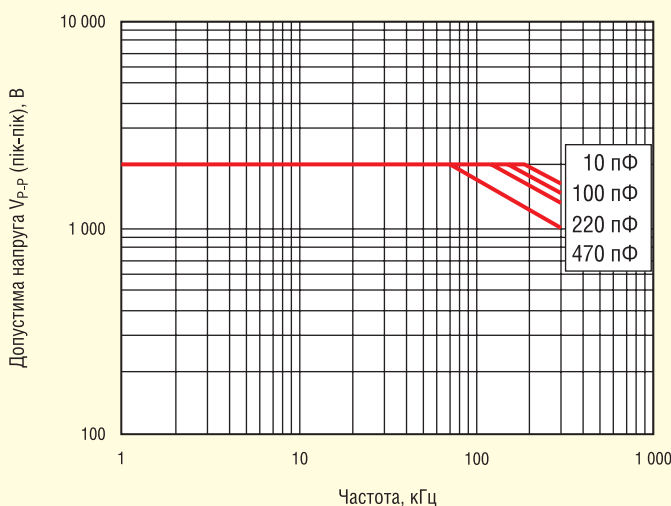


Рис. 3. Залежність максимально допустимої напруги від частоти

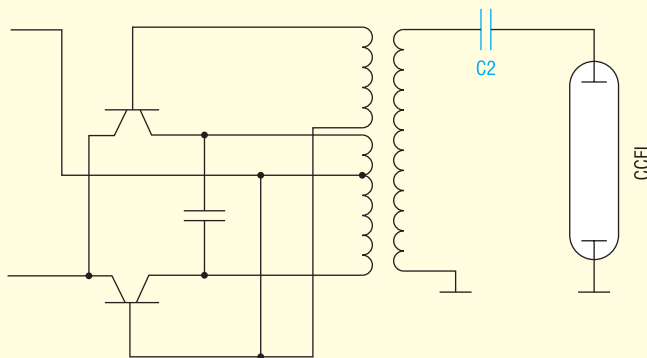


Рис. 4. Мультивібратор Роера

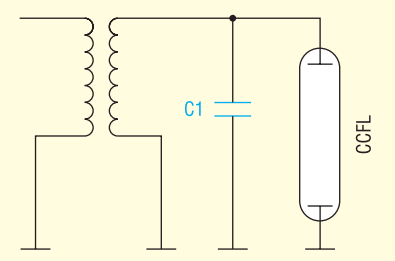


Рис. 5. Резонансна схема

Розглянемо спочатку дискові конденсатори, які представлені п'ятьма такими сімействами: DEA; DEB; DEC; DEH; DHR.

У конденсаторах DEA використовуються діелектрик 1-го класу з невисокою діелектричною проникністю. У конденсаторів із цим діелектриком — відносно мала ємність, але вища стабільність: величина ємності мало залежить від температури і прикладеної напруги. Конденсатори інших сімейств виготовляються з використанням діелектрика 2-го класу. У таблиці 1 наведено основні параметри високовольтних дискових конденсаторів.

Асортимент високовольтних чип-конденсаторів складається з трьох сімейств: GRM; GRJ; GR4; KRM.

У таблиці 2 наведено основні параметри конденсаторів цих сімейств. Зауважимо, що конденсатори сімейства GRM випускають для схем генерації високовольтних коливань, зокрема для блоків підсвічування екранів. Приклади їхнього використання для керування люмінесцентними лампами з холодним катодом CCFL наведено на рисунках 4–5.

тури доквілля 25 °C не перевищувала 45 °C. Якщо конденсатор експлуатується за максимально допустимої напруги,

то температура корпусу не повинна перевищувати температуру доквілля більш ніж на 5 °C.

Новий універсальний підхід до захисту пристроїв в мережах змінного струму

Адаптований переклад українською та технічне редагування:

Андрій Мовчанюк, к.т.н., доцент кафедри ПРЕ, РТФ, КПІ ім. Ігоря Сікорського

Грозові розряди та перебої в електромережі змінного струму можуть мати негативний вплив на широкий спектр електронного обладнання. Пошкодження, спричинені перенапругою та перевантаженням струмом можуть призвести до тривалих простоїв і витрат на ремонт, а також до зниження довіри клієнтів до виробника. Необхідний новий підхід до захисту вхідних кіл пристроїв, що живляться від мережі змінного струму, який дає розробникам можливість інтегрувати надійну схему захисту. Використання цього типу захисту забезпечує мінімальний вплив під час нормальної роботи пристрою, що може зменшити деградацію компонентів з часом і продовжити термін служби обладнання.

Розглянемо методологію, в якій використовується нові гібридні захисні пристрої, для скоординованого захисту кіл. У статті описуються спеціальні функції в новому універсальному рішенні для захисту живлення змінного струму, а також результати лабораторних випро-

бувань Bourns з моделювання впливу викидів в електромережі та під час розрядів блискавок. Ми наведемо кілька прикладів рішень, у яких забезпечується новий рівень захисту, що дає змогу максимально підвищити надійність і скоротити час простою.

Аналіз захисту кола змінного струму з використанням металооксидних варисторів (MOV) діаметром 14 і 20 мм засвідчив, що повного захисту мережі можна досягти завдяки такій комбінації групи захисних компонентів, коли кожен із них захищає компоненти, які розташовані поблизу (див. рис. 1).

ВИМОГИ ДО ФУНКЦІЙ УНІВЕРСАЛЬНОГО ЗАХИСТУ ЗМІННОГО СТРУМУ

На теперішній час відсутнє універсальне рішення для реалізації захисту від перенапруги та перевантаження струмом. Наявність такого рішення з максимально повним захистом від перенапруги, незалежно від величини стрибків вхідної напруги, дало б змогу пом'якшити вимоги до розрахункових допусків, а також зменшити вартість компонентів наступних ланок. В ідеалі, схема захисту для забезпечення неперервної роботи, вимагає автоматичного скидання в кожному напівперіоді. Для універсального захисту джерела живлення по входу, захисний пристрій має обмежувати потужність, що розсіюється, для запобігання займання в разі відмови або пошкодження компонентів.

Відповідно до цих вимог компанія Bourns розробила новий гібридний захисний пристрій IsoMOV. Це рішення базується на SMD-запобіжниках SinglFuse від Bourns, високошвидкісних захисних (HSP) пристроях TBU і компонентах тиристорного пристрою захисту від перенапруги (TISP). Такий комплексний підхід забезпечує захист обладнання від викидів та стрибків напруги при живленні від мережі змінного струму, та підходить для захисту критично важливого обладнання, де неприпустима відмова або ускладне-

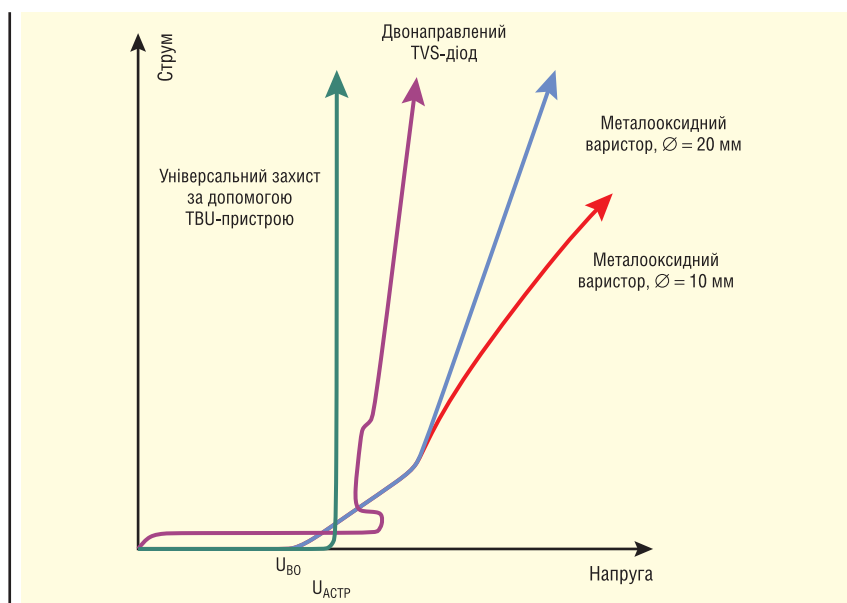


Рис. 1. Вольт-амперні характеристики компонентів універсального захисту за змінним струмом і варисторів

не обслуговування. Схема захисту, в якій застосовується рішення IsoMOV від Bourns, дає змогу підвищити надійність, збільшити час безвідмовної роботи та строк гарантійного обслуговування, а також зменшити витрати протягом життєвого циклу.

ПРИНЦИП РОБОТИ СХЕМИ ЗАХИСТУ

На рисунку 2 показана схема захисту. Мережне живлення підключається до лівого порту, а обладнання, що захищається підключається до правого порту. Давайте розглянемо роботу схеми в напрямку з права наліво, починаючи з TISP-пристрою.

TISP-пристрій є тиристором, який спрацьовує, якщо напруга на навантаженні перевищує його номінальну напругу пробою. Вибираючи TISP-пристрій важливо враховувати, що його напруга пробою відіграє ключову роль у запобіганні пошкодженням, що виникають внаслідок занадто високої напруги в захищуваному колі. Напруга пробою дозволяє точно підібрати максимальну напругу, необхідну для захисту конкретного кола. Далі розглянемо робочі режими універсальної схеми захисту живлення на змінному струмі.

1. Якщо стрибок напруги викличе спрацьовування TISP-пристрою, закоротиться лінія мережі змінного струму. Надмірний струм, що споживається, переведе високошвидкісний захисний пристрій TBU від Bourns у стан блокування. Під час блокування цим пристроєм надмірного струму навантаження, TISP-пристрій відключається від лінії змінного струму, щоб уникнути пошкодження.
2. Під час блокування струму високошвидкісним захисним TBU-пристроєм вхідна напруга продовжує зростати, поки не спрацює гібридний захисний пристрій IsoMOV від Bourns і не обмежить напругу нижче максимальної номінальної напруги блокування HSP TBU-пристрою.
3. Якщо напруга продовжить зростати, поки струм через пристрій IsoMOV не перевищить номінальне значення стрибка напруги пристрою, пристрій SinglFuse від Bourns розімкнеться і незворотно відключить коло від лінії змінного струму.

Якщо навантаження продовжує споживати струм, що перевищує струм спрацьовування HSP TBU-пристрою, він (пристрій) перейде в стан блокування, і

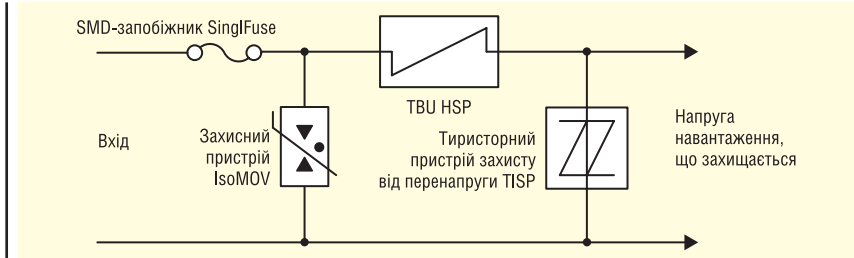


Рис. 2. Схема універсального захисту навантаження в колі змінного струму

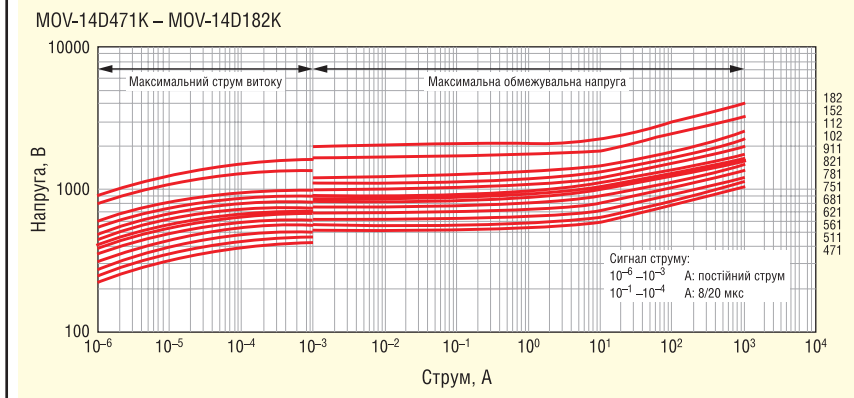


Рис. 3. ВАХ варистора MOV-14D471K

схема повернеться в попередній робочий режим (кроки 2 і 3). Коли вхідна змінна напруга набуває нульового значення, схема повертається у висхідний стан і може або відновити нормальну роботу (що зазвичай відбувається у випадках появи перенапруги, спричиненої розрядом блискавки), або знову вимкнеться в наступному напівперіоді (зазвичай у випадках стрибків напруги).

Під час розроблення подібної схеми захисту для мережі напругою 220 В необхідно врахувати низку додаткових обмежень. Як відомо, напруга обмеження варистора істотно залежить від струму. Ця залежність зберігається і у гібридних пристроях IsoMOV від компанії Bourns. Схемотехнічний підхід, представлений на рисунку 2, має бути трохи видозмінений.

Для захисту пристроїв від перенапруги, що живляться від мережі з номі-

нальною напругою 220 В, застосовують варистори або гібриди IsoMOV з робочою напругою 275-300 В. Під час проходження тестів, згідно зі стандартом IEC61000-4-5, в мережу подається імпульс 4 кВ через опір 2 Ом, що забезпечує струм величиною 2 кА (форма імпульсу: 8/20 мкс). Найкращий варистор IsoMOV за такого рівня струму обмежить напругу на рівні 850-900 В, що може виявитися критичним для застосування TBU з максимальною імпульсною напругою 850 В (див. ВАХ варистора MOV-14D471K на рисунку 3). Необхідно замінити тиристор у вихідному каскаді з шунтувальною характеристикою на обмежувальний TVS-діод 430-450 В, наприклад у корпусі SMCJ, завдяки чому напруга обмежиться рівнем 700 В (макс.).

Якщо залишити тиристор у вихідному каскаді, то тоді під час його спра-



Рис. 4. Часова діаграма роботи універсального захисту під час стрибків напруги в мережі змінного струму

цьовування вся напруга прикладеться до TBU, і він може вийти з ладу. Отже, у вихідному каскаді потрібно використати обмежувальний (TVS-діод, варистор), а не тиристор.

На рисунку 4 показано реакцію схеми на стрибок напруги в мережі змінного струму. TISP-пристрій спрацьовує за напруги близько 220 В. Це типове значення, вибране для мереж електроживлення з номінальною напругою 120 В АС. Напруга викиду задається рівною 200 В АС. Вхідна і вихідна напруги відстежуються, поки не спрацює TISP-пристрій, після чого напруга на навантаженні падає до нуля в решті частини кожного напівперіоду. Далі ми побачимо, що протестовані нами імпульсні джерела живлення (SMPS), оснащені таким захистом, продовжували працювати за цих стрибків напруги.

На рисунку 5 показано реакцію схеми на змодельований згідно з IEC 61000-4-5 імпульс розряду блискавки величиною 6000 В з тривалістю 8×20 мкс. Такі викиди тривають близько 50 мкс. Тривалість перехідних процесів під час комутації та інших імпульсоподібних завад в електромережах, як правило, менша. Зауважимо, що ці тести не проводилися безпосередньо в мережі змінного струму. На практиці TBU-пристрої, які перейшли в стан блокування через розряд блискавки або внаслідок іншого перехідного процесу, залишаються в цьому стані доти, доки напруга лінії не прийме наступне нульове значення.

З осцилограми на рисунку 4 видно, що вхідна напруга обмежена пристроєм IsoMOV від Bourns величиною близько 400 В. Генератор формує струм за допомогою конденсатора, зарядженого до 6000 В. Отже, напруга становить $6000 \text{ В} - 400 \text{ В} = 5600 \text{ В}$. Оскільки характеристичний імпеданс генератора дорівнює 2 Ом, розрахунковий піковий струм дорівнює 2800 А.

На рисунку 6 показано осцилограму того самого сигналу, що й на рисунку 5, але в часовому масштабі 1 мкс/дел, що відповідає 10-кратному збільшенню зображення перехідного процесу, який виник унаслідок розряду блискавки. Вигляд сигналу в каналі 4 показує реакцію TISP-пристрою на перенапруження. У цих вимірах явно присутній брязкіт. Брязкіт у каналі 1, головним чином, викликаний перемиканням генератора імпульсів, що взаємодіє з висковольтним пробником. Зауважимо, що в каналі 4 (напруга на навантаженні) дзвін (бряз-

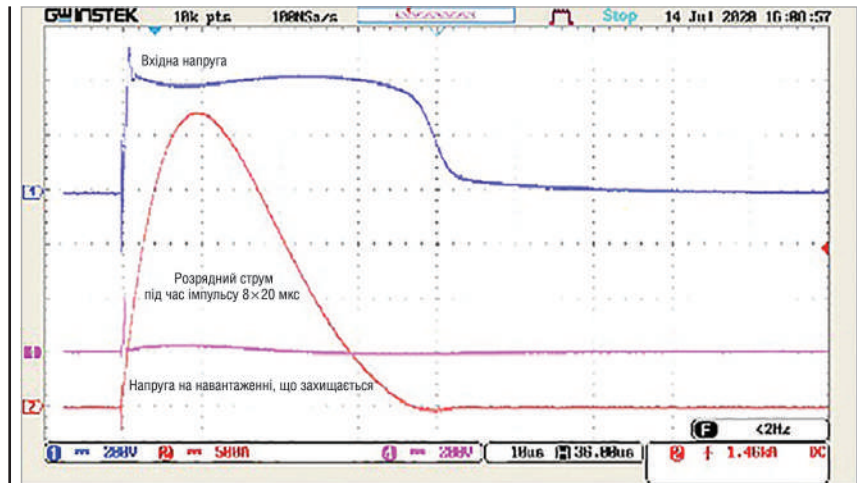


Рис. 5. Реакція схеми на перехідний процес під час розряду блискавки; напруга — 6 кВ; тривалість за різними рівнями — 8×20 мкс

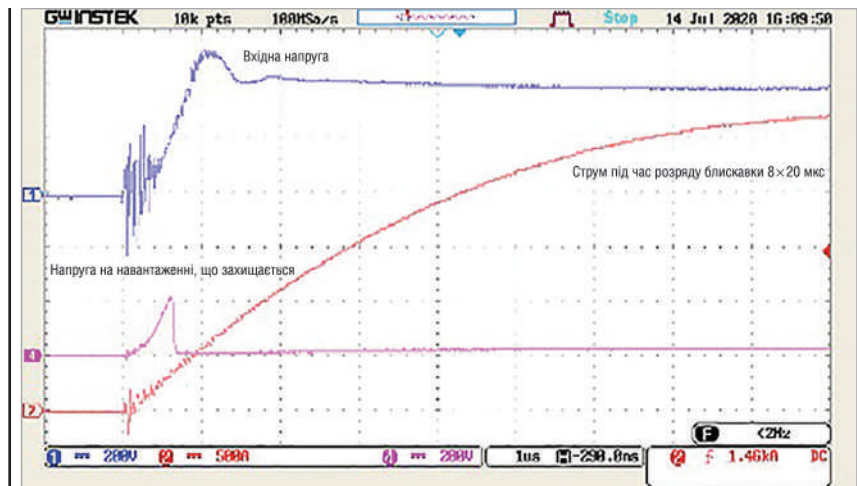


Рис. 6. Повніше представлення осцилограми перехідного процесу в схемі внаслідок розряду блискавки 6 кВ, 8×20 мкс

кіт) не спостерігається. Крім того, деякий брязкіт у каналі 1 є результатом впливу перехідних процесів у трансформаторі лабораторного джерела живлення, що імітував мережу, в момент, коли TBU-пристрій раптово перемикається в стан блокування.

З цього тесту можна зробити висновок, що в разі досить-таки сильного розряду блискавки пікова напруга на навантаженні, становить лише близько 230 В.

ПРИКЛАД ЗАСТОСУВАННЯ: ЗАХИСТ ВІД ВИКИДІВ НАПРУГИ В СИСТЕМІ ВУЛИЧНОГО ОСВІТЛЕННЯ

Вуличний світлодіодний світильник з потужністю 150 Вт живиться від імпульсного стабілізатора напруги з можливістю регулювання яскравості з середньою потужністю 50 Вт.

На рисунку 7 наведено осцилограми напруги і струму при під'єднанні до електромережі 120 В АС. Струм споживання світильника має майже синусоїдальну форму; при цьому потужність, яку він споживає між нульовими точками струму і напруги, невелика. Навантаження мале і має ємнісний характер. Пікове споживання струму становить приблизно 600 мА.

На рисунку 8 показано світильник за тієї самої потужності і напруги живлення 277 В АС. У світильник встановлено схему захисту (з використанням того ж 220-В TISP-пристрою). Бачимо, що живлення світильника припиняється за напруги близько 210 В. Під час тестування пристрою в лабораторії Bourns спостерігався невеликий дзвін (брязкіт) у лінії змінного струму — так відреагувала індуктивність лабораторного силового трансформатора на раптове блокування струму TBU-пристроєм.

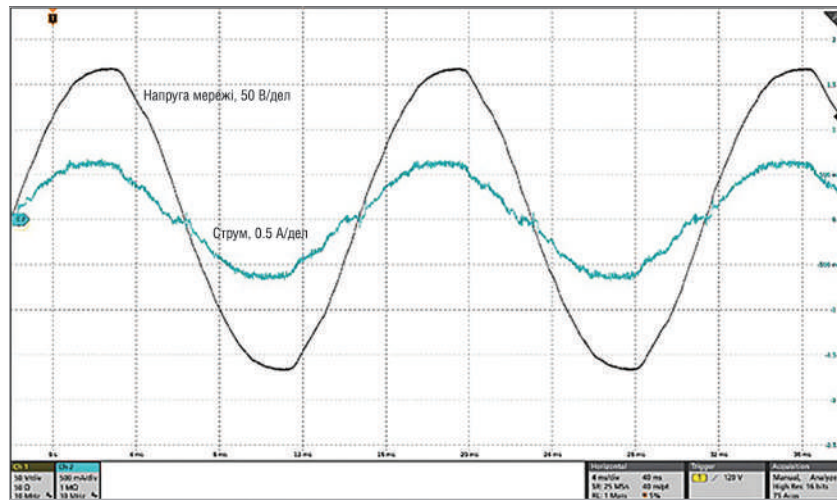


Рис. 7. Напруга і сила струму вуличного світильника за потужності 50 Вт в електромережі 120 В АС

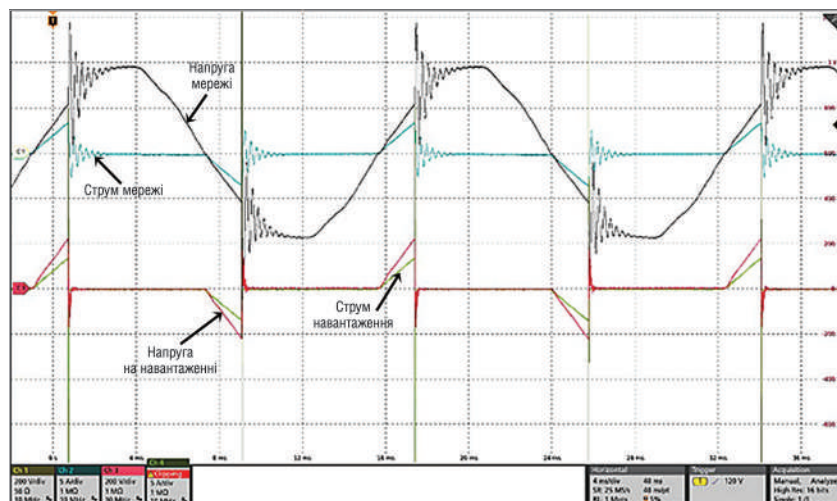


Рис. 8. Осцилограми напруги і струму 64-Вт комп'ютерного блока живлення за навантаження 43 Вт в електромережі 120 В АС

Зауважимо, що світильник споживав великі струми (до 3 А) до спрацювання TISP-пристрою. У точці його спрацювання на кожному піку кожного напівперіоду світильник споживав близько 600 Вт! Вище згадувалося, що в нормальному режимі роботи піковий струм споживання світильника становив близько 600 мА, а форма сигналу була близька до синусоїдальної. У цьому тесті викиди напруги не вплинули на світло-віддачу освітлювального приладу.

ПРИКЛАД ЗАСТОСУВАННЯ: КОМП'ЮТЕРНИЙ БЛОК ЖИВЛЕННЯ

Стандартний блок живлення ноутбуків з вихідною потужністю 64 Вт за вхідної напруги 90–240 В АС працює з активним навантаженням, що споживає потужність 43 Вт.

На рисунку 9 показано сигнали напруги і струму при живленні від мережі

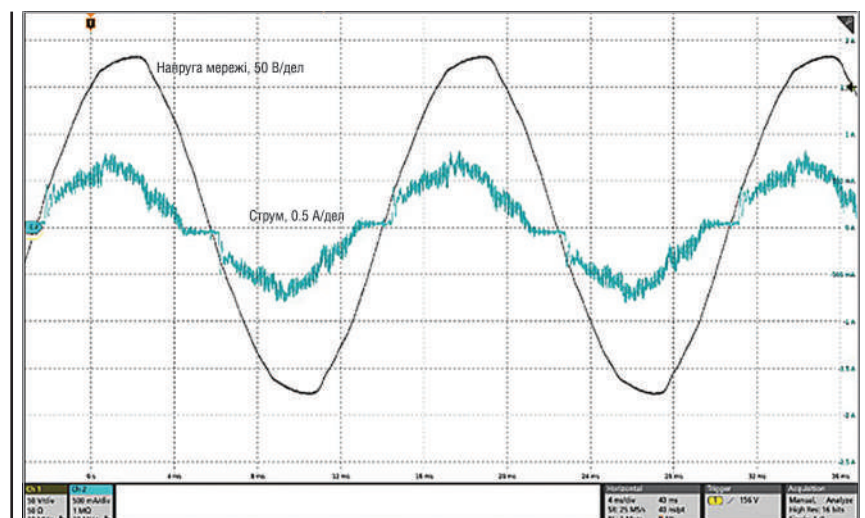


Рис. 9. Сигнали напруги і струму 64-Вт комп'ютерного блока живлення за навантаження 43 Вт в електромережі 120 В АС

120 В АС. Струм джерела живлення має майже синусоїдальну форму. Джерело працює в режимі комутації за нульового струму (ZVS). Навантаження мале і має ємнісний характер. Пікове споживання струму близько 700 мА.

На рисунку 10 показано блок живлення комп'ютера з тим самим навантаженням 43 Вт, що працює за вхідної напруги 277 В АС зі встановленою схемою захисту (з використанням того самого 220 В TISP-пристрою). Випробування в лабораторії Bourns показали, що напруга джерела живлення переривається за 210 В. І цього разу спостерігався брязкіт у лінії мережі змінного струму внаслідок реакції індуктивності лабораторного трансформатора на раптове блокування струму HSP TBU-пристроєм.

Зауважимо, що в тесті компанії Bourns джерело живлення споживало великі струми (до 3 А) перед спрацюванням TISP-пристрою. У точці спрацювання на кожному піку кожного напівперіоду джерело споживало близько 600 Вт! Як уже згадувалося, у нормальному робочому режимі, джерело живлення споживало піковий струм 700 мА, а форма струму якого була близька до синусоїдальної. Величина цього струму контролювалася захисним TBU-пристроєм.

Було встановлено, що викид напруги не вплинув на роботу джерела живлення.

КОМПРОМІСИ МІЖ ВЕЛИЧИНОЮ ОПОРУ І ЕФЕКТИВНІСТЮ

В активній схемі захисту кола змінного струму TBU-пристрій включено послі-

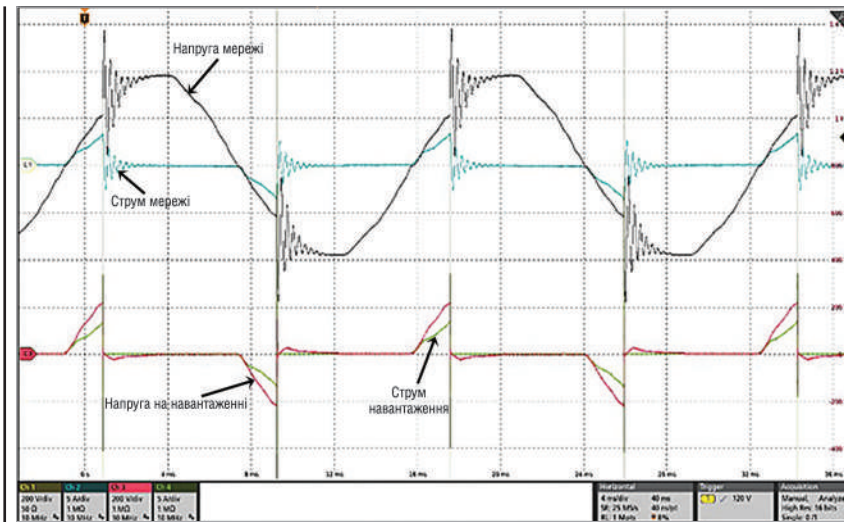


Рис. 10. Напряга і струм комп'ютерного блока живлення потужністю 64 Вт за навантаження 43 Вт у захищеній лінії 277 В АС

рисунків 11–12. Зауважимо, що вищі пікові струми, які виникають у «режимі захисту» з обмеженням, у нормальному робочому режимі призведуть до збільшення втрат порівняно зі струмами, форма яких близька до синусоїдальної. У таких випадках слід знайти прийнятний компроміс між вартістю та ефективністю.

ВИСНОВКИ

Універсальне рішення із застосуванням SMD-запобіжника SingleFuse разом із гібридним захисним пристроєм IsoMOV забезпечує постійний захист кола змінного струму за допомогою чотирьох невеликих компонентів. Раніше реалізація такого захисту була можлива з використанням компонентів набагато більшого розміру, що підвищувало ризик загорання та руйнування обладнання.

Компанія Bourns пропонує сучасні компоненти, площа яких не перевищує одного квадратного дюйма, для захисту по входу пристроїв, що живляться від мережі змінного струму. Завдяки тому, що робота цих компонентів точно скоординована, вони захищають одне одне, а також навантаження від перенапруги, спричиненої розрядами блискавок, шуму та стрибків напруги в мережах змінного струму, а також у будь-яких інших станах перенапруги, які в іншому разі могли б пошкодити обладнання, яке експлуатується.

Література:

1. www.bourns.com

Примітка від перекладача. Як відомо, варистори, достатньо швидко деградують після декількох спрацювань. Зазвичай перенапруга по входу призводить до спрацювання варистора, що зазвичай призводить до його деградації, а також до спрацювання вхідного запобіжника. В результаті необхідно проводити заміну і запобіжника, і варистора. Заміна варистора захисним діодом дещо покращує ситуацію, але не обмежує вхідного струму. Результат — заміна запобіжника. Запропоноване рішення дійсно може зняти багато проблем, пов'язаних з експлуатацією. Збільшення собівартості виробу буде виправдане за рахунок зменшення проблем під час нормальної експлуатації, а також зменшення вартості обслуговування.



довно з лінією мережі. У лабораторній установці Bourns використовували чотири паралельно встановлені пристрої TBU-SA085-500-WH. Номінальний струм спрацювання кожного з них становить 750 мА; опір: 10.7 Ом; напруга відключення: 850 В. Струм спрацювання складеного пристрою — 3 А; опір — 2.7 Ом.

У такому вигляді схема захисту являє собою компромісне рішення між

вартістю і додатковою перевагою, що забезпечується опором TBU-пристрою. Величина струму спрацювання не важлива, якщо його достатньо для підтримки пускового і робочого струмів навантаження, що захищається. У разі спрацювання TISP-пристрою струм короткого замикання лінії змінного струму миттєво вимкне TBU-пристрій.

Опір TBU-пристрою може призводити до втрат потужності, як видно з

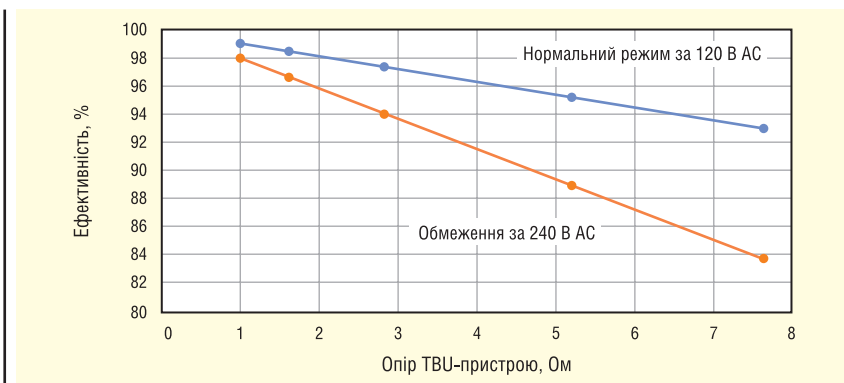


Рис. 11. Ефективність захисного пристрою для вуличного світильника за 50 В

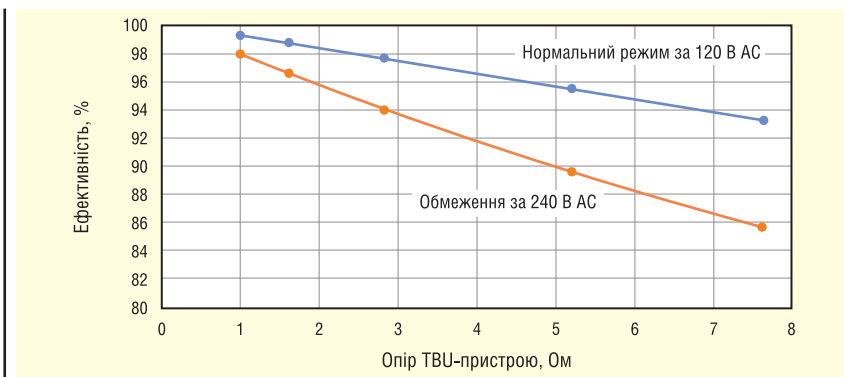


Рис. 12. Ефективність захисного пристрою для блока живлення комп'ютера з навантаженням 43 Вт



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!

Інтелектуальні цифрові датчики газу iSeries компанії Honeywell

Олександр Малишев

В статті мова йде про інтелектуальні газові датчики покоління iSeries від Honeywell. Ці датчики мають цифровий інтерфейс, збільшений термін служби і численні вбудовані функції самодіагностики.

ВСТУП

Інтелектуальні діагностичні функції датчиків iSeries (рис. 1) допомагають підвищити загальну продуктивність приладів, зробити їх «розумнішими» та безпечнішими завдяки індикації несправностей і моніторингу стану, а відтак зменшити час простою й експлуатаційні витрати.

Експлуатація датчиків Honeywell iSeries безсумнівно позитивно відіб'ється як на зниженні сукупної вартості володіння, так і на підвищенні безпеки персоналу та економії, оскільки після продажну підтримку можна взяти під свій контроль.

Простота інтеграції в поєднанні з попереднім калібруванням дає суттєві переваги OEM-виробникам і користувачам у плані легкості встановлення датчиків на приладі. Вбудований код OEM-блокування може використовуватися для запобігання несанкціонованій заміні датчиків третіми особами в умовах експлуатації. Завдяки збільшеному терміну служби в п'ять років і розширеному діапазону температур і вологості датчики iSeries підходять для застосування в різних галузях і кліматичних умовах.

Розглянемо докладніше основні особливості датчиків Honeywell iSeries.

ЦИФРОВИЙ ІНТЕРФЕЙС

Наразі аналогові датчики газів набули найбільшого поширення на ринку. За наявності здебільшого переваг у ціні це рішення все ж має і низку недоліків. У разі встановлення аналогового датчика у вимірювальному приладі безсумнівно знадобиться додаткова електроніка для перетворення показань датчика в розпізнаваний формат.

Датчики iSeries дають змогу уникнути додаткових витрат, тому що оброблення отриманих даних про концентрацію газу, що змінюється, не потрібне, уже готовий сигнал можна вивести прямо на екран пристрою та/або використати для видавання сповіщення, наприклад, про високий ступінь концентрації газу або навіть сигналу про несправність датчика.

Датчик використовує протокол UART (Universal Asynchronous Receiver-Transmitter — універсальний асинхронний приймач-передавач) для зв'язку з приладом з опцією вибору мікросхеми ChipSelect. Зв'язок здійснюється передаванням пакетів даних через контактні майданчики приймача (Rx), передавача (Tx) і ChipSelect (CS) на задній панелі датчика (рис. 2).

ВЗАЄМОЗАМІННІСТЬ

Усі інтелектуальні датчики iSeries мають однакове виконання, розташування виводів, напругу живлення та протокол передавання даних, тому вони взаємозамінні:

- Усі датчики цієї серії працюють із напругою живлення 3.1–3.3 В (у діапазоні V+...V-).
- Усі інтелектуальні датчики мають однакові розміри та протокол передавання даних, незалежно від типу технології.

КОМПАКТНА ФОРМА

Висота датчика вдвічі менша, ніж у традиційного датчика (рис. 3). Крім меншої висоти, датчики iSeries мають основу з групою контактів, яку встановлюють на передній панелі вимірювального приладу, що дає змогу мінімізувати його вагу, тоді як традиційні датчики розміщують усередині приладів. Таке конструктивне виконання спрощує доступ детектуемого газу до поверхні датчика (рис. 4).

Передня панель датчика досить стійка до пилу, піску та бруду, а також до занурення під воду на максимальну глибину до 1.5 м на період до 30 хв у разі використання рекомендованої конструкції ущільнення датчика. Ущільнювальне кільце навколо датчика дає



Рис. 1. Датчики газу iSeries

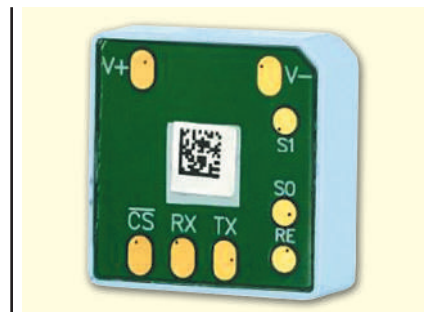


Рис. 2. Зворотний бік задньої панелі датчика iSeries

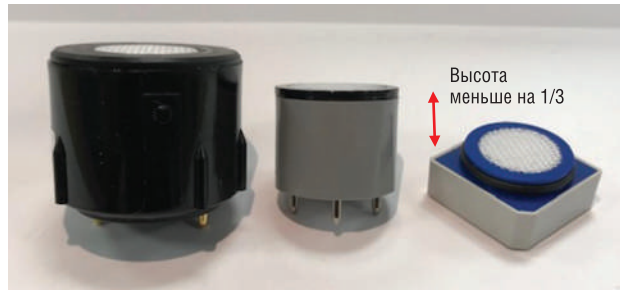


Рис. 3. Наочне порівняння розмірів датчика iSeries з класичними електрохімічними датчиками

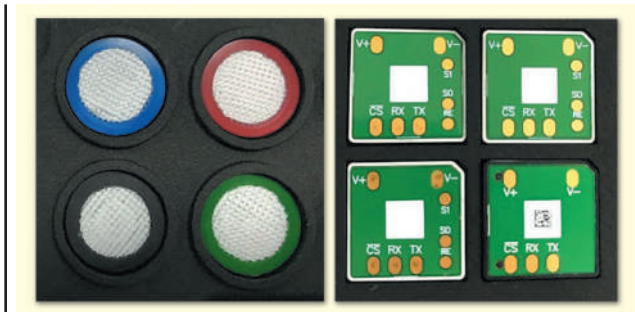


Рис. 4. Приклад однаковості датчиків різних газів iSeries

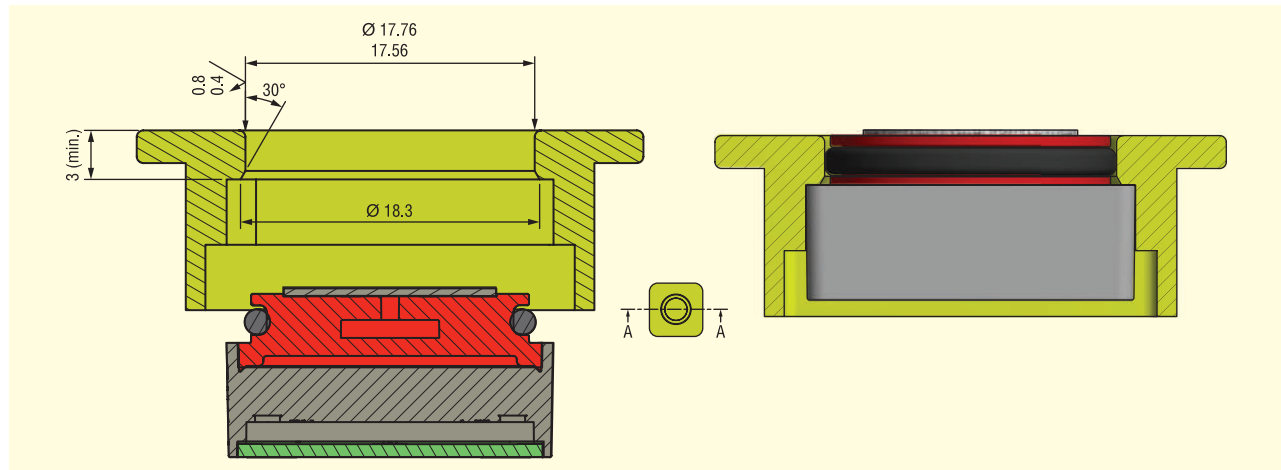


Рис. 5. Розміри датчика iSeries для підбору ущільнення

зможу герметизувати датчик і досягти ступеня захисту IP68. Задня панель пристрою водонепроникна.

Рекомендовані розміри кільця ущільнювача становлять від 17.56 мм (мін.) до 17.76 мм (макс.) у діаметрі, з товщиною від 3 мм, як показано на рисунку 5.

ЦИФРОВА ПРОСТЕЖУВАНІСТЬ

Для оперативної ідентифікації датчика під час встановлення в ньому зберігаються такі дані:

- серійний номер;
- дата виготовлення;
- тип газу.

Виробнику виробу, сервісному інженеру або кінцевому користувачеві не знадобиться зчитувати або сканувати штрихкод для ідентифікації датчика, адже виробник потурбувався про додаткове цифрове відстеження протягом усього терміну служби датчика.

ВБУДОВАНИЙ ЗАХИСНИЙ ОЕМ-КОД БЛОКУВАННЯ

Для виробників вимірювальних приладів, які використовують датчики газу, зокрема й для реалізації їх запасних

частин для своїх виробів, приблизно 15–20% вторинного ринку втрачається через заміну користувачами датчиків газу на неоригінальні.

На відміну від багатьох поширених рішень, в інтелектуальних датчиках iSeries може бути запрограмований унікальний код (свій для кожного клієнта — виробника вимірювальних приладів). По суті, це спеціальний OEM-код, запрограмований у процесі виготовлення конкретного датчика, який не підлягає зміні. Під час постачання датчика клієнту надається цей код блокування.

Далі, вироблений вимірювальний прилад може перевіряти, чи є у датчика унікальний код — якщо його немає, прилад не працюватиме з цим датчиком.

Для додаткового захисту також передбачено захисний код другого рівня, який на заводі-виробнику не записується. Він може бути записаний тільки один раз дистриб'ютором або виробником вимірювальних приладів. Це блокування є опціональним.

ПОПЕРЕДНЬО ВІДКАЛІБРОВАНІ ДАТЧИКИ

Усі датчики iSeries калібруються під час виробництва на заводі-вироб-

нику, дані калібрування закладаються в датчик у вигляді програми. Датчики повністю відкалібровані, якщо вони встановлені з використанням рекомендованих процедур пломбування та монтажу.

Для того щоб калібрування було дійсним для всіх типів приладів, часто необхідно компенсувати вплив на показання датчика таких елементів, як зовнішні змінні мембрани, насоси або системи відбору проб. Вплив таких елементів значною мірою залежить від типу газу. Для врахування цього впливу необхідно використовувати коефіцієнт компенсації (також званий коефіцієнтом використання — User Factor, UF).

Попри те що всі датчики iSeries попередньо калібруються, датчик стає повністю відкаліброваним після надання на виробництво Honeywell коефіцієнта використання (UF) для конкретного типу приладу (відбувається під час розміщення замовлення). Потім під час виробництва в датчики прошивається індекс конкретного коефіцієнта використання (User Factor Index).

Певний індекс UF допоможе встановити тип приладу, і в такий спосіб встановлений датчик буде повністю скомпенсований і відкалібрований під час монтажу.

Наявність попереднього калібрування датчика є безсумнівною перевагою, адже якщо встановлюваний у вимірювальний прилад, що збирається, датчик газу не відкалібрований, знадобиться 3–5 хв на його попереднє калібрування, і тільки після цього його можна буде встановлювати у виріб.

Те саме стосується і ремонту, коли під час заміни старого датчика новим вимірювальні прилади потрібно буде відправити до сервісного центру, де проводять калібрування і встановлення нових датчиків.

Попереднє калібрування датчиків iSeries дає змогу оперативно проводити заміну старих датчиків новими. При цьому виконувати його повторне калібрування не знадобиться.

ІНТЕЛЕКТУАЛЬНІ ФУНКЦІЇ

Показники всіх газових датчиків з часом дрейфують, і зрештою датчики потребують повторного калібрування, причому величина дрейфу сильно залежить від середовища, в якому застосовується датчик. Традиційно розробники приладів, менеджери служби експлуатації або кінцеві користувачі або самі, виходячи зі свого досвіду, визначають періоди виконання повторного калібрування датчиків, або слідує рекомендаціям виробника датчиків або приладів. Це нерідко призводить до невиправданно частих повторних калібрувань, що збільшує витрати на експлуатацію.

Інтелектуальна платформа датчиків iSeries самостійно проводить внутрішню діагностику для моніторингу стану датчика і застосування алгоритмів з метою як компенсації дрейфу, так і прогнозування, коли рівень точності датчика виходить за задану межу і потрібне повторне калібрування.

Платформа також може визначити час зносу датчика і заздалегідь попередити про необхідність його заміни. Під час прогнозованого калібрування і під час індикації закінчення терміну служби використовуються прогнози, засновані на умовах експлуатації датчика.

Опишемо «розумні» функції детальніше.

Прогноз повторного калібрування

За наявності великого парку вимірювальних приладів їхнє повторне калібрування через запропоновані інтервали незалежно від того, потрібне воно чи ні, потребує часу і додаткових витрат.

Іноді вимірювальні прилади працюють в екстремальних умовах, і для забезпечення безпеки необхідне більш раннє повторне калібрування. За допомогою функції повторного калібрування датчики можуть заздалегідь спрогнозувати час зниження їхнього рівня точності для отримання надійних показань. Ця функція допомагає точно визначити, коли знадобиться повторне калібрування.

Функція реалізована так: з використанням діагностичних електродів і вбудованого механізму вимірювання температури датчик розраховує дрейф свого вихідного сигналу з плином часу.

Датчик може завчасно спрогнозувати надто велике збільшення своєї похибки, яка не забезпечуватиме його надійні та точні показання, і заздалегідь видати сповіщення про необхідність повторного калібрування

Датчик може визначити час до повторного калібрування за шість місяців. Інтервали між калібруваннями щонайменше вдвічі більші, ніж інтервали між калібруваннями звичайних датчиків, і залежать від середовища експлуатації: датчики, які експлуатуються в сприятливіших умовах, потребують менш частого калібрування, ніж датчики, що функціонують в агресивних середовищах.

Користувач може налаштувати межу точності датчика, і, виходячи з такої межі, будуть визначені інтервали між калібруваннями. Іншими словами, що вища межа точності, то частіше потрібне калібрування.

Таким чином, користувач може вибрати співвідношення між точністю та інтервалом калібрування. Передбачено і вбудований таймер зворотного відліку з фіксованим інтервалом калібрування, що налаштовується, для випадків, коли калібрування має проводитися через певні проміжки часу відповідно до вимог законодавства.

Індикатор закінчення терміну служби

Термін служби датчика в основному залежить від умов його експлуатації, а за допомогою функції індикації закінчення терміну служби датчик може сам заздалегідь спрогнозувати зниження рівня його чутливості для видачі надійних і точних показань.

За аналогією з функцією прогнозованого калібрування, діагностичні електроди і вбудований механізм вимірювання температури також розраховують необоротний дрейф вихідного сигналу.

Сигнал про закінчення терміну служби подається, якщо датчик набирає/

втрачає значну кількість води (концентрація електроліту вища або нижча за граничні значення). Датчики можуть заздалегідь спрогнозувати зниження рівня їхньої чутливості для видачі надійних і точних показань (завчасне попередження про необхідність заміни датчика).

Коли спрацює функція закінчення терміну служби, датчик автоматично попереджає про це прилад за допомогою набору ознак несправності, що передаються разом із параметрами газу. У разі виявлення несправності прилад може повідомити користувача про необхідність припинити експлуатацію датчика.

Індикатор несправностей

Інтелектуальні датчики iSeries можуть виявляти низку внутрішніх несправностей за допомогою вбудованих засобів діагностики:

- втрата контакту між датчиком і друкованою платою (виявляється під час перевірки реакції датчика на газ);
- несправність еталонного електрода порівняння (за результатами вимірювання діагностичним електродом);
- висихання електроліту (за результатами вимірювання діагностичним електродом);
- закінчення терміну служби (розраховується за моделлю на основі таких вхідних параметрів, як час, температура і концентрація електроліту);
- несправність протиелектрода (за результатами вимірювання контрополяризації);
- руйнування кульки або коротке замикання (у пелісторі);
- несправність діагностичного електрода (від діагностичного електрода надходять недостовірні дані).

Коди помилок передаються у вимірювальний прилад щоразу, коли він запитує у датчика величину концентрації газу. Якщо датчик сповіщає про будь-яку з цих несправностей, то, хоча він все ж таки і намагатиметься видавати достовірні показання концентрації, виникне ризик його некоректної роботи. Тому користувач має припинити експлуатацію цього датчика, виконати «ударний» тест і за його підсумками відновити використання. Такий «ударний» тест повне дотримання нормативних вимог.

НАЛАГОДЖУВАЛЬНИЙ КОМПЛЕКТ

З метою демонстрації роботи цифрових датчиків iSeries, моніторингу їхньої роботи, пілотних випробувань компанія

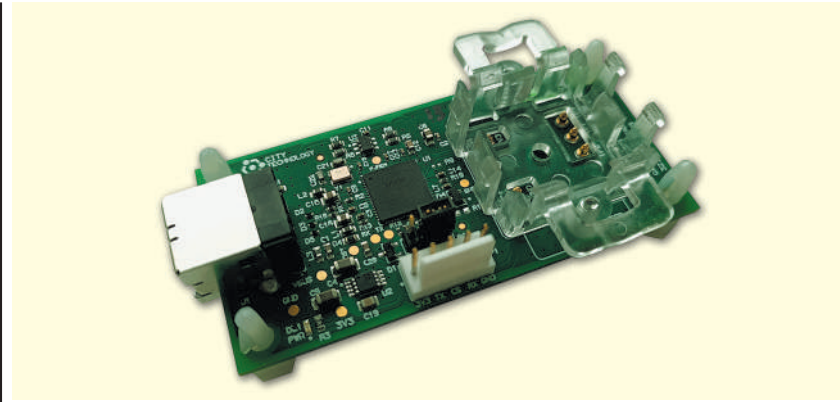


Рис. 6. Налагоджувальний комплект для датчиків ISeries

Honeywell випустила налагоджувальний комплект (рис. 6) для оцінювання функціонування датчиків. Комплект з'єднує цифровий газовий датчик із платою. Програмне забезпечення керує процесом зняття показань з газових датчиків. Результати вимірювань з використанням датчиків і команди передавання даних відображаються на комп'ютері користувача і можуть бути записані у файл .CSV для подальшого аналізу. Плату також можна використовувати в режимі моделювання, за якого вона виконує функції віртуального датчика.

ТИПИ ГАЗІВ, ЩО ДЕТЕКТУЮТЬСЯ, ТА СЕРТИФІКАТИ

Датчики Honeywell iSeries сертифіковані за стандартами ATEX і IEC Ex (EN IEC 60079-0 і EN IEC 60079-11) і розроблені відповідно до численних стандартів продуктивності, включно з BS EN 45544-1, BS EN 50104, ANSI/ISA 92.00.01, ANSI /ISA 92.04.01 і AS/NZS 4641.

Наразі доступні датчики для таких газів:

- Електрохімічні: CO, H₂S, SO₂ і O₂, NO, NO₂, O₃, Cl₂, H₂, NH₃, подвійний CO/H₂S, подвійний CO/H₂ і H₂S (розширений робочий діапазон).
- Пелістор: НПВ (нижня межа вибуховості).

ВИСНОВОК

Датчики концентрації газів iSeries - чудовий вибір для пристроїв промислової безпеки і можуть широко застосовуватися в портативних і стаціонарних газових детекторах, реєстраторах даних тощо.

Галузі, в яких використовуються такі прилади:

- нафтогазова та целюлозно-паперова;
- хімічні підприємства, ставки-відстійники, целюлозно-паперові комбінації, холодильна техніка, сільське господарство, очищення стічних вод;
- низка галузей, у яких під час обслуговування обладнання використовуються розчинники, фарби та інші легкі органічні сполуки;
- винзаводи і пивоварні;
- будівельні та зварювальні роботи;
- транспортування швидкокопсунних продуктів.

Слід сказати, що з розробкою і введенням в асортимент інтелектуальних датчиків iSeries виробник Honeywell створює на ринку газової аналітики принципово нове ставлення до використання і сервісу обладнання, у складі якого є датчики газу.

Функції самодіагностики датчика дають змогу кінцевому споживачеві безпечно використовувати прилад упродовж терміну служби, не переймаючись регулярною перевіркою датчиків (датчик сам сповістить, коли потрібно виконати калібрування або заміну), а наявність вбудованого захисного OEM-коду блокування надає змогу виробнику виробів прогнозувати постачання датчиків як запасних частин до продукції, що випускається.

Література:

1. Honeywell AST-Digital-Gas-Sensors-iSeries-FLY-LTR-EN-0921-1_002710-2-EN.
2. Honeywell AST-iSeries-EOL-Pred-Calibration-APN-LTR-EN-0821-2_002717-2-EN.
3. Honeywell AST-iSeries-Sensor-Mounting-APN-LTR-EN-0821-1_002738-1-EN.
4. Honeywell AST-Sensor-Eval-Kit_iSeries-EN-LTR-0821-2_002711-2-EN.
5. Honeywell sps-ast-iSeries-general-faq-002720-en.

РАДІОМАГ
МЕРЕЖА МАГАЗИНІВ РАДІОДЕТАЛЕЙ

www.radiomag.com.ua

ЕЛЕКТРОННІ КОМПОНЕНТИ

від провідних виробників світу,
зі складу та під замовлення

Гнучкі ціни



ТОВ "АДС ТІМ"
Україна, 03680, м. Київ
пров. Радищева, буд. 3
+38 (044) 361-46-78, 206-22-52
+38 (067) 249-77-58, (050) 464-22-52
zapros@adcgr.com www.adcgr.com

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

SONION Amplified LTV TE DARKCO OSRAM SAMSUNG MORNSUN

- Електронні компоненти
- Світлодіодне освітлення
- Друковані плати
- Контрактне виробництво



bis_electronics @BISelectronic bis@bis-el.kiev.ua | bis-el.com
+38 (044) 490-35-99

VD MAIS

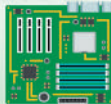
ДИСТРИБ'ЮЩА +
КОНТРАКТНЕ
ВИРОБНИЦТВО

03061, Київ,
вул. Михайла Донця, 6
тел.: +380 (44) 201 02 02
info@vdmails.ua
www.vdmails.ua

- електронні компоненти
- електромеханічні компоненти
- промислова автоматизація
- вимірювальні прилади
- обладнання та матеріали для виробництва електроніки
- друковані плати
- контрактне виробництво

ВЕРІКОМ КОМПОНЕНТС

- Виробництво друкованих плат від 1 шт
- Контрактне виробництво
- Власний склад електронних компонентів
- Покриття плат лаком і компаундами
- Відповідаємо вимогам стандарту ISO 9001:2015



Україна, м. Київ
вул. Марії Капніст, 2а, оф. 114
URL: www.verikom.kiev.ua

TIC **TEMY**

тел./факс: (+380) 44-501-9335
(+380) 67-508-0229
E-mail: sales@temys.kiev.ua

WINTEX (044) 5036112
Професійний ремонт (067) 2983455
(050) 2665517



- Електронні компоненти
- Модулі та датчики для розробників електроніки
- Модулі для ремонту ТВ, комп'ютерів, планшетів, комп'ютерів
- Роз'єми та конектори
- Розробка елементів альтернативної енергетики
- Ремонт усіх видів електроніки та побутової техніки

03150, Київ, вул. Велика Васильківська, 80

www.wintex.com.ua

ДП «Гальванотехніка» ПАТ «Київський завод "Радар"»
ТОВ «НВЦ друкованих плат»

Виготовлення друкованих плат:

- одно-, дво- та багатопарових 3^{го}-5^{го} класів складності;
- жорсткогнучких друкованих плат, гнучких кабелів;
- друкованих плат на металі (алюміній, мідь).

Швидке виготовлення (від 3-х днів).

Висока якість. Оптиміальне співвідношення ціна/якість.
Послуги по монтажу плат.

03680, м. Київ, вул. Предславинська, 35
тел.: (044) 592-5467, 528-2068, 528-3656
http://plata.com.ua
order@plata.com.ua

ГАММА УКРАЇНА

(056) 745-46-65, (0562) 36-07-92
(044) 494-35-72, (044) 223-84-63
www.microchip.ua sale@microchip.ua



Прямі поставки від виробника



Комплексні поставки електронних комплектуючих

- Автоматика
- Датчики
- Джерела живлення
- Компоненти і модулі СВЧ
- Мікросхеми
- Рознімачі
- Реле
- Системи бездротового зв'язку
- Системи відображення інформації
- Хімічні джерела струму

38 (044) 239-96-06
38 (044) 498-01-68www.grandelectronic.com
office@grandelectronic.comБульвар Вацлава Гавела, 8
м. Київ, 03124

Незалежний постачальник електронних компонентів

- 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) 520-19-13дистрибуція електронних компонентів
контрактне виробництво08298, смт. Коцюбинське
вул. Пономарьова, 7

www.eurocom-c.com

Тел. +38 044 33 44 575

E-mail: info@eurocom-c.com

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

K206

Електронні компоненти

Все для виробництва та ремонту зі складу та на замовлення

www.k206.net

+38 096 77-99-665



ВСЕ ДЛЯ СИЛОВОЇ ЕЛЕКТРОНИКИ ТА АВТОМАТИКИ



діоди, тиристори, триаки, IPM, IGBT;
давачі струму та напруги LEM;
запобіжники BUSSMANN;
конденсатори електролітичні ВНС, плівкові, високовольтні;
резистори середньої та великої потужності;
напівпровідникові, електромеханічні реле;
вентилятори радіальні та центробіжні;
обладнання для шафів;
кінцеві вимикачі, давачі тиску, рівня, вологості;
світлові та звукові сигналізатори;
UF та IR промислові лампи PHILIPS.

02090, м. Київ, вул. Сновська, 20
E-mail: kiev@dacpol.ua, www.dacpol.ua
Т./ф: (+380 44) 501 93 44, GSM: (+380 50) 447 39 12

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 «PCB-ETAL»

28000, Кіровоградська обл.,
м. Олександрія, вул. Заводська, 1

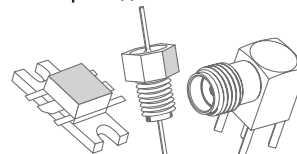
Для замовлення:

Тел.: +38 (066) 872-60-65
e-mail: pcb@etal.ua

Ціни знижено

ВЧ- та НВЧ-КОМПЛЕКТУЮЧІ І КОМПОНЕНТИ

мікросхеми • транзистори • коаксіальні фільтри
коаксіальні з'єднувачі • коаксіальні кабелі
матеріал для ВЧ-плат • теплорозподільчі матеріали



ЄВРОКОНТАКТ

www.eurocontact.kiev.ua

т/ф +380 44 500 7991

info@eurocontact.kiev.ua

ІМРАД
Електронні компоненти

Електронні компоненти провідних світових виробників зі складу в Києві та на замовлення

Інформаційна та технічна підтримка

- 03113, Україна, м. Київ вул. Шугова 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

ОЛЬВІЯ

ТОВ "КОМПАНІЯ ОЛЬВІЯ"

Корпуса пластиківі. Клавіатура плівкова. Кабельно-провідникова продукція.

[044] 599.7550 [044] 503.3323 KORPUS.KIEV@GMAIL.COM ICQ#: 266-782-777

03113, м. Київ, вул. Дружківська, 12 А korpus.kiev.ua

КОМПАНІЯ СК-ТЕХНО
контрактне виробництво

- контрактне виробництво
- друковані плати
- монтаж
- комплектація

http://spcb.com.ua
e-mail: info@spcb.com.ua
тел./факс: (044) 369-53-67




http://melsys.com.ua

- контрактне виробництво електроніки
- монтаж і виготовлення друкованих плат
- виготовлення трафаретів

ТОВ "Мелсис"
Київ, вул. Новозабарська, 2/6, оф. 204
info@melsys.com.ua

+38 044 578 18 15
+38 096 926 70 69
+38 063 435 68 10



Партнерство в електроніці

МІКРО ПРИБАД

avalue Touch XCK PARTEX MARKING SYSTEMS mechatron LINEAR TECHNOLOGY TEXAS INSTRUMENTS AZ NAGANO SensoriTechnik

03142, м. Київ, вул. Омеляна Прицака, 4, офіс 101
Тел.: 044 392-93-86, Факс: 044 392-93-87
www.micropribor.com.ua sales@micropribor.com.ua




www.otladka.com.ua

- Автоматизований SMD монтаж друкованих плат
- Фрезерування панелей, корпусів та пластику
- 3D-друк

ФОП Сарієв Р.Б.

+38 050 447-12-58 +38 098 661-97-97



КОНТРАКТНИЙ
ВИРОБНИК ЕЛЕКТРОНІКИ
ПІД ЗАМОВЛЕННЯ

PCBA

+38 044 338 97 73
info@pcba.com.ua
pcba.com.ua



MASTEK

м. Київ, пров. Радищева, 3, офіс 307
тел. +38 (044) 451-60-80 info@mastek.com.ua
моб. +38 (067) 919-51-15 www.mastek.com.ua

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



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



ОПТОВИЙ ПРОДАЖ ЕЛЕКТРОННИХ КОМПОНЕНТІВ

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

U'S MICROS




Pcb24 — сервіс з експрес виробництва прототипів і невеликих партій одното двошарових друкованих плат

За 24 години виготовимо Ваше замовлення

Власне виробництво у м. Львів

ТОВ «Крейтив Лоджікс»
www.pcb24.com.ua
info@pcb24.com.ua
pcbprint24@gmail.com
068 614 38 28



PCBTUT

Зручний онлайн РСВ-калькулятор
мінімальне замовлення - 5 шт.

Постачання:
- друковані плати FR-4;
- алюмінієві друковані плати;
- трафарети для паяльної пасту;
- паяльна паста;
- припій.

Сайт: pcbtut.com
e-mail: pcbtut@pcbtut.com
+38 (067) 674 99 14



вбудовані процесорні плати

COMexpress
Qseven
PC-104
ETX

ПРОКСИС

промислові комп'ютери та системи

www.proxis.ua
+380(44)4675977
+380(44)5995977Пр
СМ

RADIODETALI

- Паяльне обладнання
- Резистори
- Вентилятори
- Светлодіодне обладнання
- Трансформатори
- Акумулятори
- Реле
- Блоки живлення
- Конденсатори
- 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
- батарейки та акумулятори та багато іншого

RAINBOW TECHNOLOGIES

Rainbow Technologies – офіційний дистриб'ютор і постачальник в Україні:

MICROCHIP, MAXIM, INFINEON, WINBOND, ALTERA, SAMSUNG (LED), LEDIL, VISHAY, ANALOG DEVICES, TEXAS INSTRUMENTS

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

МП "РЕМІКС"
www.remix.com.ua
Офіційний дистриб'ютор в Україні

FineTek, Venanzetti Vibrazioni, Nivelko
Пропонує датчики рівня рідин та сипучих матеріалів, датчики тиску, різноманітні регулятори, панель метри, пневмо та електровібратори

Тел./факс +38 04563 99-760, 99-926, 99-775

Rich El
electronic components

ТОВ "РИЧЕЛ"

Поставки електронних компонентів
Асортимент зі складу та технічна підтримка

вул. Семена Скляренка, 9, оф. 401
04073, м. Київ
info@rekkon.kiev.ua
http://rekkon.kiev.ua

тел.: +38 (044) 490-92-50
факс: +38 (044) 494-27-08

Committed to excellence
CONSULT | COMPONENTS | LOGISTICS | QUALITY

RUTRONIK
ELECTRONICS WORLDWIDE

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

Михайло Єлізаров
представник в Україні
Тел. +038 (050) 312 01 07
Mail: Mykhaylo.Yelizarov@rutronik.com

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

SEA ІННОВАЦІЇ ТА ЕФЕКТИВНІСТЬ

м. Київ, вул. Краківська, 13-Б
тел. +38 (044) 330-00-88
sea.com.ua, info@sea.com.ua

Постачання: Електронні компоненти • Джерела живлення • Светлодіодна продукція та оптоелектроніка • Обладнання для енергетики • Електротехнічна продукція
Кабельно-провідникова продукція • Обладнання для промислової автоматизації
Вимірювальні прилади • Паяльне обладнання та матеріали для пайки • Сонячна енергетика

Виробництво: Светлофори та технічні засоби керування дорожнім рухом • Паркувальне обладнання і системи • Система управління міським освітленням • Система диспетчеризації ліфтів
Плати зі світлодіодами для LED освітлення • WIM - системи динамічного зважування транспортних засобів

Послуги: Комерційні розробки • Проектування та виготовлення друкованих плат
Контрактне виробництво • Модернізація та обслуговування паркінгів

Харків: kharkiv@sea.com.ua Дніпро: dnipro@sea.com.ua Львів: lviv@sea.com.ua

Semisvit
Create with us

ТОВ "СЕМІСВІТ"
вул. Б. Хмельницького, 16-22, оф. 504-Г
01601, м. Київ, Україна
тел./факс: +380 44 586-2580
www.semisvit.com.ua
info@semisvit.com.ua

**Електронні компоненти
зі всього світу.**

Створюйте з нами!

**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

Te
Юс

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

TRANSFER MULTISORT ELEKTRONIK

понад 800
ПРОВІДНИХ ВИРОБНИКІВ

понад 160 000
ПРОДУКТІВ

T M E
Electronic Components

- ЕЛЕКТРОННІ КОМПОНЕНТИ
- ЕЛЕКТРОТЕХНІКА
- ВИМІРЮВАЛЬНІ ПРИЛАДИ
- ПРОМИСЛОВА АВТОМАТИКА
- ІНСТРУМЕНТИ

tme.eu

Łódź, Poland, +48 42 645 54 44, export@tme.eu

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



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

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



Авторизований дистриб'ютор

Електронні компоненти Рознімачі З'єднувачі

ТЕХПРОГРЕСС
www.tpss.com.ua

ТОВ «КП «Техпрогрес»
04070, м. Київ,
вул. Ігорівська, 8/10-А, оф. 38
(044) 461-91-00



TMS PROJECT

Контрактне виробництво
Сертифіковано ISO9001
Постачання електронних компонентів



Україна, Київ
вул. Марії Капніст, 2а, оф. 114
тел/факс: (044) 501-9335
URL: www.tmsproject.com.ua
E-mail: sales@temys.kiev.ua

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

ЮСТАС

Електронні компоненти провідних світових виробників:
конденсатори всіх типів, транзистори, теристори,
мікросхеми, діоди, діодні мости, кварци,
індикаторна продукція всіх типів, вентилятори,
механічні елементи, кабельна продукція

justas@ipm.lviv.ua
justas_k@ukr.net

Магазин "Електронних компонентів"
79018, м. Львів, вул. Героїв УПА, 40,
т/ф (032) 237-31-82, (032) 238-94-41
понеділок - субота з 10.00 до 18.00

http://justas-electronics.com.ua
+38 (093) 020-40-51

4-5 ЖОВТНЯ 2023

Місце
проведення

ACC
International
since 1992



SECURITY 2.0

SECURITY 2.0 — це 27 років досвіду проведення основної галузевої виставки «БЕЗПЕКА», поєднаного із сучасним форматом демонстрації досягнень у сфері безпеки.

ЧОМУ ТУТ ВАРТО БУТИ

Security.2.0 — це місце, де збираються представники влади, керівники державних та приватних підприємств, міжнародні компанії, асоціації та фонди, це унікальна можливість встановити необхідні зв'язки для розширення бізнесу та укласти вигідні контракти.

ФОРУМ

1 БЕЗПЕЧНА ГРОМАДА.
ОБЛАДНАННЯ, СПОРУДИ
Й СИСТЕМИ ЗАХИСТУ
ЖИТТЯ

2 РОЗМІНУВАННЯ
ТЕРИТОРІЙ УКРАЇНИ.
СУЧАСНІ ТЕХНОЛОГІЇ
ТА ОБЛАДНАННЯ

З ПИТАНЬ УЧАСТІ:

Валентина Михайлова
моб. +380 (67) 504-0149,
+380 (66) 353-1902
mikhailova@eindex.kiev.ua

Організатор



Співорганізатори



ТЕМАТИКА ВИСТАВКИ:

БЕЗПЕКА ІНФРАСТРУКТУРИ

СУЧАСНІ
БЕЗПЕКОВІ ТЕХНОЛОГІЇ

КІБЕРБЕЗПЕКА

ГУМАНІТАРНЕ **РОЗМІНУВАННЯ**

ЗАХИСНІ СПОРУДИ
ЦИВІЛЬНОГО ЗАХИСТУ

ЗАСОБИ
ІНДИВІДУАЛЬНОГО ЗАХИСТУ

bezpeka.ua

facebook.com/bezpeka.euroindex

Реєстрація:

securityexpo2023.ticketforevent.com



V Міжнародна спеціалізована виставка
низьковольтної електротехніки
та електроніки

ELECTRO INSTALL 2023

Жовтень 17–19



**МІЖНАРОДНИЙ
ВИСТАВКОВИЙ ЦЕНТР**

Україна, м. Київ, Броварський пр-т, 15

тел.: +38 (095) 268-05-84

e-mail: lyudmila@iec-expo.com.ua

www.iec-expo.com.ua



**НАБЛИЖАЄМО ЕНЕРГЕТИКУ
МАЙБУТНЬОГО СЬОГОДНІ**

**XV МІЖНАРОДНА
СПЕЦІАЛІЗОВАНА ВИСТАВКА
ВІДНОВЛЮВАНОЇ ЕНЕРГЕТИКИ, ЕКОЛОГІЇ,
ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ**



**EcoEnergy
Expo'2023**

**17–19
ЖОВТНЯ**



**МІЖНАРОДНИЙ
ВИСТАВКОВИЙ ЦЕНТР**
м. Київ, Броварський пр-т, 15
станція метро «Лівобережна»



+38 (095) 268-05-84



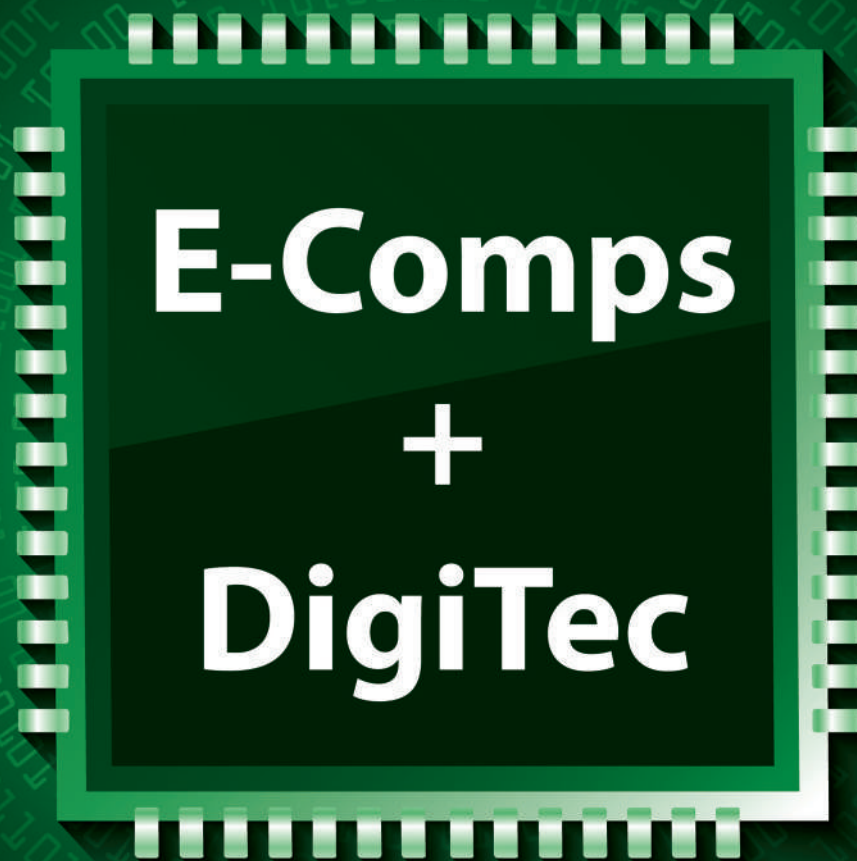
lyudmila@iec-expo.com.ua



www.iec-expo.com.ua



II МІЖНАРОДНА
СПЕЦІАЛІЗОВАНА ВИСТАВКА



17–19 жовтня 2023



МІЖНАРОДНИЙ
ВИСТАВКОВИЙ ЦЕНТР
м. Київ, Броварський пр-т, 15
станція метро «Лівобережна»



+38 (095) 268-05-84



lyudmila@iec-expo.com.ua



www.iec-expo.com.ua







XX МІЖНАРОДНА СПЕЦІАЛІЗОВАНА ВИСТАВКА

ЕНЕРГЕТИКА В ПРОМИСЛОВОСТІ '2023



**17–19
ЖОВТНЯ**

 **МІЖНАРОДНИЙ
ВИСТАВКОВИЙ ЦЕНТР**
м. Київ, Броварський пр-т, 15
станція метро «Лівобережна»

 +38 (095) 268-05-84
 lyudmila@iec-expo.com.ua
 www.iec-expo.com.ua



ВИСТАВКИ 2023

Назва	Сайт	Організатор	Місто	Дата проведення*
SECURITY 2.0 (виставка «Безпека»)	www.bezpeka.ua	Євроіндекс	Київ	04.10–05.10.2023
Electro Install	www.iec-expo.com.ua	МВЦ	Київ	17.10–19.10.2023
EcoEnergy Expo	www.iec-expo.com.ua	МВЦ	Київ	17.10–19.10.2023
E-Comps + DigiTec	www.iec-expo.com.ua	МВЦ	Київ	17.10–19.10.2023
Енергетика в промисловості	www.iec-expo.com.ua	МВЦ	Київ	17.10–19.10.2023

* Інформація отримана від організаторів виставок. Можливі зміни в залежності від ситуації.

РОЗМІРИ РЕКЛАМНИХ БЛОКІВ

1 сторінка (200×270 мм)*
 2/3 сторінки (112×240 мм)
 1/2 сторінки (170×120/83.5×240 мм)
 1/3 сторінки (54×240/112×120/170×80 мм)
 1/4 сторінки (112×100 мм)
 1/6 сторінки (54×120/112×60/127×55 мм)
 «Візитка» (80×40 мм)

* Для усунення неточностей при обрізанні, розмір реклами, яка подається, повинен бути 210×280 мм (дообрізний формат з урахуванням «вильотів» по 5 мм з кожного боку, які краще заповнити основним фоном реклами). Значимі символи (текст, логотип та інші елементи оформлення, які гарантовано не повинні потрапити під обрізку) не повинні підходити до краю сторінки менш ніж на 10 мм (післяобрізний формат сторінки 200×270 мм).

Редакція журналу «CHIP NEWS» приймає до розміщення тільки повнокольорові рекламні блоки, розміри яких повинні в точності відповідати розмірам, наведеним у таблиці.

Текст реклами повинен бути виключно українською мовою.

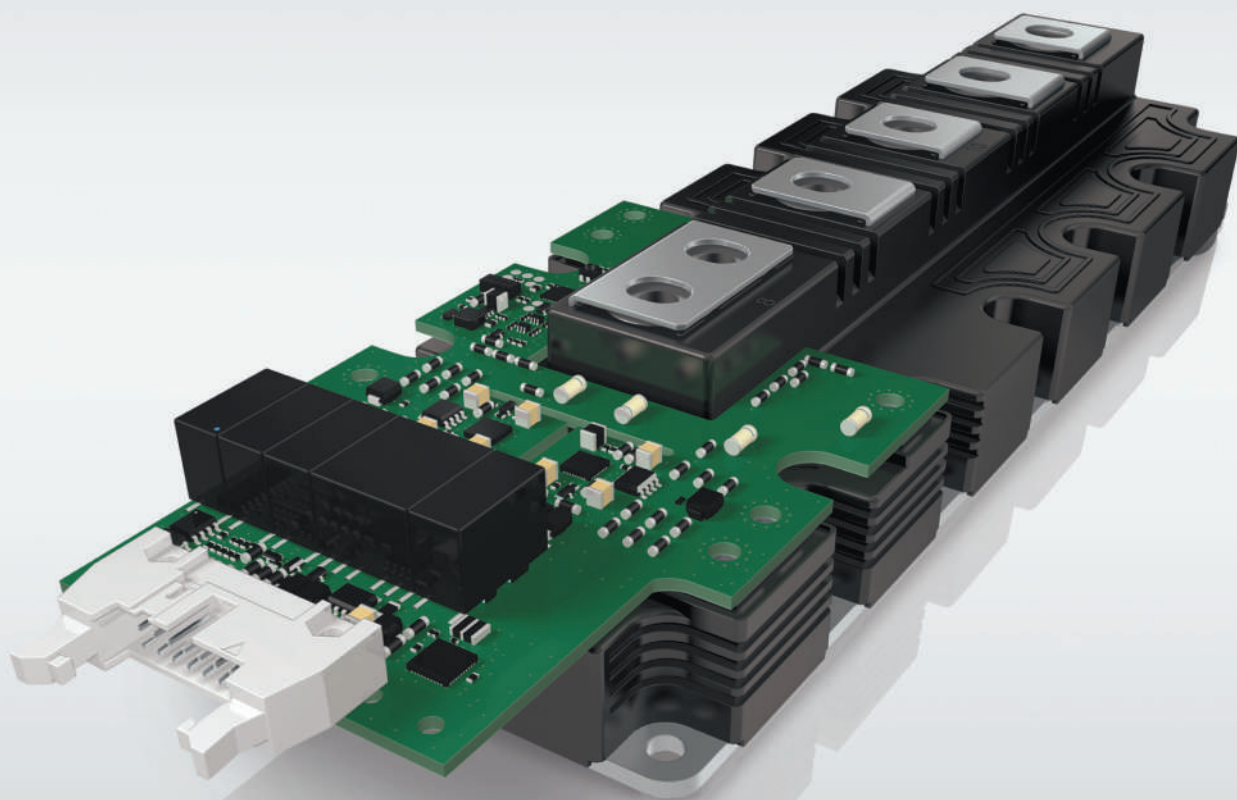
ВИМОГИ ДО РЕКЛАМНИХ І АВТОРСЬКИХ МАТЕРІАЛІВ

Рекламні матеріали приймаються **тільки українською мовою в форматах «.eps» або «.tif» (300 dpi)**. Кольорова модель — **СМΥК**. Сумарний процент фарб — не більше 300%. Якщо в форматі «.eps» є впроваджені растрові зображення, вони також повинні мати роздільну здатність 300 dpi і кольорову модель СМΥК. **Всі шрифти обов'язково повинні бути переведені в криві.**

Авторські матеріали. Текст статті приймається в форматі «.doc» (Microsoft Word). Всі рисунки повинні бути підготовлені **тільки в форматах «.eps»**, фотографії — в форматі «.tif» (300 dpi), кольорова модель — **СМΥК** і надані окремими файлами. Кожний рисунок повинен мати підписувачий підпис і посилання на нього в статті. Якщо в статті є таблиці, то кожна таблиця повинна мати назву, посилання на неї в статті і надаватись в форматах «*.doc» або «*.xls».



Нове покоління модулів SEMITRANS 10 і цифрових драйверів SKYPER PRIME



Діапазон потужностей 500 кВт–1,5 МВт

Модулі IGBT в стандартному промисловому корпусі

Висока стійкість до термоциклювання

Цифровий драйвер із наднизьким рівнем джиттеру та вихідним струмом 50 А

Два ізольованих канали передачі сигналів сенсорів з ШІМ-модуляцією

Волоконно-оптичний інтерфейс (опціонально)



Моторні
приводи



Альтернативні
джерела енергії



Перетворювачі
потужності



Електротранспорт

www.semikron-danfoss.com



WeEn Semiconductors є глобальною компанією — це спільне підприємство, створене в 2016 році компаніями NXP Semiconductor N.V. та Beijing JianGuang Asset Management Co. Ltd з Китаю. Головний офіс компанії розташований у Шанхаї, Китай. Елементи, вироблені компанією WeEn Semiconductors, створюються завдяки участі досвідченого колективу, який до 2016 року був частиною голландського виробника напівпровідників — компанії NXP (раніше Philips).

WeEn займається біполярною технологією, розробляє та виробляє широку гаму тиристорів, симісторів, діодів (у тому числі силових), високовольних транзисторів, компонентів на базі SiC та інших елементів, що широко використовуються в промисловості, автомобілебудуванні, телекомунікації, освітленні, побутовій електроніці тощо. Ця продукція народжується безпосередньо у NXP.

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



MASTEK

м. Київ, 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