

# CHIP NEWS



## AMPLEON

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

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

## MASTEK

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

Авторизований дистриб'ютор  
Ampleon в Україні

[info@mastek.com.ua](mailto:info@mastek.com.ua)  
[www.mastek.com.ua](http://www.mastek.com.ua)

- Canyon Development ... стор. 10
- РСВА – перший «запуск» ... стор. 14
- Осердя з МПМ ... стор. 18

- Оптоволоконні кабелі ... стор. 31
- Конформне покриття ... стор. 34
- Вибір електричної шафи ... стор. 38



[www.eurocom-c.com](http://www.eurocom-c.com)  
[info@eurocom-c.com](mailto:info@eurocom-c.com)  
044 33 44 575

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



№ 05 (230), 2024 р.

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

# ЗМІСТ

## НОВИНИ

**Новини світу електронних компонентів. . . . . 4**

## РИНОК ЕЛЕКТРОНІКИ

**Canyon Development — ми підтримуємо інновації . . . . . 10**

## НА ДОПОМОГУ РОЗРОБНИКУ

*Володимир Ханейчук*  
**РСВА — перший «запуск» . . . . . 14**

*Артем Терейковський*  
**Осердя з порошкових матеріалів . . . . . 18**

*Валентин Володін*  
**Розрахунок та оптимізація RC-демпфера для симістора. . . . . 24**

## ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНІ КОМПОНЕНТИ

*Франк Кьольске (Frank Kölske)*  
**Оптоволоконні технології зв'язку в польових умовах. . . . . 31**

## ВИРОБНИЦТВО ЕЛЕКТРОНІКИ: МАТЕРІАЛИ

*Андрій Григоревський*  
**Конформне покриття — посібник із застосування . . . . . 34**

## КОНСТРУКТИВИ

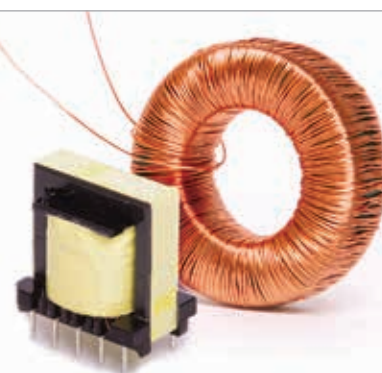
**10 порад від Rittal щодо вибору електричної шафи . . . . . 38**

www.adcgr.com

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



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



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

### ІНЖЕНЕРНА ПРАКТИКА

**Компанія Nortroll підвищує рівень керування електромережами за допомогою простого в інтеграції рішення для позиціювання. . . . . 40**

### ВИМІРЮВАЛЬНА ТЕХНІКА

*Переклад: Вадим Потапенко  
Редагування: Віктор Бутирін*  
**Система Scienlab Charging Discovery System . . . . . 42**

### СИЛОВА ЕЛЕКТРОНІКА

*Переклад та редагування:  
Володимир Павловський*  
**Semikron Danfoss: сонячна енергетика та системи енергозберігання . . . . . 48**

*Hri Хоу Тан (Ngee Hou Tan),  
Томас Бір (Thomas Beer),s*  
*Переклад та редагування:  
Віталій Шевченко*  
**Усе, що потрібно, — вибрати інтегральне рішення . . . . . 54**

### ВБУДОВАНІ СИСТЕМИ

*Роберт Перкел (Robert Perkel)*  
*Переклад та редагування:  
Ірина Приходько*  
**Удосконалення вбудованих систем за допомогою логіки та гнучкого периферійного обладнання. . . . . 60**

### МІКРОКОНТРОЛЕРИ

*Переклад: Володимир Рентюк*  
**Застосування мікроконтролера RA6T1 компанії Renesas Electronics для прогнозного технічного обслуговування електродвигунів . . . . . 64**

### ДЖЕРЕЛА ЖИВЛЕННЯ

**Мультикіловатні керовані джерела живлення MEAN WELL: унікальні рішення для сучасних промислових установок . . . . . 70**

*Стів Робертс*  
**«Хакінг» AC/DC-конвертера . . . . . 74**

**ВІЗИТКИ . . . . . 78**

**ВИСТАВКИ . . . . . 83**

**ІНФОРМАЦІЙНА СТОРІНКА. . . . . 84**



# Вологозахист дронів від MG Chemicals

## Акрилове конформне вологозахисне покриття підвищеної якості 419E MG Chemicals



Вологозахисне покриття 419E є акриловим конформним покриттям преміум-класу, що розроблене для посилення захисних властивостей друкованих плат від впливів навколишнього простору. Це захисне покриття – одне з небагатьох покриттів, представлених на ринку, сертифікованих відповідно до обох стандартів UL 746E та IPC-CC-830C. Воно легко наноситься, покритий виріб можна переміщати вже через 15 хв після нанесення, після висихання дане покриття утворює міцну, гнучку та однорідну плівку. Покриття 419E MG Chemicals легко видаляється відповідним знімачем покриттів або ж можна здійснювати паяння паяльником через покриття при проведенні ремонту або доробки вузлів.

Це покриття є перспективним матеріалом для друкованих плат. Воно забезпечує високий ступінь захисту від вологи, конденсату, корозії, цвілі, бруду, пилу, термоудару, коротких

замикань, високовольтних іскрінь та електростатичних розрядів.

### Властивості та переваги

- Сертифіковано відповідно до UL 746E (Файл №E203094)
- Сертифіковано відповідно до IPC-CC-830C
- Висока швидкість висихання на відліп – 15 хв; повне висихання за 30 хв при 65 °C
- Захищає друковані плати від вологи, корозії, плісняви та електростатичних розрядів
- Не містить небезпечних забруднювачів повітря – толуолу, ксилолу та озоноруйнівних сполук
- Високоякісне фінішне покриття – гладке, однорідне та міцне, прозоре
- Простота в інспекції якості нанесення – світиться в УФ-променях
- Легкість у ремонті та при внесенні доробок – видаляється розчинником 435, знімачем конформних покриттів 8310A



## Силіконове вологозахисне покриття, преміум-класу 422C MG Chemicals

Вологозахисне покриття 422C є сумішшю акрилу і силікону, яка при висиханні утворює міцне, гнучке і гладке фінішне покриття. Воно легко наноситься та висихає на відліп за 10 хвилин. Покриття може бути видалено відповідними видалюючими або пропаяно наскрізь при проведенні ремонту або доробки виробу.

Дане покриття для електричних схем вносить мінімальну напругу на компоненти при термоцикуванні, що робить його ідеальним рішенням для застосування в широкому діапазоні робочих температур. Воно забезпечує високий рівень захисту від вологи, корозії, плісняви, забруднень, пилу, термоудару, коротких замикань, високовольтних іскрінь та електростатичних розрядів.

Це вологозахисне покриття для друкованих плат 422C MG Chemicals є найкращим конформним покриттям для випадків, що потребують захисту від вологи, роботи в широкому діапазоні температур та гнучкості. Це покриття є чудовим рішенням для систем, що забезпечують спостереження від першої особи, і чудово підходить для вологозахисту віддалених систем, таких як дрони та автомобілі на дистанційному керуванні.

### Властивості та переваги

- Швидко сохне – час висихання на відліп 10 хв; повне висихання за 20 хв при 65 °C
- Схвалено для застосування в роботизованих системах селективного вологозахисту
- Максимальна робоча температура 200 °C
- Сертифікат UL94 V-0 (файл № E203094)
- Захищає від корозії
- Флуоресціює під УФ-А випромінюванням

Покриття ідеально підходить для високотемпературного застосування. Силіконове конформне покриття утворює еластичну плівку, яка забезпечує захист друкованих плат від впливу вологи, корозії та теплового удару. Захищає та ізолює електронні та електричні компоненти та зборки, у тому числі генератори, електродвигуни, трансформатори, реле та соленоїди. Для нанесення способом розпилення

(наприклад, за допомогою аерозольного клапана BV-500 та дозатора TAD-200V) рідина може бути розведена, використовуючи розчинник 435.



## Водозахищений дрон – надійний дрон

 Вироблено в Канаді



ТОВ „ФІЛУР ЕЛЕКТРИК, ЛТД“ –  
офіційний дистриб'ютор  
продукції MG Chemicals  
в Україні

Адреса:  
вул. Гетьмана Павла Полуботка, 22/14  
м. Київ, Україна, 02100  
www.filur.net

Контакти:  
+38 (044) 495 75 75  
+38 (068) 496 75 75  
office@filur.net

Для замовлення:

| Артикул | Назва  |
|---------|--|
| 37713   | Лак захисний акриловий MG Chemicals 419E-340G    |
| 37714   | Лак захисний акриловий MG Chemicals 419E-1L      |
| 37715   | Лак захисний акриловий MG Chemicals 419E-4L      |
| 37662   | Лак захисний силіконовий MG Chemicals 422C-55ML  |
| 41853   | Лак захисний силіконовий MG Chemicals 422C-445ML |
| 37661   | Лак захисний силіконовий MG Chemicals 422C-945ML |
| 37664   | Лак захисний силіконовий MG Chemicals 422C-3.78L |

# Новини світу електронних компонентів

## РАННІЙ ДОСТУП ДО РОЗШИРЕНЬ MPLAB® ДЛЯ VS CODE®

Використовуючи універсальність Microsoft® Visual Studio® Code (VS Code®), компанія **Microchip Technology** випустила версію раннього доступу MPLAB® Extensions для VS Code. Цей запуск надає розробникам вбудованих систем інструменти для імпорту проектів з інтегрованого середовища розробки (IDE) MPLAB X до VS Code, зберігаючи при цьому доступ до налагодження та підтримки програмування від Microchip. Ця ініціатива є частиною довгострокової стратегії компанії Microchip по розширенню своїх пропозицій та обслуговування розробників, що працюють в екосистемі VS Code.

MPLAB X IDE — це розширюване, висококонфігуроване програмне забезпечення, яке містить потужні інструменти, що допомагають розробникам знаходити, конфігурувати, розробляти, налагоджувати та перевіряти вбудовані проекти для більшості мікроконтролерів Microchip та цифрових контролерів сигналів. Розширення VS Code об'єднують можливість MPLAB X IDE з гнучкістю VS Code для створення більш зручного та ефективного середовища розробки як для нових, так і для наявних клієнтів. Ці продукти випускаються за програмою раннього доступу, щоб швидко надати клієнтам необхідні інструменти, в той час як команда розробників Microchip продовжує

вдосконалювати розширення на основі відгуків користувачів.

«У компанії Microchip ми прагнемо зустріти розробників у зручному для них середовищі. VS Code є надзвичайно популярним інструментом, а нещодавнє розширення MPLAB дозволяють розробникам продовжувати працювати в найбільш знайомому їм середовищі розробки, використовуючи при цьому всі переваги повної підтримки пристроїв та інструментарію Microchip, — сказав Роджер Річі (Rodger Richey), віцепрезидент з систем розробки та академічних програм компанії Microchip. — Таке поєднання пропонує оптимальне поєднання знайомості та функціональності, забезпечуючи розробникам простий шлях до інтеграції наших ресурсів та компонентів».

У цьому випуску раннього доступу розширення MPLAB для VS Code містять такі можливості, як імпорт проектів з MPLAB X IDE, а також можливість компілювати, програмувати й виконувати бази-ві налагоджувальні роботи з будь-яким підтримуваним пристроєм Microchip. Крім того, MPLAB Data Visualizer можна використовувати всередині VS Code через розширення, пропонуючи користувачам можливість бачити, що відбувається на пристрої під час виконання.

У майбутніх оновленнях до VS Code буде додано MPLAB Code Configurator, який допоможе налаштувати попередньо сконфігуровані проекти. Також розпочато розробку розширен-

ня VS Code для MPLAB Machine Learning Development Suite і додаткового розширення MPLAB Extension for AI code-generating assistance для перегляду і вдосконалення коду зсередини IDE.

Впровадження MPLAB Extensions для VS Code означає новий етап доступності та гнучкості для розробників, які використовують інструменти Microchip. Це перший випадок, коли програмне забезпечення MPLAB IDE стає доступним поза екосистемою розробки MPLAB, але це лише початок ширшої інтеграції Microchip зі спільнотою VS Code. Поточні функції призначені для задоволення нагальних потреб розробників, з наміром продовжувати вдосконалювати інструментарій і впроваджувати нові розширення з додатковою функціональністю в майбутньому.

[www.microchip.com](http://www.microchip.com)

## РОЗШИРЕННЯ ПОРТФОЛІО ПРОЦЕСОРІВ

Інтенсивні обчислювальні програми в режимі реального часу, такі як інтелектуальний вбудований зір і машинне навчання (ML), розширюють межі вимог до вбудованої обробки, вимагаючи більшої енергоефективності, безпеки на апаратному рівні та високої надійності на периферії. З випуском лінійки PIC64 компанія **Microchip Technology** розширює свій асортимент обчислювальної техніки, щоб задо-

волнити все вищі вимоги сучасних вбудованих систем. Завдяки тому, що компанія Microchip стає єдиним постачальником рішень для мікропроцесорів, сімейство PIC64 буде розроблено для підтримки широкого спектра ринків, які потребують обробки даних як в режимі реального часу, так і в класі додатків. Процесори PIC64GX, перші з нової лінійки, що вийшли на ринок, дозволяють створювати інтелектуальні периферійні пристрої для промислового, автомобільного, комунікаційного, IoT, аерокосмічного та оборонного сегментів.

«Microchip є лідером у виробництві 8-, 16- та 32-розрядних вбудованих рішень, і з розвитком ринку повинні розвиватися і наші лінійки продуктів. Поповнення нашого портфолію 64-бітними процесорами дозволяє нам пропонувати рішення для низько-, середньо- та високопродуктивних обчислень, — сказав Ганеш Мурті (Ganesh Moorthy), генеральний директор та президент компанії Microchip Technology. — Процесор PIC64GX — це перший з декількох 64-бітних процесорів, розроблених для підтримки інтелектуальної периферії та задоволення широкого спектра вимог до продуктивності у всіх сегментах ринку».

Інтелектуальна периферія часто вимагає 64-розрядних гетерогенних обчислювальних рішень з асиметричною обробкою для запуску Linux®, операційних систем реального часу і «голого металу» в одному процесорному кластері з можливостями безпечного завантаження. Сімейство мікропроцесорів PIC64GX від Microchip задовольняє вимоги до інтелектуальних периферійних обчислень середнього рівня за допомогою 64-розрядного чотирядного процесора RISC-V® з асиметричною багатопроекторною обробкою (Asymmetric Multiprocessing, AMP) і детермінованими затримками. PIC64GX MPU — це перше багатоядерне рішення RISC-V® з підтримкою AMP для систем зі змішаною критичністю. Він складається з чотирядного кластера центральних процесорів (ЦП) з підтримкою Linux, монітора п'ятого класу мікроконтролерів і гнучкої

# K206

Електронні компоненти

Все для виробництва та ремонту зі складу та на замовлення

[www.k206.net](http://www.k206.net)

+38 096 77-99-665





кеш-пам'яті L2 об'ємом 2 МБ, що працює на частоті 625 МГц.

Сімейство PIC64GX може похвалитися різними сумісними з пристроями ПЛІС PolarFire® SoC від Microchip, пропонуючи велику гнучкість в розробці вбудованих рішень. Крім того, 64-бітне портфоліо буде використовувати просту у використанні екосистему інструментів і допоміжного програмного забезпечення Microchip, включаючи безліч потужних процесів, які допомагають конфігурувати, розробляти, налагоджувати та кваліфікувати вбудовані проекти.

Сімейство високопродуктивних космічних обчислень PIC64 (PIC64-HPSC) також випускається в рамках першої хвилі 64-бітних пропозицій Microchip. 64-розрядні багатоядерні RISC-V MPU космічного класу призначені для підвищення продуктивності обчислень більш ніж у 100 разів, забезпечуючи при цьому безпрецедентну стійкість до радіації та відмов для аерокосмічних та оборонних застосувань. Лабораторія реактивного руху NASA (NASA-JPL) оголосила в серпні 2022 року, що вибрала компанію Microchip для розробки процесо-

ра HPSC в рамках свого поточного комерційного партнерства. Сімейство PIC64-HPSC представляє нову еру автономних космічних обчислень для NASA-JPL і ширшої оборонної та комерційної аерокосмічної промисловості.

З появою сімейства PIC64 компанія Microchip стала єдиним постачальником вбудованих рішень, який активно розробляє повний спектр 8-, 16-, 32- і 64-бітних мікроконтролерів (MCU) і мікропроцесорів (MPU). Майбутні сімейства PIC64 включатимуть пристрої на базі архітектур RISC-V або Arm®, а розробники вбудованих систем зможуть скористатися перевагами комплексних рішень Microchip — від кремнію до вбудованих екосистем — для прискорення проектування, налагодження та верифікації, а також скорочення часу виходу на ринок.

[www.microchip.com](http://www.microchip.com)

#### DC/DC ІЗ НАДШИРОКИМ ДІАПАЗОНОМ ВХІДНОЇ НАПРУГИ

Компанія **TRACO POWER** почала серійне виробництво

DC/DC-перетворювачів для залізниці серій THN 10UIR, TEN 30UIR, TEN 40UIR, потужністю 10, 30, 40 Вт.

THN 10UIR, TEN 30UIR і TEN 40UIR — три нові серії високопродуктивних DC/DC-перетворювачів з діапазонами вхідних напруг стандарту «12:1» для використання на залізниці, потужністю 10, 30 і 40 Вт відповідно. Компактні, повністю інкапсульовані перетворювачі мають підвищену стійкість до ударів/вібрацій та теплових ударів.

Сертифікація згідно EN 50155 та EN 61373 дозволяють використовувати їх на транспорті, в тому числі й на залізничному. Також вони мають сертифікацію з пожежостійкості компонентів EN 45545-2 і схвалення безпеки згідно з IEC/EN/UL 62368-1. Усі моделі мають напругу ізоляції вхід/вихід 3000 В постійного струму та функцію активного блокування при зниженні напруги, дистанційне ввімкнення/вимкнення та регульовані виходи, що гарантує, що ці перетворювачі підходять для будь-яких застосувань в жорстких умовах навколишнього середовища.

[www.tracopower.com](http://www.tracopower.com)

#### НОВІ УЛЬТРАКОМПАКТНІ СІЛЬНИКОВІ МОДУЛІ LTE CAT 1BIS

Компанія **u-blox**, світовий постачальник провідних технологій і послуг у сфері позиціонування та бездротового зв'язку, оголосила про розширення своєї популярної лінійки продуктів R10 для швидкозростаючого ринку стільникового зв'язку LTE Cat 1bis. За прогнозами аналітичної компанії Techno Systems Research Co., Ltd, до 2029 року на частку LTE Cat 1bis припадатиме 43.6% всіх мобільних пристроїв, що не є телефонами, і очікується, що ця технологія стане найбільш популярною технологією стільникового зв'язку для Інтернету речей (IoT) протягом наступних 4–5 років. Нові модулі посилюють портфоліо LTE Cat 1bis від u-blox, обслуговуючи як IoT, так і користувачів, які мігрують із застарілого стільникового зв'язку 2G/3G.

Новий u-blox LEX1-R10 Global — це ультракомпактне рішення LTE Cat 1bis розміром 16 x 16 мм, яке можна використовувати по всьому світу в обмежених за розміром пристроях Інтернету речей, таких як трекери для стеження за людьми або домашніми



**Серії HEP**

**100-1000 Вт**  
Безвентиляторні блоки живлення для суворих умов експлуатації

- Безвентиляторне виконання і повністю герметичний корпус
- Висока ефективність
- Широкий діапазон робочих температур
- Витримують вібрації до 10G
- Модель з вихідною напругою 100 В (серія HEP-1000)
- 6 років гарантії

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

**SEA** | ІННОВАЦІЇ ТА ЕФЕКТИВНІСТЬ

30 років партнерства

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

тваринами, а також в пристроях, що носяться з собою. LEXI-R10 Global — це найменший у світі одномодовий модуль LTE Cat 1bis для встановлення всередині приміщення з ядром, сертифікованим американським оператором.

Нова серія SARA-R10 пропонує ті ж можливості, що і LEXI-R10 Global, у популярному форм-факторі SARA від u-blox. В умовах, коли відхід від 2G і 3G триває по всьому світу, SARA-R10 пропонує розробникам продуктів, що використовують 2G і 3G модулі u-blox SARA, прямиї шляхи до 4G LTE — найпоширенішого глобального стандарту стільникового зв'язку на сьогодні і на довгі роки вперед.

LEXI-R10 і SARA-R10 пропонують можливість вбудовування eSIM, і обидва модулі також мають вбудований Wi-Fi Sniffer, що забезпечує локалізацію в приміщенні за допомогою сервісу u-blox CellLocate на основі Wi-Fi, так і стільникових мереж.

Одним з варіантів є SARA-R10M10, найменший у світі модуль LTE Cat 1bis з вбудованою глобальною навігаційною супутниковою системою (GNSS), здатний одночасно забезпечувати зв'язок і відстеження. Це ідеальне рішення для відстеження об'єктів і телематичних систем, які вимагають безперервного зв'язку, а також позиціонування всередині і зовні приміщень у будь-якій точці світу, завдяки поєднанню GNSS, Wi-Fi сканування і глобального покриття LTE. Цей модуль також на 50% менший, ніж попередній комбінований модуль LTE Cat 1bis від u-blox, LENA-R8M10.

Нові модулі u-blox R10 надають розробникам продуктів рішення для підключення до стільникового зв'язку 4G для пристроїв Інтернету речей, які потребу-

ють середньої швидкості передачі даних, портативності по всьому світу, наднизького енергоспоживання і компактних розмірів.

[www.u-blox.com](http://www.u-blox.com)

### НАДМІЦНІ ТВЕРДОТІЛЬНІ ПІДСИЛЮВАЧІ ПОТУЖНОСТІ

Компанія **Ampleon** представила свої новітні транзистори з піковою радіочастотною потужністю 2500 Вт, що живляться від джерела живлення 75 В. Це значний крок вперед у технології Advanced Rugged Transistors (ART), що встановлює новий стандарт надійності та продуктивності.

З появою нових моделей ART2K5TFUS і ART2K5TPU компанія Ampleon розширює свою підтримку потужних промислових, наукових і медичних (ISM) пристроїв наступного покоління. Ці новинки доповнюють і без того потужний асортимент продукції ART, пропонуючи повну серію високовольтних і надзвичайно надійних твердотільних підсилювачів потужності (Solid State Power Amplifier, SSPA) потужністю від 1 600 Вт до 2 500 Вт.

Транзистори ART2K5Tx розроблені в корпусі з пористої кераміки (Air Cavity Ceramic, ACC) і корпусі з литим пластиком (Overmolded Plastic Package, OMP), що забезпечує потужність 2500 Вт класу AB в діапазоні частот від 1 до 400 МГц. Корпус ACC гарантує найвищу надійність і підвищену стійкість до циклічних перепадів напруги, в той час як корпуси OMP є економічно вигідним рішенням.

Головною особливістю цих пристроїв є їхня неперевершена міцність, про що свідчить вража-

юче співвідношення напруги до стійкої хвилі (Voltage Standing Wave Ratio, VSWR) — 65:1. Ця особливість має вирішальне значення для витримування суворих динамічних навантажень, притаманних різноманітним застосуванням, в тому числі генератори плазми, драйвери CO<sub>2</sub>-лазерів, прискорювачі частинок, надвисокочастотні радари, магнітно-резонансні томографи (MPT) та FM/VHF-передавачі. Завдяки майже нескінченному терміну служби та незначній деградації електричних параметрів з часом, транзистори ART гарантують надзвичайну надійність навіть у найскладніших умовах експлуатації. Крім того, ці транзистори мають інтегровані температурні датчики, працюють за високої напруги 75 В, що зменшує потребу в постійному струмі, і досягають виняткового рівня ефективності розсіювання від 80 до понад 90%, залежно від класу експлуатації.

[www.ampleon.com](http://www.ampleon.com)

### КОНТАКТНІ ВСТАВКИ З ТЕХНОЛОГІЄЮ PUSH-IN

Контактні вставки Push-in для модульних з'єднувачів для важких умов експлуатації Heavyson від **Phoenix Contact** забезпечують просте підключення проводу без використання інструментів. Нові контактні вставки для сильноточних застосувань надійно передають струм до 100 А.

Завдяки можливості комбінування в одному корпусі з іншими модулями контактних вставок, наприклад, для передачі сигналів і даних, створюється індивідуальний компактний з'єднувач.

Для передачі та зберігання відновлюваної енергії та живлен-

ня великих центрів обробки даних зростає попит на з'єднувачі з високим номінальним струмом 40 А і вище. Надпотужні промислові з'єднувачі дедалі частіше замінюють класичні штекерні роз'єми CEE. Завдяки значно меншому опору контактів, розсіювану потужність можна зменшити, як порівняти зі штекером CEE, що суттєво знижує витрати на електроенергію. Крім того, Heavyson modular дає змогу комбінувати різні канали передачі в одному корпусі і, таким чином, створює дуже компактний інтерфейс. Контактні вставки Push-in пропонують безпечне підключення живлення до 100 А без використання інструментів. Гнучкі провідники з наконечниками або одножильні провідники з поперечним перерізом до 16 мм<sup>2</sup> можна вставляти безпосередньо із мінімальним зусиллям. Особливо компактна клемна камера контактних вставок Push-in забезпечує високу щільність монтажу, яку до цього можна було реалізувати лише за допомогою класичних обтискових з'єднань. Технологія Push-in забезпечує максимальне контактне зусилля й силу витягання проводу, а також вібростійкість і газонепроникність з'єднання. Широкий асортимент виробів пропонує відповідні контактні вставки для будь-якого застосування.

[www.phoenixcontact.com](http://www.phoenixcontact.com)

### СЕРТИФІКОВАНА ПЛАТФОРМА ДЛЯ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИХ ПІДСТАНЦІЙ

Компанія **Advantech** оголосила про випуск ECU-479 — комп'ютера для автоматизації

## MAXTENA

### M7HCT-A-SMA



- Active quadrifilar helix antenna for RTK applications
- Concurrent GNSS reception on L1: GPS, GLONASS, Galileo, Beidou L2: GPS L2C, GAL E5B, GLO L3OC L5: GPS (M8HCT-A-SMA) L-Band (M9HCT-A-SMA)
- Rugged IP-67 rating with SMA
- Dimensions (mm) Ø 35 x H 57

### M1575HCT-22P-SMA (GG)



- I High performance passive GPS or GPS/GLO antenna
- Very low axial ratio
- IP-67 mounted and unmounted
- Ultra light weight - 10 grams
- Ground plane independent
- Dimensions (mm) Ø 18.5 x H 38
- SMA connector
- Internal version available: Ø 12.85 x H 24.30, only 2g weight

### MAXTENA MPA-254-WIFI



### MAXTENA MEA-2400-UWB-SM



### MAXTENA MEA-2400-MM



[WWW.MICRODIS.NET](http://WWW.MICRODIS.NET)

Роман Прокопеч – менеджер з продажу

(067) 475-81-86

[Roman.Prokopets@microdis.net](mailto:Roman.Prokopets@microdis.net)

електроживлення, цифровізації та віртуалізації інтелектуальних підстанцій.

ECU-479 — це безвентиляторний вбудований комп'ютер, спеціально розроблений для інтелектуальних підстанцій нового покоління та суворих умов. Він оснащений новітніми процесорами Intel® Core™ 13-го покоління, що підтримують до 8+8 ядер, тому підходить для високих обчислювальних вимог і застосовує віртуалізації, може працювати в широкому діапазоні температур (від -25 до 70 °C). Завдяки чотирьом вбудованим виходам дисплея і можливості розширення через слоти PCIe ECU-479 добре підходить для багатоекранних застосунків, таких як системи SCADA. Високий ступінь міцності, надійності та масштабованості, роблять ECU-479 чудовим рішенням для підстанцій.

ECU-479 відповідає стандарту IEC 61850-3 Level 4, Class 2 і пройшов ретельні випробування для забезпечення стабільної роботи в різних жорстких умовах. Маючи безвентиляторний дизайн ECU-4784, він підтримує роботу в широкому діапазоні температур до 70 °C/158 °F і має триваліший

середній час напрацювання на відмову (MTBF). Підтримуються процесори Intel® Core™ 13-го покоління з шістнадцятьма ядрами (8 продуктивних і 8 ефективних). Завдяки значному збільшенню обчислювальної потужності та кількості ядер, це оптимальне рішення для додатків оцифрування та віртуалізації на підстанціях.

Безперебійна робота протягом тривалого часу є обов'язковою вимогою для інфраструктури. ECU-479 оснащений резервним блоком живлення з можливістю гарячої заміни, який миттєво перемикається на інше джерело живлення в разі збою або несподіваного вимкнення живлення для підтримки стабільності системи. Оснащений чотирма 2.5" портами SATA з можливістю гарячої заміни та одним слотом для твердотілого накопичувача M.2, він підтримує конфігурації RAID для резервування даних. У разі використання додаткових мережевих карт HSR/PRP, як-от серія ECU-P1524, забезпечується приймання/передача всіх даних, що дає змогу досягти надмірності зв'язку.

ECU-479 має широкі можливості підключення, включно з LAN, USB, DP і COM-портами, що дає

змогу використовувати його в SCADA та інших сценаріях. Підтримка чотирьох пристроїв через PCIe (до PCIe Gen. 4 x16) дає змогу розширити функціональні можливості, як-от RAID, Fiber, COM, PTP, IRIG-B і GPS-годинник, відповідно до конкретних вимог. Крім того, власний слот PCI/PCIe, сумісний із платами розширення серії ECU-P, дає змогу додати до восьми портів RJ-45, SFP, COM або інших типів інтерфейсів, забезпечуючи універсальність комунікаційних і розширювальних потреб.

ECU-479 підтримує новітні операційні системи, такі як Windows 10/11, Windows Server 2022 і Linux (наприклад, Ubuntu 22.04). Завдяки багатоядерним процесорам він забезпечує відмінну продуктивність у режимі реального часу, що робить його ідеальним для програм управління віртуальними машинами. Крім того, він підтримує такі технології віддаленого керування, як iBMC (контролер керування інтелектуальною платою), Intel® AMT і SNMP, що дає змогу користувачам здійснювати віддалене керування поза зоною дії мережі (OOB), що унеможливорює необхідність обслуговування на місці,

скорочує час простою системи та експлуатаційні витрати.

[www.advantech.com](http://www.advantech.com)

## РОЗУМНИЙ АВТОМАТИЧНИЙ ВИМИКАЧ

Компанія **Schaltbau** оголосила про випуск лінійки розумних автоматичних вимикачів Smart Circuit Breaker, які вимикають струм у десять-сто разів швидше, ніж звичайні контактори, а отже, краще захищають усі види систем накопичення енергії.

«Надшвидкі та надійні розумні автоматичні вимикачі є критично важливими в середовищі систем постійного струму (DC), що швидко розвивається, — сказав Штеффен Мюнци, генеральний директор Schaltbau. — Вони спрощують інтеграцію відновлюваних джерел енергії, систем зберігання енергії та споживачів енергії в промисловій мікромережі для більш розумної, безпечної та стійкої роботи мережі».

Лінійка продуктів Smart Circuit Breaker є найновішим доповненням до портфоліо продуктів групи



**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**



компаній Schaltbau для її цільових ринків, що швидко зростають. Вони забезпечує максимальний захист кіл у широкому діапазоні застосувань постійного струму (DC), зокрема в мікромережах постійного струму, системах зберігання енергії, випробувальних стендах, зарядних пристроях для електронних транспортних засобів та перетворенні енергії.

Ця нова лінійка продуктів складається з розумного автоматичного вимикача, розумного гібридного автоматичного вимикача та розумного твердотілісного автоматичного вимикача. У той час як розумний автоматичний вимикач працює з механічним контактором, розумний гібридний автоматичний вимикач об'єднує як механічні, так і напівпровідникові елементи для ще швидшого захисту. Розумний твердотілісний автоматичний вимикач — це повністю напівпровідниковий перемикач.

Всі вони активно вимірюють напругу і струм безпосередньо на комутаційному елементі. Грунтуючись на цих внутрішніх можливостях вимірювання, вони дозволяють локалізовано приймати рішення та передавати дані на пристрої вищого рівня. Комутаційний пристрій Smart Circuit Breaker не тільки діє як чудовий захист кола, оскільки він значно мінімізує енергію, що виникає в разі несправностей або перевантажень, але також збільшує термін служби системи, стаючи джерелом даних для інтелектуальних, прогнозованих концепцій технічного обслуговування, а також реєстратором даних для кращого аналізу першопричини короткого замикання.

<https://schaltbau.com>

**НОВА ТЕХНОЛОГІЯ  
ДОЗВОЛЯЄ ДРОНАМ  
ЛІТАТИ «НАОСЛІП»  
БЕЗ СИГНАЛІВ GPS**

Канадська компанія **One Silicon Chip Photonics** (далі «OSCP») розробила високорентгелювальну інерційну оптичну систему, яка точно не поступається навігаційним датчикам, що використовуються в авіаційній галузі. Схеми, розроблені компанією, забезпечують високоточну навігацію навіть без сигналів GPS. Оскільки вони повністю механічні, ці схеми в 10 разів точніші, ніж блоки інерційних вимірювань мікроелектромеханічних систем MEMS IMU, які зазвичай використовуються в комерційних додатках.

Електроніка стала меншою, швидше та ефективнішою, але мініатюризація обмежена розсіюванням тепла в мідній провідці. Заміна електронів фотонами та міді оптичними волокнами вирішує цю проблему.

Раніше фотонна технологія вимагала громіздких та дорогих перетворювачів для заміни дротів на волокна. Тепер мікрофотоніка та електронні компоненти можуть бути інтегровані на рівні чипа, що дозволяє передавати всю інформацію по одному волокну.

Технологія оптичної MEMS усуває обмеження електроніки, забезпечуючи більш швидку передачу даних та більшу пропускну здатність. OSCP розробляє та виробляє високопродуктивні датчики руху з використанням кремнієвої фотоніки. Ці датчики використовують технологію фотонної інтегральної схеми PIC та мікроелектромеханічної системи MEMS для вимірювання прискорення та обертання об'єкта.

Компанія OSCP об'єдналася із французькою фірмою Thales, яка створює автономні залізничні системи та тестує свої новітні технології. На думку Thales, використання таких датчиків як OSCP на залізничному транспорті може підвищити автономність транспортних засобів. Це допоможе збільшити пропускну здатність залізниць до 50% та знизити споживання енергії на 15%.

Компанія OSCP стверджує, що нова технологія сприятиме масовому впровадженню їх систем у таких додатках, як автономні наземні транспортні засоби та літальні апарати.

OSCP прагне повністю інтегрувати оптичні компоненти в чип PIC, зменшуючи розмір, вагу та енергоспоживання, а також усуваючи витрати на збирання. Така інтеграція підвищує надійність системи, знижує оптичні втрати та підвищує чутливість пристрою.

<https://onesiliconchipphotonics.com>

**СИСТЕМИ ПЕРЕТВОРЕННЯ  
ЕНЕРГІЇ, ОПТИМІЗОВАНІ  
ДЛЯ ЗАСТОСУВАННЯ  
В СИСТЕМАХ ESS**

З прискоренням впровадження систем накопичення енергії (ESS, Energy Storage Systems) виникає гостра потреба в компактних і високоефективних системах перетворення електроенергії (PCS, Power Conversion Systems),

оптимізованих для застосування в ESS. Щоб задовольнити цю потребу, компанії **Semikron Danfoss** (далі «Semikron Danfoss») та **Headspring Inc.** (далі «Headspring») об'єднали зусилля для розробки передових рішень для систем перетворення електроенергії спеціально для ESS, які планується випустити у масове виробництво до 2026 року. Ця співпраця спрямована на створення більш ефективних та компактних рішень для зберігання даних.

Системи накопичення енергії є важливими компонентами для відновлюваної енергетики та електромереж, забезпечуючи стійкість та стабільність постачання. За прогнозами, світовий ринок ESS зростатиме на 20–30% щорічно, а до 2030 року очікується перевищення 400 ГВт-год систем зберігання у всьому світі. Таке експоненційне зростання зумовлене збільшенням частки відновлюваної енергії в енергосистемі, що вимагає прискореного розгортання рішень ESS для стабільної роботи енергосистеми.

Щоб задовольнити потреби цього швидкозростаючого ринку, Semikron Danfoss розробляє серію адаптивних рішень для електроживлення. Центральним елементом цієї ініціативи є топологія ANPC (Active Neutral Point Clamping) для ESS, яка демонструє значне підвищення продуктивності за рахунок зменшення втрат потужності більш ніж на 50% у порівнянні з традиційними топологіями NPC/MLI. Однак, щоб повністю використати потенціал технології ANPC, співпраця з Headspring має вирішальне значення. Досвід компанії Headspring у галузі високошвидкісних контролерів є життєво важливим для ефективного управління системами ANPC та забезпечення оптимальної продуктивності.

Semikron Danfoss пропонує великий досвід та інновації в галузі силових електроніки на ринку ESS. Їх технологія ANPC в конфігурації H<sub>4</sub>/V<sub>4</sub>, що включає гібридну схему з кремнієвих IGBT і карбідних MOSFET, значно підвищує ефективність і економічність. Наявність силових модулів ANPC в корпусах промислового стандарту, що монтуються на друковану плату, знижує витрати на матеріали і збирання, що робить їх ідеальними для великосерійного виробництва. Силові модулі ANPC на платформі SEMITOP E2 мають чудові теплові характеристики, що сприяє зменшенню

розмірів і підвищенню продуктивності PCS для ESS. Semikron Danfoss прагне встановити нові стандарти продуктивності та вартості ESS за допомогою свого комплексного проектного пакету, який підтримує вдосконалення як апаратного, так і програмного забезпечення.

Компанія Headspring досягла успіху в розробці високошвидкісних контролерів реального часу, необхідних для застосування в силовій електроніці. Контролери Headspring поєднують комерційні мікроконтролери з технологією FPGA, забезпечуючи гнучке програмування, пристосоване до конкретних вимог застосувань силових електроніки. Компанія Headspring брала участь у Програмі сприяння стратегічним інноваціям (SIP, Strategic Innovation Promotion) «Енергетичні системи для суспільства Інтернету речей» Кабінету міністрів Японії, очолюючи розробку надшвидкісних контролерів для силових електроніки. Ці контролери, що поєднують високошвидкісні багатоядерні процесори, високопродуктивні ПЛІС та високошвидкісні АЦП, досягають продуктивності керування зі зворотним зв'язком 50 МГц, що приблизно в 1000 разів швидше, ніж у звичайних системах.

Semikron Danfoss і Headspring співпрацюють над розробкою компактної, високоефективної PCS, пристосованої для великомасштабних, масштабованих застосувань ESS, шляхом інтеграції силових модулів на основі технології ANPC від Semikron Danfoss з передовою технологією контролерів Headspring. Semikron Danfoss запропонує свій досвід для розробки блоку живлення, який включає силові модулі, схеми приводів і охолоджувачі, в той час як Headspring відповідатиме за контролери, периферійні схеми, програмне забезпечення та інтеграцію PCS.

Ця синергія спрямована на створення PCS для ESS з оптимізованою вартістю, ефективністю та розмірами. Основна мета полягає в тому, щоб дозволити контейнерним рішенням ESS збільшити ємність зберігання на 20-футовий контейнер з 3.3 МВт-год до 5 МВт-год. Це дозволить створити дорожню карту, що встановлює апаратні та програмні стандарти для продуктивності ESS, забезпечуючи чудові рішення ESS, які сприятимуть розвитку технологій відновлюваної енергетики.

[www.semikron-danfoss.com](http://www.semikron-danfoss.com)

[www.chipnews.com.ua](http://www.chipnews.com.ua)

# НВП «ТЕХНОСЕРВІСПРИВІД»

Авторизований сервіс-партнер Danfoss Drives в Україні

[www.semismart.com.ua](http://www.semismart.com.ua), [semikron@ukr.net](mailto:semikron@ukr.net), [service\\_danfoss@ukr.net](mailto:service_danfoss@ukr.net)  
(044) 458 47 66, (067) 463 46 62, (095) 284 96 62



Офіційний представник в Україні



## 7-е покоління IGBT

Новий еталон  
для електроприводів

[www.semikron-danfoss.com](http://www.semikron-danfoss.com)

GENERATION  
IGBT  
7

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

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

### Особливості

Нижча напруга насичення  $V_{ce,sat}$

Підвищена здатність витримувати перевантаження до 175 °C

Втрати на комутацію і  $dv/dt$  оптимізовані для електроприводів

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

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



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



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



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

# Canyon Development – ми підтримуємо інновації

**Компанія Canyon Development є однією з небагатьох ІТ компаній України, що надає послуги з розробки продуктів електроніки, починаючи від SWOT-аналізу продукту і до організації виробництва. Значною перевагою Canyon Development є можливість тестування приладів на всіх стадіях розробки, оскільки ми маємо для цього дві лабораторії та належне обладнання. Кожного дня наша команда долає великі та маленькі труднощі задля того, аби цей світ мав можливість стати з нашими продуктами кращим, безпечнішим і сучаснішим.**

З 2016 року нашою командою було розроблено (на різних стадіях: PoC/MVP) або реалізовано і запущено у виробництво 108 продуктів. Найцікавіші з них, в яких ми брали участь і плануємо розвиватись і надалі, це: робототехнічна хірургія; пристрої домашньої медицини з AI (розумний стетоскоп); електронні дозатори ліків; пристрої косметології (шкіри) з AI; постопераційна обробка очей; розробки у ніші Інтернету речей, тобто смартхаум-хаби та периферія з надійною реаліза-

цією на апаратному і програмному рівнях (існуючі системи досі недосконалі через слабку безпеку, складність масштабування тощо); розумні камери з AI-аналітикою, що сьогодні застосовуються від дорожніх переходів до побутової техніки; носимі (переносні) і портативні девайси у спорті, медицині тощо, а також агропромислова електроніка — від польових сенсорів, систем керування мікрокліматом (теплиць) до, навіть, агроботів, застосування яких набирає обертів.

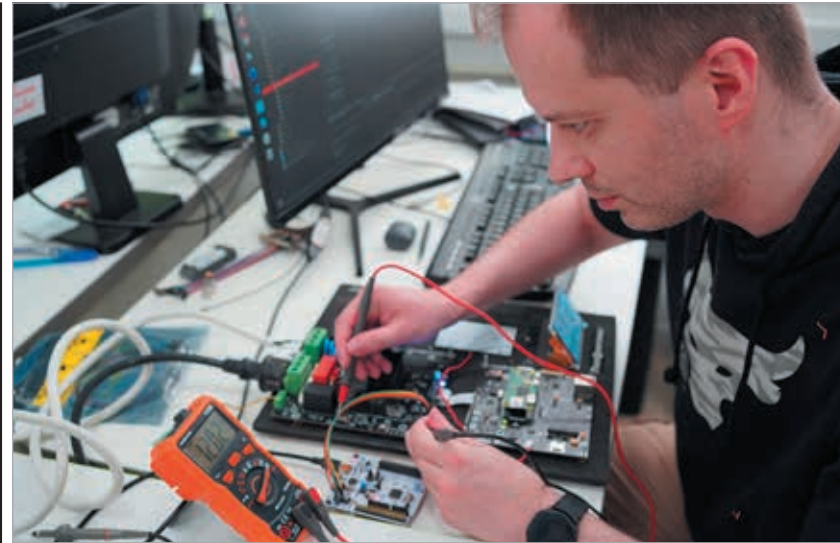
Потрапивши всередину приміщення, ви опиняєтеся у великому відкритому просторі, де працює безліч людей, на столах — обладнання, вимірювальна техніка, інструменти, окремі компоненти та начинка електроніки (рис. 1). Робочий простір упорядковано стелажми вздовж центрального проходу, на яких стоять струнко, як у бібліотеці, книги про менеджмент, технології, дизайн, маркетинг, а також коробки з наборами конструкторів Ugears. Багато з моделей вже зібрані та прикрашають стелажі.

Перше враження оманливе: ви не на радіозаводі, а в офісі компанії Canyon Development, де працюють над сучасною електронікою для клієнтів зі всього світу. Компанія з міста Дніпра близько 8 років тому запустила R&D центр, який займається розробкою та передсерійним виготовленням продуктів у різних нішах: медицині, косметології, сегменті розумної побутової електроніки, для агросектору тощо. Тут усі справи: інженери глибоко залучені в різноманітні процеси. У колективі відкрита



**Рис. 1.** Офіс компанії Canyon Development, де працюють над сучасною електронікою для клієнтів зі всього світу





**Рис. 2.** Налагодження електронних пристроїв справа кропітка та відповідальна

і дружня атмосфера, створені умови для особистої реалізації та творчості.

### **ПЛАВИЛЬНИЙ КОТЕЛ: ЖОДЕН ВИНАХІД НЕ МОЖЕ ОДРАЗУ СТАТИ ДОСКОНАЛИМ**

Розробка «hardware» не схожа на цей процес в інших ІТ компаніях, тому що інженери, які працюють тут, не весь час проводять за екраном монітора. Значна частина роботи пов'язана з налаштуванням і налагодженням електронних пристроїв, які виготовляються і тестуються тут, на місці (рис. 2). Специфіка роботи за багатьма з проектів включає дослідницьку роботу (спершу потрібно знайти найкращий концепт), постійні експерименти, і робота пристроїв не припиняється навіть на ніч — тестування та спостереження за пристроями цілком може здійснюватися і «віддалено». Основний виклик, що стоїть перед командою: забезпечення проривної технології, щоб кожен новий проект був унікальним і вигідно відрізнявся від конкурентних.

Водночас робота тут схожа й на звичні процеси у будь-якій іншій ІТ-компанії, за винятком того, що різноманітність розробників, які працюють над одним продуктом, тут може бути більшою, а інженери, втім, як і менеджери, часто завантажені безліччю задач (дослідницька аналітика, звітність, робота над тест-кейсами, розробка, налагодження) (рис. 3).

Найстаршому з електронщиків понад 50 років, а наймолодшому — лише 19. У команді нарівні з хлопцями працюють й дівчата: інженери-конструктори, аналітики, менеджери та рекрутер. Змішана команда дає «синергію»: це мож-

ливість обмінюватися досвідом; утримання фокусу в роботі; захопленість; пошук нових рішень. Драйвер зростання — це молодь, що не знає перешкод і схильна до ризику. Кожен із членів команди — унікальний по-своєму і вносить у проектну роботу вагомий внесок, гарантуючи успіх майбутнього продукту.

Усі в команді мають великий набір взаємодоповнюючих навичок і знань з інжинірингу: механіка, мехатроніка, унікальні матеріали та компоненти, технології виготовлення виробів із пластику, металу, друківані плати, програмування вбудованих систем, машинне навчання. Спільна робота інженерів і менеджерів дає змогу успішно реалізовувати проекти під вимоги клієнтів із США, Канади, ЄС, Британії, Ізраїлю, Австралії, обслуговувати іноземних провайдерів R&D послуг.



**Рис. 3.** Створення ідеального продукту: крок за кроком...

### **НЕ ТРАДИЦІЯ, А РОЗУМ Є ОСТАННІМ ДЖЕРЕЛОМ БУДЬ-ЯКОГО АВТОРИТЕТУ**

Важливим етапом будь-якого проектного розроблення є комунікація з безпосередніми замовниками. Серед них багато топменеджерів або серійних підприємців, які давно залучені до стартап індустрії і добре розуміють всі властивості продукту, який хотіли б запустити на ринок. Усе що їм потрібно — це знайти «команду мрії» для реалізації.

Завдання Проектного менеджера (ПМ) або Бізнес-аналітика (БА) на даному етапі — це максимально точно зрозуміти та відобразити вимоги замовника до продукту. Доречні будь-які засоби: часті мітинги, спеціально створений опитувальник, вивчення конкурентного ландшафту тощо. Все робиться з метою розуміння та вироблення правильних запитань. Кінцевим результатом мають стати списки вимог клієнта й обмежень щодо бажаного продукту.

Після отримання клієнтських вимог до роботи долучаються техліди та інженери. Їхнє завдання — розробити технічний рівень вимог. Усі відділи перебувають на відстані кількох кроків один від одного на відкритому просторі: всі вільно обговорюють варіанти рішень, концепції, тому що чим складнішим є продукт, тим більшу кількість різних фахівців необхідно залучити для коректного оцінювання майбутніх робіт.

Процес підготовки Технічного завдання (ТЗ), його першого релізу, починається ще до початку розроблення. Однак у роботі з новим виробом, застосовується agile-підхід, тому будь-яке



**Рис. 4. Пошук ідеального концепту продукту**

ТЗ — лише перша проєкція продукту. Розробка постійно зазнає змін: проводиться переоцінювання або виключення якихось етапів, зміни в архітектурі. Головна мета при цьому — бути гнучким і прийти до «досконалого продукту» найкоротшим шляхом. У разі довгих прогнозів для оцінювання робіт можуть створюватися робочі групи за участю ПМів, техлідів, тімлідів відділів, головного інженера (в ієрархії компанії — СТО). Модерування і керування мітингами проводять ПМи, їхнє завдання — забезпечити взаємодію між клієнтом і технічною командою.

Деякі з продуктів передбачають перевірку кількох робочих гіпотез (Proof of Concept, PoC) включно з виготовленням, складанням і тестуванням пристроїв. Таке трапляється зі складними й технологічно унікальними продуктами, у яких немає аналогів. За допомогою тестування гіпотез вдається виявити проблемні ділянки та врахувати ризики на ранньому етапі прогнозування, коли можна ще безболісно спланувати їхнє усунення.

Коли все ретельно перевірено та сплановано, можна починати розробляти продукт. Оскільки мова йде про hardware, то паралельно запускається інжиніринг: розроблення електронної частини, промисловий дизайн виробу (його зовнішній вигляд і функціональність), розробка програмного забезпечення на налагоджувальній (тестувальній) платі, вибір і закупівля необхідних компонентів (рис.4). Під час

підбору акцент обов'язково робиться на сучасні<sup>1</sup> компоненти і технології, які охоплюють, наприклад, цифрові мікросхеми, сенсори, літєві батареї, технології нанесення покриттів, 3D-друк, лиття пластику тощо

Створення друкованої плати або збірки (з уже розміщеними та запаєними компонентами) невідривно пов'язане з іншими відділами: оскільки її розміри (або розміри серії плат для складних виробів), архітектура та функціональність вплинуть на пристрій загалом, на роботу з прошивкою та узгоджену роботу продукту. Суміжні відділи регулярно обмінюються результатами виконаної роботи й нерідко, вже в процесі, оптимізують перебіг розроблення, так щоб усі частини пристрою в підсумку працювали як єдине ціле.

## ПРОДУКТИ СТВОРЮЮТЬСЯ ЛЮДЬМИ ТА ДЛЯ ЛЮДЕЙ

Коли все зібрано і, здається, навіть працює, у команди проєкту настає перше відчутне почуття задоволеності від виконаної роботи. Минає час і виріб опиняється «на прийманні» у відділі якості (*Quality Assurance, QA*), інженери якого винесуть свій вердикт виготовленому та зібраному виробу. Завдання QA-інженерів — перевірити продукт на тест-кейсах: його функціональність, якість збірки, плавність роботи механіки, відсутність збоїв у роботі програм і прошивки, зручність використання, безпека тощо. Ретельне тестування дасть змогу виявити найдрібніші недоліки, оперативно усунути їх на наступних етапах, щоб надати кінцевим користувачам задоволення від продукту.

Робота з новим виробом — це виклик, що зумовлений почуттям невідомості, з яким стикаються інженери в пошуку найкращого рішення: у написанні коду для прошивки мікроконтролера, ідеального компонування в механіці. Успіх справи вимагає не лише технічної вправності, а й здатності до комунікації між усіма учасниками. Саме ефективна комунікація та чіткий розподіл робіт дають змогу виконувати проєкти вчасно та отримувати задоволення від роботи.

## ВИГОТОВЛЕННЯ ТА ТЕСТУВАННЯ ВИРОБІВ

Усі продукти, які перебувають у процесі розробки, проходять множинне



**Рис. 5. Прототип продукту, отриманий на 3D принтері**

<sup>1</sup> Зазвичай 90% — це тільки брендові компоненти. Китайські можуть бути, але якщо ми їх добре знаємо.



прототипування на 3D принтерах компаній Creality Sermoon D3 Pro і Formlabs 3L (рис. 5). Збирання друкованих плат проводиться на машинах підрядників (провайдери в Китаї, Європі, на Тайвані) або на лабораторній складальній лінії NeoDen 9. Виготовлені механічні компоненти тестуються на збираність, розміри перевіряються цифровим мікрометром, субмікронним індикатором та іншими вимірювальними інструментами.

Вже змонтовані та запаяні плати проходять верифікацію в лабораторії, для чого застосовують розроблені методики та спеціальне обладнання: спектрометри, аналізатори та генератори сигналів. Це гарантує відповідність суворим стандартам і технічним вимогам, що особливо важливо для виробів у медицині, які розробляє Canyon Development.

Окрім плат, тестуванню підлягають і продукти загалом. У компанії використовують різні види тестування, які забезпечують всебічне оцінювання продуктів, що розробляються: функціональне тестування, тести на продуктивність та безпеку, тестування друкованих плат та інтегральних схем, механічне тестування (охоплює випробування на розтягування, стискання, вигин, удар і зношення). Це призводить до виявлення та усунення дефектів на ранніх стадіях розроблення, що підвищує їхню якість та надійність.

## ПРОЦЕС РОЗРОБЛЕННЯ В ДЕТАЛЯХ

Процес розроблення розділений на спринти. Спринт — це регулярний обмежений проміжок часу, протягом якого команда виконує заданий обсяг роботи в рамках проєкту. Спринт дає змогу зробити роботу над проєктом гнучкішою, прозорішою та зручнішою як для замовника, так і для команди розробників.

Під час кожного спринту відбуваються такі етапи:

- Планування:
  - команда визначає, які завдання будуть виконані протягом спринту;
  - визначаються цілі та пріоритети;
  - створюється спринт-беклог.

Планування в «hardware» на кшталт мистецтва, адже невизначеностей, спричинених взаємодією фізичної та програмної частини пристрою, набагато більше, ніж трапляється в класичному ІТ, зосередженому тільки на програмно-забезпеченні.

- Виконання завдань:
  - команда активно виконує завдання зі спринт-беклога;
  - відбувається розроблення, тестування, дизайн та інші необхідні етапи роботи, які можуть варіюватися від проєкту до проєкту;
  - виконання завдань контролюється не тільки з боку менеджера, а й з боку тімлідів. Таким чином, у всіх складається єдине бачення перебігу проєкту і виконаних робіт;
  - результати, отримані під час виконання завдань, в обов'язковому порядку підлягають верифікації з боку тімліда і менеджера, так само як і самі завдання — валідації.
- Щоденна комунікація:
  - коротка щоденна нарада, де команда обговорює прогрес, труднощі та плани на день.
- Ретроспектива спринту. Після завершення спринту команда проводить ретроспективу, де:
  - аналізуються минулий спринт, проблеми і покращення.
  - створюється план дій на наступний спринт.

Під час перебігу спринту також вводяться корективи в таблицю ризиків, якщо такі виявляються (наприклад, під час використання нових технологій або компонентів).

Результати, отримані під час виконання завдань, в обов'язковому порядку підлягають верифікації з боку техліда, тімліда і менеджера, так само як і самі завдання — валідації.

По закінченню певної кількості спринтів готується реліз — це той прекрасний час, коли закінчилися ввідні від клієнта, всі завдання виконані і можна передавати документацію (специфікації, моделі, патенти тощо) і прототипи замовнику.

## КОРПОРАТИВНА КУЛЬТУРА

Продуктивна робота чергується з різними корпоративними заходами. Це винні вечірки (авторська школа сомельє), настільні ігри, пікніки за містом, спорт і багато іншого (рис 6). У разі потреби відпочити (а можливо, розслабити напружений від роботи розум), у пошуку творчого спокою можна облаштуватись на пуфах у кімнаті відпочинку та зануритись у читання: стелажі заставлені книжковими новинками.

Основний успіх у створенні навіть складних продуктів забезпечений куль-



Рис. 6. Добре діло утіха, коли ділу не поміха

турою інновацій та горизонтальною системою відносин. Попри відмінності в поглядах і вікову різницю всі об'єднані спільними цінностями, керування процесами будується на мотивації, без жорстких правил. Основні принципи нашого підходу: рівність, прозорість і довіра. Кожен із членів команди добре знає свою зону відповідальності і водночас готовий прийти на допомогу іншим в разі потреби.

Компанія дотримується системи рангів, прийнятої в ІТ. Синійори в компанії — це гуру, що націлені на освоєння нового, впровадження прогресивних технологій у процеси та оновлення архітектури розроблення. Їхній основний лейтмотив — «шлях до знання та про-світництва», а джуніор-інженери мотивовані особистими досягненнями й результатами. Присутній також елемент змагання. Усі вчать один в одного кращому. По закінченню оціночних етапів кожен отримує розгорнуту оцінку і фідбек з підказками (або рекомендаціями) щодо подальшого розвитку з урахуванням індивідуальних особливостей і талантів. Крім цього можна розраховувати на відкриту підтримку з боку ліда. Яка б не виникла складність під час виконання завдання, ніхто не залишиться з нею наодинці.

**Ми відкриті для нових клієнтів, партнерств або унікального досвіду, який ви можете додати до створення майбутніх продуктів:**  
**email: [hello@canyond.com](mailto:hello@canyond.com),**  
**<https://canyond.com/>**

CN

# PCBA – перший «запуск»

Володимир Ханейчук (Ханю), InCreandi Team  
E-mail: ханю.в@gmail.com

**В цій статті мова піде про те, як «запустити» тільки що зібрану друковану плату і нічого не спалити, зекономивши в подальшому час і кошти.**

Написати цю статтю мене надихнула нещодавня ситуація. Хлопці вбухали \$5k в розробку: виготовлення чотирьох шарової друкованої плати (PCB) в Китаї з дорогого матеріалу (*Rogers RO4350B*), закупка комплектації. Ну ось, PCB прийшла, комплектація теж. Швидко зібрали плату, бо дуже кортілось її запустити (довго ж чекали на неї). І одразу подали на неї живлення... І тут «понеслась...» — нічого не працює, на половині мікросхем відсутнє живлення, десь живлення коротить на «землю» (GND)... Вони вовтузились пару днів з цією платою. Було багато постів в проектному чаті з цього приводу. З порадами і не тільки... Але все марно. В кінці кінців плата приїхала до мене на аналіз...

І що ж виявилось?! А на ній купа непропаяних компонентів (там дуже маленькі компоненти, і дуже важко без мікроскопа визначити що є «непропай»). Один компонент стояв не по ключу, у іншого «пузо» QFN корпусу коротило на половину сигнальних «ніг», і так далі...

Я пофіксив всі проблемні місця на платі. Подав на неї живлення. Ще тиждень перевіряли, щоб виявити, який компонент не працює. Знайшли!!! Одна мікросхема трохи підгоріла — не згоріла повністю, а саме підгоріла. А це один з самих поганих варіантів під час налагодження: коли все ціле, не димить і не гріється, але працює якось не так, як треба... І от підгоріла ця мікросхема, скоріш за все, саме тоді, коли хлопці подали на плату живлення, не перевіривши PCBA згідно вказівок, які я наводжу нижче.

## Вказівки, обов'язкові до виконання в повному обсязі і в зазначеній послідовності!!!

*Примітка: Невиконання послідовності, або нехтування одним з етапів перевірки PCBA перед запуском, з ймовірністю в 90% приведе до фінансових і часових втрат!*

1. Наочно, при гарному освітленні, огляньте PCBA без використання будь-яких приладів. Переконайтесь в тому, що всі компоненти припаяні і стоять як треба:

- мікросхеми, діоди та інші компоненти, які мають маркування (ключ) першого виводу на корпусі, повинні стояти «по ключу» (потрібне звіряння зі кресленням збірки) (рис. 1–3);
- дискретні компоненти (SMD резистор, конденсатори) повинні бути на своїх місцях — стояти не «раком», не «бокком» і не «на попу» (рис. 4);
- на PCBA не повинно бути зайвих елементів, матеріалів (залишків припою і флюсу). Якщо є — прибрати негайно (рис. 5–7);

- перевірте на наявність непропаїв, холодного паяння (рис. 8). Якщо щось є підозріле — усуньте це.

*Примітка: Техніка усунення виходить за рамки цієї статті.*

2. Подивіться під мікроскопом:

- наявність закороток між виводами у компонентів із маленьким кроком виводів (QFN, QFP та інші) (рис. 9);

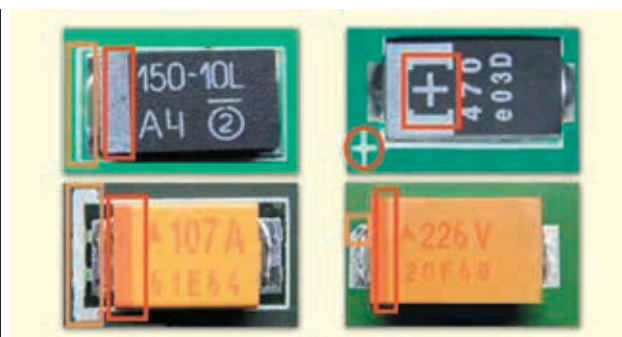


Рис. 1. Встановлення танталових конденсаторів по «ключу»

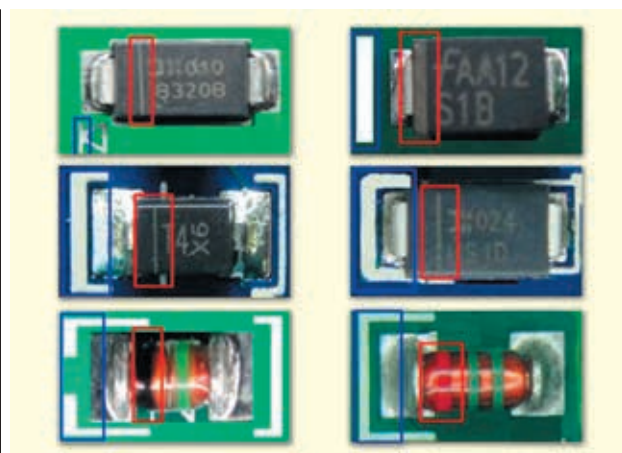
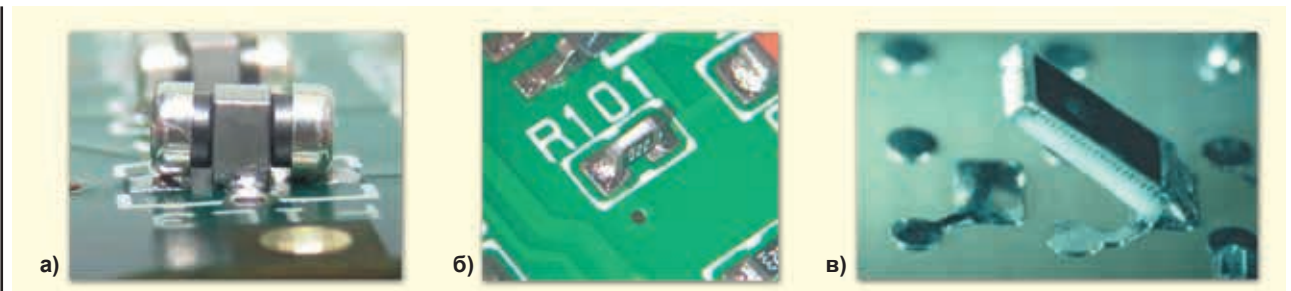


Рис. 2. Встановлення діодів по «ключу»

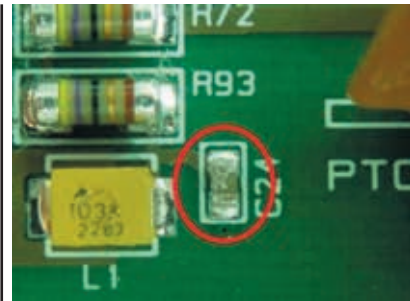


Рис. 3. Встановлення мікросхем по «ключу»

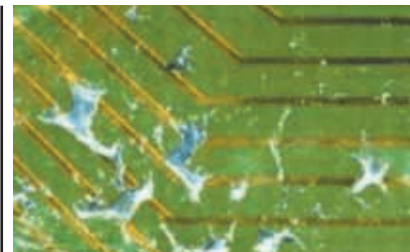




**Рис. 4.** Компонент не «сів» повністю на PCB (стоїть «раком») (а); компонент стоїть «боком» (б); компонент стоїть «на попа» (в)



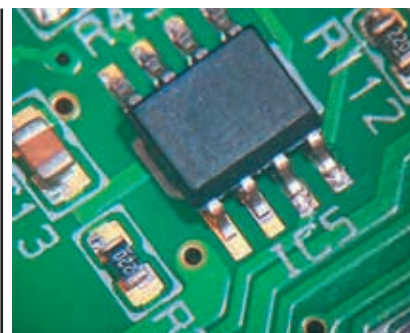
**Рис. 5.** Припій на компоненті



**Рис. 6.** Припій на PCB



**Рис. 7.** Засохлий флюс на PCB

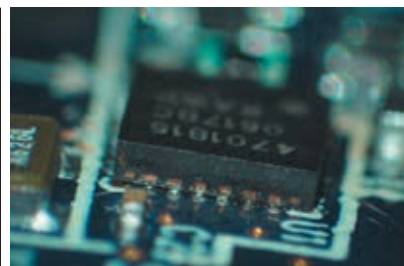


**Рис. 8.** Непропаяність виводів компонентів на PCB

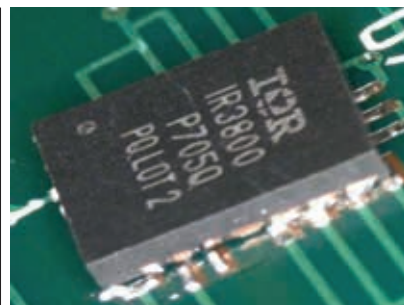
- наявність непропаяних виводів у компонентів з дрібним кроком виводів (QFN, QFP, та інші) (рис. 10);



**Рис. 9.** Закоротка на виводах мікросхеми



**Рис. 10.** Непропаяність корпусу QFN



**Рис. 11.** Зайвий припій під «пузом» корпусу QFN

- чи «сіли» нормально компоненти, у яких по центру корпусу знаходиться контактний майданчик (QFN та інші). Іноді, зайвий припій під «пузом» мікросхеми заважає їй нормально «лягти» на PCB. Тут якраз знадобиться стереомікроскоп, тому що треба буде дивитись в бік мікросхеми (рис. 11);
- чи співпали контактні майданчики на PCB із виводами мікросхеми із маленьким кроком виводів

### Термінологія, що використовується в статті (для тих хто ще «плаває» в даній тематиці):

**PCB** (Printed Circuit Board) — друкована плата;

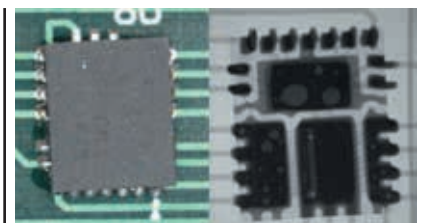
**PCBA** (Printed Circuit Board Assembly) — змонтована друкована плата (друкована плата, на якій встановлені компоненти і запаяні);

**GND** (скорочено від слова «Ground» — «земля») — загальне електричне коло. Зазвичай так називають загальне (мінусове) коло, відносно якого вимірюється напруга в усіх точках схеми;

**QFN** (Quad Flat No-leads Package) — різновид корпусу інтегральної мікросхеми;

**QFP** (Quad Flat Package) — різновид корпусу інтегральної мікросхеми;

**SMD** (Surface Mount Device) — компоненти для поверхневого монтажу (резистори, конденсатори, діоди, транзистори, мікросхеми тощо), які монтується на поверхню PCB за допомогою паяння до друкованих провідників. Зазвичай компоненти SMD мають набагато менший розмір ніж їх аналоги для наскрізного монтажу.



**Рис. 12.** Зміщення корпусу компонента відносно контактних майданчиків на PCB

(QFN, QFP тощо). Це називається зміщенням корпусу компонента на PCB. Розповсюжене явище, особливо коли установка компонентів на PCB здійснюється вручну (рис. 12). Якщо щось є підозріле — усуньте це.

**Примітка:** Техніка усунення виходить за рамки цієї статті.



**Рис. 13.** Два конденсатори злиплись між собою на етапі запікання РСВА в пічці

3. Продзвонити за допомогою мультиметра:
  - всі лінії живлення відносно GND;
  - всі лінії живлення між собою, а то трапляється і таке, як зображено на рисунку 13.
4. Одягніть захисні окуляри. Подайте живлення на РСВА на короткий час (не більше 10 секунд). Вимкніть живлення. Переконайтесь, що нічого не нагрілось і не запалало. Бажано зафіксувати струм споживання на лабораторному блоці живлення впродовж наявності живлення на РСВА — струм не повинен перевищувати очікуваного/розрахункового значення.
5. Одягніть захисні окуляри. Подайте живлення на РСВА. За допомогою

вольтметра виміряйте напругу на всіх лініях живлення РСВА відносно GND.

*Примітка.* Для зручності налагодження РСВА, на етапі проектування РСВ роблять контрольні точки на лініях живлення.

6. Якщо в попередніх пунктах не було нічого виявлено або всі неточності були усунуті, можна переходити до функціонального налагодження РСВА.

#### Необхідні прилади для перевірки РСВА:

- Мультиметр з функціями продзвонки електричних кіл і вимірювання напруги в межах від 10 мВ до 400 В. Я користуюсь APPA-82. Він має оптимальне співвідношення ціна/якість/функціонал.
- Стереомікроскоп з фокусною відстанню не менше 70 мм + безтіньова підсвітка мікроскопа. Я користуюсь мікроскопом МБС-10.
- Лупа годинникова (та що оком затискується). Збільшення — 2x (більше не потрібно).
- Паяльник.
- Жала паяльні. Бажано мідні та з різними діаметрами (особливо ко-

рисно мати мідне жало діаметром 1.5–2 мм, бо ним зручно пропаявати непропаї на корпусах QFP, QFN, та дрібних елементах).

- Припій безкислотний, свинцевий (AIM, GLOW CORE NO CLEAN CORED WIRE SOLDER, SN63/PB7).
- Флюс-гель (AIM, NC PASTE/TACKY FLUX);
- Фен для ремонту радіотехніки. Я використовую АОYUE-8032A++;
- Нижній підігрів. Я використовую АОYUE Int 853A++.
- Лабораторний блок живлення, регульований. Діапазон вихідної напруги: 0–50 В. Максимальний вихідний струм — 3 А на весь діапазон вихідної напруги.
- Захисні окуляри для очей з полікарбонату.
- Інше, необхідне для конкретної РСВА (спеціалізовані кабелі, вимірювальні прилади, навантаження тощо).

*Примітка.* Про прилади та інструменти, які необхідні на робочому місці кожного розробника, було детально розказано в статті «П'яти потрібно так, щоб не «відвалилось!»», CHIP NEWS, № 4, 2023 рік.

CN

**eSUN®**

**Філаменти для 3D-друку**

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

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



**MASTEK**

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

Авторизований дистриб'ютор  
WeEn в Україні

[info@mastek.com.ua](mailto:info@mastek.com.ua)  
[www.mastek.com.ua](http://www.mastek.com.ua)



# Осердя з порошкових матеріалів

Артем Терейковський, директор, ТОВ «НВП АСТЕРА»

E-mail: ferrite@ukr.net

## УТОЧНЕННЯ

Методи, що використовуються під час виробництва порошкових осердь, докладно описані у відкритій академічній і патентній літературі. Незважаючи на доступність інформації, в умовах

жорсткої конкуренції виробники осердь з МПМ прагнуть зберігати в таємниці особливості застосовуваних ними технологій і параметрів вихідної сировини. Попередні дані про параметри нових матеріалів і осердь з них, які публікують виробники, швидко втрачають актуальність. Унаслідок відсутності уточнень, до таблиць № 6–10 (CHIP NEWS, № 4, 2024) потрапила частково неповна і не-

коректна інформація. Тому для зручності читачів таблиці 6–10 надано повторно з поясненням змін і повною та достовірною інформацією на момент виходу поточного номера журналу.

Застаріла версія матеріалу Hi-Flux™ компанії Micrometals отримала назву Legacy Hi-Flux™, осердя з якого, як і раніше, доступні зі складу виробника. Нова версія називається Hi-Flux™, при

\* Продовження. Початок див. CHIP NEWS, № 5, 2023, № 1–4, 2024.

Таблиця 6. Основні параметри МПМ зі сплаву Fe-Si-Al

| Назва матеріалу або торговельна марка | Приклад маркування осердя 26.9 x 14.7 x 11.2 мм, $\mu = 60$ | Виробник    | Проникність | Зовнішній діаметр кільцевих осердь (без покриття), мм | ДСВ за 100 Ерстед (для $\mu = 60$ ) | Втрати за 50 кГц, 0.1 Т, мВт/см <sup>3</sup> (для $\mu = 60$ ) | $B_s$ , Т   |
|---------------------------------------|---|-------------|-------------|---|-------------------------------------|--|-------------|
| Sendust                               | MS-106060-2   | Micrometals | 14...160    | 3.56...197  | 49.2%                               | 325  | 0.90        |
| Sendust HF                            | SH-106060-2   | Micrometals | 26, 60, 125 | 3.56...197  | 43.6%                               | 320  | 0.88        |
| SenMax                                | SM-106060-2   | Micrometals | 26, 60      | 3.56...197  | 63.3%                               | 226  | 1.035       |
| SenMax Premium™                       | SP-106060-2   | Micrometals | 14...90     | 3.56...197  | 56.2%                               | 187  | 0.9         |
| KoolMu®                               | 77894-A7  | Magnetics   | 14...125    | 3.56...165  | 45%                                 | 190  | 1.0         |
| KoolMu® Max                           | 79894-A7  | Magnetics   | 14...90     | 12.7...165  | 55%                                 | 200  | 1.0         |
| Kool Mu® Hf                           | 76894-A7  | Magnetics   | 26, 40, 60  | 12.7...132  | 57%                                 | 140  | 1.0         |
| KoolMu® Ultra                         | 70894-A7  | Magnetics   | 26, 40, 60  | 12.7...132  | 59%                                 | 100  | 1.0         |
| Sendust                               | CS270060G   | ChangSung   | 26...125    | 3.56...165  | 49%                                 | 280  | 1.0         |
| HP                                    | HP270060G   | ChangSung   | 19, 26, 60  | 9.6...165   | 52.8%                               | 110  | 0.85        |
| New HP                                | Немає даних   | ChangSung   | 60          | Немає даних   | 55.2%                               | 90   | Немає даних |
| Sendust                               | KS106060A   | KDM         | 26...125    | 12.7...165  | 47%                                 | 280  | 1.05        |
| SuperSendust                          | KS106060A-HF  | KDM         | 19...125    | 12.7...165  | 60%                                 | 300  | 1.3         |
| SuperSendust Plus                     | KPH106060A  | KDM         | 26...75     | 12.7...102  | 60%                                 | 230  | 1.2         |
| SuperSendust Platinum                 | KPH106060A-HP   | KDM         | 60          | 12.7...102  | 66%                                 | 150  | 1.2         |
| Sendust                               | AS270060  | ACME        | 26...147    | 6.35...77   | 48%                                 | 350  | 1.0         |
| SuperDust AG                          | AG270060  | ACME        | 26...90     | 12.7...77   | 60%                                 | 250  | 1.2         |
| SuperDust AG-GT                       | AG270060GT  | ACME        | 58          | 12.7...77   | 55%                                 | 120  | 1.2         |

Таблиця 7. Основні параметри МПМ зі сплаву Fe-Si

| Назва матеріалу або торговельна марка | Приклад маркування осердя 26.9 x 14.7 x 11.2 мм, $\mu = 60$ | Виробник    | Проникність | Зовнішній діаметр кільцевих осердь (без покриття), мм | ДСВ за 100 Ерстед (для $\mu = 60$ ) | Втрати за 50 кГц, 0.1 Т, мВт/см <sup>3</sup> (для $\mu = 60$ ) | $B_s$ , Т |
|---------------------------------------|---|-------------|-------------|---|-------------------------------------|--|-----------|
| FluxSan™                              | FS-106060-2   | Micrometals | 14...125*   | 3.56...197  | 76.5%                               | 676  | 1.65      |
| New FluxSan™                          | FX-106060-2   | Micrometals | 14...90     | 3.56...132  | 80%                                 | 480  | 1.82      |
| X-Flux®                               | 78894-A7  | Magnetics   | 19...125    | 12.7...165  | 80%                                 | 575  | 1.6       |
| X-Flux® Ultra                         | 74894-A7  | Magnetics   | 26, 60      | 12.7...132  | 84%                                 | 450  | 1.6       |
| High DC Bias X-Flux®                  | 74894-A7-S01  | Magnetics   | 26, 40, 60  | 12.7...132  | 87%                                 | 625  | 1.6       |
| MegaFlux                              | CK270060G   | ChangSung   | 19...90     | 3.56...165  | 76.7%                               | 590  | 1.6       |
| MegaFlux GT                           | CK270060GT  | ChangSung   | 60          | 9.6...165   | 78.5%                               | 500  | 1.6       |
| Fe-Si                                 | KSF106060A  | KDM         | 19...90     | 12.7...165  | 72%                                 | 590  | 1.6       |
| Fe-Si Platinum                        | KSF106060A-HP   | KDM         | 19...75     | 12.7...57.2   | 74%                                 | 380  | 1.5       |
| Fe-Si low cost                        | KW106060A   | KDM         | 26...90     | 22.9...165  | 60%                                 | 510  | 1.4       |
| XFlux AK                              | AK270060  | ACME        | 26...90     | 12.7...77   | 70%                                 | 600  | 1.5       |

\* Під замовлення виробляються осердя з проникністю 160.

Таблиця 8. Основні параметри МПМ зі сплаву Fe-Ni

| Назва матеріалу або торговельна марка | Приклад маркування осердя<br>26.9 x 14.7 x 11.2 мм,<br>$\mu = 60$ | Виробник    | Проникність | Зовнішній діаметр кільцевих осердь (без покриття), мм | ДСВ за 100 Ерстед (для $\mu = 60$ ) | Втрати за 50 кГц, 0.1 Т, мВт/см <sup>2</sup> (для $\mu = 60$ ) | Вс, Т |
|---------------------------------------|---|-------------|-------------|---|-------------------------------------|--|-------|
| Legacy Hi-Flux™                       | HF-106060-2   | Micrometals | 14...160    | 3.56...165  | 68.6%                               | 650  | 1.42  |
| Hi-Flux™                              | HF-106060-2   | Micrometals | 14...125    | 3.56...165  | 80%                                 | 300  | 1.48  |
| GX Alloy                              | GX-106060-2   | Micrometals | 60, 125     | 22...46,7   | 85%                                 | 229  | 1.7   |
| High Flux                             | 58894-A2  | Magnetics   | 14...160    | 3.56...165  | 80.3%                               | 252  | 1.5   |
| Edge®                                 | 59894-A2  | Magnetics   | 14...125    | 12.7...132  | 90%                                 | 150  | 1.5   |
| High DC Bias Edge®                    | 59894-A2-S01  | Magnetics   | 26, 60      | 12.7...132  | 96%                                 | 200  | 1.5   |
| HighFlux                              | CH270060  | ChangSung   | 26...160    | 9.6...165   | 80.4%                               | 180  | 1.5   |
| HighFlux GT                           | CH270060GT  | ChangSung   | 60          | 9.6...74  | 84.4%                               | 130  | 1.5   |
| High Flux                             | KN106060A   | KDM         | 26...125    | 12.7...165  | 80%                                 | 220  | 1.5   |
| High Flux Plus                        | KN106060A-H   | KDM         | 60, 75      | 12.7...102  | 85%                                 | 150  | 1.5   |
| High Flux Platinum                    | KN106060A-HP  | KDM         | 26, 60      | 12.7...57.2   | 82%                                 | 105  | 1.5   |
| HighFlux                              | AH270060  | ACME        | 26...160    | 6.35...77   | 80%                                 | 300  | 1.5   |

Таблиця 9. Основні параметри композитних матеріалів на основі Fe-Ni, Fe-Si і та Fe-Si-Al

| Назва матеріалу або торговельна марка | Приклад маркування осердя<br>26.9 x 14.7 x 11.2 мм,<br>$\mu = 60$ | Виробник    | Композиція             | Проникність        | Зовнішній діаметр кільцевих осердь (без покриття), мм | ДСВ за 100 Ерстед (для $\mu = 60$ ) | Втрати за 50 кГц, 0.1 Т, мВт/см <sup>2</sup> (для $\mu = 60$ ) | Вс, Т |
|---------------------------------------|---|-------------|------------------------|--------------------|---|-------------------------------------|--|-------|
| Optilloy™ OP*                         | OP-106060-2   | Micrometals | Fe-Ni, Fe-Si, Fe-Si-Al | 14...125           | 6.35...154  | 64.7%                               | 365  | 1.4   |
| Optilloy™ OC                          | OC-106060-2   | Micrometals | Fe-Ni@Fe-Si-Al         | 14...125           | 3.56...196  | 72.3%                               | 265  | 1.35  |
| Optilloy™ OD                          | OD-106060-2   | Micrometals | Fe-Ni@Fe-Si            | 14...90            | 3.56...196  | 83.9%                               | 450  | 1.55  |
| Optilloy™ OE                          | OE-106060-2   | Micrometals | Fe-Si-Al, Fe-Si, Fe-Ni | 14...90            | 3.56...196  | 69.2%                               | 460  | 1.2   |
| 75 Alloy                              | 75894-A7  | Magnetics   | Fe-Si@Fe-Si-Al         | 26, 40, 60         | 24...134  | 56%                                 | 550  | 1.5   |
| FineFlux                              | CF270060G   | ChangSung   | Fe-Si-Al@Fe-Si         | 26, 40, 60         | 9.6...165   | 60%                                 | 240  | 1.2   |
| KS                                    | KS270060G   | ChangSung   | Fe-Si@Fe-Si-Al         | 26...60            | 9.6...165   | 61%                                 | 480  | 1.4   |
| HS                                    | HS270060G   | ChangSung   | Fe-Ni@Fe-Si-Al         | 19, 26, 40, 60, 90 | 9.6...165   | 72%                                 | 206  | 1.3   |
| KH                                    | KH270060G   | ChangSung   | Fe-Si@Fe-Ni            | 26, 40, 60, 90     | 9.6...165   | 81%                                 | 431  | 1.6   |
| NeuFlux                               | KNF106060A  | KDM         | Fe-Si@Fe-Ni            | 19...90            | 12.7...165  | 74%                                 | 450  | 1.6   |
| NanoDust™                             | KAM106060A  | KDM         | Fe-Si-Al@Fe-Ni         | 26...125           | 12.7...165  | 65%                                 | 180  | 1.3   |
| NanoDust™                             | KAM106060A-AF   | KDM         | Fe-Si-Al@Fe-Ni         | 19...60            | 12.7...57.2   | 52%                                 | 150  | 1.0   |
| NanoDust™ Platinum                    | KAM106060A-HP   | KDM         | Fe-Si-Al@Fe-Ni         | 60                 | 12.7...132  | 55%                                 | 60   | 1.2   |
| New NanoDust™*                        | KAM106060A-AH   | KDM         | Fe-Si-Al@Fe-Ni         | 26...60            | 12.7...132  | 55%                                 | 200  | 1.2   |
| NanoDust™                             | KAH106060A  | KDM         | Fe-Ni@Fe-Si-Al         | 26...125           | 12.7...165  | 72%                                 | 250  | 1.3   |
| NewFlux AL                            | AL270060  | ACME        | Fe-Ni@Fe-Si-Al         | 26...90            | 12.7...77   | 70%                                 | 250  | 1.4   |

\* Не рекомендовано для нових розробок.

Таблиця 10. Основні параметри матеріалів з порошків аморфних і нанокристалічних сплавів

| Назва матеріалу або торговельна марка | Приклад маркування осердя<br>26.9 x 14.7 x 11.2 мм,<br>$\mu = 60$ | Виробник  | Композиція    | Проникність | Зовнішній діаметр кільцевих осердь (без покриття), мм | ДСВ за 100 Ерстед (для $\mu = 60$ ) | Втрати за 50 кГц, 0.1 Т, мВт/см <sup>2</sup> (для $\mu = 60$ ) | Вс, Т |
|---------------------------------------|---|-----------|---------------|-------------|---|-------------------------------------|--|-------|
| AmoFlux®*                             | 88894-A7  | Magnetics | Fe-Si-B-C     | 26, 40, 60  | 13.5...132  | 57%                                 | 223  | 1.0   |
| AmfusDust AM                          | AM270060  | ACME      | Fe-Si-B-Cr-C  | 60, 90      | 12.7...40   | 45%                                 | 180  | 1.45  |
| NanoDust AN                           | AN270040  | ACME      | Fe-Cu-Nb-Si-B | 30, 40      | 12.7...40   | 65%**                               | 200  | 1.23  |
| NewDust AN-GT                         | AN270060GT  | ACME      | Fe-Cu-Nb-Si-B | 60          | 12.7...40   | 42%                                 | 120  | 1.0   |
| CTC                                   | CPN-106060-C  | МЕЛТА     | Fe-Cu-Nb-Si-B | 26...125    | 12.7...300  | 45%                                 | 150  | 1.2   |

\* Знято з виробництва;

\*\* для проникності 40.

цьому позначення осердь з обох версій матеріалу однакові (табл. 8).

На відміну від **Legacy Hi-Flux™**, який знято з виробництва, популярний матеріал **FluxSan™** розвивається паралельно з удосконаленою версією під назвою **New FluxSan™**. Осердя з **New FluxSan™** виробляються під позначенням «FX» (табл. 7).

У групі популярних композитних матеріалів **Optilloy™** немає змін, проте

виробник не рекомендує застосовувати версію **OP** у нових розробках. Залежно від необхідних параметрів дроселя, матеріали **OD**, **OE**, **OC**, **New Hi-Flux™** і **GX** вважаються ефективнішими (рис. 29).

Також слід зазначити, що осердя з усіх версій сендаста від Micrometals тепер доступні в повному діапазоні зовнішніх діаметрів 3.56... 197 мм (табл. 6).

Найсуттєвіше уточнення стосується групи матеріалів під загальною назвою **NanoDust™**, які виробляє KDM. Згаданий в анонсі матеріалу хімічний елемент бор означав присутність у складі порошку аморфного сплаву. Різноманітність параметрів різних версій **NanoDust™** говорить про те, що цей матеріал є композитним, тобто таким, що складається з порошків двох або декількох МПМ.

У релізі компанії від 2024 року хімічний склад матеріалів **NanoDust™** позначений як композиція Fe-Si-Al-Ni. З огляду на заявлені виробником значення втрат, індукції насичення і DCB-характеристик, можна припустити, що всі версії **NanoDust™** складаються з різних пропорцій порошків Fe-Si-Al і Fe-Ni, отриманих методом GA (рис. 12). Таким чином, усі матеріали сімейства **NanoDust™** переміщуються з категорії аморфних/нанокристалічних МПМ до категорії композитних матеріалів, а з таблиці 10 — до таблиці 9, які набувають іншого вигляду.

## ЯКИЙ КРАЩЕ?

Стрімкий розвиток технологій, коротко описаний раніше, призвів до появи широкого асортименту комерційних МПМ. Правильно обраний матеріал осердя дає змогу оптимізувати параметри дроселя і пристрою загалом. При розробці ефективного дроселя для заданого застосування доводиться аналізувати значну кількість параметрів відповідних варіантів МПМ і типорозмірів осердь. Емпіричний метод проектування, як і вибір осердя на основі його низької ціни, часто призводить до неоптимального результату. Популярні осердя з розпорошеного заліза (*Iron Powder*) марки -52 дають змогу створювати дроселі фільтрів із чудовими характеристиками, водночас є гіршим вибором для накопичувальних дроселів ІДЖ. Більш відповідним матеріалом є сендаст, який можна порівняти за ціною з *Iron Powder*. Покращені версії сендаста розширюють можливості його застосування, наприклад, осердя з **SuperSendust** і **SuperDust AG** (табл. 6) можна використовувати в дроселях ККП. Деякі задачі вимагають застосування дорожчих або спеціалізованих матеріалів.

Широкий вибір базових і композитних МПМ і конфігурацій осердь із них дає змогу проектувати дроселі з мінімальними втратами і габаритами. Вартість електроенергії, заощадженої протягом життєвого циклу пристрою завдяки застосуванню ефективнішого дроселя, може бути набагато більшою за різницю в ціні такого дроселя та альтернативного варіанта з більшими втратами.

Для зниження втрат в обмотках височастотних дроселів бажано застосовувати літцендрати або мідну фольгу відповідної товщини, але з урахуванням ємнісного ефекту між сусідніми витками та ефекту близькості. Конструктивні особливості осердь дають змогу зменшити довжину провідників обмоток. Наприклад, один виток, що розміщується на осерді з круглим керном (типорозміри PQ, EQ та ін.), щонайменше на 10% коротший, порівнюючи з витком на рівному за площею керні квадратного або прямокутного перерізу (E, U тощо). Аналогічно, під час використання кільцевих осердь витрата «міді» тим менша, чим ближча до квадрата форма їхнього поперечного перерізу.

Одне з таких кілець з розмірами 57.2×26.4×15.2 мм (без діелектричного покриття) та перерізом 15.4×15.2 мм було вибрано Ч. Цзян (Ch. Jiang) і співавторами [166] для порівняння ефективності дроселів на осердях з різних МПМ. Для тестування були взяті серійні осердя зазначеного розміру з сендаста, **High Flux**, **X-Flux™** і **MPP**. Осердя з порошку нанокристалічного сплаву Fe-Cu-Nb-Si-B, відомого під торговельною маркою **Finemet**, було виготовлено фірмою **Advanced Technology & Materials Co., Ltd.** спеціально для описуваного експерименту. Порошок, отриманий механічним подрібненням нанокристалічної стрічки, просіяли для відділення потрібної фракції з розмірами частинок 30...150 мкм.

Метод надшвидкого охолодження, який застосовують під час виготовлення стрічок із нанокристалічних сплавів, докладно описано в [106]. Діелектричне покриття нанесли методом фосфатування (CHIP NEWS, № 2, 2024), як сполучну речовину використовували епоксидну смолу.

Оскільки нанокристалічні сплави отримують з аморфних за допомогою відповідного термооброблення, продовжимо використовувати аббревіатуру «АМПМ» для позначення матеріалів з порошків як аморфних, так і нанокристалічних сплавів (CHIP NEWS, № 3, 2024).

Діапазон типових значень проникності МПМ на основі сплавів заліза становить 14...550. АМПМ зазвичай мають нижчу проникність, 30...60. Проникність деяких МПМ і зовсім обмежена єдиним значенням  $\mu = 60$  (табл. 6–10). Як і в описуваному експерименті, у дроселях ІДЖ найчастіше застосовують осердя з  $\mu = 60$ .

Для зменшення втрат в обмотках замість одножильного дроту автори застосували літцендрат 32×0.2 мм. Методика обчислення опору літцендратів із заданими параметрами докладно описана в [167].

Зміна проникності у всіх матеріалів становила менше 1% у діапазоні частот до 500 кГц, за винятком **X-Flux™**, проникність якого знизилася на 2.8%.

На рисунку 30 наведено DCB-характеристики п'яти матеріалів, що досліджуються, отримані за допомогою LCR-метра Agilent E4980A і двох джерел постійного струму Agilent 42841A. Вочевидь, що у різних матеріалів графіки залежності проникності від напруженості поля підмагнічування мають різну крутість. Значення напруженості поля, які викликають зниження проникності до 90% від початкової для кожного з осердь, наведено в таблиці 11. За напруженості 10 А/см мінімальне зниження проникності відзначено в **X-Flux™**, а найбільше — в АМПМ. У діапазоні від 10 до 60 А/см АМПМ має найбільш пологий графік, який перетинається з графіком **MPP** за 60 А/см. За напруженості від 60 до 105 А/см найшвидше знижується проникність у сендаста. Інші МПМ у цьому діапазоні мають помітно кращу DCB-характеристику, однак за напруженості понад 103 А/см проникність **X-Flux™** знижується швидше, ніж у **HighFlux**.

На рисунках 31–33 наведені залежності втрат в осердях, що тестувались, від розмаху індукції  $\Delta B$  на частотах 100, 150 та 200 кГц відповідно під час збудження струмом синусоїдальної форми. На цих частотах втрати у сендаста, **MPP** і АМПМ помітно нижчі, ніж у **High Flux** і **X-Flux™**. Можна припустити, що втрати **High Flux** і **X-Flux™** на на частотах, вищих вищих за 200 кГц, будуть неприйнятно великими, тому на частотах 450 і 600 кГц осердя з цих матеріалів не тестували.

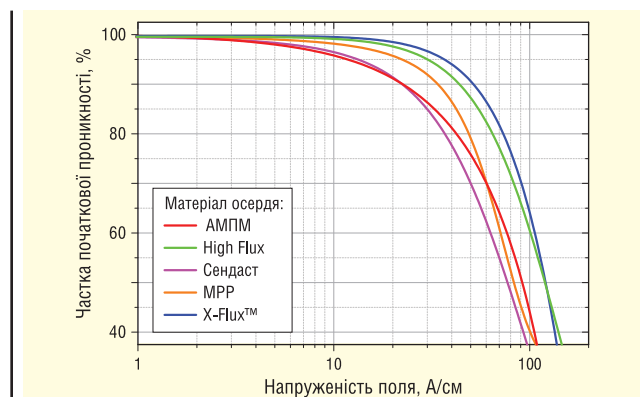







Рис. 30. DCB-характеристики осердь, що досліджуються

Таблиця 11. Специфікації осердь, що досліджуються

| Параметри   | Зразки  |  |  |   |  |
|---|---|--|--|---|--|
|   | Сендаст   | High Flux  | X-Flux™  | MPP   | АМПМ   |
| Колір і форма покриття, матеріал                      | <br>Fe-Si-Al | <br>Fe-Ni | <br>Fe-Si | <br>Fe-Ni-Mo | <br>Fe-Cu-Nb-Si-B |
| Розміри осердя, мм                                    | 57.2×26.4×15.2  | 57.2×26.4×15.2   | 57.2×26.4×15.2   | 57.2×26.4×15.2  | 57.2×26.4×15.2   |
| Об'єм без покриття, мм <sup>3</sup>                   | 28600   | 28600  | 28600  | 28600   | 28600  |
| Площа поперечного перерізу, мм <sup>2</sup>           | 229   | 229  | 229  | 229   | 229  |
| Середня довжина магнітної лінії, мм                   | 125   | 125  | 125  | 125   | 125  |
| Відносна проникність $\mu_r$                          | 60  | 60   | 60   | 60  | 60   |
| Тип дроту обмотки                                     | 32×0.20 мм  | 32×0.20 мм   | 32×0.20 мм   | 32×0.20 мм  | 32×0.20 мм   |
| Кількість витків                                      | 42  | 42   | 42   | 42  | 42   |
| Індуктивність @100кГц, мкГн                           | 244.1   | 243.4  | 238.5  | 243.6   | 243.8  |
| Напруженість поля за 90% початкової проникності, А/см | 22.4  | 43.4   | 51.4   | 33.8  | 22.4   |
| Втрати в осерді @100 кГц, 248 мТ, Вт                  | 25.4  | 75.6   | 67.9   | 32.4  | 38.2   |
| Втрати в осерді @200 кГц, 248 мТ, Вт                  | 59  | 171  | 149  | 70  | 81   |
| Втрати в осерді @600 кГц, 75 мТ, Вт                   | 56  | –  | –  | 50  | 53   |

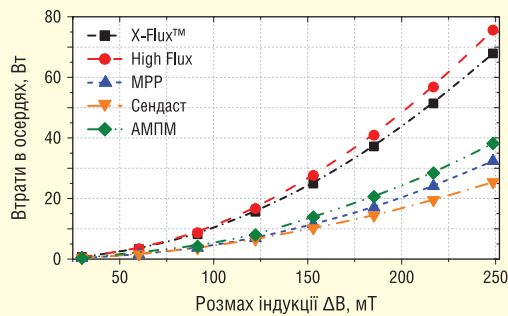


Рис. 31. Залежність втрат в осердях від розмаху індукції за 100 кГц

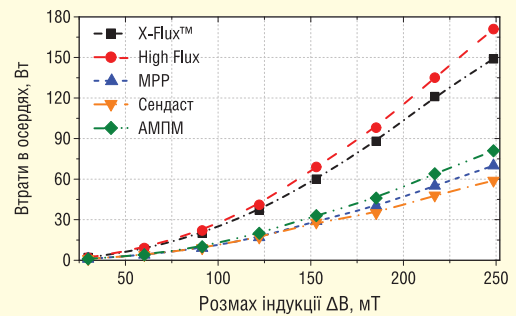


Рис. 33. Залежність втрат в осердях від розмаху індукції за 200 кГц

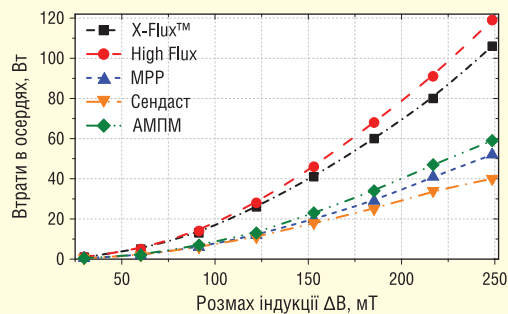
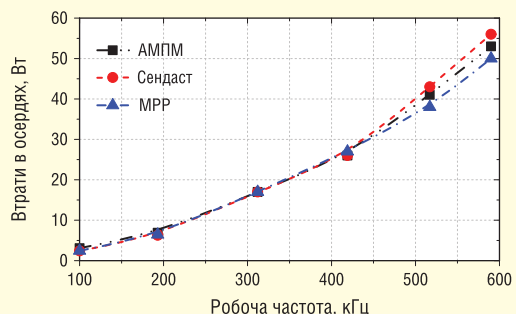


Рис. 32. Залежність втрат в осердях від розмаху індукції за 150 кГц

Рис. 34. Залежність втрат в осердях від частоти при збудженні синусоїдальним струмом 2.8 А ( $\Delta B = 75$  мТ)

Змінний струм синусоїдальної форми зі значенням 2.8 А (пік-пік) генерує в осерді індукцію з розмахом 75 мТ. Як випливає з рисунка 34, втрати осердь із сендаста, АМПМ і MPP приблизно однакові на частотах до 450 кГц. На частоті 600 кГц різниця в значенні втрат більш помітна, а самі втрати збільшилися до значень 56, 53 і 50 Вт відповідно.

Таким чином, найефективнішим матеріалом у групі, що досліджувалась, виявився MPP. Сендаст перевершує АМПМ на частотах до 200 кГц, але поступається останньому в діапазоні від 450 кГц і вище. На високих частотах втрати АМПМ незначно перевищують втрати MPP за більшої, ніж у MPP, індукції насичення. З урахуванням високої відносної вартості

MPP, осердя з АМПМ можуть стати оптимальним вибором для високочастотних дроселів середньої та великої потужності. Описані раніше АМПМ (CHIP NEWS, № 3, 2024) також продемонстрували чудові частотні характеристики.

Порошки зі сплаву Finemet добре вивчені і вважаються перспективною сировиною для масового виробництва осердь з АМПМ. Одними з перших комерційних матеріалів стали NewDust AN і NewDust AN-GT, які виробляє компанія ACME з порошоків Fe-Cu-Nb-Si-B (табл. 10). Атомізовані методом SWAP [43] порошки Finemet мають високу твердість, тож розроблені методи ізоляції та ущільнення магнітних частинок

обмежують зовнішній діаметр кілець розміром 40 мм при невеликому виборі значень проникності, а саме 30 і 40 для **NewDust AN** та 60 для **NewDust AN-GT**. Наразі розробляються технології, які дадуть змогу значно збільшити розміри осердь з атомізованих порошків **Finemet**.

Для накопичувальних дроселів потужних інверторів, а також для резонансних дроселів у топології перетворювачів, які використовуються в SuperCharge електромобілів [168], необхідні осердя зі значною енергоємністю, яка визначається їхніми габаритами й проникністю. На відміну від АМПМ, кільцеві осердя з сендаста і **MPP** виробляються із зовнішнім діаметром до 197 і 165 мм відповідно.

## MPP ЧИ СЕНДАСТ?

Завдяки тому, що кристалічні ґратки сплавів Fe-Si-Al і Fe-Ni-Mo мають нульову відносну зміну об'єму під час намагнічування, обидва матеріали мають нульову магнітострикцію. Що менша магнітострикція матеріалу, то нижчі його втрати на перемагнічування. Як було показано вище, сумарні втрати кожного з матеріалів на частотах до 450 кГц приблизно однакові, проте складові втрат відрізняються. Зі зростанням частоти у **MPP** збільшуються динамічні втрати, а у сендаста — втрати на перемагнічування. Хоча **MPP** має найнижчу індукцію насичення серед широко застосовуваних МПМ (0.8 Т), цей матеріал забезпечує найкраще поєднання параметрів, тому в більшості випадків є оптимальним матеріалом осердь для дроселів ІДЖ.

Головним недоліком осердь з **MPP** є їхня висока ціна. У випадках, коли не вдається домогтися бажаного балансу між ціною та економією, яку можуть забезпечити осердя з **MPP**, хорошою альтернативою стають різні версії сендасту, а також АМПМ. При зовнішньому діаметрі кілець від 27 мм і більше різниця в ціні може бути суттєвою. Осердя з деяких матеріалів, наприклад, **HP** з проникністю 19 та 26 від компанії ChangSung, мають менші сумарні втрати, ніж такі самі з **MPP**, за значно меншої вартості осердь з **HP**.

До переваг сендаста також слід віднести його меншу густину. Наприклад, сендастове осердя з проникністю 60 на 25% легше за таке саме осердя з **MPP**.

## 14, 26 ЧИ 60?

Значення втрат залежить від розмаху індукції та частоти змінного магнітного потоку в осерді. У загальному випадку, втрати на перемагнічування вищі, а динамічні втрати менші в осердь з низькою проникністю. Спочатку варіанти **MPP** з проникністю 14, 26 і 60 були розроблені для застосування у високочастотних дроселях апаратури телекомунікації та зв'язку. Сендаст з низькою проникністю з'явився пізніше у відповідь на потреби ринку.

Найчастіше в дроселях ІДЖ застосовують осердя з проникністю 60, а також 125. Такі значення забезпечують баланс між втратами в обмотці, втратами в осерді та ДСВ-характеристикою матеріалу. Осердя з проникністю 14 і 26 здатні накопичити істотно більше енергії, ніж такі самі з проникністю 60 і 125, однак для намагнічування осердь з низькою проникністю необхідний струм більшої сили, який спричиняє надлишкові втрати в обмотці. Безперервна або тривала робота такого дроселя за сильного намагнічування є непрактичною. Важливою властивістю осердь із проникністю 14 і 26 є стабільність проникності за сильного підмагнічування постійним

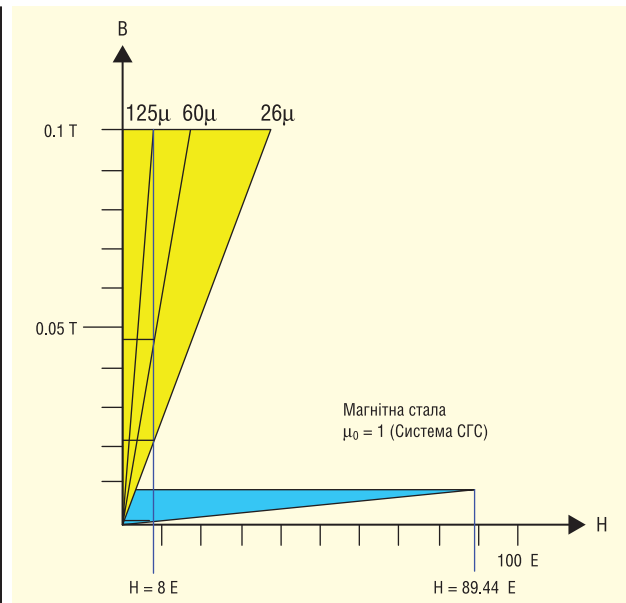


Рис. 35. Графічне представлення питомої енергоємності осердя для різних значень проникності [172]

струмом та/або за різких змін струму навантаження. Значна питома енергоємність таких осердь ефективно використовується за короткочасного, або періодичного зростання намагнічувальної сили, за якого залишається достатньо часу на охолодження обмотки. Залежність питомої енергоємності осердя від проникності показано на рисунку 35.

У більшості випадків, плавне збільшення індуктивності дроселя ІДЖ при зниженні струму в обмотці є корисною властивістю. Мінімальне значення індуктивності визначається заданим розмахом пульсації струму, зазвичай не більше 20% максимального струму навантаження. Струм, що протікає через обмотку дроселя, зворотно залежить від індуктивності, тому збільшення індуктивності в разі зниження струму відповідає потребам розробника ІДЖ. І навпаки, характеристика насичення осердь із проникністю 60 і 125 дає змогу зменшити розміри дроселя, оскільки за повного струму навантаження потрібна мінімальна індуктивність.

Особливим випадком є розробка ІДЖ, що вимагають швидкої реакції на різку зміну струму навантаження, наприклад, систем живлення крокових двигунів. Під час увімкнення таких двигунів навантаження різко змінюється від мінімального до максимального і навпаки, що вимагає швидкого відгуку ІДЖ. Для стійкої роботи в такому режимі індуктивність дроселя має бути мінімально можливою та максимально стабільною, що досягається застосуванням осердь із низькою проникністю та підвищенням робочої частоти перетворювача. Низька проникність дає змогу зменшити  $\Delta B$  і знизити втрати в осерді. Натомість на противагу цьому стає зростання втрат в обмотці, які можуть бути зменшені при використанні літцендратів [167].

Найчастішим прикладом застосування осердь з низькою проникністю є підвищувальний дросель коректора коефіцієнта потужності (ККП). Стабільна індуктивність дроселя бажана для всього діапазону струму мережі живлення (50/60 Гц), що протікає через обмотку. Це дає змогу зменшити викиди струму під час пікових значень намагнічувального поля. Візуалізацію процесу виникнення викидів наведено в [169].

Таким чином, застосування осердь із проникністю 14 і 26 виправдане за таких умов експлуатації або вимог до параметрів дроселів:



- циклічні пікові навантаження, в паузах між якими обмотка встигає охолоджуватися;
- стабільність індуктивності дроселя в широкому діапазоні квазістабільних або швидко мінливих струмів навантаження;
- стійкість до пікових перевантажень;
- підвищення робочої частоти ІДЖ для зниження сумарних втрат в осердях внаслідок невеликого  $\Delta B$  і низьких динамічних втрат.

## ПРОНИКНІСТЬ І ПИТОМА ЕНЕРГОЄМНІСТЬ

Проникність матеріалу — це відношення індукції  $B$  до напруженості магнітного поля  $H$  в даній точці кривої намагнічування. На рисунку 35 показано залежність індукції в осердях з ідеальних матеріалів із проникністю 26, 60 і 125 від намагнічувальної сили. Ідеальним вважається матеріал з постійною проникністю і нульовими втратами, що відображається трьома прямими лініями на графіку, проведеними з початку координат. Такі самі графіки для реальних матеріалів мали б складніший вигляд, однак для розуміння співвідношення між проникністю та питомою енергоємністю розглянемо саме ідеальні матеріали.

Використовуючи закони Фарадея та Ампера [170], можна показати, що площа трикутника між лінією, яка відповідає зазначеній проникності, та вісью ординат, на якій відкладається значення індукції в осерді, відповідає питомій енергоємності осердя з цього матеріалу, або вакууму в разі немагнітного осердя, вираженої в Дж/м<sup>3</sup> [171].

Для ілюстрації взаємовідносин між напругою, струмом, магнітною індукцією, намагнічувальною силою і розмірами осердя, звернемося до рисунка 36. Відповідно до закону Фарадея, індукція в осерді визначається як вольт-секунда, прикладена до обмотки, поділена на кількість витків обмотки і на площу поперечного перерізу осердя. Закон Ампера визначає намагнічувальну силу (магніторухливу силу) як ампер-виток на середню довжину магнітної лінії осердя [170]. Отже, добуток величини магнітного потоку і намагнічувальної сили має розмірність вольт-ампер-секунда на кубічний метр або джоуль на кубічний метр об'єму осердя.

Повертаючись до рисунка 35, можна показати, що за заданої намагнічувальної сили густина енергії, що накопичується, прямо пропорційна проникності

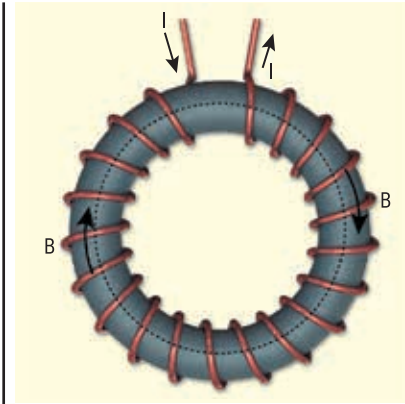


Рис. 36. Магнітне поле в тороїдальному осерді

матеріалу. Проникність матеріалу осердя показує, у скільки разів більшою може бути густина енергії порівняно з енергією, що накопичується, в немагнітному осерді, наприклад, зробленому з нейлону. Вертикальна лінія на позначці 8 Ерстед обмежує площу трикутника ( $B \times H/2$ ) і дає змогу порівняти густину енергії для чотирьох значень проникності. Вочевидь, за сили 8 Ерстед осердя з  $\mu = 125$  накопичує більше енергії, ніж осердя з меншою проникністю. Щоб накопичити таку саму кількість енергії, немагнітному осердю з  $\mu_0 = 1$  потрібна сила понад 89 Ерстед. З рисунка також випливає, що осердя з найменшою проникністю накопичує найбільшу кількість енергії за однакового значення магнітної індукції. За умови, що втрати в осерді за  $\Delta B = 0.1$  Т на лінійній ділянці петлі гістерезису, а також втрати в обмотці, які виникають за намагнічувальної сили 38 Ерстед, мають прийнятні значення, матеріал із проникністю 26 забезпечує найбільшу енергоємність.

Отже, вибрати проникність осердя потрібно з огляду на максимальну робочу індукцію матеріалу і найбільшу практичну намагнічувальну силу. Максимальна індукція в осерді обмежується індукцією насичення обраного матеріалу або втратами на перемагнічування на високих частотах. Величина намагнічувальної сили обмежується прийнятним значенням втрат в обмотці.

У загальному випадку, що більше осердя, то при більшій намагнічувальній силі воно може функціонувати, оскільки при збільшенні розмірів зростає співвідношення площі вікна намотування і середньої довжини магнітної лінії. Звернемося до прикладу дроселя на тороїдальному осерді (рис. 36), діаметр дроту і струм в обмотці в усіх випадках вважаємо однаковими. Зі збільшенням діаметра кільця стає можли-

вим розмістити більшу кількість витків упродовж середньої довжини магнітної лінії осердя, тобто збільшити кількість ампер-витків на довжину магнітної лінії без збільшення питомих втрат в обмотці. У результаті, проникність осердя може бути зменшена, а густина енергії, що накопичується, збільшена при такому ж значенні магнітної індукції.

Одним з перспективних напрямків розвитку силових дроселів вважається т. з. гібридна технологія, в якій одна частина осердя виробляється з фериту, а інша — з МПМ. Надалі розглянемо приклади застосувань таких осердь.

## Далі буде

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

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

## Література:

166. Ch. Jiang, X. Li, S. S. Ghosh, H. Zhao, Y. Shen, T. Long. *Nanocrystalline Powder Cores for High-Power High-Frequency Power Electronics Applications*. IEEE TRANSACTIONS ON POWER ELECTRONICS, 2019.
167. M. Bartoli, N. Noferi, A. Reatti, M. K. Kazimierzczuk. *Modeling Litz-wire winding losses in high-frequency power inductors*. PESC Record. 27th Annual IEEE Power Electronics Specialists Conference.
168. A. Aulakh. *EV Charging Power Topologies Design Guidebook*. PRD-08367 REV 1.0, January 2024.
169. [www.ferrite.com.ua/doc/CN/surge\\_currents.gif](http://www.ferrite.com.ua/doc/CN/surge_currents.gif)
170. Lloyd H. Dixon. *Magnetics Design for Switching Power Supplies*. Sections 1–7. TI literature Nos. SLUP123, SLUP124, SLUP125, SLUP126, SLUP127, SLUP128, and SLUP129.
171. L. R. Diana. *Practical Magnetic Design: Inductors and Coupled Inductors*.
172. T. Slattery. *A Comparison of Molybdenum Permalloy Powder and Sendust Cores for Energy Storage Inductors*. The Arnold Engineering Company, Marengo, Illinois, USA, 2000.

# Розрахунок та оптимізація RC-демпфера для симістора

Валентин Володін

**Симістор (Triac) являє собою різновид тиристора. Однак, на відміну від тиристора, симістор може пропускати змінний струм, тому симістори давно знайшли широке застосування як комутатори та регулятори змінного струму в різній апаратурі побутового та промислового призначення. На відміну від електромагнітних реле, які використовуються для схожих цілей, симістори забезпечують більшу надійність, швидкодію, а також менший рівень завад, які генеруються під час комутації (відкриття/закриття). Завдяки своїм чудовим характеристикам симістори практично витіснили електромагнітні реле в багатьох застосуваннях. Неабиякою мірою цьому сприяє регулярне зниження цін на ці компоненти.**

## ПАРАМЕТРИ СИМІСТОРА

Зазвичай симістори використовують для комутації різних навантажень, підключених до мережі змінного струму частотою 50 або 60 Гц. Надалі розглядатиметься саме цей випадок застосування симістора. Умовне схемне позначення симістора (рис. 1) отримано шляхом поєднання двох зустрічно-паралельно ввімкнутих тиристорів, які мають спільний керувальний електрод.

На відміну від тиристора симістор є ключем змінного струму і може проводити струм в обох напрямках. Тому його можна розглядати як напівпровідниковий прилад, який може бути переключений із закритого стану у відкритий і навпаки за будь-якої полярності на основних виводах [1].

Для того щоб симістор працював довго і надійно, необхідно забезпечити низку умов. Насамперед ідеться про очевидні параметри, що обмежують максимальні режими експлуатації:

- $I_{T(RMS)}$  — максимальний діючий струм у відкритому стані, А;
- $I_{TSM}$  — максимальний імпульсний (неповторюваний) струм у відкритому стані, А;
- $di/dt$  — критична швидкість наростання струму у відкритому стані, А/мкс;

- $V_{DRM}/V_{RRM}$  — максимальна повторювана напруга, прикладена до симістора в закритому стані, В;
- $V_{DSM}/V_{RSM}$  — максимальна імпульсна (неповторювана) напруга, прикладена до симістора в закритому стані, В;
- $I_{GM}$  — максимальний струм затвора (керувального електрода), А;
- $P_{G(AV)}$  — середня потужність, що розсіюється в затворі (керувальному електроді), Вт;
- $T_j$  — максимальна робоча температура кристала, °С.

Перевищення будь-якого з перерахованих вище параметрів може призвести до невідомого пошкодження симістора.

Крім уже перерахованих, треба враховувати низку не менш важливих параметрів симістора, від яких залежить надійність процесу комутації (перемикання) електронного приладу із закритого стану у відкритий і назад:

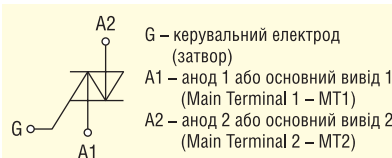


Рис. 1. Умовне схемне позначення симістора

- IGT — відкриваючий постійний струм керування, мА;
- $I_L$  — струм увімкнення, мА;
- $I_H$  — струм утримання, мА;
- $(dV/dt)_{cr}$  — критична швидкість наростання напруги в закритому стані, В/мкс;
- $(dV/dt)_c$  — критична швидкість наростання комутаційної напруги, В/мкс;
- $(di/dt)_c$  — швидкість зниження струму у відкритому стані, А/мс.

Ігнорування цих параметрів може призвести до того, що симістор не відкриється в потрібний момент або відкриється мимоволі в той момент, коли це абсолютно не очікується.

## ЗАСТОСУВАННЯ RC-ДЕМПФЕРА

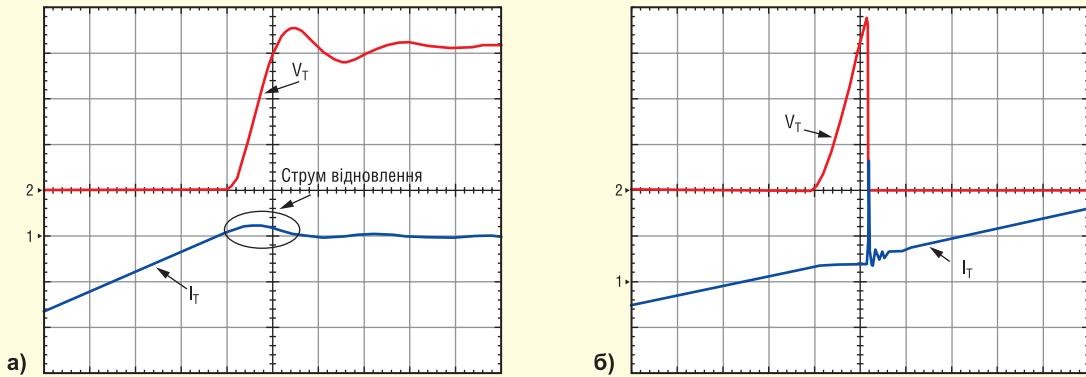
Перелічимо основні проблеми, пов'язані з комутацією симістора [2, 3]:

- повторне мимовільне відкриття симістора при зміні полярності струму;
- мимовільне відкриття симістора при швидкому наростанні напруги;
- мимовільне відкриття або пошкодження симістора в разі короткочасного перевищення максимальної напруги;

Розглянемо докладніше причини виникнення перерахованих проблем, а також способів їх подолання.

### Повторне мимовільне відкриття симістора

Зазвичай симістори використовують для комутації (увімкнення/вимкнення) різних навантажень у промислових або побутових мережах змінного струму. Коли симістор відкритий і через нього протікає струм, то у відповідній ділянці його напівпровідникової структури накопичується надлишковий заряд. Цей заряд зникає внаслідок рекомбінації під час зменшення робочого струму. Якщо прибрати струм керування і потім досить повільно знижувати робочий струм, то надлишковий заряд встигне



**Рис. 2.** Вимкнення симістора за індуктивного навантаження: нормальне вимкнення (а); вимкнення з повторним увімкненням (б)

рекомбінувати, а симістор перейде в закритий стан після того, як робочий струм досягне рівня утримання  $I_{tr}$ . При швидкому зниженні робочого струму надлишковий заряд може не встигнути рекомбінувати. У цьому разі, після зміни полярності напруги, через симістор буде протікати струм відновлення, викликаний процесом розсмоктування надлишкового заряду. Якщо при цьому швидкість наростання зворотної напруги не перевищить критичного значення  $(dV/dt)_c$ , то симістор залишиться закритим (рис. 2а). В іншому разі симістор може мимовільно перейти у відкритий стан (рис. 2б) [1, 3].

Параметри  $(dV/dt)_c$  і  $(dI/dt)_c$  мають взаємну функціональну залежність. Чим вище критичне значення швидкості наростання комутаційної напруги  $(dV/dt)_c$ , тим нижчою має бути швидкість зниження струму  $(dI/dt)_c$ . Іноді в довідкових даних виробники наводять графік залежності швидкості зниження струму від критичної швидкості наростання комутаційної напруги. Для прикладу на рисунку 3 наведено графік такої залежності для симісторів T405, T410, T435 виробництва фірми ST [4].

**Примітка.** На рисунку 3 значення швидкості зниження струму вказується відносно значення  $(dI/dt)_c$ , що відповідає швидкості наростання комутаційної напруги  $(dV/dt)_c = 10 \text{ В/мкс}$ .

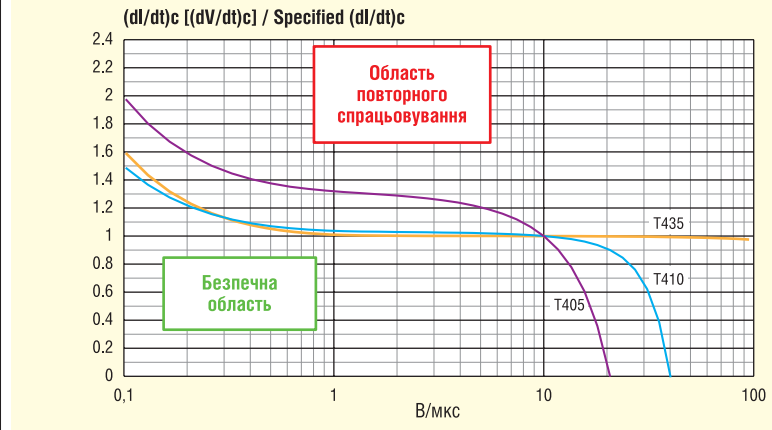
Якщо через симістор протікає змінний діючий струм  $I_{RMS}$  синусоїдальної форми, то швидкість зниження струму можна знайти за формулою (А/с):

$$di/dt = 2\pi \times f \times I_{RMS} \times \sqrt{2}, \quad (1)$$

де  $f$  — частота струму, Гц.

**Активне навантаження**

На рисунку 4 зображено результат моделювання в програмі LTspice процесу комутації активного навантаження



**Рис. 3.** Типова залежність швидкості зниження струму від критичної швидкості наростання напруги  $(dV/dt)_c$  для симісторів T405, T410, T435

симістором типу T405-600. Тут графіки напруги мережі  $V(vn)$ , напруги на симісторі  $V(vt)$  і струму навантаження  $I(R_{load})$  позначені червоним, зеленим і синім кольором відповідно.

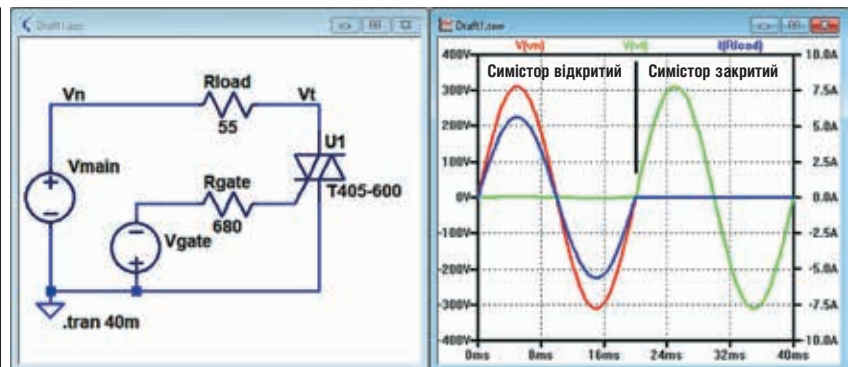
Як активне навантаження може вступати будь-який споживач електроенергії, що має активний опір. Наприклад, це може бути електронагрівач, лампочка розжарювання тощо.

Протягом часу, поки симістор відкритий, через опір навантаження  $R_{load}$  протікає струм  $I(R_{load})$ , що збігається за

фазою з напругою мережі  $V(vn)$ . Після зняття струму керування і зниження струму навантаження до нуля симістор закривається. Оскільки напруга мережі збігається за фазою зі струмом навантаження, після замикання симістора до нього прикладається нульова комутаційна напруга  $V(vt)$ , яка потім росте. Швидкість наростання комутаційної напруги можна знайти за формулою (В/с):

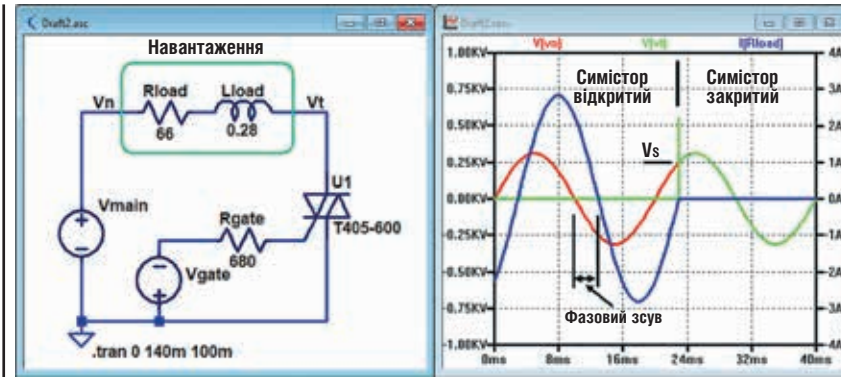
$$dV/dt = 2\pi \times f \times V_{RMS} \times \sqrt{2}, \quad (2)$$

де  $V_{RMS}$  — діюча напруга мережі, В.



**Рис. 4.** Моделювання комутації активного навантаження симістором T405-600





**Рис. 5. Моделювання комутації активно-індуктивного навантаження симістором T405-600**

Для прикладу скористаємося формулами (1, 2) і розрахуємо значення швидкості зниження струму і наростання комутаційної напруги для симістора T405, що комутує активне навантаження. Навантаження під'єднується до побутової мережі змінного струму напругою  $V_{RMS} = 220$  В і частотою  $f = 50$  Гц. Опір навантаження забезпечує протікання через симістор максимального для нього струму  $I_{RMS} = 4$  А:

$$di/dt = (2\pi \times 50 \times 4 \times \sqrt{2}) / 1000 = 1.78 \text{ А/мс},$$

$$dV/dt = (2\pi \times 50 \times 220 \times \sqrt{2}) / 1\,000\,000 = 0.098 \text{ В/мкс}.$$

Згідно з довідковими даними [4], відсутність повторного відкриття симістора гарантується, якщо після зниження струму зі швидкістю 1.8 А/мс критична швидкість наростання комутаційної напруги не перевищує 0.1 В/мкс. Розрахунок показує, що в разі активного навантаження цієї умови дотримуються. Швидкість наростання комутаційної напруги, нижча за критичне значення, не викликає якихось побоювань з погляду повторного ввімкнення.

**Активно-індуктивне навантаження**

Багато широко поширених навантажень, таких як обмотка соленоїда, обмотка реле, обмотка електродвигуна тощо, мають активно-індуктивний характер. На рисунку 5 зображено результат моделювання в програмі LTspice процесу комутації активно-індуктивного навантаження симістором типу T405-600. Тут графіки напруги мережі  $V(vn)$ , напруги на симісторі  $V(vt)$  і струму навантаження  $I(I_{load})$  позначені червоним, зеленим і синім кольором відповідно.

*Примітка.* У реальності не існує кіл, що мають суто активний, індуктивний або ємнісний опір. Завжди можна гово-

рити лише про переважання якого-небудь одного або декількох видів опору. При цьому інші види присутні як незначні паразитні складові.

За активно-індуктивного навантаження між напругою, прикладеною до навантаження, і струмом, що протікає в ньому, є фазовий зсув. Цей фазовий зсув може досягати  $90^\circ$  у разі чисто індуктивного навантаження. Якщо відомі величини активної  $R$  та індуктивної  $L$  складових навантаження, то фазовий зсув можна знайти за формулою:

$$\varphi = \arctg(2\pi \times f \times L) / R. \quad (3)$$

Наявність фазового зсуву означає, що після замикання симістора до нього одразу буде застосовано деяку напругу зміщення  $V_s$ . Величину напруги зміщення можна розрахувати за формулою (В):

$$V_s = V_{RMS} \sqrt{2} \sin \varphi. \quad (4)$$

Моделювання показує (рис. 5), що до закритого симістора короточасно прикладається напруга, що перевищує рівень  $V_s$ . Цей викид відбувається завдяки енергії, накопиченій в індуктивності навантаження  $L_{load}$  у процесі замикання симістора. Моделювання показує, що імпульс напруги нарастає зі швидкістю 650 В/мкс і має амплітуду 550 В. Завдяки високій швидкості наростання ко-

мутаційної напруги реальний симістор буде гарантовано відкритий повторно.

Повторному відкриттю симістора можна запобігти за допомогою допоміжного кола, що складається з послідовно ввімкнених конденсатора  $C_s$  і резистора  $R_s$ . Це допоміжне коло вмикається паралельно симістору (рис. 6) і називається демпферним RC-колом. Демпферне коло дає змогу знизити швидкість наростання комутаційної напруги. У сучасній технічній літературі демпферне RC-коло часто називають RC-снаббером (*snubber*), або просто снаббером.

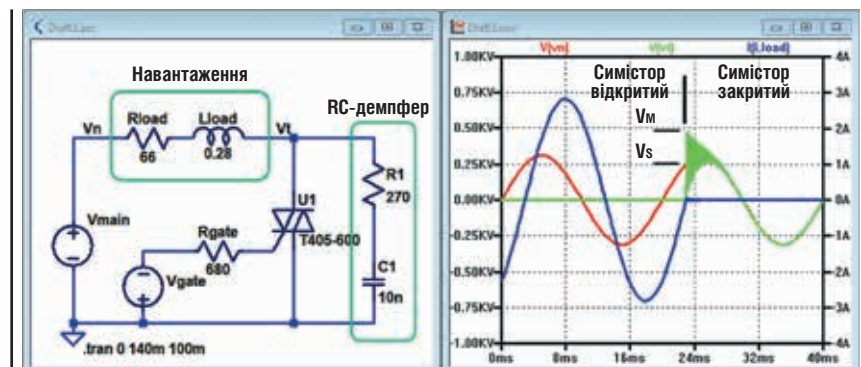
Тривалість комутації симістора на кілька порядків менша за тривалість періоду коливання в мережі змінного струму частотою 50 або 60 Гц. Це дає змогу спростити розрахунок RC-демпера, вважаючи, що напруга мережі незмінна і дорівнює за величиною напрузі зміщення  $V_s$ . У цьому разі мінімальну ємність конденсатора демпфера можна розрахувати за формулою:

$$C_s \geq 1 / L (V_s / (dV/dt))^2. \quad (5)$$

Конденсатор демпфера  $C_s$ , разом з індуктивністю навантаження  $L_{load}$ , створює коливальний контур, у якому після закриття симістора можуть виникати височастотні загасаючі коливання. Однак під час цих коливань швидкість зміни напруги не перевищує критичного значення, і тому симістор залишиться закритим. Попри це, завдяки коливальному процесу до симістора прикладається підвищена комутаційна напруга  $V_M$ . За своєю величиною напруга  $V_M$  може у 2 рази перевищити напругу зміщення  $V_s$ . Це вимагає використання більш високовольтного симістора. Величину  $V_M$  можна знизити, збільшивши втрати в коливальному контурі, які визначаються сумарним активним опором:

$$R = R_{load} + R_s.$$

Опір навантаження  $R_{load}$  не може бути змінений. Тому збільшувати втрати



**Рис. 6. Використання RC-демпера спільно із симістором**

можна тільки шляхом підвищення опору демпферного резистора  $R_S$ . Критичну величину резистора  $R_S$ , яка забезпечує повне придушення коливань, можна розрахувати за формулою (Ом):

$$R_S = 2\sqrt{L_{load}/C_S} - R_{load} \quad (6)$$

У разі використання такого резистора пікова величина комутаційної напруги  $V_M$  на тиристорі дорівнюватиме напрузі зміщення  $V_S$ . Для менших значень сумарного опору  $R$  максимальну величину комутаційної напруги можна розрахувати за формулою (В):

$$V_M = V_S((1/e^{0.5\beta \times T}) + 1). \quad (7)$$

Коефіцієнт загасання  $\beta$  визначає відносне загасання вільних коливань у контурі:

$$\beta = R/2L_{load}. \quad (8)$$

Власну частоту контуру можна розрахувати за формулою (Гц):

$$F_0 = 1/(2\pi\sqrt{LC}). \quad (9)$$

Частота загасаючих коливань визначається формулою (Гц):

$$F = \sqrt{(2\pi F_0)^2 - \beta^2}/2\pi. \quad (10)$$

Період загасаючих коливань визначається формулою (с):

$$T = 1/F. \quad (11)$$

### Самовільне відкриття симістора під час швидкого наростання напруги

У мережі постійно присутні імпульсні напруги, що викликаються розрядами блискавки і процесами комутації. Ймовірні параметри цих імпульсних напруг обумовлюються стандартом ДСТУ EN 50160:2023 (EN 50160:2022, IDT).

Швидкі зміни напруги, прикладені до закритого симістора, проникаючи через ємність між анодом (A2) і керувальним електродом (G), можуть створювати струм керування, достатній для його самочинного відкриття. Максимальна швидкість наростання зовнішньої напруги, яка не спричиняє відкриття симістора, називається критичною швидкістю наростання напруги ( $dV/dt$ )<sub>cr</sub>.

Самочинне відкриття симістора через перевищення критичної швидкості наростання напруги ( $dV/dt$ )<sub>cr</sub> не призводить до його пошкодження, а тому не є небезпечним для симістора. Однак подібні хибні спрацьовування можуть спричинити проблеми з функціональністю обладнання, у якому встановлено симістор.

У разі використання RC-демпфера стійкість симістора до самочинного від-

Таблиця 1. Мінімальний опір RC-демпфера

| Номинальна напруга, В | Діюче значення струму симістора, А |     |     |      |      |      |       |
|-----------------------|------------------------------------|-----|-----|------|------|------|-------|
|                       | ≤1                                 | ≤45 | ≤90 | ≤180 | ≤450 | ≤900 | ≤1800 |
| ≤230                  | 620                                | 47  | 33  | 22   | 12   | 6.8  | 6.8   |
| ≤400                  | -                                  | 82  | 56  | 33   | 22   | 15   | 12    |
| ≤500                  | -                                  | 120 | 68  | 39   | 27   | 18   | 15    |
| ≤690                  | -                                  | -   | -   | 47   | 33   | 22   | 22    |

криття збільшується в разі швидкого наростання напруги. Причому що нижча величина резистора  $R_S$ , то вища стійкість.

### Пошкодження симістора в разі короткочасного перевищення максимальної напруги

У раніше наведених випадках можуть виникнути умови, коли до симістора, під'єданого до мережі, який має необхідний запас за напругою, може бути застосована напруга, що перевищує його максимально допустиму. Насамперед подібне підвищення напруги може бути спричинене тривалими перехідними процесами в мережі, пов'язаними з природними або аварійними подіями. Крім цього, стрибки напруги можуть бути отримані під час комутації навантаження, що має індуктивну складову (активно-індуктивного навантаження). Якщо при цьому напруга перевищить максимально допустимий рівень  $V_{DSM}/V_{RSM}$ , то симістор з великою ймовірністю буде невідновно пошкоджений.

Як і в попередніх випадках, використання RC-демпфера збільшує стійкість симістора до короткочасних підвищень напруги. Це пояснюється тим, що зовнішня імпульсна напруга прикладається до симістора через ділянку напруги, верхнє плече якого утворює опір навантаження, а нижнє — резистор  $R_S$ . Причому що нижча величина резистора  $R_S$ , то вища стійкість. Однак, обмежуючи швидкість наростання напруги, RC-демпфер збільшує ймовірність його пробою в разі перенапруги. Тому RC-демпфер не можна розглядати як основний засіб захисту від підвищеної напруги. Він може як додатковий захід використовуватися спільно зі спеціальним обмежувачем напруги — варистором.

### Вибір мінімальної величини опору демпфера

Оскільки при зніженні величини резистора  $R_S$  стійкість симістора до стрибків напруги збільшується, то логічно було б просто замінити його перемичкою. Однак виключення резистора  $R_S$  може призвести до пошкодження симістора під час увімкнення. Пояснюється це тим, що спочатку під час увімкнення симістора основний струм починає протікати побли-

зу області управління, а потім область провідності поширюється на всю площу структури. Відповідно, якщо швидкість наростання струму перевищить критичне значення  $dl/dt$ , це викличе локальний перегрів і тепловий пробій напівпровідникової структури симістора [5]. Основним джерелом швидко наростаючого струму є RC-демпфер (рис. 6). Якщо конденсатор демпфера  $C_S$  заряджений, то після ввімкнення симістора він розрядиться через послідовно ввімкнені симістор і резистор  $R_S$ . При цьому резистор  $R_S$  повинен мати досить високий опір, що дає змогу обмежити амплітуду і швидкість наростання розрядного струму.

Приблизні мінімальні величини резистора RC-демпфера, залежно від максимального чинного струму симістора, наведено в таблиці 1 [2, 3]. При цьому максимальний опір RC-демпфера розраховується за формулою (6).

Дані з таблиці 1 для номінальної напруги 230 В добре апроксимуються степеневою функцією:

$$R_S = 613.2144 \times I_{RMS}^{-0.6528717} \text{ Ом}. \quad (12)$$

### Приклад розрахунку RC-демпфера

Розрахуємо RC-демпфер для симістора, що комутує активно-індуктивне навантаження, під'єдане до побутової мережі змінного струму напругою  $V_{RMS} = 220$  В і частотою  $f = 50$  Гц.

Навантаження має такі параметри:

- активний опір навантаження —  $R_{load} = 66$  Ом;
- власна індуктивність навантаження —  $L_{load} = 0.28$  Гн.

**Примітка.** Індуктивність навантаження вимірюється на частоті 1–10 кГц, оскільки зазвичай у цьому діапазоні перебуває власна частота резонансу демпфера і навантаження.

Розрахуємо модуль опору активно-індуктивного навантаження:

$$z = \sqrt{R_{load}^2 + (2\pi \times f \times L_{load})^2} = \sqrt{66^2 + (2\pi \times 50 \times 0.28)^2} = 110 \text{ Ом}.$$

Знаючи напругу мережі та опір навантаження, розрахуємо струм навантаження за законом Ома:

$$I_{RMS} = V_{RMS}/z = 220/110 = 2 \text{ А}.$$

Таблиця 2. Параметри симістора T405-600

| Параметр          | Одиниця виміру | Величина | Примітка                                 |
|-------------------|----------------|----------|--|
| $I_T$             | A              | 4        |  |
| $V_{DRM}/V_{RRM}$ | B              | 600      |  |
| $V_{DSM}/V_{RSM}$ | B              | 700      | Зазвичай на 100 В вище $V_{DRM}/V_{RRM}$ |
| $I_H$             | mA             | 10       |  |
| $(dV/dt)_{cr}$    | B/мкс          | 20       |  |
| $(dl/dt)_c$       | A/мс           | 0.9      | Якщо $(dV/dt)_c = 10$ B/мкс              |

Для такого струму підійде симістор T405-600 виробництва фірми STM [4], розрахований на максимальний діючий струм  $I_T = 4$  А. Основні параметри симістора перелічено в таблиці 2.

Визначимо швидкість зниження струму за формулою (1):

$$dl/dt = 2\pi \times f \times IRMS \times \sqrt{2} = 2\pi \times 50 \times 2 \times \sqrt{2} = 888 \text{ A/c} = 0.888 \text{ A/мс.}$$

Оскільки навантаження активно-індуктивне, між напругою і струмом є фазовий зсув. Його величину зсуву можна розрахувати за формулою (3):

$$\varphi = \arctg(2\pi \times f \times L/R) = \arctg(2\pi \times 50 \times 0.28)/66 = 53^\circ.$$

Визначимо напругу зміщення за формулою (4):

$$V_s = V_{RMS} \sqrt{2} \times \sin \varphi = 220 \sqrt{2} \times \sin 53^\circ = 249 \text{ В.}$$

Щоб запобігти повторному відкриттю симістора T405-600, швидкість наростання комутаційної напруги необхідно обмежити на рівні не більше 10 В/мкс. У цьому разі мінімальну ємність конденсатора демпфера можна розрахувати за формулою (5):

$$C_s \geq 1/L_{load} (V_s/(dV/dt))^2 = 1/0.28(249/(10 \times 10^6))^2 = 2.24 \times 10^{-9} \text{ Ф.}$$

Виберемо стандартний конденсатор ємністю  $C_s = 3.3$  нФ.

За формулою (6) розраховуємо максимальну величину опору демпфера  $R_s$ :

$$R_{Smax} = 2\sqrt{L_{load}/C_s} - R_{load} = 2\sqrt{0.28/(3.3 \times 10^{-9})} - 66 = 18 \text{ кОм.}$$

Мінімальний опір демпфера знайдемо за допомогою формули (12):

$$R_{Smin} = 613.2144 \times I_{RMS}^{-0.6528717} = 613.2144 \times 4^{-0.6528717} = 248 \text{ Ом.}$$

Для того, щоб збільшити стійкість симістора до перенапруг, виберемо мінімальне стандартне значення опору демпфера  $R_s = 270$  Ом. У разі використання мінімального опору  $R_s$  до закриття симістора за рахунок коливально-го процесу буде прикладена підвищена напруга  $V_M$ . Щоб визначити перенапругу, розрахуємо коефіцієнт загасання вільних коливань за формулою (8):

$$\beta = R/2L_{load} = (66 + 270)/(2 \times 0.28) = 600$$

Власну частоту контуру можна розрахувати за формулою (9):

$$F_0 = 1/(2\pi\sqrt{LC}) = 1/(2\pi\sqrt{0.28 \times 3.3 \times 10^{-9}}) = 5236 \text{ Гц.}$$

Частота загасаючих коливань визначається формулою (10):

$$F = \sqrt{2\pi \times F_0^2 - \beta^2}/2\pi = \sqrt{2\pi \times 5236^2 - 600^2}/2\pi = 5235 \text{ Гц.}$$

Відповідно період загасаючих коливань визначається за формулою (11):

$$T = 1/F = 1/5235 = 1.91 \times 10^{-4} \text{ с.}$$

Тепер розрахуємо максимальну величину комутаційної напруги за формулою (7):

$$V_M = V_s(1/e^{0.5 \times \beta \times T} + 1) = 249(1/e^{0.5 \times 600 \times 1.91 \times 10^{-4}} + 1) = 484 \text{ В.}$$

Максимальна величина комутаційної напруги не викликає побоювань, оскільки не перевищує максимальної робочої напруги симістора  $V_{DRM}/V_{RRM}$ .

## МОДЕЛЮВАННЯ RC-ДЕМПФЕРА

Під час вибору найкращого демпфера необхідно дослідити його поведінку в усіх можливих умовах експлуатації. Аналітично (шляхом розрахунків) тако дослідження провести досить складно. Набагато простіше шукати найкраще рішення за допомогою симулятора електронних схем. Наприклад, за допомогою симулятора LTspice. При цьому розрахункові формули, запропоновані в цій статті, можна використовувати для попереднього розрахунку RC-демпфера.

## Моделювання умов повторного відкриття симістора

На рисунку 7 зображено результат моделювання швидкості наростання комутаційної напруги залежно від величини демпферного опору  $R_s$ . Модель симістора T405-600 можна знайти на сайті виробника. Мета моделювання полягає в тому, щоб відсіяти ті величини опору  $R_s$ , які призводять до занадто великої швидкості наростання комутаційної на-

пруги  $(dV/dt)_c > 10$  В/мкс, що спричиняє повторне відкриття симістора. Зміна величини опору  $R_s$  проводиться за допомогою директиви .STEP:

```
.step param rs list 270 560 1.1k 2.2k 4.3k 8.2k 18k
```

Сеанс моделювання включає кілька циклів повторення, де на початку кожного сеансу опір RS послідовно набуває значень зі списку {270 560 1.1k 2.2k 4.3k 8.2k 18k}.

Після запуску моделювання вікно схемного редактора симулятора LTspice зменшиться у 2 рази і на місце, що звільнилося, буде вставлено, поки що порожнє вікно плотера. Для налаштування його відображення у вікні плотера необхідно зробити п'ять послідовних кроків, зображених на рисунку 7:

- підвести курсор до вузла Vt і, щойно той перетвориться на щуп, клацнути лівою кнопкою мишки. Після цього графіки напруги V(vt) будуть виведені у вікно плотера;
- у вікні плотера клацнути правою кнопкою мишки по назві графіка V(vt). Після цього відкриється вікно **Expression Editor** (редактор виразів);
- у вікні **Expression Editor** замість V(vt) записати d(V(vt)). Цей запис введе у вікно плотера похідну від напруги V(vt);
- натиснути кнопку **ОК**.

Результати всіх циклів повторення виводяться на загальний графік у вигляді віяля кольорових ліній. Щоб розібрати це віяло, необхідно спочатку прикріпити курсор до графіка. Для цього клацаємо лівою кнопкою мишки за назвою графіка — d(V(vt)). У вікні перегляду з'являється курсор у вигляді перетину двох пунктирних ліній. Щоб краще бачити курсор, можна вимкнути сітку у вікні плотера за допо-

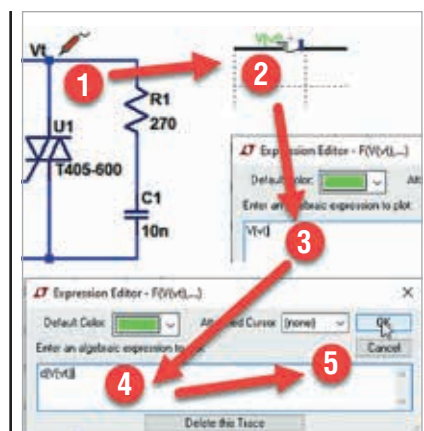


Рис. 7. Налаштування графіка, що виводиться у вікно плотера



# GameChangers



## GameChangers для підключення пристроїв

Деякі провідні досягнення революціонізують уявлення про те, що є мислимим і що є можливим: завдяки інноваційним ідеям, технологіям і матеріалам.

Дізнайтеся, як наші GameChangers можуть вивести ваші системи на новий рівень успіху.

Детальніше за посиланням: <http://phoenixcontact.com/gamechangers>

Phoenix Contact в Україні:

ТОВ „Фенікс Контакт“

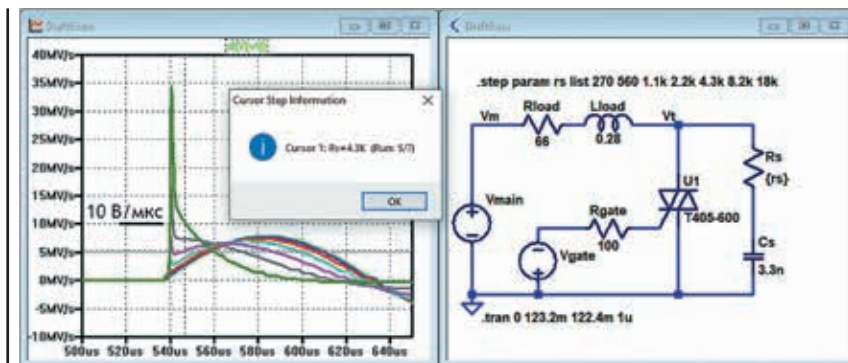


Рис. 8. Моделювання умов повторного відкриття симістора

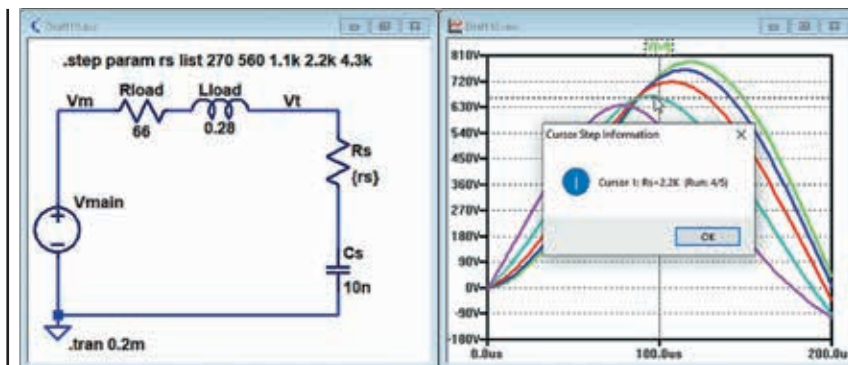


Рис. 9. Моделювання швидкого наростання напруги на симісторі

гою комбінації клавіш **Ctrl+G**. Між графіками курсор можна перемикає стрілками його керування на клавіатурі:  $\uparrow$  і  $\downarrow$ . Таким чином обираємо графік швидкості наростання напруги, що не перевищує рівня 10 В/мкс, але найближчий до нього.

Для ідентифікації графіка, позначеного курсором, підводимо до нього покажчик миші, поки не з'явиться номер курсора, потім натискаємо праву кнопку мишки, що викликає вікно **Cursor Step Information**. У цьому віконці вказано номер кроку і значення параметра  $R_S = 4.3$  кОм (рис. 8).

Моделювання показує, що швидкість наростання комутаційної напруги ( $dV/dt$ )с перевищує допустиме значення 10 В/мкс у разі, якщо  $R_S > 4.3$  кОм (графік рожевого кольору).

Результати моделювання залежать від того, наскільки коректно модель симістора T405-600 імітує процес зворотного відновлення закритого стану. На жаль, у довідкових даних виробники не наводять залежності струму зворотного відновлення від швидкості зниження струму ( $dI/dt$ )с. Тому експериментальне вимірювання зазначеної залежності та використання її в моделі збільшить точність моделювання.

### Моделювання умов швидкого наростання напруги

Раніше в статті перераховувалися випадки, що призводять до швидкого

наростання напруги на закритому симісторі. У цьому плані найбільшу небезпеку становлять стрибки напруги, викликані ударами блискавки в лінії електропередачі. У середині будівель напруга такого стрибка може досягати 6 кВ за 1–10 мкс. Очевидно, що жодне розумне демпферне коло не в змозі придушити подібний стрибок до допустимого рівня 600–700 В. Тому зазвичай демпферне коло використовується спільно з варистором, увімкненим паралельно до мережевого вводу пристрою. Варистор, типовий для однофазної мережі 220 В, поглинає енергію імпульсу і фіксує максимальну напругу на рівні 600–650 В.

На рисунку 9 зображено результат моделювання швидкого наростання напруги  $V(t)$  на закритому симісторі. Симістор перебуває в несправному стані і тому з моделі виключений. Джерело  $V_{main}$  генерує короткий імпульс напруги величиною 650 В і тривалістю 50 мкс.

Зміна величини опору  $R_S$  проводиться за допомогою директиви .STEP:

```
.step param rs list 270 560 1.1k 2.2k 4.3k
```

Величини 8.2k і 18k виключено на попередньому етапі моделювання.

У процесі моделювання з'ясувалося, що конденсатора  $C_S$  ємністю 3.3 нФ недостатньо для зниження напруги на

симісторі до безпечного рівня. Тому величину демпферного конденсатора  $C_S$  було збільшено до 10 нФ. Це дало змогу опустити пік напруги на симісторі нижче рівня максимальної імпульсної неповторюваної напруги в закритому стані  $V_{DSM}/V_{RSM} = 700$  В. Умова дотримується в разі, якщо опір демпферного резистора  $R_S$  не нижче 2.2 кОм.

У результаті моделювання дало змогу уточнити величину демпферного конденсатора ( $C_S = 10$  нФ) і вибрати оптимальний діапазон величин для демпферного резистора ( $R_S = 2.2$ – $4.7$  кОм).

Виробники зазвичай рекомендують використовувати мінімальну величину демпферного резистора. Це дає змогу гарантовано уникнути проблеми повторного відмикання симістора. Однак при цьому потрібне використання більш високовольтного симістора. Крім того, підвищується ймовірність пробією симістора в разі перенапруг у мережі, спричинених розрядами блискавки та перехідними процесами.

### БЕЗДЕМПФЕРНІ СИМІСТОРИ

Останнім часом набули широкого поширення бездемферні симістори. У цьому випадку йдеться про електронні прилади ACS/ACST, що випускаються фірмою ST. ACS/ACST — це симісторні перемикачі змінного струму, які вирізняються підвищеною стійкістю до наростаючої напруги. Крім того, ACS/ACST мають обмежувач напруги, який захищає прилад від перенапруг, спричинених індуктивним навантаженням або перехідними процесами в мережі живлення змінного струму. За заявами виробника, прилади ACS/ACST можуть використовуватися без зовнішніх захисних кіл.

#### Література:

1. Евсеев Ю. А., Крылов С. С. Симістори и их применение в бытовой аппаратуре. М.: Энергоатомиздат, 1990.
2. Богомяков А. А., Голов Н. А., Евсеев Ю. А., Ковалев Ф. И., Кубарев Л. П., Поташников М. Ю., Усачев В. А. Основы силовой электроники. Силовые полупроводниковые приборы. М.: Издательство МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2012.
3. AN437. RC snubber circuit design for TRIACs. STMicroelectronics, 2007.
4. T4 series. Datasheet. STMicroelectronics, 2016.
5. Тиристоры. Справочник. М.: Радио и связь, 1990.



# Оптоволоконні технології зв'язку в польових умовах

**Франк Кьольске (Frank Kölske), Phoenix Contact GmbH & Co. KG**  
E-mail: ua-office@phoenixcontact.com

**Оптоволоконні кабелі часто поставляються погонними метрами і підключаються потім в польових умовах. Різні типи оптоволоконних кабелів вимагають різних технологій з'єднання. Для реалізації технології з'єднання в польових умовах необхідні відповідні інструменти та компоненти.**

Для прокладання кабельних систем передачі даних часто, окрім мідних кабелів, використовують оптоволоконні кабелі. Залежно від вимог до відстані та швидкості передачі даних, а також довжини хвилі, можуть використовуватися різні типи волокон, такі як POF, PCF і кварцове скло (рис. 1). Спроектвані та обрані активні компоненти вже забезпечують певні параметри оптоволоконного кабелю. Для прокладання кабелю і правильного з'єднання потрібні відповідні набори інструментів та інші компоненти, як то роз'єми, розподільчі коробки та кабелі. Відправною точкою є тип волокна, який планується використовувати або вже встановлений.

## ВИКОРИСТАННЯ ТА ПІДКЛЮЧЕННЯ POF

POF-кабелі часто все ще використовуються в промислових умовах з низькими вимогами до швидкості передачі даних і дальності дії. Полімерне оптичне волокно (*Polymer Optical Fiber, POF*) — це оптичне волокно, яке має сердцевину і оболонку з пластику. Стандартний POF з діаметром сердцевини 980 мкм і діаметром оболонки 1000 мкм захищений покриттям діаметром 2.2 мм (рис. 1). Покриття можна видалити за допомогою відповідного інструменту для зачистки. Зазвичай в зовнішній оболонці є дві сердцевини POF разом з наповнювачем і елементами для компенсації натягу, укладеними в оболонку. Така конструкція відома як розривний кабель. Існують розривні кабелі з сердцевинами

POF для різних застосувань. Компанія Phoenix Contact пропонує широкий асортимент завдяки своєму багатому досвіду в Profinet та інших застосуваннях.

Для підключення таких роз'ємів, як FSMA, SC-RJ або push-pull версії 14 SC-RJ до цих кабелів, рішенням є спеціально адаптовані набори інструментів (рис. 2). Ці набори містять інструменти та допоміжні засоби, необхідні для зачищення оптоволоконних кабелів, щоб волокна POF можна було безпечно і легко зібрати в польових умовах, використовуючи відповідні типи з'єднувачів.

Роз'єми POF підібрані відповідно до наборів. З'єднувачі з'єднуються шляхом затискання. Торець відполірований для досягнення хорошої якості поверхні.

За допомогою правильних інструментів та допоміжних засобів монтаж POF є відносно простим процесом. Пластикові волокна мають великий діаметр, тому з ними легко працювати.

## ВИКОРИСТАННЯ ТА ПІДКЛЮЧЕННЯ PCF

Оптоволоконні кабелі з волокнами PCF також використовуються в промислових умовах. Аббревіатура PCF (*Polymer Clad Fiber*) розшифровується як «волокно в полімерній оболонці» і описує сердцевину з кварцового скла, укладену в пластикову оболонку. Стандартний діаметр волокна PCF становить 200 мкм для сердцевини і 230 мкм для оболонки (рис. 1). Для захисту волокна на сердцевину наноситься покриття, що знімається, діаметром 500 мкм. Як і у випадку з POF-кабелями, в промислових умовах зазвичай використовуються 2-жильні типи. Вони міцні і тому підходять для суворих умов експлуатації. Жила діаметром 500 мкм укладена в пластикову оболонку разом з елементами компенсації натягу. У 2-жильному розривному кабелі є дві пластикові оболонки разом з елементами компенсації натягу і наповнювачем, укладеними в зовнішню оболонку.

Для цього типу волокна також існують різні типи роз'ємів для монтажу в польових умовах. Для кожного типу роз'ємів, таких як ST, SC, SC-RJ, версія 14 SC-RJ push-pull і F-SMA, існує свій на-

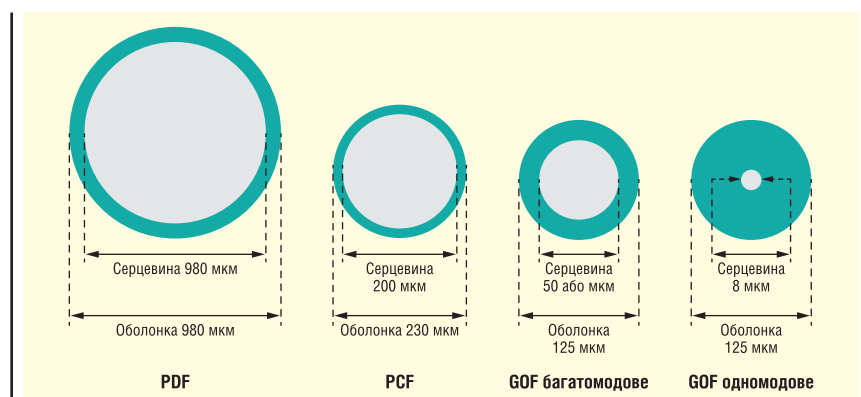


Рис. 1. Порівняння різних типів волоконної оптики





Рис. 2. Набір інструментів POF



Рис. 4. Набір інструментів PCF



Рис. 3. Набір інструментів PCF

бір інструментів (рис. 3). Ці набори також містять інструменти та допоміжні засоби, необхідні для зачищення оптоволоконних кабелів, щоб волокна PCF можна було безпечно і легко зібрати в польових умовах, використовуючи відповідні типи з'єднувачів. З'єднувачі, що відповідають набору, затискаються на волокні, розрізаються і накладається компенсація натягу.

Різнаця полягає в різаку. Він підбирається до відповідного типу роз'єму. Завдяки високоякісному виконанню, різак створює точну та оптимально підготовлену поверхню волокна.

Компанія Phoenix Contact також пропонує оптоволоконні кабелі з PCF для різних застосувань, які можна збирати за допомогою цих інструментів.

## ВИКОРИСТАННЯ ТА ПІДКЛЮЧЕННЯ GOF

Чисте кварцове скловолокно (*Glass Optical Fiber, GOF*) все частіше використовується для оптоволоконних кабелів у промислових мережах. На це є кілька причин. Дуже високі швидкості передачі даних можуть надійно передаватися на великі відстані. Вартість кабельної продукції та технологій з'єднання є привабливою, а технологія з'єднання проста в експлуатації. За останні кілька років багато спеціалізованих компаній зарекомендували себе в галузі оптоволоконних технологій з'єднання, успішно пропонуючи

ці послуги. Ці компанії спеціалізуються, наприклад, на виконанні робіт по зрощуванню оптоволокна та великому об'єму монтажу роз'ємів в польових умовах. Особливо, коли мова йде про з'єднання великої кількості з'єднувальних коробок, ці компанії мають перевагу в тому, що вони можуть залучити відповідний кваліфікований персонал і необхідне обладнання, наприклад, зварювальні пристрої. Компанія Phoenix Contact пропонує необхідні кабельні та з'єднувальні технології, такі як оптоволоконні кабелі та оптоволоконні з'єднувальні коробки.

Однак, якщо ви хочете виконати монтаж роз'єму GOF в польових умовах самостійно, для цього також є рішення.

За допомогою спеціально адаптованого набору інструментів можна монтувати роз'єми типу SC і LC на оптоволоконному кабелі на місці (рис. 4). Інструменти в наборі підібрані таким чином, що можна збирати як багатомодове оптоволокно G50/125 мкм, так і одномодове оптоволокно E9/125 мкм (рис. 1).

З'єднувачі для польового монтажу, розроблені для цієї системи, містять підготовлене на заводі волокно, яке вже ідеально склеєне і відполіроване. Це позбавляє від необхідності виконувати ці кроки під час монтажу в польових умовах. Все, що залишається зробити — це зачистити кабелі та підготувати волокна. Різаць з набору використовується для підготовки скловолокна вхідного оптоволоконного кабелю, щоб воно мало ідеальну поверхню.

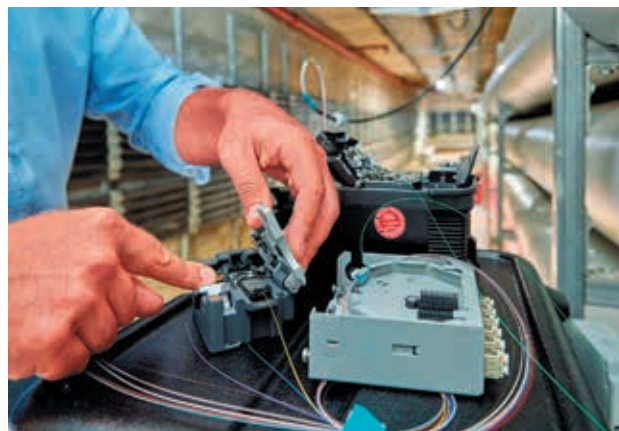


Рис. 5. Технологія оптоволоконного з'єднання в польових умовах: зрощування плавленням

Оптоволоконні технології зв'язку в польових умовах:

- існує принаймні один набір інструментів для кожного з трьох поширених типів волокон;
- відповідні роз'єми для наборів інструментів різних типів і конструкцій;
- відповідні оптоволоконні кабелі в портфоліо;
- для підключення роз'ємів не потрібна спеціалізована оптоволоконна компанія;
- легке з'єднання без склеювання. Для PCF і GOF також не потрібне полірування.

Усередині з'єднувача два волокна з'єднуються разом, затискаються, а потім компенсується натяг. Це називається механічним з'єднанням. Результатом є надійне, довготривале стабільне з'єднання з низьким рівнем загасання. Оптоволоконні кабелі, придатні для монтажу, доступні у вигляді дуплексних, міні-розгалужувачів і кабелів з розгалужувачами. Люфт-трубчасті кабелі ідеально підходять для з'єднання методом плавлення (рис. 5).

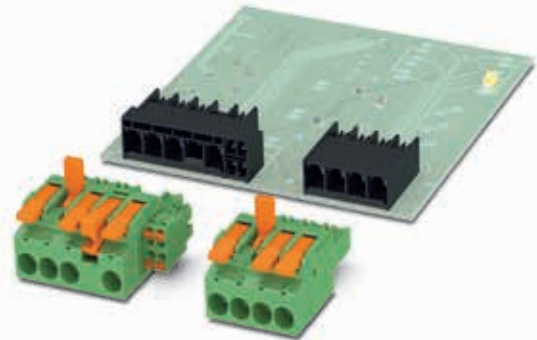
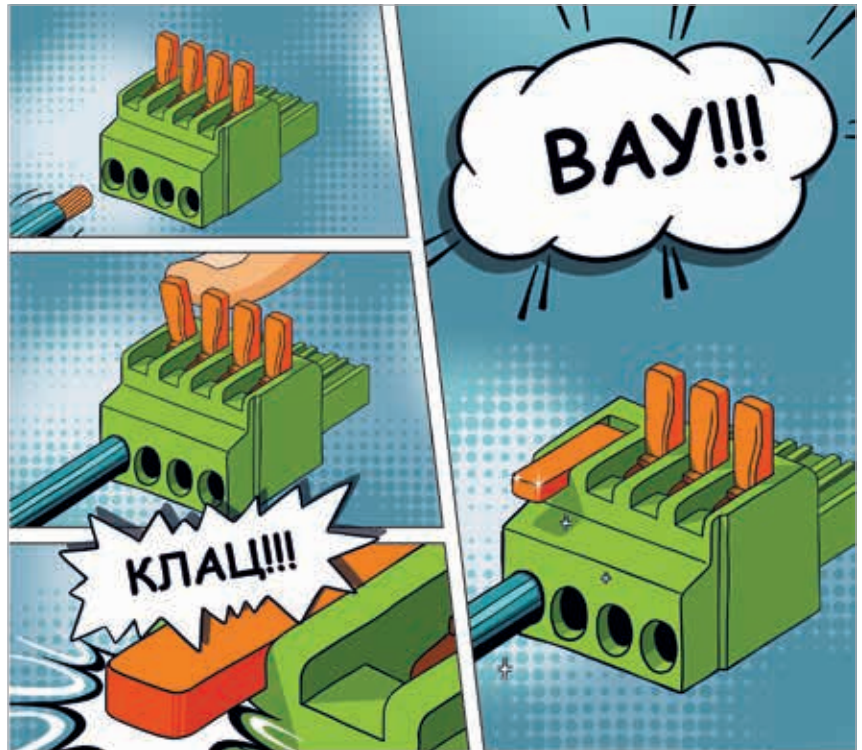
## ПІДСУМОК

Набори інструментів для оптоволоконних кабелів у поєднанні з відповідними з'єднувачами демонструють свої переваги скрізь, де потрібен польовий монтаж оптоволоконних кабелів з різними поширеними типами волокон. Склеювання і полірування більше не потрібні, особливо для монтажу волокон PCF і GOF, що призводить до значної економії часу. Навіть без залучення спеціалізованої компанії, що займається технологією оптоволоконних з'єднань, ці роботи з монтажу з'єднувачів можуть бути легко і безпечно виконані вашим власним персоналом.

У поєднанні з відповідними оптоволоконними кабелями та компонентами розробники систем і користувачі можуть реалізувати правильну концепцію прокладання кабелів і з'єднань. Компанія Phoenix Contact пропонує відповідні інструменти та компоненти для безпечного та простого з'єднання різних типів волоконної оптики в польових умовах.

**Більш детальна інформація за посиланням:**

[www.phoenixcontact.com/webcode/#3585](http://www.phoenixcontact.com/webcode/#3585)  
[www.phoenixcontact.com/fo](http://www.phoenixcontact.com/fo) CN



## Клац! Готово!

### Роз'єми для друкованих плат з керуванням важелем

Компанія Phoenix Contact задає нові стандарти зручності підключення проводу. Клеми та роз'єми для друкованих плат універсальних серій LPT та LPC поєднують неперевершену простоту важільного керування з надійним пружинним з'єднанням Push-in. Таким чином, ви можете надзвичайно швидко та інтуїтивно зрозуміло підключати провідники з перерізом до 25 мм<sup>2</sup> без використання інструменту.

За додатковою інформацією, звертайтеся:

ТОВ "Фенікс Контакт"

(044) 594 55 22

[www.phoenixcontact.com/uk-ua/](http://www.phoenixcontact.com/uk-ua/)

[https://phoe.co/LPT\\_LPC\\_UA](https://phoe.co/LPT_LPC_UA)



# Конформне покриття – посібник із застосування

**Андрій Григоревський, менеджер, «Філур Електрик, ЛТД»**  
E-mail: a.grygorevskyi@filur.net

**У цій статті описано обладнання та методи, рекомендовані для нанесення конформних покриттів MG Chemicals. Нагадаємо, що користувач сам несе відповідальність за визначення хімічної, механічної та термічної сумісності основ перед використанням будь-якого із запропонованих методів. Не знаєте, яке конформне покриття використовувати? Перегляньте статтю про те, як вибрати найкраще конформне покриття для вашого конкретного проекту (див. CHIP NEWS, № 3, 2024).**

## ЯК ВИКОРИСТОВУВАТИ КОНФОРМНІ ПОКРИТТЯ?

Всі конформні покриття компанії MG Chemicals можна наносити пензлем, ручним розпилювачем, методом занурення, а також за допомогою машин для селективного нанесення конформних покриттів. Для зручності та простоти деякі продукти також доступні в аерозольній упаковці. Для великих і середніх виробничих циклів для селективного нанесення покриття використовують ручні розпилювачі, що забезпечують чудову якість покриття. Метод нанесення пензлем можна використовувати для ремонту або для невеликих обсягів робіт, але зазвичай він не дозволяє досягти такого ж рівня консистенції та естетичного вигляду півки фінішного покриття, як метод розпилення. Аналогічно, занурення є ідеальним методом для невеликих проектів, оскільки він простий, але при цьому забезпечує високу точність результатів.

Нанесення конформного покриття вимагає декількох наступних етапів для досягнення естетичного вигляду.

## ПІДГОТОВКА ОСНОВИ

Більшість дефектів покриття виникають через наявність вологи, жиру, масла, бруду, залишків флюсу та інших забруднень на друкованій платі. Тому перед

нанесенням покриття настійно рекомендується забезпечити чистоту і сухість поверхні. Для цього виконайте наступні дії:

1. Протріть поверхню чистою ганчіркою, вимийте водою з милом, потім прополощіть і висушіть.
2. Одягніть одноразові рукавички та протріть поверхню ізопропіловим спиртом *MG 824* або будь-яким іншим знежирювальним розчинником.
3. Дайте поверхні повністю висохнути. Підвищена температура може прискорити висихання.

Високостійкі пластмаси та непластикові матеріали можуть потребувати механічного шліфування або ґрунтовки для покращення адгезії. Після шліфування та травлення очистіть поверхню, дотримуючись попередньо перелічених кроків. Замаскуйте ділянки, на які не слід наносити покриття, за допомогою паяльної маски *MG 862* або малярської стрічки. Непе-

редбачене покриття можна видалити за допомогою засобів для зняття конформних покриттів *MG 8309* або *MG 8310A*.

## РОЗБАВЛЕННЯ

Для більшості видів нанесення пензлем розбавлення не потрібне, однак при нанесенні певних покриттів ручним або автоматизованим конформним способом ми рекомендуємо розбавляти фарбу для покращення покриття та точності нанесення. Вибір розріджувача буде залежати від обраного покриття і методу нанесення (ручного або автоматизованого). Якщо використовується автоматизований метод розпилення, необхідно враховувати як тип системи селективного нанесення, наприклад, настільний координатний робот *EcoEco-331*, так і окремі клапани, наприклад, один із найпопулярніших на ринку України аерозольний клапан *BV500*.

Рекомендовані початкові коефіцієнти розбавлення наведені в таблиці 1.

## НАНЕСЕННЯ КОНФОРМНОГО ПОКРИТТЯ ЗА ДОПОМОГОЮ ПЕНЗЛЯ

Для нанесення конформного покриття за допомогою пензля виконайте наступні дії:

**Таблиця 1. Рекомендовані співвідношення розбавлення конформних покриттів MG до розріджувачів MG\* за методами нанесення**

| Конформні покриття | Метод покриття |           |                     | Розріджувачі        |                     |                     |       |
|--------------------|----------------|-----------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|-------|
|                    | Пензлик        | Занурення | Ручне розпилення    | PBA 650             |                     | Nordson SL 940E     |       |
|                    |                |           |                     | FCS300-ES           | FC100-CF            | SC280 N             | SC350 |
| <i>419D</i>        | Немає          | Немає     | 1:1 ( <i>4352</i> ) | 3:2 ( <i>4352</i> ) | 2:1 ( <i>4352</i> ) | 8:3 ( <i>4352</i> ) | Н/д   |
| <i>419E</i>        | Немає          | Немає     | 1:1 ( <i>4352</i> ) | 1:1 ( <i>4352</i> ) | 1:1 ( <i>4352</i> ) | 4:1 ( <i>4352</i> ) | Н/д   |
| <i>422C</i>        | Немає          | Немає     | Немає               | Н/д                 | Н/д                 | Немає               | Н/д   |
| <i>4223F</i>       | Немає          | Немає     | 1:1 ( <i>4352</i> ) | 2:1 ( <i>4354</i> ) | 2:1 ( <i>435</i> )  | 5:1 ( <i>4352</i> ) | Н/д   |
| <i>4225</i>        | Немає          | Немає     | Немає               | Н/д                 | Н/д                 | Н/д                 | Н/д   |
| <i>4200UV</i>      | Немає          | Немає     | Немає               | Немає               | Н/д                 | Н/д                 | Немає |

\* Рекомендовані розріджувачі MG вказані в дужках





**Рис. 1.** Пензлі для конформного нанесення

1. Намочіть пензель (рис. 1), зануливши його у фарбу (на третину довжини ворсу).
2. Злегка постукайте обома сторонами пензля по стінці банки. Це запобігає утворенню крапель і патьоків.
3. Нанесіть покриття на дошку довгими, плавними рухами. Це зменшує кількість повітряних бульбашок, допомагає створити рівномірний шар і мінімізує сліди від пензля.
4. Повторіть попередні дії, як тільки потік фарби починає перериватися.
5. Наступні мазки пензлем робіть у тому ж напрямку, повертаючись до країв раніше нанесеного, ще вологого покриття, але не наносьте повторне покриття на мокрі ділянки.
6. Зачекайте щонайменше 3 хвилини, потім нанесіть другий шар. Щоб пензель не затвердів, занурте його в розчинник і висушіть перед повторним нанесенням.
7. Нанесіть додаткові шари до досягнення бажаної товщини.

## РУЧНІ ПІСТОЛЕТИ-РОЗПИЛЮВАЧІ

Розведіть фарбу відповідно до рекомендацій, наведених у таблиці 1. Для розпилення розведеної фарби використовуйте стандартний пістолет з рідинним розпилювачем (рис. 2).

Рекомендовані налаштування можна знайти в таблиці 2. В ній наведено приклади використання пістолетів-розпилювачів LVMP (*Low Volume Medium Pressure*) та HVLP (*High Volume Low Pressure*).

Пістолети-розпилювачі LVMP використовують менший об'єм повітря і створюють середній тиск. По суті, вони використовують менше повітря, ніж пістолети-розпилювачі HVLP, але з трохи більшим тиском, ніж HVLP.

Пістолети-розпилювачі HVLP використовують великі об'єми повітря, щоб направляти та переміщувати фарбу, але розпилюють фарбу під низьким тиском. Це означає, що фарба виходить із сопла пістолета та потрапляє на ці-



**Рис. 2.** Ручний розпилювач фарби

льову поверхню (для оброблення) з багато меншою та контрольованою швидкістю.

Параметри налаштування ручних пістолетів-розпилювачів можуть відрізнятися залежно від марки фарби.

## МАШИНИ ДЛЯ СЕЛЕКТИВНОГО НАНЕСЕННЯ КОНФОРМНИХ ПОКРИТТІВ

Для нанесення великих об'ємів покриття можна використовувати спеціальне розпилювальне обладнання (рис. 3).

**Таблиця 2.** Рекомендовані налаштування ручних пістолетів-розпилювачів

| Параметр                                   | Тип ручного пістолета-розпилювача |       |
|--|-----------------------------------|-------|
|  | LVMP                              | HVLP  |
| Тиск на вході, фунт/дюйм <sup>2</sup>      | 20–40                             | 20–40 |
| Потік повітря, фут <sup>3</sup> /хв        | 10–15                             | 10–15 |
| Повітряний ковпачок, фут/дюйм <sup>2</sup> | 8–10                              | 8–10  |
| Діаметр наконечника форсунки, мм           | 0.8–1                             | 0.8–1 |

Компанія MG Chemicals співпрацювала з такими компаніями, як PVA та Nordson Asymtek для тестування сумісності різ-



**Рис. 3.** Машина для селективного нанесення конформних покриттів



**Рис. 4. Спрей для покриття друкованих плат 419E-340G**

них конформних покриттів з використанням платформи 650 від PVA та SL940E від Nordson Asumtek. У таблиці 1 наведено вихідні дані щодо співвідношень розведення та рекомендовані розріджувачі з використанням різних клапанів. Більш детальну інформацію, таку як тиск повітря, тиск рідини та висота дозування для різних машин і систем клапанів, можна знайти для кожного конформного покриття в технічному паспорті (*Technical Data Sheet, TDS*) кожного продукту.

### АЕРОЗОЛЬНІ БАЛОНЧИКИ

Деякі з конформних покриттів MG Chemicals випускаються в зручному аерозольному форматі (рис. 4). Ці балончики вже готові до використання. Потрібно лише зробити наступне:

1. Енергійно струсіть балончик.
2. Розпилить тестовий зразок, щоб переконатися в хорошій якості розпилення.
3. Нахилить плату під кутом 45° і нанесить тонкий рівномірний шар з відстані 20–25 см (8–10 дюймів). Використовуйте рівномірні рухи, щоб уникнути накопичення фарби в одному місці. Починайте і закінчуйте кожен рух від краю поверхні.

Канадська компанія **MG Chemicals** є виробником та гуртовим продавцем хімічної продукції для електроніки. Програма постачання містить: пиловидальчі та охолоджувачі, очищувачі/знежирювачі, флюси та видалювачі залишків флюсів, очищувачі контактів, захисні покриття, епоксидні компаунди, адгезиви (клеї), силікони, мастила, екранувальні покриття, термопровідні матеріали, матеріали та обладнання тощо. Також компанія MG Chemicals виготовляє та розповсюджує супутні товари — серветки, тампони на стрижні/позабки, щітки, плетиво (обплетення) для видалення припою, облуджувачі наконечників паяльників, а також заготовки для виготовлення друкованих плат, у тому числі й покриті позитивним фоторезистом.

**Таблиця 3. Час затвердіння конформних покриттів MG Chemicals за різних умов затвердіння**

| Конформні покриття | Температура сушіння/затвердіння |           |           |           |                                 |                                 |
|--------------------|---------------------------------|-----------|-----------|-----------|---------------------------------|---------------------------------|
|                    | 25 °C                           | 65 °C     | 80 °C     | 100 °C    | 1 Вт/см <sup>2</sup> при 25 °C* | 1 Вт/см <sup>2</sup> при 35 °C* |
| 419D               | 24 години                       | 30 хвилин | 20 хвилин | 10 хвилин | Н/Д                             | Н/Д                             |
| 419E               | 24 години                       | 30 хвилин | 15 хвилин | 5 хвилин  | Н/Д                             | Н/Д                             |
| 422B               | 48 годин                        | 20 хвилин | 10 хвилин | Н/Д       | Н/Д                             | Н/Д                             |
| 422C               | 24 години                       | 20 хвилин | 10 хвилин | Н/Д       | Н/Д                             | Н/Д                             |
| 4223F              | Немає                           | Немає     | 16 годин  | 2 години  | Н/Д                             | Н/Д                             |
| 4225               | Немає                           | 4 години  | 2 години  | 40 хвилин | Н/Д                             | Н/Д                             |
| 4200UV             | Немає                           | Немає     | Немає     | Немає     | 8 секунд                        | 8 секунд                        |

\* Довжина хвилі УФ-лампи 320–500 нм

4. Щоб уникнути накопичення розчинника, перед нанесенням кожного наступного шару зачекайте рекомендований час для повторного покриття.
5. Щоб забезпечити гарне покриття, поверніть плату на 90° і розпилить ще раз.
6. Нанесіть додаткові шари до досягнення бажаної товщини (поверніться до кроку 3).
7. Дайте кожному новому шару затвердіти при кімнатній температурі, поки він не стане сухим на дотик, перш ніж починати сушити покриття нагріванням.
8. Після використання очистіть сопло балона, перевернувши балон і розпилюючи короткими серіями, поки пропеллент не стане прозорим.

**Таблиця 4. Типова товщина сухої плівки для одного шару покриття**

| Конформні покриття | Товщина сухої плівки |
|--------------------|----------------------|
| 419D               | 20–30 мкм            |
| 419E               | 20–30 мкм            |
| 422B               | 20–30 мкм            |
| 422C               | 20–30 мкм            |
| 4223F              | 20–30 мкм            |
| 4225               | 25–50 мкм            |
| 4200UV             | 65–85 мкм            |

для прискорення процесу затвердіння в межах практичних часових рамок.

УФ-конформні покриття тверднуть під впливом певних частот ультрафіолетового світла. Час затвердіння цих матеріалів залежить як від довжини хвилі, так і від потужності джерела світла, що використовується. У таблиці 3 наведені дані про час затвердіння конформних покриттів MG Chemicals.

### ТОВЩИНА ПОКРИТТЯ ДЛЯ КОНФОРМНИХ ПОКРИТТІВ

Конформні покриття оптимально працюють при товщині сухої плівки від 1 до 3 міл (25–76 мкм), відповідно до рекомендацій стандарту IPC-CC-830C. Плівки, товщина яких перевищує цей діапазон, не забезпечують додаткового захисту і можуть спричинити крихкість, відшарування плівки та поглинання розчинників. У таблиці 4 наведено типову товщину сухої плівки кожного покриття для одношарового нанесення.

**Більш детальну інформацію щодо продукції MG Chemicals можна отримати, звернувшись в ТОВ «Філул Електрик, ЛТД»:**

**02100, м. Київ,  
вул. Гетьмана П. Полуботка,  
22/14, 1-й пов.,  
тел.: +38 (044) 495-75-75,  
+38 (068) 496-75-75,  
e-mail: office@filur.net,  
www.filur.net**



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

Офіційні поставки  
в Україні від компанії  
«НВП ЄВРОКОМ КОМПОНЕНТС»

 **EUROCOM  
COMPONENTS**

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



# 10 порад від Rittal цього вибору електричної шафи

**Правильний вибір електричної шафи має вирішальне значення для забезпечення функціональності, довговічності та безпеки ваших електричних систем.**

До вашої уваги 10 порад, які допоможуть вам зробити правильний вибір:

## 1. Вивчіть навколишнє середовище

Подумайте, де буде встановлена шафа. Це буде в приміщенні або на вулиці? Чи буде ваша шафа піддаватися впливу екстремальних температур, вологи, пилу, хімічних речовин або інших факторів навколишнього середовища (рис. 1)?

## 2. Вибір матеріалу

Виберіть правильний матеріал, виходячи з умов навколишнього середовища (рис. 1). Найпоширенішими матеріалами є метал, нержавіюча сталь, алюміній та різні пластмаси, такі як полікарбонат, поліестер підсилений скловолокном. Нержавіюча сталь ідеально підходить для агресивних середовищ, тоді як пластик може бути корисним для легких, неагресивних застосувань.

## 3. Розмір і вимоги до простору в шафі

Переконайтеся, що в шафі достатньо місця для вашого обладнання, включаючи резерв на майбутнє розширення. Врахуйте простір, необхідний для проводки і, що особливо важливо, для систем вентиляції та охолодження (рис. 2).

## 4. Ступінь захисту (IP)

Виберіть корпус з відповідним ступенем захисту IP для захисту від пилу та води, якщо це необхідно (рис. 2). Більш високі показники IP означають кращий захист (наприклад, IP66 для повного захисту від пилу і потужних струменів води).

## 5. Тепловий режим

Оцініть тепло, що виділяється встановленим обладнанням, і виберіть варіанти охолодження для вашої електричної шафи (рис. 3). Запобігання перегріву дуже

важливе, особливо в теплі літні місяці, оскільки це подовжує термін служби обладнання та підвищує його ефективність.

## 6. Варіанти монтажу

Визначте, як буде встановлена шафа — на стіні, на підлозі або на стовпі. Переконайтеся, що спосіб кріплення відповідає вазі та розміру шафи (рис. 3).

## 7. Доступність та обслуговування

Переконайтеся, що конструкція шафи забезпечує легкий доступ для об-

слуговування та встановлення компонентів (рис. 4).

## 8. Засоби безпеки

Оцініть потребу в таких засобах безпеки, як замки, навісні замки або захисні гвинти для захисту від несанкціонованого доступу (рис. 4).

## 9. Відповідність стандартам

Переконайтеся, що шафа відповідає встановленим галузевим вимогам і нормам (рис. 5). Це гарантує, що вона відповідатиме вимогам безпеки та продуктивності.

## 10. Вартість і бюджет

Збалансуйте потребу в якості та функціях з вашим бюджетом (рис. 5).



Рис. 1. Навколишнє середовище і вибір матеріалу

**1** Вивчіть навколишнє середовище: подумайте, де буде встановлена шафа?

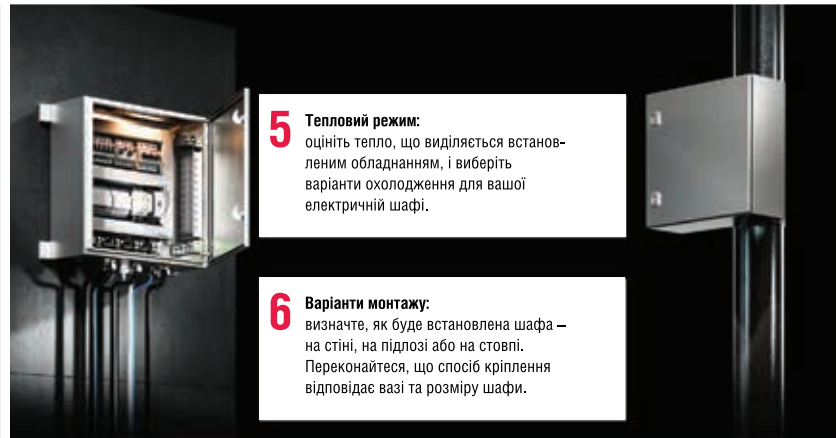
**2** Вибір матеріалу: виберіть правильний матеріал, виходячи з умов навколишнього середовища.



Рис. 2. Розмір і вимоги до простору в шафі, ступінь захисту (IP)

**3** Розмір і вимоги до простору в шафі: переконайтеся, що в шафі достатньо місця для вашого обладнання, включаючи резерв на майбутнє розширення. Врахуйте простір, необхідний для проводки і, що особливо важливо, для систем вентиляції та охолодження.

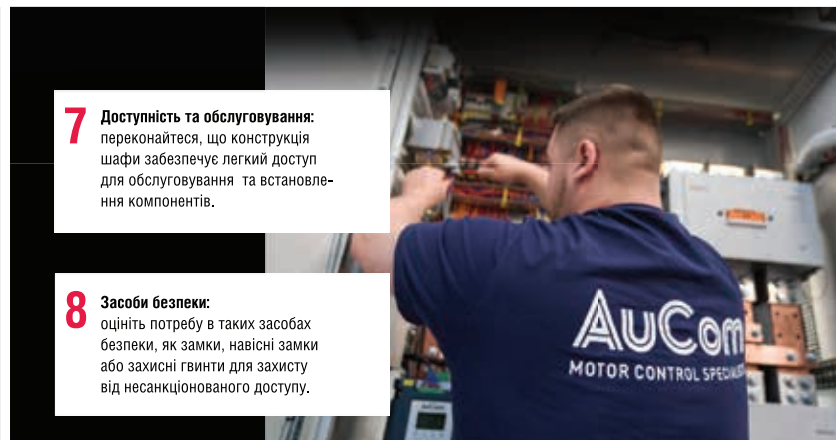
**4** Ступінь захисту (IP): виберіть корпус з відповідним ступенем захисту IP для захисту від пилу та води, якщо це необхідно.



**5 Тепловий режим:** оцініть тепло, що виділяється встановленим обладнанням, і виберіть варіанти охолодження для вашої електричної шафи.

**6 Варіанти монтажу:** визначте, як буде встановлена шафа – на стіні, на підлозі або на стовпі. Переконайтеся, що спосіб кріплення відповідає вазі та розміру шафи.

**Рис. 3. Тепловий режим, вартість монтажу**



**7 Доступність та обслуговування:** переконайтеся, що конструкція шафи забезпечує легкий доступ для обслуговування та встановлення компонентів.

**8 Засоби безпеки:** оцініть потребу в таких засобах безпеки, як замки, навісні замки або захисні гвинти для захисту від несанкціонованого доступу.

**Рис. 4. Доступність та обслуговування, засоби безпеки**



**9 Відповідність стандартам:** переконайтеся, що шафа відповідає встановленим галузевим вимогам і нормам.

**10 Вартість і бюджет:** збалансуйте потребу в якості та функціях з вашим бюджетом.

**Рис. 5. Відповідність стандартам, вартість і бюджет**

Хоча дуже важливо вибрати шафу, яка відповідає всім технічним і екологічним вимогам, також важливо враховувати економічну ефективність.

Ретельно зваживши ці фактори, ви зможете обрати електричну шафу, яка забезпечить необхідний захист, функціональність і довговічність для вашого конкретного застосування.

І пам'ятайте, що компанія Rittal є провідним виробником електричних шаф по всьому світу. Наш багатий дос-

від допоможе вам знайти ідеальну електричну шафу для ваших потреб.

**Дізнатись більше про продукти Rittal ви можете на сайті компанії або звернувшись до нас в офіс:**

**ТОВ «Ріттал»,  
08132, м. Вишневе,  
Київська обл., вул. Київська, 6Б,  
тел. (044) 536-99-44,  
e-mail: office@rittal.com.ua  
www.rittal.com.ua**

CN

## БЕЗАНОДНА ТВЕРДОТІЛЬНА НАТРІЄВА БАТАРЕЯ

Сучасна наука невпинно шукає більш ефективні та екологічно чисті джерела енергії. Науковці з Прітцкєрвської лабораторії зберігання і перетворення енергії в Чикаго зробили значний крок уперед, розробивши першу у світі безанодну твердотільну натрієву батарею. Цей винахід об'єднує в собі три ключові інноваційні компоненти: відсутність анода, використання натрію замість літію і твердотільну конструкцію.

Нова батарея вирізняється підвищеною доступністю та екологічністю завдяки використанню недорогого і поширеного натрію. На відміну від літію, запаси якого обмежені і який стає дедалі дорожчим через зростання попиту на літій-іонні акумулятори для електронних пристроїв і електромобілів, натрій значно дешевше і доступніше. Це робить виробництво натрієвих батарей більш економічно вигідним.

Однією з найважливіших переваг нової батареї є її довговічність. Творці стверджують, що вона здатна витримати кілька сотень циклів заряджання-розряджання, залишаючись стабільною та ефективною. Ця якість особливо важлива для споживачів, які шукають надійні та довговічні джерела енергії для різних пристроїв і транспортних засобів.

Однак створення безанодних батарей стикається з низкою технічних труднощів. Однією з ключових проблем є забезпечення хорошого контакту між електролітом і катодом. У традиційних батареях рідкий електроліт ефективно змочує поверхню катода, що дає змогу передавати заряд із високою ефективністю. Водночас, рідкі електроліти мають свої недоліки: вони можуть створювати небажані накопичення і поступово руйнувати активні матеріали, знижуючи загальну ефективність батареї.

Перевага твердотільних електролітів у тому, що вони позбавлені цих недоліків. Вони забезпечують більш стабільну роботу батареї та збільшують її термін служби. Проте, забезпечення оптимального контакту між твердотільним електролітом і катодом залишається складним завданням, що вимагає подальших досліджень і розробок.

[www.sciencetimes.com](http://www.sciencetimes.com)

# Компанія Nortroll підвищує рівень керування електромережами за допомогою простого в інтеграції рішення для позиціонування

**В статті йде мова про те, як компанія Nortroll вдосконалює моніторинг електромереж, використовуючи технологію GNSS від u-blox для надійного позиціонування.**

Понад 45 років норвезька компанія Nortroll, що входить до групи Sicame, розробляє інструменти для зменшення часу та наслідків відключень електроенергії шляхом виявлення та локалізації несправностей в електромережах.

Індикатори несправностей серії LineTroll від Nortroll виявляють короткі замикання і замикання на землю на повітряних лініях. Встановлені на електричних опорах, ці пристрої, що працюють від батарейок, безперервно контролюють напругу та струм, сигналізуючи про несправності на лінії.

Найсучасніший індикатор місця несправності *LineTroll R400D* від Nortroll (рис. 1) робить ще один крок вперед, використовуючи інтегрований модуль глобальної навігаційної супутникової системи (GNSS) для надійного позиціонування та опціональної синхронізації часу. Видаючи оповіщення з відміткою часу і точною інформацією про місцезнаходження, LineTroll R400D прискорює

дистанційне виявлення несправностей і дає можливість інженерам мереж швидко знаходити несправності та прискорювати ремонт.

## **ПРОБЛЕМА: ІНТЕГРАЦІЯ ФУНКЦІОНАЛЬНОСТІ ПОЗИЦІОНУВАННЯ, ЯК ПРАВИЛО, ВИМАГАЄ ВЕЛИКОЇ ЕКСПЕРТИЗИ В РАДІОЧАСТОТАХ**

Компанія Nortroll зарекомендувала себе як експерт у сфері виявлення несправностей в електричних мережах. Компанія побачила можливість розширити функціональність свого продукту та стимулювати інновації у своїй галузі, інтегрувавши в нього технологію супутникового позиціонування.

Як правило, реалізація хорошого рішення GNSS вимагає глибоких знань в області радіочастот (РЧ) і великих зусиль при розробці, оскільки вибір і впровадження антени може в кінцевому підсумку відігравати значну роль в продуктивності GNSS. Саме тому компанія Nortroll шукала постачальника, який міг би надати їм надійне, малопотужне рішення для позиціонування «під ключ», що не потребує власних знань у галузі радіочастот.

## **ГОТОВЕ РІШЕННЯ: ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИЙ АНТЕННИЙ МОДУЛЬ U-BLOX З НАДНИЗЬКИМ ЕНЕРГОСПОЖИВАННЯМ**

Вже у 2017 році компанія Nortroll знайшла рішення в модулі u-blox з інте-

грованою антеною GNSS. Тепер, через три технологічних покоління, Nortroll завершила міграцію свого LineTroll R400D на новітню GNSS-технологію за допомогою антенного модуля u-blox SAM-M10Q (рис. 2).

Завдяки одночасному прийманню сигналів всіх основних супутникових GNSS систем, SAM-M10Q забезпечує максимальну доступність позиціонування і гарантує виняткову чутливість та швидкий час збору даних — навіть в умовах поганого сигналу.

Надійна конструкція передньої панелі радіочастотного тракту з інтегрованим фільтром SAW і підсилювачем низьких частот (LNA) забезпечує чудову стійкість до позасмугових завад, що робить модуль ідеальним для пристроїв, що розташовані поруч зі стільниковим модемом. Компактне готове GNSS-рішення SAM-M10Q від компанії u-blox розміром 15.5×15.5×6.3 мм добре інтегрується в пристрої з обмеженими габаритами.

Споживаючи менш ніж 37 мВт без шкоди для продуктивності GNSS, антенний модуль SAM-M10Q є лідером за енергоефективністю порівняно з аналогічними продуктами на ринку.

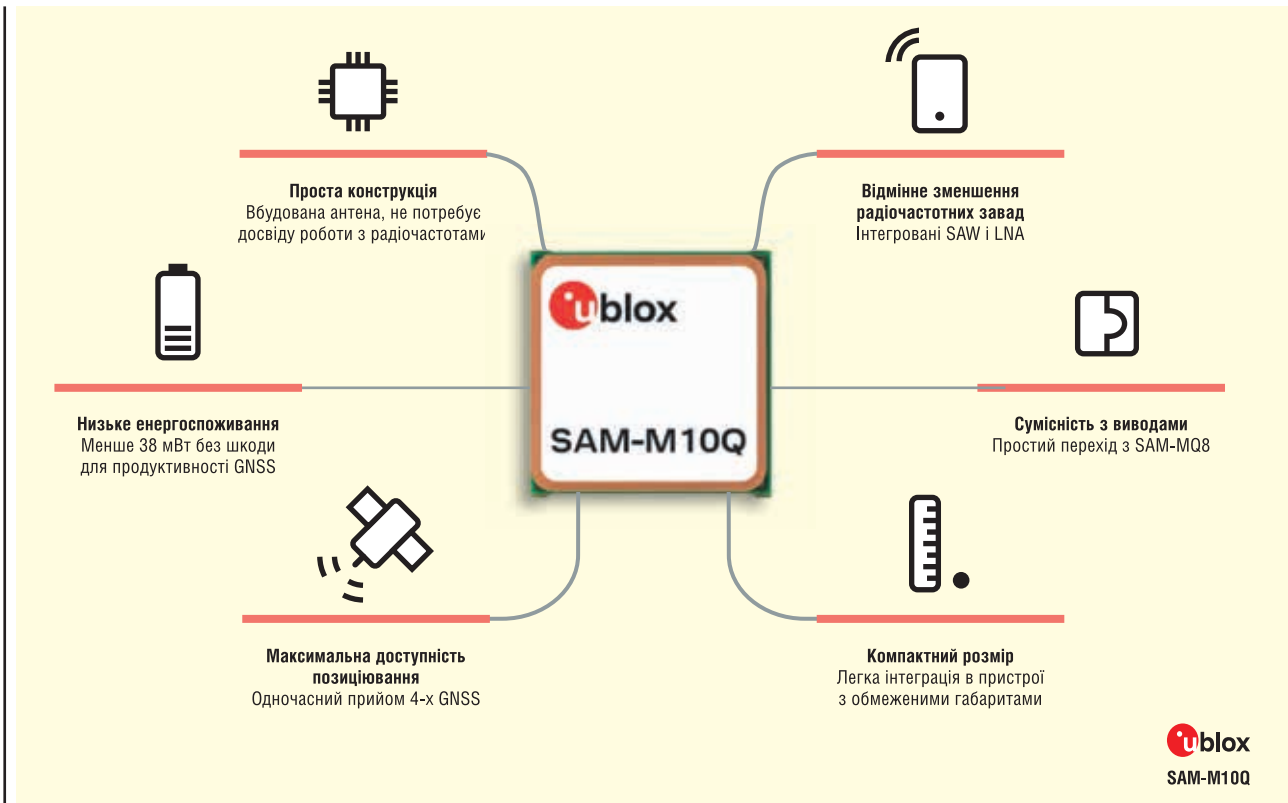


**Рис. 1.** Індикатор місця несправності LineTroll R400



**Рис. 2.** Антенний модуль u-blox SAM-M10Q





**Рис. 3. Особливості та переваги SAM-M10Q**

Переваги рішення (рис. 3):

- Компактні розміри модуля SAM-M10Q, вбудована GNSS-антена та надійна радіочастотна архітектура полегшили його інтеграцію в лінійку продуктів LineTroll R400D.
- Наднизьке енергоспоживання модуля подовжує термін служби батареї пристрою, зменшуючи витрати на обслуговування.
- Точне позиціонування, що забезпечується одночасним прийняттям сигналів від декількох супутникових GNSS систем, дозволяє клієнтам Nortroll швидко виявляти несправності в електромережах.

### РЕЗУЛЬТАТ: ЛЕГКА ІНТЕГРАЦІЯ ЗВЯДКИ НАДІЙНОМУ КЛІЄНТООРІЄНТОВАНОМУ РІШЕННЮ

Для Nortroll вбудована антена модуля для позиціонування u-blox, спроектована і перевірена на оптимальну продуктивність, значно мінімізувала зусилля з розробки, необхідні для інтеграції функції позиціонування в LineTroll R400D.

Сумісність роз'ємів у сімействі антенних модулів SAM зменшила зусилля, необхідні для переходу від попереднього покоління антенних модулів u-blox SAM-M8Q до нового рішення SAM-

M10Q з наднизьким енергоспоживанням. Використання передової технології позиціонування u-blox M10 дозволило компанії Nortroll отримати вигоду від покращених характеристик позиціонування та меншого енергоспоживання (рис. 3).

**Додаткову інформацію щодо продукції компанії u-blox, що була представлена в цій статті, можна отримати у її офіційного дистриб'ютора в Україні – компанії Мікродіс Електронікс ГмбХ:**

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

СН

### Сантиметрова точність GNSS

тепер доступна для бюджетних програм, проста і швидка реалізація

Перевірена ринком високоточна GNSS система:

- 1) NEO-F9P і ZED-F9P – новітні приймачі GNSS HPG
  - ⊗ провідна технологія u-blox: запатентовані алгоритми та чипсети
  - ⊗ вбудована підтримка виправлень PointPerfect
  - ⊗ рівень захисту: 95% впевненості в позиціонуванні
  - ⊗ ZED-F9P: версія з IMU (гіроскоп, акселерометр)
- 2) PointPerfect – система корекції
  - ⊗ надійна, економічна та зручна у використанні
  - ⊗ завантаження через Інтернет або супутник

Сфери застосування:

БПЛА

Тяжке вантажництво

Автомобільна промисловість

Економіка: будівництво

Сельське господарство

Спеціальні проєкти

COMPETENCE & RELIABILITY

WWW.MICRODIS.NET

Роман Прокопець – менеджер з продажу

(067) 475-81-86

Roman.Prokopets@microdis.net

# Система Scienlab Charging Discovery System

Переклад: Вадим Потапенко

Редагування: Віктор Бутирін, директор, Юнітест

E-mail: Victor\_Butyryn@unitest.com

**Хоча стандарти зарядки швидко змінюються, водії електромобілів все ще часто стикаються з проблемами зарядки. В статті йде мова про перевірку сумісності всіх зарядних інтерфейсів електромобілів (Electric Vehicle, EV) і зарядних станцій (Electric Vehicle Supply Equipment, EVSE).**

## ВВЕДЕННЯ

Незважаючи на відмінності між країнами та регіонами, глобальне поширення електромобілів все ще перебуває в процесі розвитку. Хоча Китай і деякі європейські країни розробили політику в галузі електромобілів, і очікується, що рівень проникнення електромобілів буде швидко зростати, загальні вимоги до вдосконалення електромобілів, необхідні для проникнення на ринок, включають:

- прискорення зарядки;
- збільшення дальності поїздки на одному заряді;
- (значне) збільшення кількості зарядних станцій.

Стандарти систем зарядки електромобілів все ще перебувають на стадії розробки. Наприклад, в Японії стандарт CHAdeMO переходить від поточної основної версії Rev. 0.9 до версії 1.x, а потім до версії 2.0, реагуючи на збільшення потужності, що дає змогу заряджати акумулятори за короткий час. Крім того, вже оголошено про швидку появу нового стандарту CHAdeMO 3.0.

## СТАНДАРТИ ЗАРЯДКИ У СВІТІ

На жаль, наявні стандарти зарядки не стандартизовані в усьому світі.

Для швидкої зарядки постійним струмом у США використовується стандарт CCS Type 1, у Європі — CCS Type 2,

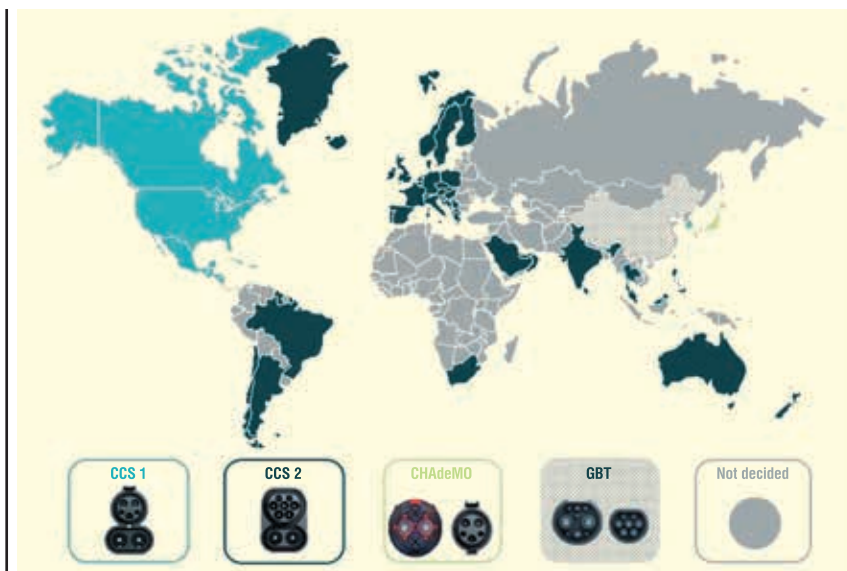
у Японії — CHAdeMO, а в Китаї — GB/T (рис. 1). У кожному з цих стандартів використовуються різні методи зв'язку, а також є відмінності у фізичній формі компонентів, включно з роз'ємами для зарядки.

У той час як стандарти CCS в США і Європі використовують зв'язок по лінії електропередачі (PLC), CHAdeMO і GB/T як засіб зв'язку використовують шину CAN.

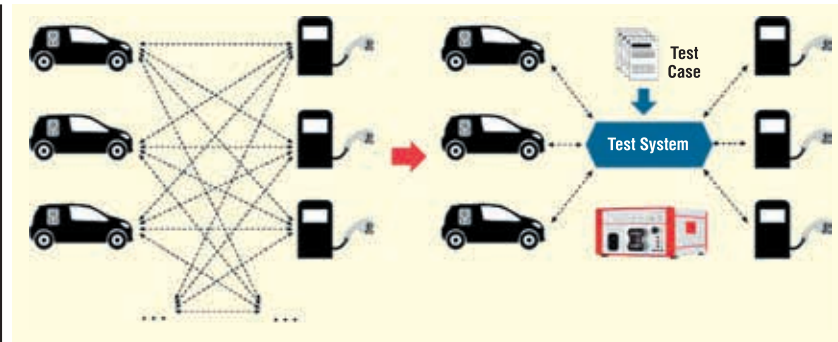
Наразі в електромобілях використовуються стандарти, які не є загальними для всього світу, і ці стандарти швидко змінюються.

## ТЕНДЕНЦІЇ В ПЕРЕВІРЦІ СУМІСНОСТІ

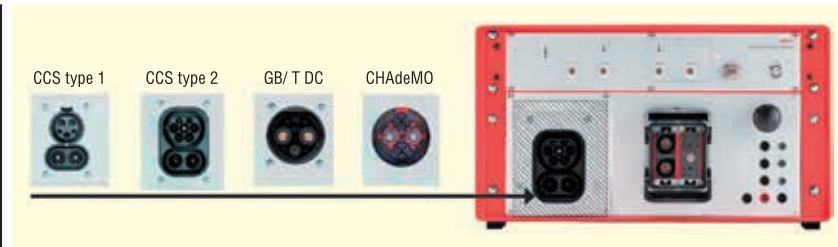
Незважаючи на те, що стандарти зарядки швидко змінюються, водії електромобілів у багатьох випадках, як і раніше, стикаються з проблемами із зарядкою. Одним із ключових чинників, що сприяють проникненню електромобілів на ринок, є досягнення сумісності, тобто стану, за якого будь-який електромобіль можна зарядити на будь-якій зарядній станції, і будь-який електромобіль можна зарядити за допомогою зарядного пристрою будь-якого виробника. Наразі основним методом перевірки такої сумісності є польове випробування, проведене шляхом підключення реального електромобіля до зарядного пристрою. Однак перевірка істинної сумісності ускладнена при комбінованих випробуваннях з використанням реальних електромобілів і зарядних пристроїв.



**Рис. 1.** Світова карта стандартів зарядних систем. З дозволу асоціації CharIN e. V. (<https://www.charinev.org/>)



**Рис. 2.** Система Scienlab Charging Discovery System як еталонний вимірювальний прилад



**Рис. 3.** Система Scienlab Charging Discovery System — портативна серія з різними стандартами зарядки

### Кількісне рішення

Хоча польові випробування дають змогу ухвалити рішення про те, чи пройшло зарядження успішно, вони не дають змоги кількісно оцінити, наскільки вище за мінімальні вимоги, задані стандартом, пройшла випробування ця комбінація. Якщо перевищення було мінімальним, існує ризик того, що зарядка не буде успішною, якщо електромобіль або зарядний пристрій будуть підключені до інших зарядних пристроїв або електромобілів.

### Простота налагодження

Якщо зарядка не пройшла успішно під час польових випробувань, складно виділити і детально вивчити, які симптоми і де проявилися, незважаючи на повідомлення про помилки, що відображаються на електромобілі або зарядному пристрої.

### Тестування при порогових значеннях і створення випадків помилок

Під час польових випробувань складно створювати випадки помилок, а тестування за порогових значень може бути небезпечним.

### Кількість комбінацій

Кількість комбінацій стає занадто великою для обробки в міру збільшення типів електромобілів і зарядних пристроїв. Крім того, проведення польових випробувань електромобілів із зару-

жними стандартами систем зарядки ускладнене.

З цих причин останніми роками все частіше проводять оцінку за допомогою вимірювальних приладів (рис. 2). Використання аналізатора заряду як еталонного вимірювального приладу:

- дає змогу кількісно визначити стан зарядки, а не обмежувати вибір проходженням або непроходженням тесту,
- полегшує визначення ознак і проблем у разі виникнення помилки, забезпечуючи швидке налагодження і, як наслідок, скорочення часу циклу розроблення, а також
- дає змогу точно відтворювати порогові значення, граничні значення та

випадки помилок, створюючи приклади випробувань, що сприяє розробці надійніших систем зарядження.

### ОСНОВНІ ФУНКЦІЇ СИСТЕМИ CHARGING DISCOVERY SYSTEM

Система Scienlab Charging Discovery System компанії Keysight (рис. 3) підтримує різні стандарти як для електромобілів, так і для зарядних пристроїв і виконує емуляцію в різних умовах; тому вона оснащена:

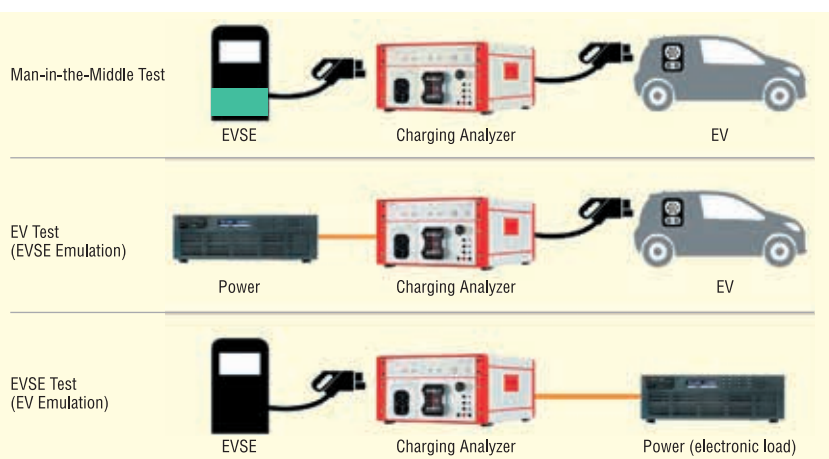
- функціями для точного вимірювання напруги, струму та декодування протоколів;
- додатковими ланцюгами для створення умов для тестування на відповідність вимогам стандартів і тестування в умовах неправильної експлуатації;
- адаптерами для зарядки, що відповідають різним стандартам зарядки, що використовуються у світі.

Система Charging Discovery System також має характеристики, що дають змогу працювати з напругою до 1000 В і постійним струмом до 400 А для аналізу потужних систем швидкої зарядки, що з'явилися останніми роками.

### ТИПОВІ ВАРІАНТИ ВИКОРИСТАННЯ ТЕСТІВ ЗАРЯДКИ ЕЛЕКТРОМОБІЛІВ І ЗАРЯДНИХ СТАНЦІЙ

Систему Charging Discovery System можна використовувати для тестування сумісності, яке включає три основні варіанти використання (рис. 4).

Перший — це тест «людина посередині», в якому досліджуються зви-



**Рис. 4.** Варіанти використання тестів зарядки електромобілів і зарядних станцій



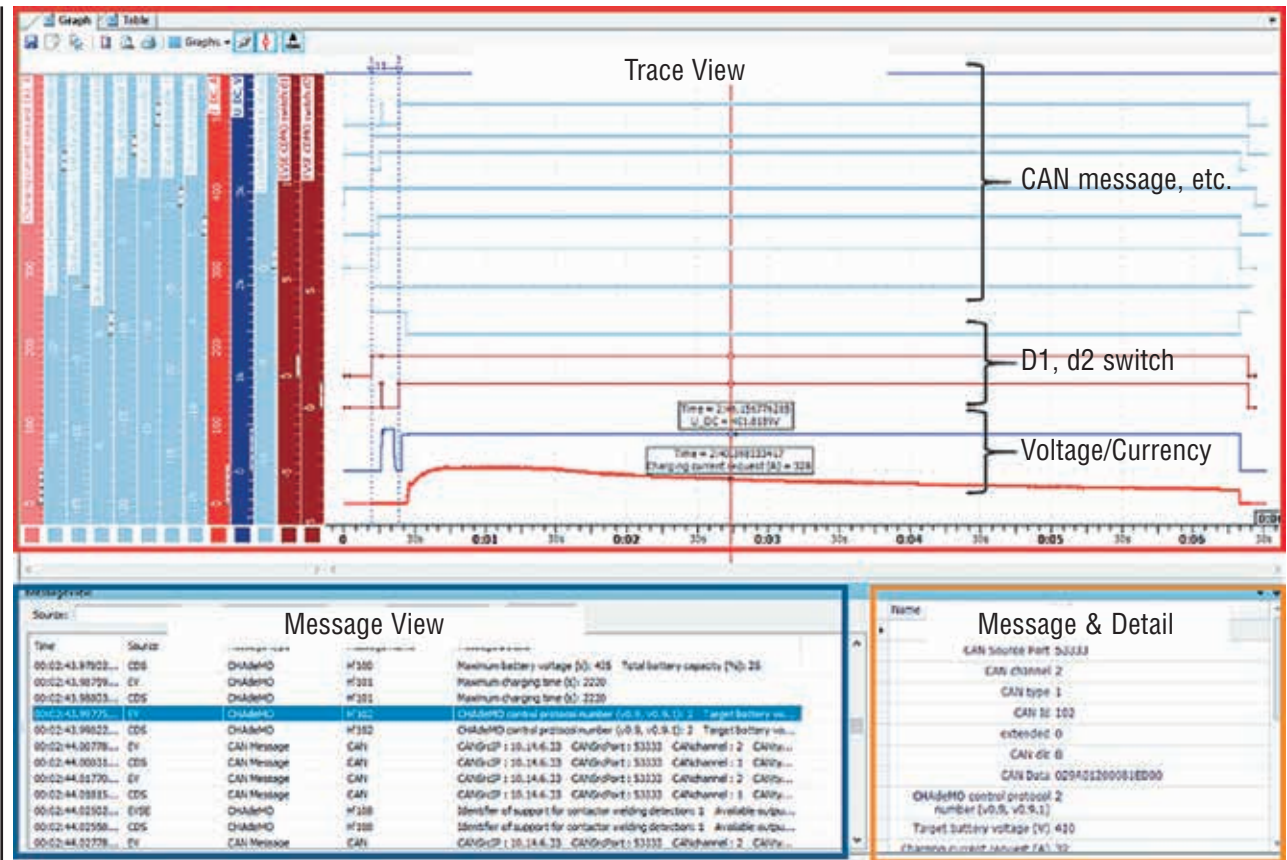


Рис. 5. Аналіз зарядки: вікно графіків (Trace), повідомлень (Message) і подробиць (Details)

чайні тести реальних електромобілів і зарядних станцій. Розміщення системи Charging Discovery System між реальною зарядною станцією та електромобілем дає змогу точно відстежувати стан зарядки, включно з фактичною напругою, струмом і декодуванням протоколів, а не звичайну просту оцінку того, чи була зарядка успішною. Це дає змогу кількісно перевірити величину відхилення від стандарту, а також вивчити дані в разі збою.

Другий варіант використання — це тест електромобіля, при якому об'єднуються джерело живлення і система Charging Discovery System для емуляції зарядної станції. Високоточне джерело живлення і система Charging Discovery System відіграють роль зарядної станції, що відповідає стандартам, для детального спостереження за поведінкою тестованого електромобіля. Система Charging Discovery System здатна не тільки імітувати ідеальний зарядний пристрій, а й імітувати збої (випадки помилок), відтворювати рідкісні випадки, що складно під час використання реальних електромобілів і зарядних пристроїв, а також безпечно й точно відтворювати порогові та граничні значення. Таким

чином, це підвищує повноту перевірки і сприяє розробці більш надійних систем зарядки.

Останній варіант використання — це комбінація системи Charging Discovery System та електронного навантаження, що емулює автомобільну батарею для імітації електромобіля. Це називається випробуванням зарядної станції (EVSE). Як і при тестуванні електромобілів, повноту перевірки можна підвищити за рахунок запуску прикладів тестування при випробуванні зарядної станції.

### АНАЛІЗ З ВИКОРИСТАННЯМ СИСТЕМИ CHARGING DISCOVERY SYSTEM

З допомогою системи Charging Discovery System можна спостерігати не тільки форму напруги та струму зарядки, а й сигнали на лінії управління, повідомлення CAN та іншу інформацію у вигляді часової послідовності (рис. 5).

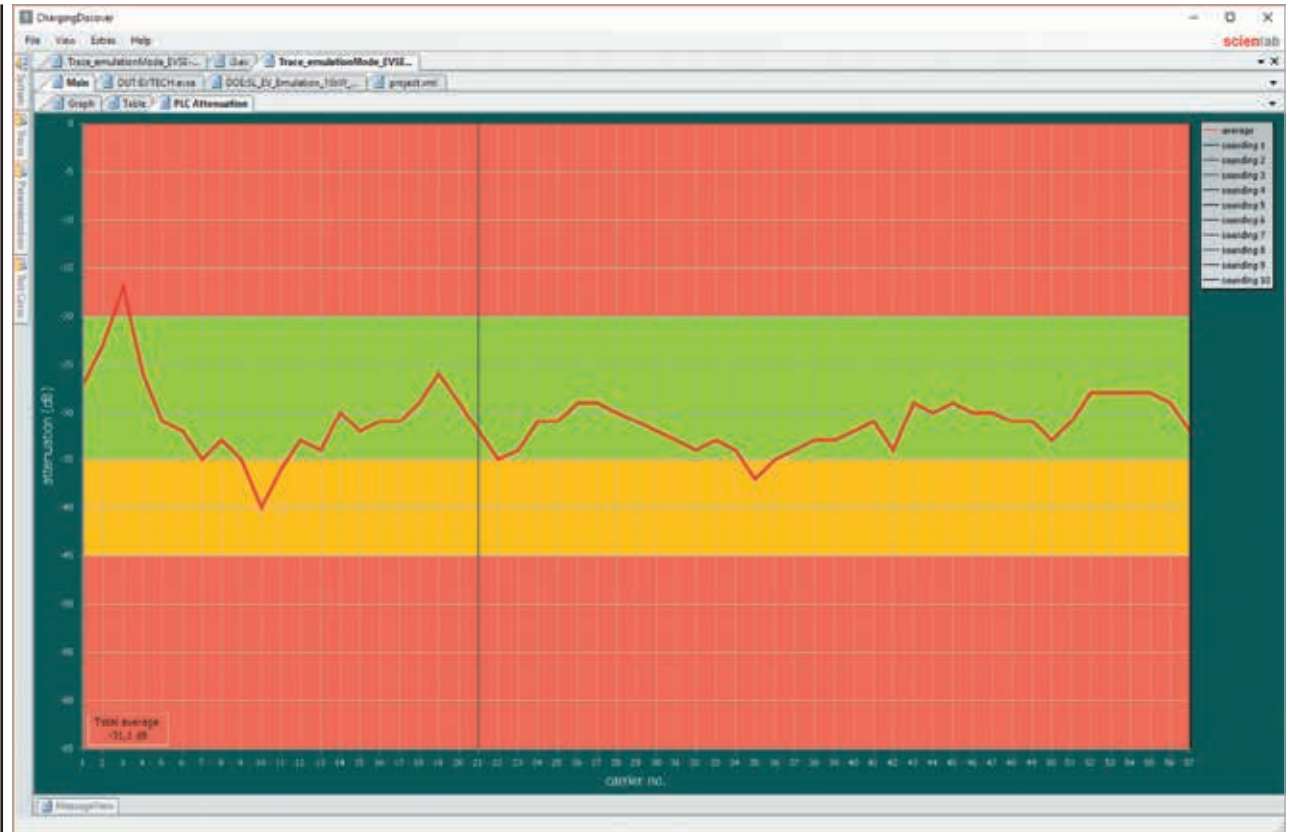
Напруга і струм можуть бути точно виміряні за допомогою вимірювальних приладів системи Charging Discovery System.

Повідомлення для зарядного пристрою стандарту CHAdemo передаються між електромобілем і зарядним пристроєм по шині CAN, а повідомлення для зарядного пристрою стандарту CCS передаються за допомогою широтно-імпульсної модуляції (ШІМ) по лінії управління. Їх не можна зчитати безпосередньо як сигнали; отже, система Charging Discovery System має декодувати сигнали під час їхнього отримання та відобразити їх у вигляді повідомлень. Система Charging Discovery System може відобразити повідомлення між електромобілем і зарядною станцією та переходи станів у вигляді часової послідовності.

Оскільки ці повідомлення містять інформацію про стан зарядки, аналіз стає простішим, якщо відобразити їх не тільки у вигляді повідомлень, а й разом із формою кривої зарядки у вікні графіків (trace window).

### SLAC-АНАЛІЗ ЗВ'ЯЗКУ ПО ЛІНІЇ ЕЛЕКТРОПЕРЕДАЧІ

У разі використання методу зв'язку по лінії електропередачі (PLC — powerline communication) зарядна стан-



**Рис. 6.** Аналіз загасання сигналу в лінії електропередачі

ція повинна спочатку розпізнати електромобіль, підключений до системи.

Електромобіль ідентифікує зарядну станцію, до якої він фізично під'єднаний, за рівнем загасання сигналу за допомогою методу, що називається Signal Level Attenuation Characterization (SLAC). Оскільки для зв'язку по лінії електропередачі використовується ши-

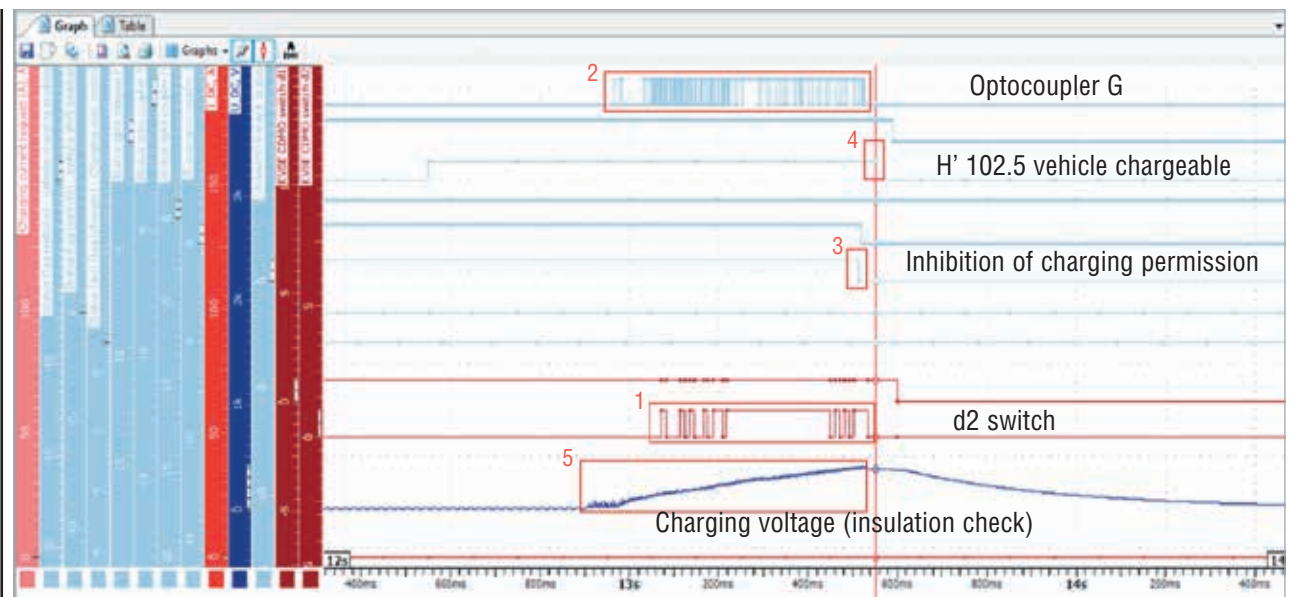
рно-імпульсна модуляція (ШИМ), необхідно приділяти пильну увагу шумам у лінії електропередачі та рівню загасання сигналу.

Аналіз загасання сигналу в лінії електропередачі за допомогою системи Charging Discovery System дає змогу отримати дуже чітку характеристику SLAC (рис. 6).

**ПРИКЛАД АНАЛІЗУ ЗБОЮ ЗА ДОПОМОГОЮ СИСТЕМИ CHARGING DISCOVERY SYSTEM**

Система Charging Discovery System ефективна під час аналізу часу появи та причин збоїв зарядки.

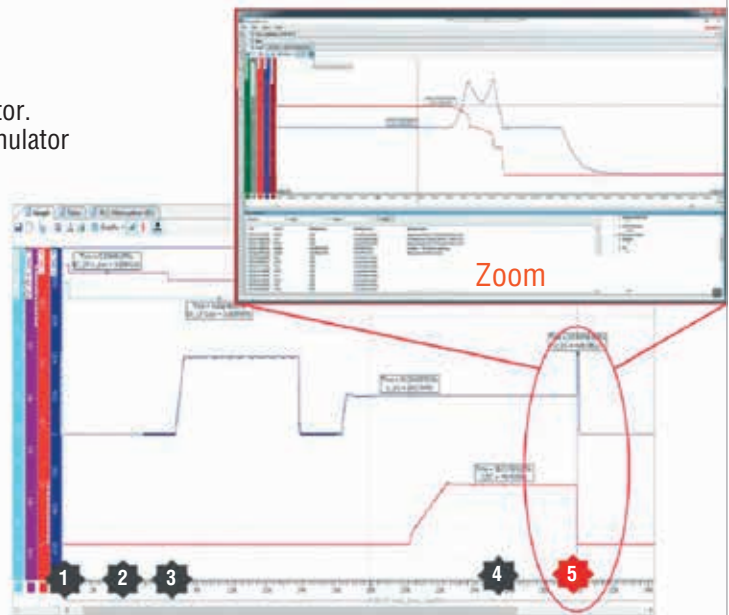
На графіках, наведених на рисунку 7, показано, що перемикач d2<sup>1</sup> і оп-



**Рис. 7.** Аналіз збоїв: легкість виявлення проблеми за допомогою програмного забезпечення Charging Discovery

Flow

1. Connect the charging cable to the EV emulator.
2. Establish communication between the EV emulator and charger.
3. Send and receive charging parameters
4. Start charging.
5. Break the DC current line



Is the increase in voltage conforming to the prescribed value?

**Рис. 8.** Випробування на скидання навантаження: імітація обриву лінії електропередачі під час зарядки

топара G<sup>2</sup>, які ще не мали бути ввімкненими, спрацювали під час перевірки ізоляції, що зробило заборону дозволу на заряджання недійсною<sup>3</sup>, недійсність прапора можливості зарядки автомобіля була надіслана з автомобіля на зарядний пристрій через повідомлення CAN (H<sup>102.5</sup>)<sup>4</sup>, і зарядка завершилася з помилкою.

Перемикач d2 неодноразово вмикався і вимикався відразу після подачі напруги для перевірки ізоляції<sup>5</sup>, що дає змогу припустити, що шум, створюваний зарядним пристроєм під час подачі напруги, негативно впливає на схему регулювання послідовності.

При польових випробуваннях з використанням реального електромобіля і зарядного пристрою аналіз збоїв повинен проводитись на основі номерів помилок і обмеженої інформації про помилки, і часто для визначення причини потрібно багато часу. Використання програмного забезпечення Charging Discovery, як показано в наведеному нижче прикладі, дає змогу чітко визначити проблему і швидко визначити її причину.

**ПРИКЛАД ТЕСТУ З ВИКОРИСТАННЯМ СИСТЕМИ CHARGING DISCOVERY SYSTEM**

Однією з переваг використання системи Charging Discovery System, крім моделювання ідеального зарядного пристрою та електромобіля, є мож-

ливість створення власних прикладів помилок.

Тест на скидання навантаження для перевірки поведінки під час відключення лінії електропередачі під час зарядки — один із прикладів помилок, які часто використовуються (рис. 8). Однак цей сценарій нелегко реалізувати під час польових випробувань. Щоб заблокувати лінію електропередачі, необхідно відключити захисні пристрої, такі як блокування, що може наразити інженера-випробувача на небезпеку.

Такий приклад помилки можна легко і безпечно створити за допомогою системи Charging Discovery System, яка оснащена функцією обриву лінії електропередачі. За допомогою програмного забезпечення Charging Discovery випробувальна система також здатна точно відтворювати рідкісні випадки, які важко створити з використанням реального електромобіля та зарядного пристрою, і виконувати випробування на порогові значення.

**ВИСНОВОК**

Удосконалення систем зарядки — це ключ до ширшого використання електромобілів. Для цього стандарти зарядки регулярно оновлюються, а функції розширюються. Наразі стандарти зарядки не уніфіковані в усьому світі, і в США, Європі, Японії та Китаї використовуються різні набори стандартів.

У цій ситуації аналіз і моделювання з використанням системи Scienlab Charging Discovery System компанії Keysight, на додаток до традиційних випробувань на реальних електромобілях і зарядних пристроях, стали ефективним інструментом перевірки сумісності.

Наявність цих додаткових даних дає змогу кількісно визначити, наскільки вище за вимоги стандарту був успішно заряджений електромобіль, а не просто вибрати, пройдено тест чи ні. Система Charging Discovery System також дає змогу спростити аналіз і усунення причин невдалої зарядки, що сприяє скороченню часу циклу розробки. Крім того, система Charging Discovery System спрощує і підвищує безпеку точного відтворення прикладів тестування, що складно при використанні реальних електромобілів і зарядних пристроїв. Загалом, система Charging Discovery System допомагає підвищити повноту тестування і сприяє розробці надійних систем зарядки.

**Більш детально 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**



# НВП «ТЕХНОСЕРВІСПРИВІД»

Авторизований сервіс-партнер Danfoss Drives в Україні

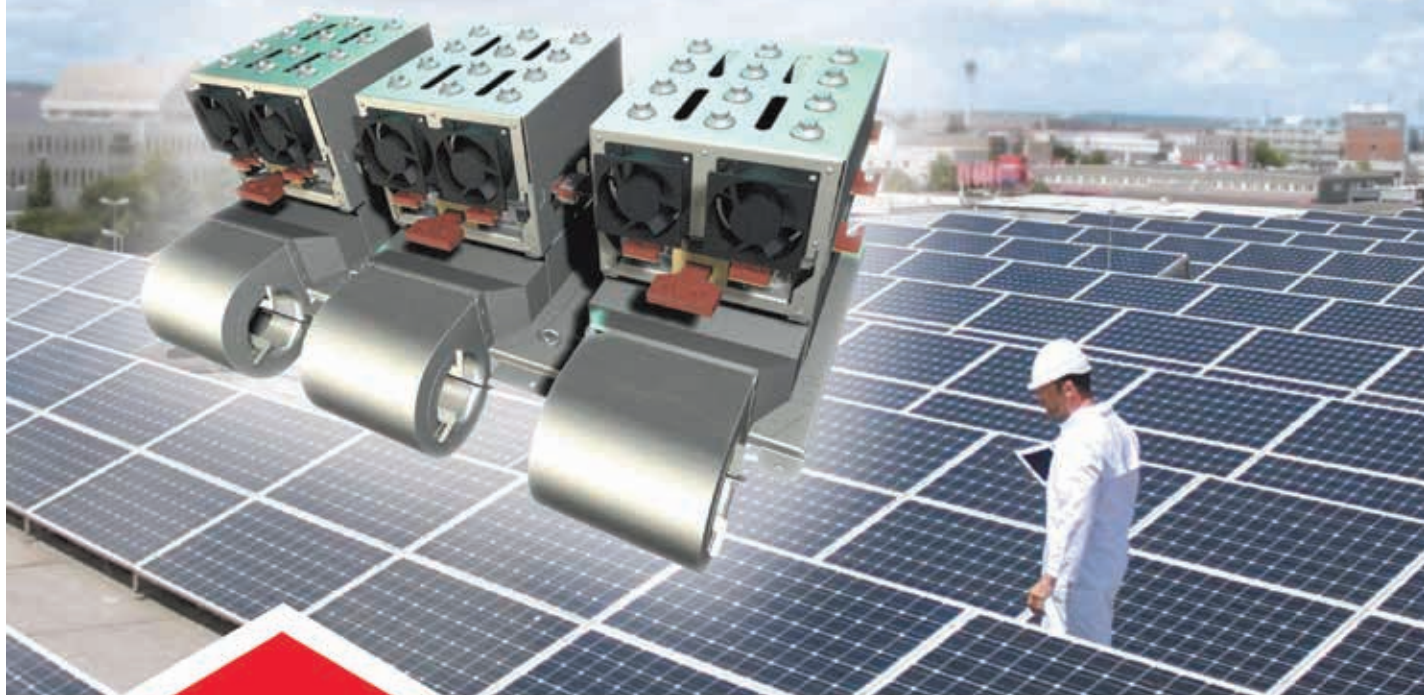
[www.semismart.com.ua](http://www.semismart.com.ua), [semikron@ukr.net](mailto:semikron@ukr.net), [service\\_danfoss@ukr.net](mailto:service_danfoss@ukr.net)

(044) 458 47 66, (067) 463 46 62, (095) 284 96 62



Офіційний представник в Україні

## 1500 Vdc для сонячної енергетики? У нас є будь-які рішення!



## Сонячні інвертори

### 1500 Vdc

Силкові модулі / IPM / Силкові збірки потужністю до 1,5 МВт

3-рівневі  
силкові модулі та збірки:

SEMİTOP

MiniSKiiP

SKiM 4

SEMİX 5

SEMİTRANS 10

IPM SKiiP4

2L і 3L інвертори 20 кВт – 1,5 МВт



# Semikron Danfoss: сонячна енергетика та системи енергозберігання

Переклад та редактування: Володимир Павловський, к.т.н, с.н.с.,  
Інститут електродинаміки (ІЕД) НАН України

**В цій статті мова піде про рішення компанія Semikron Danfoss для сонячної енергетики та систем енергозберігання.**

## СОНЯЧНА ЕНЕРГЕТИКА

Портфоліо компанії Semikron Danfoss включає широкий спектр продуктів для ефективних сонячних інверторів у всіх діапазонах потужностей: житлового, промислового та комунального призначення (рис. 1). Продукцію можна масштабувати від окремих модулів, в тому числі спеціальних драйверів, до високопотужних модулів SKiiP 4/7 IPM і готових до використання блоків силової електроніки.

Компанія Semikron Danfoss також пропонує широкий асортимент 3-рівневих силових модулів, інтелектуальних силових модулів (IPM) і силових електронних блоків, які можуть значно знизити системні витрати, а також оптимізувати річне виробництво енергії, особли-

во для підвищеної напруги постійного струму до 1500 В.

## СИСТЕМИ ЕНЕРГОЗБЕРІГАННЯ

Завдяки децентралізованим відновлюваним джерелам енергії в нашій електромережі попит на системи енергозберігання для стабілізації коливань напруги швидко зростає. Портфоліо компанії Semikron Danfoss містить широкий спектр продуктів для систем енергозберігання: від модулів малої та середньої потужності для комерційних/промислових систем до компонентів великої потужності для систем комунальних господарств (рис. 2). Всі ці продукти забезпечують максимальну надійність. Для цієї продукції доступні різноманітні тех-

нології виготовлення корпусів для напівпровідників, що дозволяє задовольнити вимоги галузі до терміну експлуатації систем накопичення енергії (Energy storage systems, ESS). Від індивідуальних модулів, в тому числі спеціальних драйверів, до високо потужних SKiiP 4/7 IPM і готових до використання блоків силової електроніки — у компанії є технічні рішення.

## 2-КВ SiC: ЦЕ ВАШ ВИБІР

### Модуль SEMITRANS 20 для максимальної питомої потужності

Завдяки новій технології «SiC 2 кВ» модуль SEMITRANS 20 (рис. 3) підвищує густину потужності силової електроніки порівняно з 3-рівневими традиційними рішеннями із використанням силових модулів на основі кремнію. Силовий модуль SEMITRANS 20 має оптимізовану конструкцію для збільшення потужності за допомогою паралельного з'єднання, а сучасні технології монтажу забезпечують його неперевершену надійність. Можливість блокування високої напруги забезпечує безпеку для 2-рівневих перетворювачів, що працюють за напруги 1500 В, спрощуючи конструкцію перетворювача.

*Основні властивості:*

- конструкція корпусу у відповідності до галузевого стандарту;
- висока максимально дозволена напруга 2 кВ забезпечує 1500 В робочої напруги постійного струму у 2-рівневій топології;
- можливість збільшення потужності шляхом паралельного увімкнення модулів;
- конструкція корпусу забезпечує його малий термічний опір;
- низька індуктивність дозволяє швидке перемикання силових ключів;
- зменшення втрат на 20% порівняно з 3-рівневою топологією на базі

### СТРІНГОВІ (ЛІНІЙНІ) ІНВЕРТОРИ

#### 5 кВт–250 кВт

#### Сфери використання:

- для житлових приміщень
- для комерційних/промислових цілей
- для комунальних господарств

#### Особливості:

- робоча напруга до 1500 В постійного струму
- висока ефективність
- висока надійність і скорочення часу простою

#### Номенклатура продукції:

- SEMITOP E – SEMIX 5
- MiniSKiiP – драйвери



### ЦЕНТРАЛЬНІ ІНВЕРТОРИ

#### 250 кВт–6МВт

#### Сфери використання:

- для комерційних/промислових цілей
- для комунальних господарств

#### Особливості:

- робоча напруга до 1500 В постійного струму
- висока ефективність
- висока надійність і скорочення часу простою

#### Номенклатура продукції:

- SEMIX 5 – SEMITRANS 20
- SEMIX 3 Press-Fit – SKiiP 4/7 IPM
- SEMITRANS Classic – драйвери
- SEMITRANS 10 – силові електронні блоки



Рис. 1. Продукти для ефективних сонячних інверторів

**МАЛА ТА СЕРЕДНЯ ПОТУЖНІСТЬ**

**8 кВт–75 кВт**

**Сфери використання:**

- для житлових приміщень
- для комерційних/промислових цілей
- сонячна енергія плюс накопичення

**Особливості:**

- компактна конструкція та висока питома потужність
- висока ефективність
- висока надійність і скорочення часу простою

**Номенклатура продукції:**

- SEMITOP E
- MiniSKiIP
- SEMiX 5
- SEMiX 3 Press-Fit
- SEMITRANS Classic
- драйвери



**СЕРЕДНЯ ТА ВЕЛИКА ПОТУЖНІСТЬ**

**50 кВт–6 МВт**

**Сфери використання:**

- для комерційних/промислових цілей
- для комунальних господарств
- сонячна енергія плюс накопичення

**Особливості:**

- робоча напруга до 1500 В постійного струму
- висока ефективність
- висока надійність і скорочення часу простою

**Номенклатура продукції:**

- SEMITOP E
- SEMiX 5
- SEMiX 3 Press-Fit
- SEMITRANS Classic
- SEMITRANS 10
- SEMITRANS 20
- SKiIP 4/7 IPM
- драйвери
- блоки силової електроніки



**Рис. 2.** Продукти для систем енергозберігання

модулів на основі кремнію, що зменшує витрати на охолодження.

**Модуль SKiIP 4 SiC IPM для скорочення часу впровадження**

Всі нові модулі SKiIP 4 SiC (рис. 4) з пристроями SiC на 2 кВ забезпечують безпечну роботу в системах з напругою 1500 В завдяки вбудованому драйверу, функціям визначення струму та захисту. Модуль SKiIP містить радіатор з повітряним або водяним охолодженням і пройшов 100% випробування. Цифровий драйвер дозволяє працювати з модулями SiC MOSFET від різних постачальників, а номінальний струм забезпечується відповідно кількості чипів, що працюють паралельно.

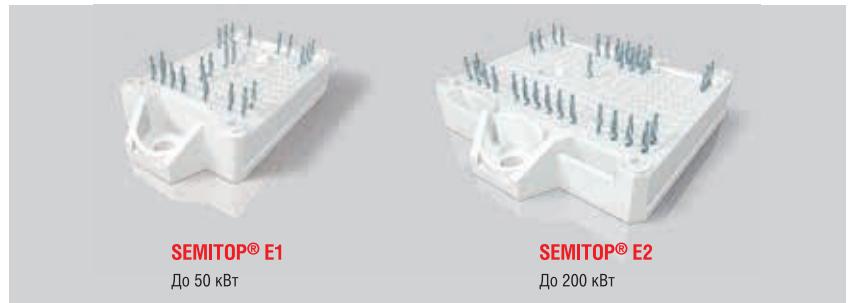
*Основні властивості:*

- висока максимально дозволена напруга 2 кВ забезпечує 1500 В робочої напруги постійного струму у 2-рівневій топології;
- містить драйвер, датчик струму та радіатор з рідинним або повітряним охолодженням;
- драйвер містить ASIC Semikron Danfoss і необхідну кількість функцій захисту;
- 100% тестування на стійкість до загорання.

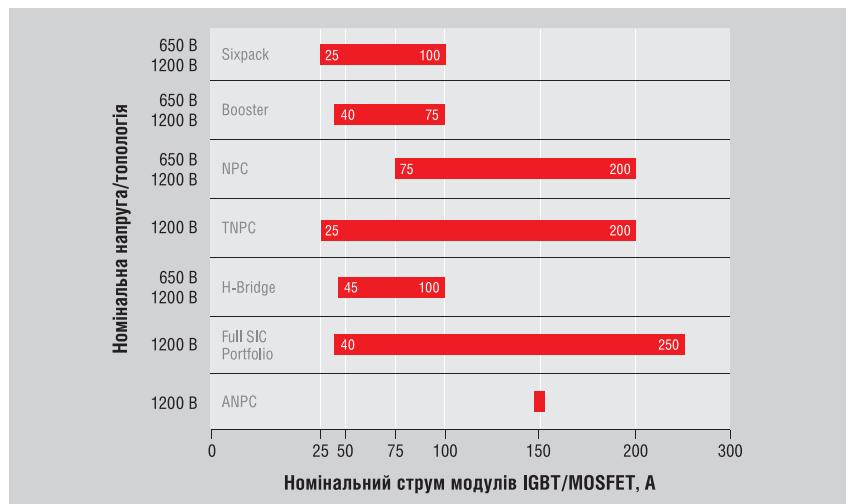
**КОМПЛЕКСНЕ СІМЕЙСТВО 3-РІВНЕВИХ І БУСТЕРНИХ МОДУЛІВ**

Конструкція модулів SEMITOP E (рис. 5) забезпечує надійність використання завдяки їх стандартному промислому

дизайну. Запресовані виводи модулів забезпечують скорочення часу виготовлення та конструкцію з низькою індуктивністю. Модулі SEMITOP ідеально підходять для «швидких» чипів, таких як SiC, та мають широкий набір топологій, готових для розробки вашого лінійного інвертора (рис 6).



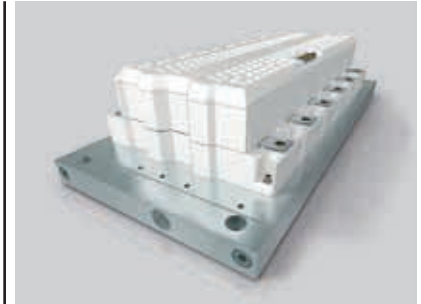
**Рис. 5.** Модулі семейства SEMITOP E



**Рис. 6.** Набір топологій, готових для розробки лінійного інвертора



**Рис. 3.** Модуль SEMITRANS® 20 (від 500 кВт до 2 МВт)

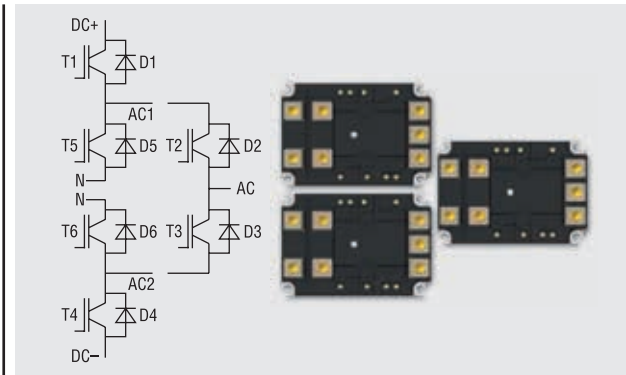


**Рис. 4.** SKiIP®4 SiC (від 500 кВт до 2 МВт)

*Основні властивості:*

- корпус з низькою індуктивністю розсіювання;
- монтаж без паяння, запресовуванням;
- оптимізовані теплові характеристики;





**Рис. 7.** Три модулі SEMITRANS 20 створюють одну стійку моста ANPC потужністю до 2 МВ

- гнучка архітектура;
- доступне виконання із кремнієвим чипом, повним SiC або гібридним SiC.

### ПІДВИЩЕНА ПРОДУКТИВНІСТЬ У 3-РІВНЕВИХ ТОПОЛОГІЯХ

Щоразу, коли якість електроенергії та ефективність є головними факторами у застосуванні елементів силової електроніки, 3-рівневі топології відіграють ключову роль. Це особливо помітно для прикладів застосувань з відновлюваними джерелами енергії, де їх поєднання з новітніми IGBT 7-го покоління встановлює нові стандарти.

Для топологій ANPC новий силовий модуль SEMITRANS 20 поєднує низьку індуктивність розсіювання, високу густину потужності та IGBT-транзистори 7-го покоління, встановлюючи новий стандарт. Конструкція корпусу, що заснована на стандартній напівмостовій топології, дозволяє створити просту схему з'єднань ANPC з низькою індуктивністю із колом постійного струму (рис. 7).

Завдяки зменшенню розмірів чипів у IGBT від 4-го до 7-го покоління, стало більше місця для діодів, тому модуль SEMITRANS 10 MLI (рис. 8) має більший номінальний струм захисного діода. Це дозволяє перетворювачам накопичувачів енергії працювати на повну потужність під час заряджання та розряджання акумуляторів.

#### Основні властивості:

- зменшені витрати на магнітні компоненти завдяки 3-рівневій топології;
- рідинне охолодження до 2 МВт;
- на базі IGBT-транзисторів 7-го покоління;
- зменшені діаметри кабелю або втрати у кабелі при роботі з напругою до 1500 В постійного струму;
- завдяки низьким втратам зменшені вимоги до охолодження.

### ІНТЕЛЕКТУАЛЬНІ СИЛОВІ МОДУЛІ (ІРМ) ДЛЯ МАКСИМАЛЬНОЇ НАДІЙНОСТІ ПЕРЕТВОРЮВАЧІВ ДЛЯ СОНЯЧНОЇ ЕНЕРГЕТИКИ І ЕНЕРГОЗБЕРІГАННЯ

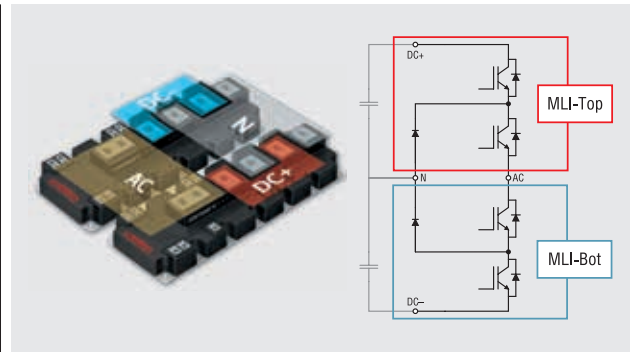
Лінійка продуктів SKiiP IPM встановила стандарти для високопродуктивних і надійних конструкцій інверторів. Модулі SKiiP 4 (рис. 9) і SKiiP 7 (рис. 10) мають високу густину потужності в поєднанні з гнучкими варіантами охолодження, наприклад повітряним або водяним; для них також застосовують спеціальні радіатори. Надійна технологія драйвера, вбудовані датчики струму та комплексні функції захисту доповнюють конструкцію IPM.

Модуль SKiiP 7 стає все більш популярним в промисловому застосуванні. Завдяки своїй шестипакетній або напівмостовій топології він охоплює діапазон струму від 500 до 2400 А.

Модуль SKiiP 4, доступний у напівмостовій топології, був оптимізований для надвисоких вимог роботи у режимі циклічних навантажень та охоплює більший діапазон потужностей — до 3600 А.

Щоб забезпечити максимальну надійність і термін служби, монтаж силової частини модуля на 100% не містить паяних з'єднань. Технологія кріплення спіканням замінює шар припою, який є основною причиною обмеження терміну служби модуля, таким чином покращуючи потужність і термоциклічні можливості модуля.

Крім того, було застосовано технологію високоефективного охолодження (*High Performance Cooling, HPC*), яка забезпечує на 25% більшу вихідну потужність порівняно зі стандартним водяним охолодженням. Також можливе виконання модуля з двостороннім монтажем HPC, що забезпечує ще більшу густину потужності.



**Рис. 8.** SEMITRANS® 10 MLI. Розподіл стійки моста NPC між двома модулями SEMITRANS 10 MLI потужністю до 1.5 МВт

Інтегрований драйвер затвору у модулі SKiiP 4 встановив нові стандарти з точки зору надійності та розширеної функціональності завдяки використанню інтерфейсу CAN. Цифровий драйвер гарантує надійну ізоляцію між первинною та вторинною сторонами як для сигналів керування ключами, так і для вимірювання параметрів. Інтерфейс CAN дозволяє налаштувати параметри конфігурації модуля SKiiP 4 і контролювати його параметри.

#### Основні властивості:

- напівмостова схема та 6-ти корпусна конструкція;
- 1200 В/1700 В: від 500 до 3600 А;
- 2000 В SiC: від 1200 до 2400 А;
- гнучкі варіанти охолодження: повітряне, водяне, або індивідуальні варіанти охолодження;
- можлива паралельна робота модулів для ще більшої вихідної потужності.

### СИЛОВІ МОДУЛІ ДЛЯ СИСТЕМ СОНЯЧНОЇ ЕНЕРГЕТИКИ І ЕНЕРГОЗБЕРІГАЮЧИХ СИСТЕМ

Номенклатуру силових модулів для систем сонячної енергетики і енергозберігаючих систем, а також їхні особливості та сфери застосування наведено на рисунку 11.

### ПЛАТФОРМИ СИЛОВИХ ЕЛЕКТРОННИХ БЛОКІВ ДЛЯ ПОВНОЦІННИХ ІНВЕРТОРНИХ СИСТЕМ, АДАПТОВАНИХ ДО СПЕЦИФІЧНИХ ПОТРЕБ

#### Стандартний набір

Всі набори Power Electronic Stacks дозволяють клієнтам компанії Semikron Danfoss досягати успіху на динамічних ринках і вирішувати будь-які глобаль-



**Рис. 9. Модуль SKiiP® 4 (до 2 МВт, доступні з SiC MOSFET)**



**Рис. 10. Модуль SKiiP® 7 (від 150 кВт до 2.4 МВт)**

ні завдання. Компанія поставляє блоки, які містять випрямлячі, IGBT і SiC для напруг змінного струму від 380 В до 1000 В. Стандартні блоки Semikron Danfoss охоплюють діапазон вихідного струму від 70 до 4 000 А і в тому числі і в тривірній топології, та готові до використання з напругою 1500 В постійного струму:

- блоки IGBT з водяним охолодженням:
  - SEMISTACK RE;
  - SEMIKUBE MLI;
- блоки IGBT з повітряним охолодженням (рис. 12):
  - SEMIKUBE 1500 В;
  - SEMIKUBE SlimLine;
  - SEMIKUBE MLI (1500 В).

### Індивідуальні блоки

Окрім стандартних блоків, компанія Semikron Danfoss має величезний досвід у розробці індивідуальних рішень для клієнтів. У своїх технологічних центрах по всьому світу працюють інженери, що можуть запропонувати конкретні рішення шляхом адаптації існуючих платформ або розробки індивідуальних перетворювачів.

Співпраця з компанією Semikron Danfoss надає клієнтам чотири ключові переваги для їхнього успіху:

- найкоротший час виходу на ринок;
- економія витрат на дослідження та розробки, виробництво та випробування;



### SEMiX® 5

Від 50 до 250 кВт

#### Розширене портфоліо з чудовими тепловими та динамічними характеристиками

Модуль базової плати промислового стандарту 650 В/1200 В/1700 В: від 150 до 400 А  
Топології Sixpack (6-ти корпусна), NPC і TNPC  
Оптимізоване розташування модулів для максимальної тепловіддачі  
Покращені теплові та електричні характеристики діода



### SEMITOP® E

Від 8 до 200 кВт

#### Перевищення стандарту для надзвичайної продуктивності

Силовий модуль без базової плати в двох розмірах корпусу згідно з галузевим стандартом  
Запресовані виводи модулів для з'єднання з друкованою платою без застосування паяння  
650 В/1200 В: від 10 до 200 А;  
1200 В SiC: від 30 до 250 А  
Топології Sixpack (6-ти корпусна), H-bridge, half-bridge, NPC, TNPC і ANPC  
Оптимізована концепція монтажу забезпечує найнижчий термічний опір у своєму класі  
М'ке та швидке перемикання IGBT S5 та H5 на напругу 650 В



### SEMITRANS® 10

Від 500 кВт до 1.5 МВт

#### Надійний модуль високої потужності

Спеціальний корпус для модулів високої потужності  
1200 В: від 700 до 1400 А;  
1700 В: на 1000 А і на 1800 А  
2300 В: 1800 А

Напівмостова топологія зі спільним емітером, NPC і розділеною NPC

Повноцінне друге джерело напруги завдяки альтернативному джерелу чипа на 1700 В



### SEMiX® 3 Press-Fit

Від 100 до 400 кВт

#### Перевищення стандарту для надзвичайної продуктивності

Промисловий стандарт для запресованої конструкції з корпусом висотою 17 мм  
650 В/1200 В/1700 В: від 225 до 900 А;  
гібридний модуль SiC: 600 А  
Напівмостові та розділені топології NPC  
Безпосереднє складання / збирання драйвера з силовими чипами  
Поставляється із вбудованим шунтовим резистором



### SEMITRANS® Classic

Від 25 до 400 кВт

#### Перевіреним корпус для силової електроніки

Надійний корпус галузевого стандарту для різних постачальників у шести розмірах корпусу  
600 В/650 В/1200 В/1700 В: від 50 до 800 А;  
1200 В SiC: від 125 до 500 А;  
1700 В SiC: від 260 до 400 А  
Топологія напівмосту з одним ключем і гальмівним переривачем  
Деякі постачальники IGBT, включаючи IGBT 7-го покоління  
Розширений асортимент продукції на розмір 62 мм:  
1200 В IGBT: 800 А;  
1700 В IGBT: 500 А



### SEMITRANS® 20

Від 500 кВт до 2 МВт

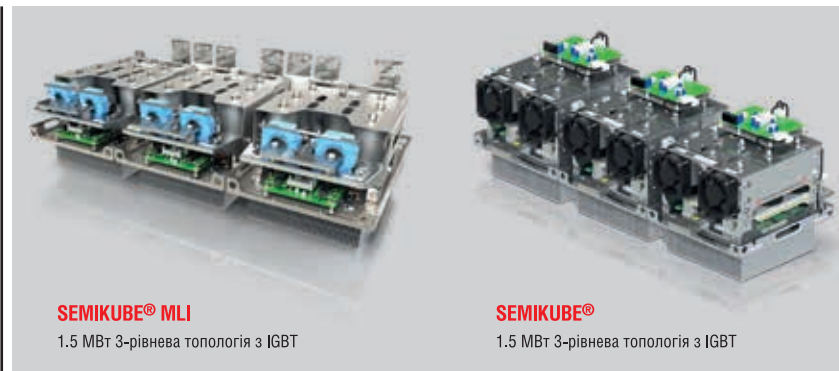
#### Новий стандарт у галузі високої потужності

Новітній промисловий силовий модуль для високопотужних застосувань  
1200 В/1700 В: струм від 900 до 1400 А;  
2000 В SiC: 1700 А/1 МОМ

Напівмостова топологія

Низька індуктивність розсіювання, корпус розрахований на потужність з високою густиною Підвищена надійність завдяки новітній технології виготовлення корпусу

**Рис. 11. Силові модулі для систем сонячної енергетики і енергозберігаючих систем**



**Рис. 12.** Блоки IGBT з повітряним охолодженням

- глобальний характер виробництва блоків Semikron Danfoss по всьому світу;
- висококваліфікована команда інженерів з величезним досвідом роботи.

вані сигнали датчика температури та напруги кола постійного струму на інтерфейсі драйвера, і блокування від перенапруги та перегріву також допомагають значно знизити витрати на систему.

### Економія часу

Понад 25 років досвіду в розробці інноваційної електроніки IGBT-драйверів дозволяє компанії Semikron Danfoss швидко знайти рішення майже для будь-якої проблеми, пов'язаної з електронікою драйверів. Драйвери Plug-and-Play напругу підключаються до більшості стандартних модулів IGBT. Ядра IGBT-драйверів підходять до адаптерних або основних друкованих плат. Для останнього випадку компанія Semikron Danfoss надає всі виробничі дані, щоб скоротити час розробки та прискорити час виходу на ринок.

### Надійність

Драйвери SKYPER — це добре відомі стійкі та надійні драйвери IGBT, що працюють у складних умовах навколишнього середовища. Впродовж багатьох років експлуатації фірмова технологія драйвера IGBT невпинно вдосконалювалася. Ця технологія встановлює нові стандарти основних методів безпечного

керування затвором, надійного захисту затвору та посиленої ізоляції.

### Компактна конструкція

Технологія SKIC ASIC від компанії Semikron Danfoss забезпечує дуже компактную конструкцію системи з мінімальною кількістю периферійних компонентів. Завдяки високоінтегрованої обробці сигналу та багатоканальній обробці збоїв ASIC забезпечують надійне керування затвором.

#### Основні властивості:

- посилена ізоляція у колах передачі сигналу та живлення;
- двоканальний драйвер;
- стійкість до сплесків напруги (імпульсних напруг) з амплітудою до 1700 В у мережі електроживлення;
- напруга до 1500 В шини постійного струму;
- амплітуда струму від 8 до 35 А на один канал;
- пікова потужність від 1 до 4.2 Вт на один канал;
- підходить для багаторівневих топологій і IGBT 7-го покоління.

## IGBT-ДРАЙВЕРИ

Унікальний асортимент продукції компанії Semikron Danfoss забезпечує доступ до всіх відомих галузей промисловості за допомогою універсального рішення, яке поєднує найсучасніші силові модулі та електроніку драйверів.

IGBT-драйвери компанії Semikron Danfoss доступні у вигляді двоканальних пристроїв, які підходять для будь-якого стандартного напівпровідникового модуля живлення, або як рішення Plug-and-Play, які ідеально підходять для модулів SEMiX 3 Press-Fit, SEMITRANS 10 і сумісних з ними модулів (рис. 13).

### Економічна ефективність

Досягнути виняткової компактності системи та створити компактні та економічно ефективні конструкції інверторів можна за допомогою драйверів компанії Semikron Danfoss, використовуючи технологію високої інтеграції ASIC. Ізолю-

## ЗАЛИШАЙТЕСЯ ХОЛОДНИМИ РОЗСІЮВАННЯ ТЕПЛА — НЕ ВАШ КЛОПІТ

Компанія Semikron Danfoss була першим виробником силових модулів на ринку, який запропонував силові модулі з попередньо нанесеним термоінтерфейсним матеріалом (англ. Thermal Interface Material, TIM). Зараз вона має понад два десятиліття досвіду та понад 30 мільйонів попередньо надрукованих (*pre-printed*) модулів у цій галузі.

Компанія розробляє шаблони друку для кожного типу модуля, щоб одержати найкращий розподіл і товщину TIM, коли модуль встановлюється на радіа-



#### Ядра драйвера

Двоканальні ядра драйверів для інтеграції друкованої плати з технологією Semikron Danfoss ASIC та вбудованими функціями безпеки

#### Драйвер Plug-and-Play

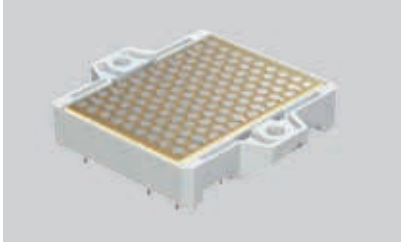
Двоканальні драйвери для прямого монтажу модуля з електричним або оптичним інтерфейсом

#### Драйвер Plug-and-Play

Двоканальні драйвери для прямого монтажу модуля з оптичним інтерфейсом

**Рис. 13.** IGBT-драйвери компанії Semikron Danfoss





**Рис. 14. Модуль без базової плити з попередньо нанесеною термопастою**



**Рис. 15. Модуль з базовою плитою і попередньо нанесеним матеріалом для зміни фазового стану**

торі. Ці шаблони друкуються на модулях у спеціально очищеному середовищі на автоматизованій лінії шовкографії та трафаретного друку. Для забезпечення рівномірності нанесення шаблонів використовується статистичний контроль процесу (*Statistical Process Control, SPC*). Спеціальна упаковка гарантує, що ТІМ надійде на вашу виробничу лінію в бездоганному стані.

Компанія Semikron Danfoss пропонує термопасту або матеріал для зміни фазового стану залежно від вимог клієнта (наприклад, підвищення продуктивності, зменшення зусиль при транспортуванні) і типу модуля (з базовою плитою або без неї). Надійному монтажу модулів без базової плити сприяє матеріал з низькою в'язкістю, такий як термопаста. Високоєфективна термопаста (*High Performance Thermal Paste, НРТР*) добре підходить для цього та завдяки оптимізованому вмісту наповнювача забезпечує найкращі в своєму класі теплові характеристики.

Крім того, для полегшення роботи під час складання перетворювачів більшість силових модулів також можуть поставлятися з попередньо нанесеним матеріалом для зміни фазового стану (*Phase Change Material, PCM*) (рис. 14, 15). Згадані вище матеріали мають тверду консистенцію при кімнатній температурі. При нагріванні модуля після першого увімкнення РСМ розтікається, заповнюючи проміжки та забезпечуючи тепловий інтерфейс. Застосо-

вуючи НР-PCM, новий ексклюзивний високоєфективний матеріал для зміни фазового стану від Semikron Danfoss, поєднуються переваги фазозмінного матеріалу з ефективністю найкращої доступної пасти.

*Основні властивості:*

- шаблони для конкретних модулів для оптимізованого розподілу ТІМ;
- спрощена логістика та зниження витрат на виробництво;
- покращена надійність блоків;
- збільшений термін служби та висока надійність.

*Продукти:*

- НРТР: високоєфективна термопаста;
- НР-PCM: високоєфективний матеріал для зміни фазового стану.

## ВИСНОВКИ

Компанія Semikron Danfoss є світовим технологічним лідером у галузі силових електроніки. В асортименті її продукції входять напівпровідникові пристрої, силові модулі, блоки силових електроніки та різні системи. У світі, який все більше стає електричним, технології Semikron Danfoss актуальні як ніколи. Завдяки своїм інноваційним рішенням для автомобільної, промислової та відновлюваної енергетики компанія допомагає світові використовувати енергію більш ефективно та екологічно, що значно зменшує загальні викиди CO<sub>2</sub>, що є однією з найбільших проблем сучасності. Компанія Semikron Danfoss дбає про своїх співробітників і створює важливі технічні рішення для своїх клієнтів, інвестуючи значні кошти в інновації, технології, виробничі потужності та сервіс, щоб забезпечити найкращу в галузі показники продуктивності і стале майбутнє.

**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,**

**+38 (067) 463-46-62,**

**+38 (095) 284-96-62,**

**e-mail: sp.tsdrive@gmail.com,**

**semikron@ukr.net,**

**service\_danfoss@ukr.net**

**www.tsdrive.com.ua,**

**www.semismart.com.ua**

## ВИКОРИСТАННЯ СИЛОВИХ МОДУЛІВ SEMITOR E НА ОСНОВІ КАРБІДУ КРЕМНІЮ В СОНЯЧНІЙ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЇ SUNNY BOY SMART ENERGY

Компанії **Semikron Danfoss** та **SMA** повідомили, що *Sunny Boy Smart Energy* використовує силові модулі SEMITOR E на основі карбїду кремнію. SEMITOR E має низькоіндуктивну конструкцію з чудовими тепловими характеристиками, і все це в корпусі промислового стандарту. Продукт SEMITOR E пропонує різноманітні топології схем, засновані на новітній технології карбїду кремнію 650V-1200V з декількох джерел.

«Ми твердо впевнені, що модуль SEMITOR E є найкращим силовим напівпровідниковим блоком для застосування карбїду кремнію в сучасних сонячних інверторах», — сказав Роберто Агостіні, менеджер з продукції Semikron Danfoss.

«SEMITOR E відіграв важливу роль у підвищенні продуктивності та ефективності нашої роботи», — говорить менеджер з продукції SMA Петра Навратіл. — Конструкція «під прес» і простий підхід до монтажу дозволили підвищити рівень автоматизації на складальній лінії для Sunny Boy Smart Energy і наступних продуктів».

Домашні сонячні інвертори мають завдання генерувати сонячну енергію з найвищою ефективністю, що досягається завдяки технології карбїду кремнію.

*Sunny Boy Smart Energy* є частиною нового рішення SMA Home Storage Solution, яке забезпечує швидке та ефективне виробництво та зберігання сонячної енергії. Її можна масштабувати відповідно до мінливих потреб і адаптувати до додаткових випадків використання, таких як зарядний пристрій для електромобілів, тепловий насос, динамічні тарифи або згладжування пікових навантажень. Модульна батарея SMA Home Storage може бути розширена в будь-який час для зберігання більшої кількості сонячної енергії.

Як провідний світовий спеціаліст у галузі технологій фотоелектричних систем, компанія SMA вже сьогодні встановлює стандарти для децентралізованого, цифрового та відновлюваного енергопостачання завтрашнього дня.

**www.semikron-danfoss.com**

**www.sma.de**

# Усе, що потрібно, – вибрати інтегральне рішення

**Hri Хоу Тан (Ngee Hou Tan), Томас Бір (Thomas Beer), Infineon Technologies**

**Переклад та редагування: Віталій Шевченко, Rainbow Technologies, технічний спеціаліст**

E-mail: svl@rainbow.com.ua

**У статті розглядаються причини дедалі ширшого застосування GaN-матеріалів у силовій електроніці та їхні переваги, детально описуються новітні інтегральні рішення, які можуть стати привабливою альтернативою класичним дискретним компонентам. Крім того, даються рекомендації щодо вибору дискретних та інтегральних системних GaN-рішень Infineon, що покращують вибір комутаційної технології для джерел живлення. У статті також обговорюються варіанти GaN-виробів високої, середньої та малої потужності з різними рівнями гнучкості та інтеграції.**

## ВСТУП

Сучасні імпульсні джерела живлення (ІДЖ) менші, ефективніші та дешевші за своїх попередників. Основою їхньої високої продуктивності є комутаційні технології. Від розробника вимагається зробити правильний вибір — знайти найкращий компонент, що відповідає потребам ІДЖ. Хоча кремній є найбільш популярним напівпровідниковим компонентом, нині

дедалі більшого поширення набуває нова група матеріалів із широкою забороненою зоною (*Wide Bandgap, WBG*). Як один із прикладів можна навести нітрид галію (GaN), який протягом багатьох років використовували в радіочастотних системах, а тепер уже кілька років застосовують у середньо- і високовольтних силових ключах. Зовсім недавно GaN знайшов застосування в ключах для силовій електроніки.

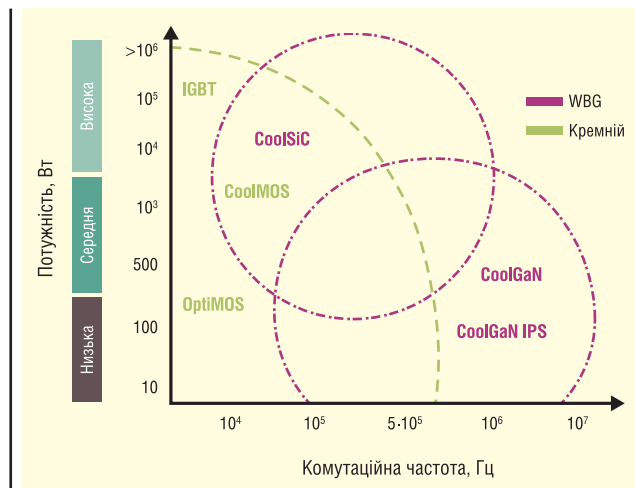
На рисунку 1 схематично показано, в яких сферах прилади з широкою забороненою зоною стануть кращим вибором. Завдяки всій сукупності переваг GaN-транзисторів перед Si-приладами з'являється можливість конструювати джерела живлення з набагато більшою густиною потужності, вищим ККД і вищими частотами перемикань.

## ПЕРЕВАГИ GaN-ТЕХНОЛОГІЇ

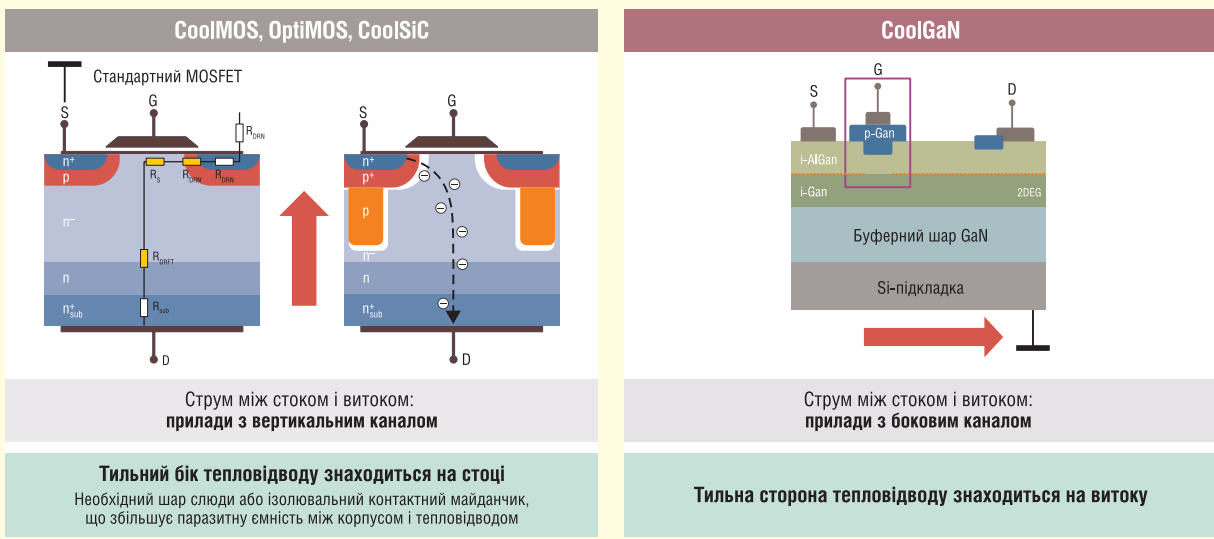
GaN-транзистор з високою рухливістю електронів (*High Electron Mobility Transistor, HEMT*) має кілька ключових переваг перед кремнієвими силовими приладами. Зокрема, у GaN HEMT менші вихідні паразитні ємності  $C_{OSS}$  і більш лінійні характеристики, у 10 разів менша ємність затвора  $C_g$ , нульові втрати зворотного відновлення через відсутність внутрішнього діода, який є в традиційних MOSFET. Завдяки вищій рухливості електронів (дірок) у каналі GaN HEMT та сама величина добутку  $R_{ON}$  на площу кристала досягається за вищою швидкості перемикання і менших комутаційних втрат у поєднанні з чудовим динамічним опором відкритого каналу.

Завдяки таким характеристикам ключі GaN HEMT є кращим вибором для високошвидкісної комутації, що дає змогу економити потужність, яка споживається, і скоротити загальну вартість системи завдяки меншому розміру зовнішніх дроселів або конденсаторів. У результаті з'являється можливість збільшити робочу частоту, підвищивши питому потужність і загальну ефективність системи. При роботі на частоті до декількох МГц швидкість перемикання є дуже важливим показником. Наприклад, висока швидкість комутації компонентів CoolGaN від Infineon дає змогу істотно скоротити «мертвий час», підвищивши ефективність.

Можливо, однією з найбільш важливих і відмінних особливостей силового транзистора на основі GaN є його характеристика зворотного відновлення. Оскільки транзистори CoolGaN від Infineon не мають неосновних носіїв і внутрішнього діода, у цих приладів відсутнє зворотне відновлення. Таким чином, у більшості широко відомих двотактних (напівмостових) топологій із жорстким перемиканням відсутні



**Рис. 1.** Значення потужності та комутаційної частоти сімейств силових WBG- і кремнієвих ключів компанії Infineon



**Рис. 2.** Порівняння конструкцій силових ключів із вертикальним і бічним каналами

супутні втрати потужності, що дає змогу збільшити ефективність перетворювачів.

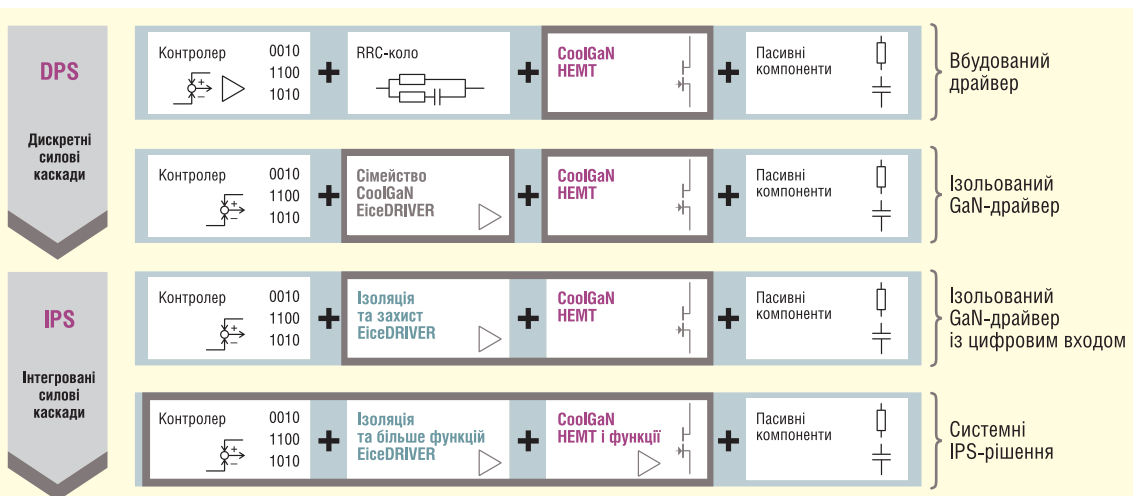
Другою найбільш характерною особливістю GaN-ключів із широкою забороненою зоною порівняно з MOSFET є те, що у перших із них напруга лавинного пробою вища, ніж у других: 600/650-V GaN HEMT витримують короточасні перенапруження в перехідному процесі, що перевищують 750 В, і не зазнають лавинного пробою, який міг би призвести до миттєвого електричного перенапруження (*Electrical Overstress, EOS*), як у разі використання ключів MOSFET. Це одна з причин, через яку вони більш стійкі порівняно з кремнієвими аналогами. У технічних описах величина перенапруження GaN HEMT, які пройшли кваліфікаційні випробування короткими імпульсами понад 10 млн разів у перехідних процесах, вказана рівною 750 В.

Крім того, випробування на надійність і перевірку на відповідність GaN HEMT WBG виконують відповідно до нових стандартів JEDEC 2019: JEP180 (методи і процедури), JEP173 (метод випробування динамічного опору відкритого каналу GaN-приладів) та JEP182 (методи випробувань на термін служби і безперервне перемикання GaN-приладів).

З рисунка 2 видно, що у GaN HEMT, наприклад CoolGaN від Infineon, між витоком і стоком є бічний провідний канал, на відміну від вертикального каналу стандартних кремнієвих MOSFET. Завдяки такій структурі надалі інтегровані силові каскади (Integrated Power Stages, IPS) ключів GaN HEMT отримують більше інтелектуальних функцій. Зауважимо також, що тильна сторона GaN-структури розташована на витоку («землі»),

на відміну від класичних ключів MOSFET. У результаті у GaN-ключів менша паразитна ємність корпусу ( $C_{PK}$ ), простіша інтеграція в корпус, і в деяких випадках зникає потреба в ізолювальному термоінтерфейсі з радіатором стандартних MOSFET зі стоком (стороною активної високої напруги) на тильній стороні.

Завдяки дуже стійкій структурі р-Gate ключів CoolGaN HEMT скорочується вартість специфікації шляхом усунення двох додаткових діодів, які звичайно встановлюються для обмеження напруги на затворі. Входом, як і раніше, дуже просто керувати за допомогою класичних драйверів затвора з трьома дискретними компонентами  $R_G$ ,  $R_{SS}$ ,  $C_{ON}$  ( $R_{RC}$  див. рис. 3). Класичний резистор затвора  $R_G$  призначено для керування швидкістю наростання напруги  $dV/dt$ , резистор  $R_{SS}$  — для підтримання каналу



**Рис. 3.** Від гнучких дискретних — до системних IPS-рішень, призначених для конкретного застосування



у відкритому стані в сталому режимі в діапазоні прямого струму 5–25 мА, а ємність  $C_{ON}$  — для формування швидко-го негативного імпульсу та безпечного вимкнення завдяки низькому рівню  $V_{TH}$  GaN HEMT без найменшого ризику повторного ввімкнення.

У випадках проектування ІДЖ високої потужності (що набагато перевищує 1–2 кВт) і дискретних блоків живлення з силовими GaN-ключами з найменшими значеннями  $R_{DS(ON)}$  і  $RT_H$  рекомендується використовувати сімейство драйверів затвора EiceDRIVER від Infineon. Компанія випускає спеціалізовані GaN-драйвери EiceDRIVER з посиленою і функціональною ізоляцією (1EDF56xx), швидкою високоточною стабільною синхронізацією і високою стійкістю до синфазних завад (понад 150 В/нс).

## НЕОБХІДНІСТЬ У ПОДАЛЬШІЙ ІНТЕГРАЦІЇ

Технологія CoolGaN від Infineon стала надійною та високоефективною технологією для дискретних виробів, що добре зарекомендувала себе. Нещодавно з'явилася серія одноканальних і напівмостових, високовольних, нормально розімкнутих ключів CoolGaN IPS з інтегрованими драйверами.

На рисунку 3 у схематичному вигляді представлено простий у використанні посібник з інтегрованих і дискретних системних рішень на основі GaN, їхніх різних рівнів і функцій залежно від щільності інтеграції. У першому рядку цієї діаграми показано блоки контролерів і силових ключів з відповідними пасивними компонентами. Другий і третій рядки показують, що ізольовані драйвери GaN (iso-GaN) збільшують можливості керо-

ваних топологій на первинній і вторинній сторонах і ступінь інтеграції систем високої потужності. Третій і четвертий рядки представляють системне IPS-рішення, починаючи з простих у використанні IPS-каскадів з драйвером затвора, і закінчуючи інтегрованими системними рішеннями для конкретних застосувань, що містять в собі контролери для побудови спеціалізованих топологій.

Технологія CoolGaN IPS об'єднує один або кілька нормально розімкнутих ключів CoolGaN зі спеціалізованим драйвером затвора EiceDRIVER. Ці компоненти інтегровані в єдиний корпус QFN, що дає змогу скоротити місце, яке займає друкована плата, і, отже, створювати системи з малим форм-фактором, а також знизити загальні витрати. Інтеграція спрощує розробку, скорочуючи час виведення продукції на ринок.

Як приклад розглянемо напівмостовий 600-В ключ CoolGaN IPS у компактному корпусі QFN-28 розміром  $8 \times 8$  мм<sup>2</sup> з напівмостовим силовим каскадом із двох 600-В ключів CoolGaN, а також зі спеціалізованими драйверами затвора та ізоляцією (рис. 4).

Сімейство ключів CoolGaN IPS оснащено ШІМ-входами з функціональною ізоляцією і на одноканальних, і на двоканальних пристроях. Одноканальний пристрій призначений для ІДЖ потужністю від 100 Вт до приблизно 1 кВт. Двоканальний напівмостовий пристрій призначений для зарядних USB-пристроїв/адаптерів високої ємності.

Кожен виріб оптимізовано під застосування більшої потужності та ємності; при цьому його додавання в систему максимально спрощено. Наприклад, методи проектування друкованих плат із розділними секціями живлення зводять до мінімуму завади, що впливають на

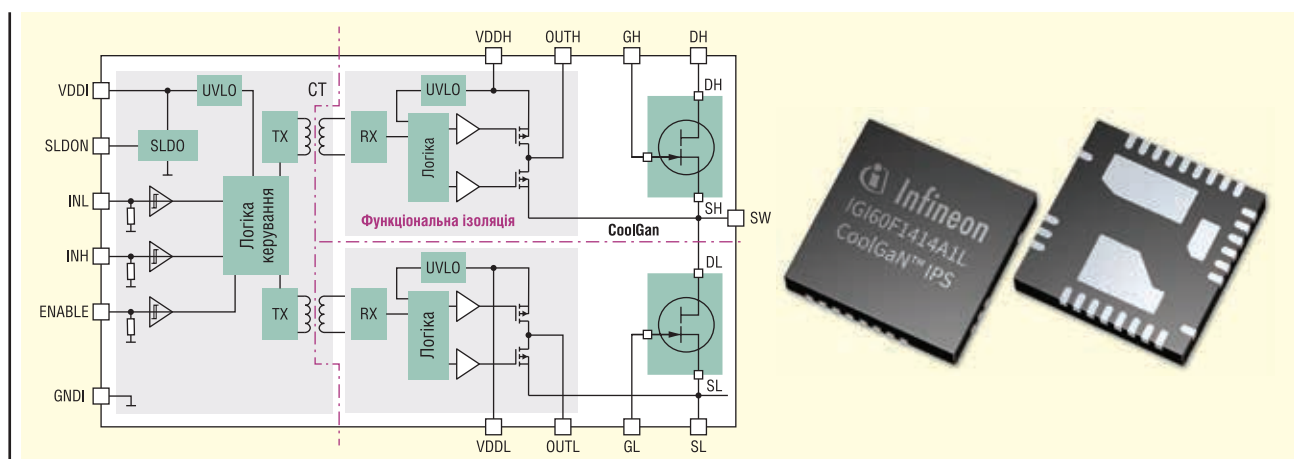
ділянки живлення з цифровим керуванням. Гальванічно ізольовані драйвери затвора теж забезпечують мінімальний рівень електромагнітних завад (ЕМЗ) для надійної роботи.

Інтеграція технології CoolGaN IPS підвищує міцність конструкції, точність синхронізації, спрощує експлуатацію, позбавляє втрат часу, необхідного для вибору драйвера затвора. Проектування системи зведено до мінімуму: по суті, розробнику потрібно всього лише забезпечити сигналом відповідні цифрові ШІМ-входи.

Кількість компонентів у специфікації скорочено завдяки відсутності необхідності в додатковій ІС ізолятора для керування високою бутстрепною стороною. Крім того, мала паразитна індуктивність комутаційного вузла всередині корпусу і на друкованій платі.

## ЗАСТОСУВАННЯ ДЛЯ ІНТЕГРОВАНІХ ПРИСТРОЇВ ЖИВЛЕННЯ НА ОСНОВІ GaN

Одним із найважливіших споживчих ринків джерел живлення є сегмент малопотужних зарядних пристроїв і адаптерів USB-PD (рис. 5). Зарядні пристрої, що поставляються зі смартфонами, у міру вдосконалення технології стають меншими і легшими. Вони забезпечують вищу потужність за тих самих розмірів пристрою, щоб зарядити його швидше. З'явилася також можливість заряджати кілька пристроїв від одного адаптера. До інших ринків, на яких потрібні рішення на основі GaN, відносяться джерела живлення для ПК-телевізорів, електроприводи та освітлення. У цих сегментах, головним чином, необхідні рішення з високою



**Рис. 4.** Структурна схема напівмостового IPS-модуля CoolGaN (а); зовнішній вигляд компонента в корпусі QFN розміром  $8 \times 8$  мм<sup>2</sup> (б)

питомою потужністю і силові перетворювачі з вищим ККД.

Це ідеальні ринки для інтегрованих рішень CoolGaN IPS. Системні витрати слід мінімізувати для чутливих до ціни споживачів, а найменший розмір зарядних пристроїв є конкурентною перевагою для постачальників продукції. Крім того, є вимоги щодо стійкості до стрибків напруги, захисної ізоляції, відповідності CE (EM3) і USB.

CoolGaN IPS IG160F1414A1L можна використовувати як універсальний зарядний USB-пристрій/адаптер із високою питомою потужністю не тільки в топології з активною схемою обмеження (AC-FB), а й з асиметричним резонансним напівмостом (ASHBFB). IG160F1414A1L поставляється в корпусі розміром 8x8 мм<sup>2</sup>, що значно скорочує займаний простір на друкованій платі порівняно з дискретними компонентами.

Під час роботи з м'яким перемиканням в обох топологіях енергія витоків відновлюється, що підвищує їхню ефективність на понад 1%, якщо порівнювати з топологіями з одним ключем. 1% — велика надбавка для застосувань такого роду. На практиці ККД IPS-модулів CoolGaN досягає приблизно 95% за меншої вихідної потужності близько 75 Вт. Вище цієї потужності ККД зазвичай трохи знижується приблизно до 93%.

Продовжуючи тему інтеграції, компанія Infineon пропонує повний асортимент виробів для системних зарядних пристроїв USBPD. До цього асортименту входять силові ключі CoolMOS і CoolGaN, а також автономні контролери протоколу EZ-PD USB.

Рішення CoolGaN IPS передусім призначені для застосувань із малою та середньою потужністю. За потреби забезпечити вищу потужність, наприклад для живлення ультратонких OLED-телевізорів, побутової техніки, промислового і телекомунікаційного обладнання, а також ЦОД, часто застосовують дискретні силові каскади (DPS).

## ТЕСТУВАЛЬНА ПЛАТА РОЗРОБНИКА ДЛЯ ЕКОНОМІЇ ЧАСУ РОЗРОБЛЕННЯ

Компанія Infineon пропонує тестувальну плату розробника EVAL\_NB\_GANIPS\_G1 (рис. 6), що дає змогу швидко налаштувати та протестувати напівмостові IPS-модулі CoolGaN.

За допомогою зовнішнього дроселя можна налаштувати напівмостову топологію тестувальної плати розробни-



## Унікальні ПЛІС за технологією flash-based

### PolarFire

- базовий розмір 28 нм
- від 100К до 500К логічних елементів
- програмний процесор RISC-V
- від 8 до 24 модулів SerDes по 12,7 Гбіт/с
- 2 модулі PCIe Gen.2
- унікальний форм-фактор:
  - 11x11 мм для щільності 100К
  - 11x14 мм для щільності 200К
  - 16x16 мм для щільності 300К



### Igloo2 та SmartFusion2

- базовий розмір 65 нм
- від 5К до 150К логічних елементів
- програмний процесор RISC-V
- апаратний процесор Cortex-M3
- до 16 модулів SerDes по 5 Гбіт/с
- до 4 модулів PCIe

### Igloo та ProASIC3

- базовий розмір 130 нм
- від 100 до 30К логічних елементів
- програмний процесор Cortex-M1
- корпуси від 3x3 мм

- впровадження в літаках:
  - Airbus A350
  - Boeing 787
  - Lockheed Martin F-35



### Чому?

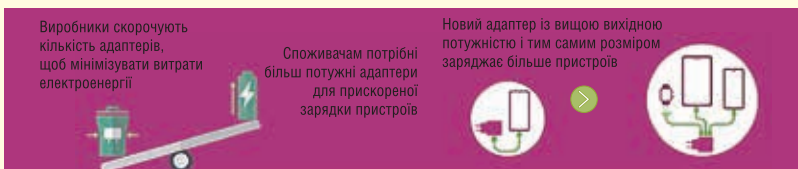
- мінімальне енергоспоживання – на 50% менше, ніж конкурентні ПЛІС
- стійкість до збоїв конфігурації
- відсутність зовнішньої завантажувальної flash-пам'яті
- миттєва готовність до роботи після включення
- найменші розміри корпусів
- запобігання викраденню та клонуванню IP-ядер
- анти-тамперінг
- багата спадщина у цивільній та військовій авіації



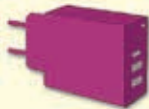
**Rainbow Technologies • [www.rainbow.com.ua](http://www.rainbow.com.ua)**

04112, Україна, м. Київ, вул. Дегтярівська, 62, оф. 46  
Тел./факс: +38 (044) 520 04 77 (78, 79)

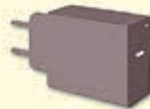
[ted@rainbow.com.ua](mailto:ted@rainbow.com.ua)



Що дає споживачам підвищення питомої потужності адаптерів і зарядних пристроїв



Вища потужність за того самого розміру

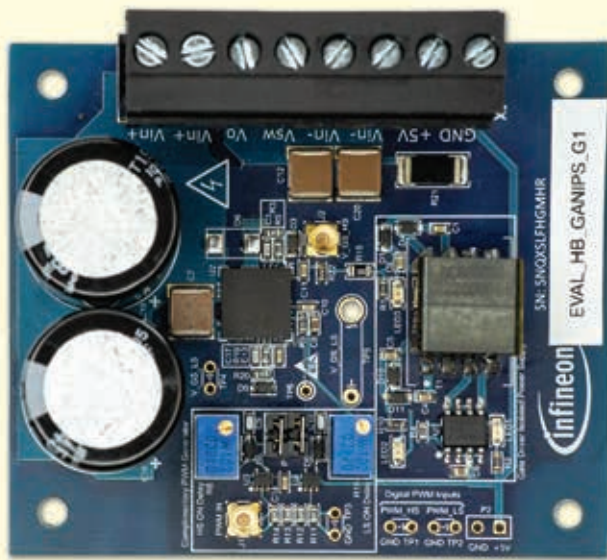


Вихідний адаптер



Та сама потужність за меншого розміру

**Рис. 5. Тенденції в розвитку застосувань із зарядними пристроями та адаптерами**



**Рис. 6. Зовнішній вигляд тестувальної плати розробника EVAL\_HB\_GANIPS\_G1**

ка для роботи в режимі підвищення або зниження, для імпульсного тестування або безперервної роботи на повній потужності до 100 Вт і частоті до 1 МГц. Плата забезпечує прямий доступ до логічних входів чипсета CoolGaN IPS для його керування зовнішнім мікроконтролером або цифровим сигнальним процесором.

Тестувальна плата розробника виключає необхідність у розробленні власних драйверів затвора і схеми живлення для оцінки функціонування GaN-ключів, даючи змогу заощадити дорогі часи.

На рисунку 7 показано типовий приклад використання тестувальної плати розробника для двоімпульсного

тестування. 5-В джерело забезпечує живлення логіки IPS-модуля і джерела живлення ізольованого драйвера затвора. Напругу на шині постійного струму забезпечує джерело живлення 0–400 В, а вихідний ШІМ-сигнал видає лабораторний генератор імпульсів. Для підключення шини постійного струму до виходу комутаційного вузла потрібен тестовий дросель. Для спостереження і вимірювання його струму, а також напруги комутаційного вузла або будь-якого іншого сигналу на платі можна скористатися осцилографом.

## ВИСНОВКИ

Компанія Infineon має намір надати повний ряд технологій для дискретних силових ключів: CoolGaN, CoolSiC, IGBT, CoolMOS і OptiMOS. Вибір технології відповідного компонента залежить від багатьох показників.

Всупереч усій привабливості рішення на користь застосування ключів GaN HEMT у високочастотних застосунках, сумарні переваги GaN-приладів дають змогу використовувати їх замість колишніх ключів, розширивши таким чином частотний діапазон у більший бік.

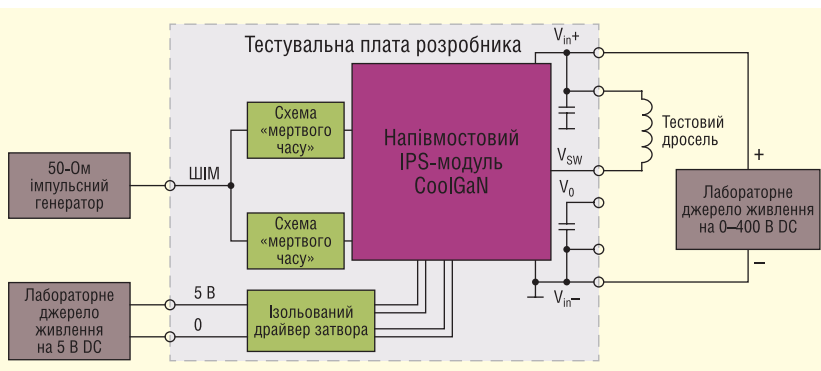
Зробивши ще один крок на шляху збільшення ступеня інтеграції та зменшення впливу паразитних компонентів у застосуваннях з малою та середньою потужністю, компанія Infineon пропонує прості у використанні інтегровані прилади CoolGaN IPS, до складу яких входять силові ключі CoolGaN і драйвери. У цих приладах є суттєві переваги — мінімальні паразитні ефекти і найкраща керованість часу наростання і спаду ( $dV/dt$ ,  $dI/dt$ ).

Розробнику завжди доводиться обирати найкраще рішення, але використання інтегрованих силових компонентів як такого рішення є найкращим. Ці компоненти забезпечують високу ефективність, міцність конструкції, високу питому потужність і значну економію місця на друкованій платі.

**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**

СН



**Рис. 7. Типовий приклад використання тестувальної плати розробника (двоімпульсний тест)**





# Різноманітні інтерфейси підключення PCIe®

## Гнучкий PCIe розподільчий комутатор для промислових застосувань

Представляємо наш революційний однокристальний PCIe розподільчий комутатор, що оснащений високоінтегрованими периферійними пристроями для безперебійного підключення. Цей компактний, але потужний чип має вбудований хост-контролер USB 3.2 Gen 2 (10G), MAC Ethernet 2.5G та програмовані ввід/вивід, що робить його універсальним рішенням для різноманітних застосувань.

З інтегрованими фізичними інтерфейсами PCIe, які забезпечують висхідний порт на 4 лінії та низхідний порт на 1 лінію, серія PCI11xxx/PCI12xxx задовольняє зростаючий попит на системи PCIe з вищою пропускну здатністю вбудованих додатків. Надання PCIe висхідного сигналу через одну або кілька ліній дозволяє пристосуватися до різних системних вимог щодо пропускну здатності.

Розроблена для встановлення на різні плати SOM, в тому числі спеціальні плати-носії, серія PCI11xxx/PCI12xxx є ідеальним рішенням для автомобільної телематики. У таких застосуваннях, як підключення 4G/5G, низхідний PCIe порт підключається безпосередньо до модемних модулів LTE, спрощуючи операції розподілу та розширюючи можливості підключення для процесорів V2X з обмеженою кількістю портів.

Ця серія продуктів також добре підходить для серверних систем, які потребують підключення PCIe до USB3 Hub. Крім того, для Edge обчислювальних пристроїв та IoT пристроїв, які потребують підключення PCIe до Superset Combo IO, і автомобільних інформаційно-розважальних систем, які вимагають функціональності USB хоста, серія PCI11xxx/PCI12xxx забезпечує можливості хоста Gen3 USB без шкоди для порту PCIe.

Універсальна та промислова, серія PCI11xxx/PCI12xxx забезпечує кілька інтерфейсів, що робить її ідеальним рішенням для широкого спектра застосувань.



[microchip.com/PCIePeripherals](https://microchip.com/PCIePeripherals)

Назва і логотип Microchip та логотип Microchip є зареєстрованими товарними знаками компанії Microchip Technology Incorporated в США та інших країнах. Всі інші торгові марки є власністю їх зареєстрованих власників.  
© 2024 Microchip Technology Inc. Всі права захищені.  
MEC2567A-RUS-05-24

# Удосконалення вбудованих систем за допомогою логіки та гнучкого периферійного обладнання

Роберт Перкел (Robert Perkel)

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

У цій статті буде розглянуто периферійні пристрої з конфігурованою логікою (*Configurable Logic Cell, CLC*), конфігурованою користувацькою логікою (*Configurable Custom Logic, CCL*), системою обробки подій (*Event System, EVSYS*) та портом маршрутизації сигналів (*Signal Routing, SR*), а також те, як їх можна використовувати для підвищення ефективності вашого проєкту.

Апаратна периферія на кристалі добре відома своєю здатністю знижувати енергоспоживання, підвищувати продуктивність, збільшувати можливості пристрою та зменшувати розмір коду. Існує широкий спектр периферійних пристроїв: від операційних підсилювачів і аналого-цифрових перетворювачів (*Analog to Digital Converter, ADC*) (АЦП) до широтно-імпульсних модуляторів (*Pulse Width Modulators, PWM*) (ШІМ) і універсальних таймерів (*Universal Timer, UTMR*) (УТМР).

Одними з найпотужніших типів цих периферійних пристроїв є ті, які можуть реалізовувати дискретну логіку або можуть з'єднувати інші периферійні пристрої разом.

## CLC/CCL

Периферійні пристрої — елементи конфігурованої логіки (CLC) та конфігурованої користувацької логіки (CCL) є програмованими таблицями пошуку (*Look-Up Tables, LUT*), кожна з яких фактично еквівалентна одній комірці ПЛІС (FPGA). Логічна функція, сконфігурована всередині кожного периферійного пристрою, визначається під час виконання програми. CLC/CCL можуть працювати незалежно від центрального процесора, що дозволяє їм замінити

дискретні логічні мікросхеми в структурі. Щодо різниці між CLC і CCL, то існують незначні відмінності в реалізації. CLC використовується для мікроконтролерів PIC®, а CCL — для мікроконтролерів AVR®. Основні операції кожного периферійного пристрою залишаються незмінними.

## УСУНЕННЯ БРЯЗКОТУ КОНТАКТІВ КНОПОК І ПЕРЕМИКАЧІВ

Одним із найпоширеніших варіантів використання CLC/CCL є реаліза-

ція усунення брязкоту на апаратному рівні в поєднанні з таймером/осцилятором. В *Application Note 2805 (AN2805)* представлено три способи реалізації усунення брязкоту за допомогою CLC. З них дві версії CLC (із трьох) забезпечують хороший баланс між використанням апаратних ресурсів і продуктивністю. Вихідні коди всіх трьох версій доступні на [Github](#).

Для реалізації функції усунення брязкоту, один із CLC працює як D-тригер для фіксації значення від кнопки чи перемикача. Друга CLC виконує операцію логічного «І» між фіксованим значенням з попереднього кроку та безпосередньо введеним значенням, а потім фіксує результат. Джерело тактового сигналу для обох тригерів є низькочастотним, що створено на основі таймера або генератора на пристрої. Реалізація представлена на рисунку 1.

Для CCL на мікроконтролері AVR схема ще простіша. CCL мають опцію

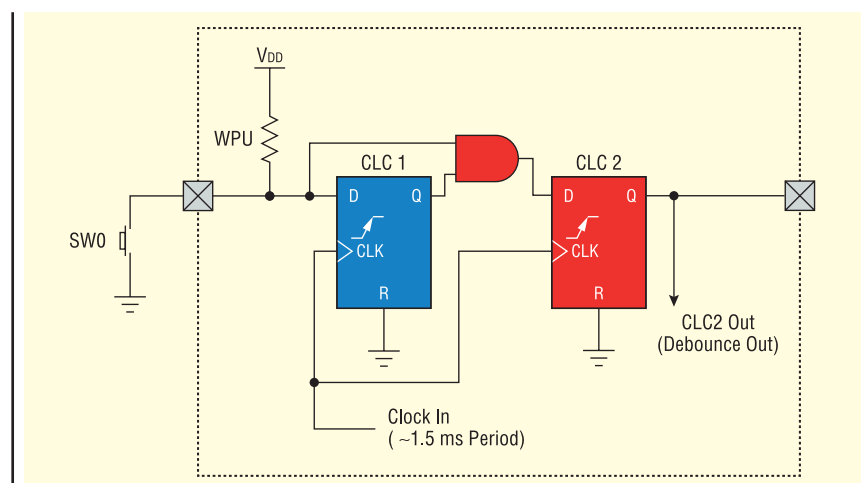


Рис. 1. Усунення брязкоту контактів за допомогою двох CLC

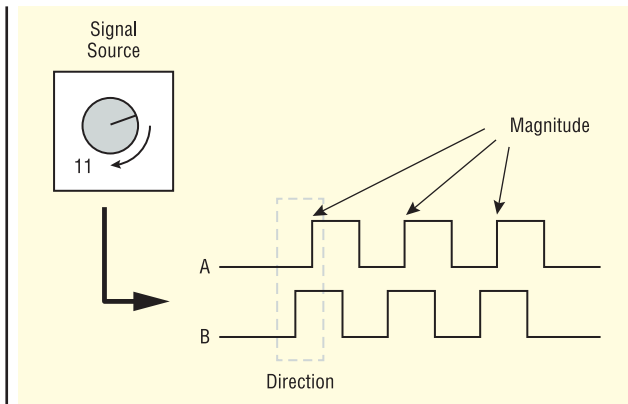


Рис. 2. Приклад сигналу квадратурного декодера

фільтрації вхідних сигналів, яка ефективно виконує ту саму двоетапну фільтрацію, що була реалізована на CLC. Крім того, CCL можна тактувати від генератора пристрою з частотою 1 кГц, що є достатньо повільним для усунення брязкоту.

## КВАДРАТУРНЕ ДЕКОДУВАННЯ

Інший варіант застосування інтегральних схем CLC — це виконання квадратурного декодування. Інкрементальні квадратурні декодери генерують два прямокутних сигнали, де фаза одного випереджає інший на 90 градусів. Кількість обертів визначається кількістю переходів рівня сигналу (числом імпульсів) обох сигналів, тоді як фаза сигналу вказує на напрямок обертання. На рисунку 2 наведено приклад сигналу квадратурного декодера.

Для декодування цього сигналу CLC перетворюють його на два вихідні сигнали: імпульси обертання за годинниковою стрілкою та проти неї. Два таймери в мікроконтролері підраховують кількість отриманих імпульсів кожного типу. Коли мікроконтролеру потрібно визначити загальну зміну положення, виконується проста математична операція над значеннями лічильників обох таймерів. Це дозволяє визначити абсолютне обертання з моменту останнього зчитування.

## СИСТЕМА ОБРОБКИ ПОДІЙ

Система обробки подій (EVSYS) — це функція, що наявна тільки в мікроконтролерах AVR. Вона призначена для вибору вихідного сигналу від одного периферійного пристрою та його маршрутизації до інших периферійних пристроїв вбудованих в мікроконтролер. Ця взаємодія може відбуватися незалежно від центрального процесора (CPU), що дозволяє економити енергію під час режиму сну або простою, та підвищувати продуктивність.

## ПОРТ SR

Мікроконтролери PIC мають периферійний пристрій, відомий як порт маршрутизації сигналів (SR). За своєю структурою він схожий на вихідний порт вводу/виводу (I/O), але знаходиться всередині мікроконтролера. Програмне забезпечення може встановлювати або скидати біти всередині нього, як у стандартному регістрі виводу I/O, але він також

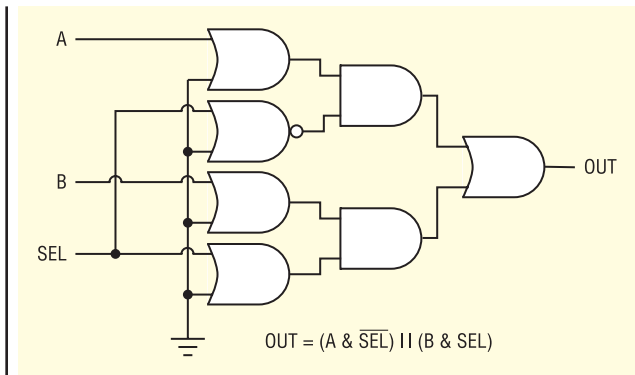


Рис. 3. Мультиплексор 2:1 (реалізовано в логіці CLC; невикористані входи приховано)

підтримує сигнали виводу периферійних пристроїв та функціональність регістра зміщення.

Порт маршрутизації сигналу (SR) також добре працює з функцією вибору периферійних виводів (*Peripheral Pin Select, PPS*), яка також присутня в мікроконтролерах PIC. PPS надає розробнику гнучкість у призначенні портів вводу/виводу, дозволяючи переміщувати цифрові сигнали вводу/виводу на різні виводи мікроконтролера. Аналогічно, PPS дозволяє периферійним пристроям окремо обирати «виводи» порту SR як входи. Це дозволяє створювати та керувати складними автоматами станів за допомогою цього периферійного пристрою.

## ON-DEVICE SIGNAL SELECT

Порт маршрутизації сигналу (SR) та інтегральні схеми CLC можуть використовуватися для реалізації внутрішнього мультиплексора вибору сигналу. Це корисно для внутрішнього самотестування або для вибору одного з декількох N сигналів для обробки. Для реалізації цього використовується CLC для створення мультиплексора 2:1. Також можливе використання мультиплексора 4:1, але він потребує трьох CLC та двох бітів з порту маршрутизації сигналу (SR). Для керування мультиплексором використовується один біт з порту SR як лінія вибору. Логічна схема реалізації наведена на рисунку 3.

Одна з переваг цієї реалізації за допомогою CLC над PPS полягає в швидкості та гнучкості. PPS можна заблокувати, щоб запобігти випадковим змінам під час виконання програми. Крім того, можна встановити конфігураційний біт, щоб гарантувати, що розблокування PPS можливе лише один раз. На відміну від цього, налаштування мультиплексора CLC дозволяє програмі змінювати вхідні сигнали без необхідності щоразу проходити процедуру розблокування.

Цей підхід використовується в демонстраційній програмі *кода Морзе* (рис. 4) для *сімейства мікроконтролерів PIC18F56Q71 від Microchip*. Ця програма реалізує простий передавач і приймач кода Морзе. Мультиплексор використовується для вибору між вихідним сигналом передавача та зовнішнім вхідним сигналом для прийому.

В програмі для покращення зручності читання коду визначені макроси для встановлення, скидання та перемикання окремих бітів портів маршрутизації сигналу (SR).

```
//Select input to decoder
#define SELECT_TX_DECODE() do { RW0_SetLow(); } while(0)
#define SELECT_USER_DECODE() do { RW0_SetHigh(); } while(0)
#define SWITCH_DECODE_SOURCE() do { RW0_Toggle(); } while(0)
```



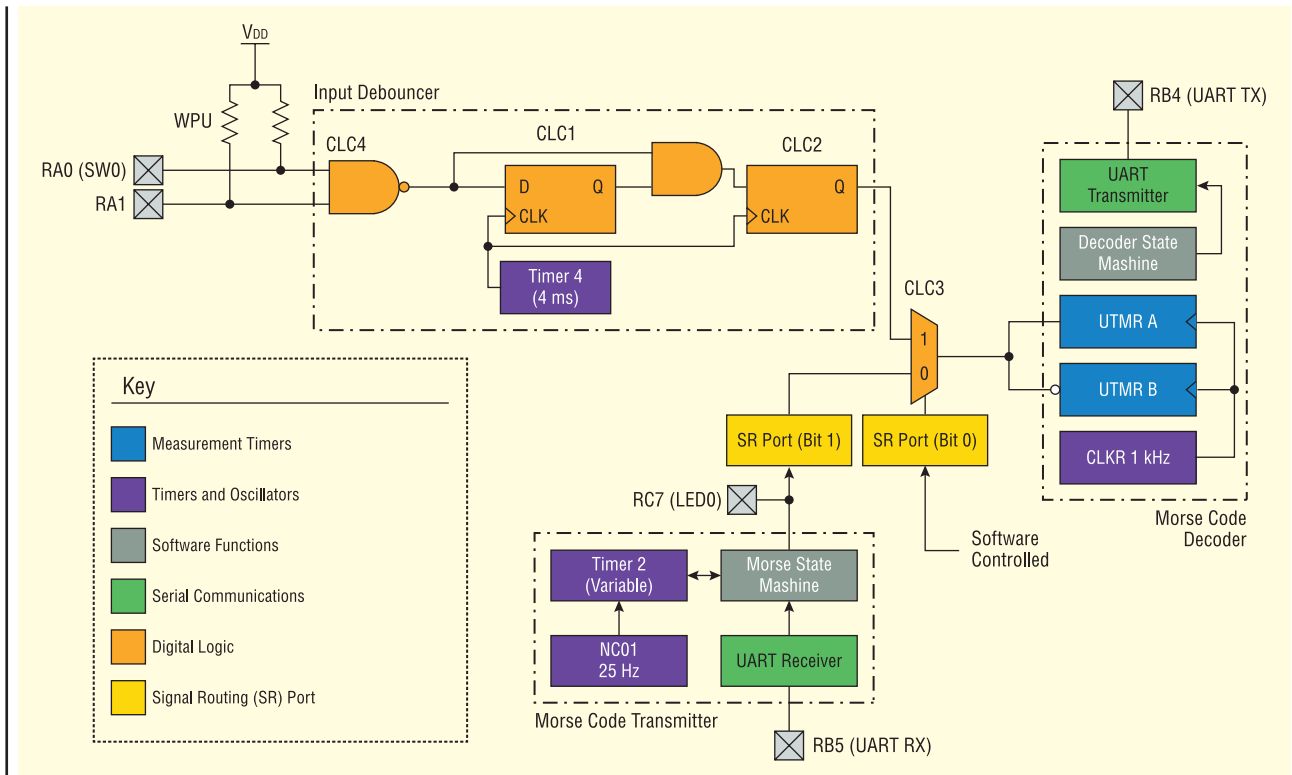


Рис. 4. Структурна схема демонстраційної програми кода Морзе

Наведений фрагмент коду відповідає за перемикання між вхідними джерелами. Якщо передавач і приймач є активні, а користувач надсилав символ '#' в термінал, код перемикає вхідні джерела.

```

if (morseTx_isSwitchRequested() && morseRx_isIdle() &&
    morseTx_isIdle())
{
    //Request to switch input sources
    SWITCH_DECODE_SOURCE();
    morseTx_clearSwitchRequest();
    if (IS_USER_INPUT_ACTIVE())
    {
        //User Input
        printf(«User input is now active.\r\n»);
    }
    else
    {
        //TX Input
        printf(«Transmitter input is now active.\r\n»);
    }
}

```

Вихідний код цієї програми доступний на [Github](#).

## АПАРАТНЕ ПРИСКОРЕННЯ ОБЧИСЛЕННЯ ПАРНОСТІ

Іноді під час передачі або обміну даними необхідно генерувати біт парності. Обчислення парності за допомогою програмного забезпечення є досить простою операцією, але виконується повільніше, ніж апаратне рішення. Далі наведено приклад простої функції для обчислення парності.

**Примітка:** Для цих простих прикладів тестовий шаблон, що обчислюється, зберігається глобально.

```

bool isOdd_SW(void)
{
    bool isOdd = false;
    uint8_t temp;
    //Byte Scan
    for (uint8_t byIndex = 0; byIndex < DATA_SCAN_LENGTH;
        byIndex++)
    {
        //Bit Scan
        temp = data[byIndex];
        for (uint8_t biIndex = 0; biIndex != 8; biIndex++)
        {
            if (temp & 0b1)
            {
                //Count
                isOdd = !isOdd;
            }
            //Shift bits
            temp >>= 1;
        }
    }
    return (isOdd);
}

```

Для прискорення обчислень периферійний SPI-модуль можна використовувати разом з лічильником циклів (CLC) для створення апаратного калькулятора парності. Апаратне забезпечення SPI містить послідовний регістр зміщення для передачі та прийому даних.

Вихідний сигнал апаратного забезпечення SPI (регістр зміщення) можна подати на CLC для створення калькулятора

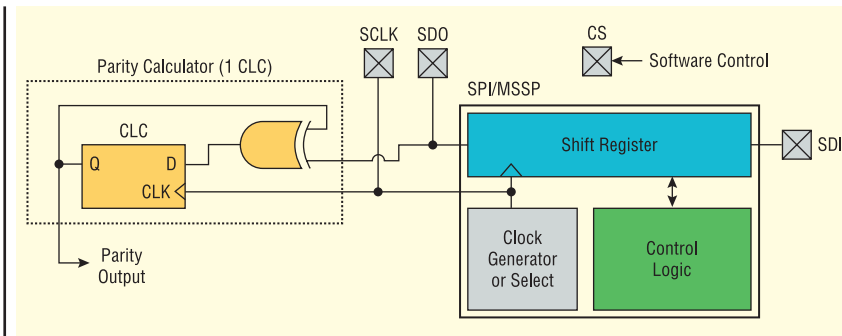


Рис. 5. Апаратна реалізація

Таблиця 1. Відмінності продуктивності між програмною та апаратною реалізацією, послідовність з 10 байт

| Рівень оптимізації   | Час програмного забезпечення | Апаратний час | Різниця в продуктивності, % |
|----------------------|------------------------------|---------------|-----------------------------|
| Рівень 0 (відсутня)  | 1726                         | 552           | +313%                       |
| Рівень 1             | 1371                         | 533           | +257%                       |
| Рівень 2             | 1371                         | 533           | +257%                       |
| Рівень 3 (Швидкість) | 1019                         | 465           | +219%                       |
| Рівень S (Розмір)    | 1019                         | 465           | +219%                       |

парності, який працює значно швидше, ніж програмна версія (рис. 5).

Ця реалізація також може використовувати вже наявний периферійний SPI-пристрій, що додатково знижує вартість впровадження. Це можливо тому що звичайно для зв'язку з іншими SPI-пристроями необхідно активувати лінію вибору кристала (*Chip Select*, CS). Але якщо її не активувати, то зв'язок буде просто ігнорувати.

Для реалізації апаратного прискореного обчислення парності, спочатку потрібно захопити поточне значення, зафіксоване в CLC. Потім передайте дані, для яких потрібно обчислити парність, з деактивованою лінією вибору кристала. Після цього слід перевірити нове значення, зафіксоване в CLC.

Якщо нове значення дорівнює попередньому, значить було пороховано парну кількість одиниць.

Якщо значення не співпадають, значить кількість одиниць непарна. Нижче наведено програму для обчислення парності або непарності.

```
bool isOdd_HW(void)
{
    bool initialState = CLC3_
OutputStatusGet();
    SPI1_BufferWrite(&data[0], DATA_
SCAN_LENGTH);
    return (!(CLC3_OutputStatusGet()
== initialState));
}
```

Для демонстрації переваги у швидкості було створено невелику демонстраційну програму на базі сімейства

мікроконтролерів PIC16F18146 від Microchip. Один із внутрішніх таймерів, Таймер 1, використовується для підрахунку кількості тактових циклів (FOSC/4), необхідних для виконання обчислення парності за допомогою апаратного та програмного забезпечення. Результати виводяться на послідовному терміналі для аналізу. В таблиці 1 наведена копія результатів тестування на різних рівнях оптимізації компілятора.

Продемонстроване покращення продуктивності в цьому прикладі залежить від тактової частоти мікроконтролера та периферійного пристрою SPI. Вихідний код цієї програми доступний на [Github](#).

## ВИСНОВКИ

Апаратні периферійні пристрої є важливою функцією вбудованих систем. Завдяки їм мікроконтролери можуть стати більш потужними, ефективними та функціональними. Логічні периферійні пристрої та гнучкі периферійні пристрої — це особливо потужні інструменти для виконання простих завдань, таких як усунення брязкоту контактів або квадратурне декодування. Творче використання апаратних периферійних пристроїв покращує дизайн і розширює межі того, що можливо на мікроконтролері.

Співпраця з компанією Microchip Technology дозволяє її клієнтам створювати оптимальні рішення, при цьому зменшують ризики, знижуючи їх загальну вартість та час виведення на ринок. **CI**

## ПОЛЕГШЕННЯ РОЗРОБКИ БОРТОВОГО ЗАРЯДНОГО ПРИСТРОЮ

Ринок акумуляторних електромобілів (Battery Electric Vehicles, BEV) та гібридних електромобілів (Plug-in Hybrid Electric Vehicles, PHEV) продовжує зростати, оскільки поштовх до декарбонізації вимагає стійких рішень для зменшення викидів. Важливим елементом електромобілів є бортовий зарядний пристрій, який перетворює змінний струм у постійний для підзарядження високовольтної батареї транспортного засобу. Компанія **Microchip Technology** оголосила про випуск бортового зарядного пристрою B3П, англ. On-Board Charger, OBC), в якому використовується низка цифрових, аналогових, комунікаційних та силових пристроїв, призначених для автомобільної промисловості, в тому числі контролер цифрових сигналів dsPIC33C, драйвер ізолюваного SiC-затвора MCP14C1 та MOSFETs mSiC™ в стандартному корпусі D2PAK-7L XL.

Це рішення призначене для підвищення ефективності та надійності системи B3П завдяки розширеним функціям керування dsPIC33 (Digital Signal Controller, DSC), високовольтній посиленій ізоляції драйвера вентилів MCP14C1 з надійною заводськістю, а також зменшеним втратам на перемикання та покращеним можливостям терморегуляції mSiC MOSFET. Щоб ще більше спростити ланцюжок постачання для клієнтів, компанія Microchip надає ключові технології, які підтримують інші функції B3П, в тому числі комунікаційні інтерфейси, безпеку, датчики, пам'ять і синхронізацію.

Для прискорення розробки і тестування систем Microchip пропонує гнучке програмоване рішення з готовими програмними модулями для корекції коефіцієнта потужності (Power Factor Correction, PFC), DC-DC перетворення, зв'язку і діагностичних алгоритмів. Програмні модулі в dsPIC33 DSC розроблені для оптимізації продуктивності, ефективності та надійності, пропонуючи при цьому гнучкість для кастомізації та адаптації до конкретних вимог OEM-виробників.

Як провідний постачальник, компанія Microchip пропонує комплексні рішення для оптимізації процесу розробки, включаючи продукцію, що відповідає вимогам автомобільної промисловості, еталонні зразки, програмне забезпечення та глобальну технічну підтримку.

[www.microchip.com](http://www.microchip.com)

# Застосування мікроконтролера RA6T1 компанії Renesas Electronics для прогнозного технічного обслуговування електродвигунів

Переклад: Володимир Рентюк

**Побутова техніка, а також обладнання для автоматизації будівель і промислової автоматизації стають дедалі розумнішими та складнішими, і використовують найрізноманітніші електродвигуни, які потребують своєчасного технічного обслуговування. З урахуванням зростання витрат оптимальним підходом є перехід від планового до прогнозного обслуговування. Необхідну допомогу тут може надати штучний інтелект та машинне навчання, які не тільки забезпечують перехід на прогнозне профілактичне обслуговування, але й переводять його на новий рівень, що відповідає «Індустрії 4.0». Ця стаття, подана у вигляді авторського перекладу технічного документа [1] з низкою доповнень, знайомить із можливостями організації прогнозного технічного обслуговування електродвигунів на основі штучного інтелекту на базі нового мікроконтролера Renesas RA6T1.**

## ПІДВИЩЕННЯ ОПЕРАЦІЙНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ ТА СКОРОЧЕННЯ ДОРОГИХ ПОЗАПЛАНОВИХ ПРОСТОЇВ

Сьогодні на заводах і фабриках системи автоматизації, технологічне і виробниче обладнання засновані на найширшому використанні електродвигунів як приводів буквально всього, що рухається, — від конвеєрних стрічок до роботизованих маніпуляторів. Попри те, що технології виготовлення електродвигунів значно вдосконалилися, вони, як і все механічне обладнання, схильні до зносу внутрішніх компонентів і передавальних механізмів. Крім того, рухи, що повторюються, з керування важкими навантаженнями та надмірні механічні зусилля можуть деформувати й зміщувати станину двигуна, що призводить до спрацювання підшипників, вібрацій і раптового виходу двигунів з ладу.

У рамках будь-якого розміщення промислового обладнання концепції обслуговування, ремонту та експлуатації (ТОiP) добре відомі. За визначенням, ТОiP — це комплекс технологічних операцій та організаційних дій з підтримання працездатності або справності об'єкта під час його використання за призначенням. У рамках будь-якого процесу ТОiP обслуговування обладнання є важливою частиною підтримки його ефективності.

Зазвичай виокремлюють кілька різних режимів обслуговування, найпопулярніші з них — це реактивний (що коригує поточні неполадки, які раптово виникли), профілактичний (плановий через певні проміжки часу) і прогнознний (що працює на випередження події, яка може призвести до позапланового простою). З них прогнозне профілактичне обслуговування дає найнижчі витрати на обслуговування і мінімальні втрати

внаслідок простою того чи іншого обладнання, оскільки виконується тільки в разі потреби та в зручний для підприємства час.

## ПЕРЕВАГИ РЕЖИМУ ПРОГНОЗНОГО РОФІЛАКТИЧНОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ

У режимі прогнозного профілактичного обслуговування для виявлення раних ознак потенційної відмови обладнання, що працює, постійно моніториться. Такий прогнознний режим відрізняється від традиційного профілактичного режиму тим, що в останньому обладнання обслуговується на основі рекомендованої частоти перевірок і виконання планових робіт. За прогнозного підходу ще до того, як станеться несподіваний, руйнівний і дорогий інцидент, необхідне обслуговування буде конкретизовано і заплановано на зручний для його проведення час.

Моніторинг роботи двигуна може здійснюватися різними способами. Завдяки індустріальному «Інтернету речей» (*Industrial Internet of Things, IIoT*) і таким ініціативам, як «Індустрія 4.0», можливість підключення, моніторингу та визначення робочого стану будь-якого виробничого активу тепер надзвичайно проста. І вже зараз ширше використання методів штучного інтелекту (ШІ) та машинного навчання може дати більше впевненості в якості процесу моніторингу та забезпечити більш раннє прогнозування потенційних проблем і відмов.



## ПРОБЛЕМИ ВИВОДУ ДАНИХ НА ПЕРИФЕРІЇ

У розгортанні будь-якої нейронної мережі з машинним навчанням є два основні моменти: навчання і генерація логічних висновків. Навчання моделі нейронної мережі для того, щоб алгоритм моделі міг навчитися робити висновки, передбачає збір величезних обсягів даних (такі дані називаються великими, і, як правило, вони не структуровані). Навчання зазвичай проводять у лабораторних умовах за допомогою моделювання на високопродуктивних комп'ютерних системах. Залежно від використовуваних обчислювальних ресурсів навчання зазвичай вимагає значних витрат часу та енергії.

Однак генерація логічних висновків, а під цим розуміють процес виконання алгоритму моделі, також є конкретним завданням і має свої особливості. Вона вимагає підключення до хмари з малою часовою затримкою і теж потребує значних обчислювальних ресурсів, що, відповідно, вимагає значної витрати потужності. Донедавна логічний висновок на власне кінцевій точці був можливий лише за використання комп'ютерів на базі високопродуктивних мікропроцесорів, що споживали значну потужність та потребували значного місця для розміщення.

Проте отримання надійного логічного висновку безпосередньо на периферії (його ще називають граничним) має кілька переваг. Наприклад, за такого підходу немає потреби покладатися на хмарні обчислювальні ресурси з властивою їм великою часовою затримкою. Крім того, перехід до локальної обробки дає змогу виконувати детерміновані операції в реальному часі. Важливий і той факт, що з погляду безпеки всі дані залишаються розміщеними локально. Це знижує ймовірність порушення безпеки або перехоплення керування пристроєм зловмисником (перехоплення керування може мати далекосяжні наслідки).

## ПРОГНОЗНЕ ПРОФІЛАКТИЧНЕ ОБСЛУГОВУВАННЯ НА РІВНІ ПЕРИФЕРІЙНИХ ТОЧОК СТАЄ РЕАЛЬНІСТЮ

У зв'язку з підвищеним інтересом промисловості до розроблення програм генерації висновків безпосередньо на периферії, тобто на кінцевій точці системи автоматизації, попит на енергоефективні пристрої, оптимізовані для цього завдання, досить-таки високий.

Прикладом може бути мікроконтролер RA6T1, що пропонує компанія Renesas [2]. Гнучкі 32-розрядні мікроконтролери Renesas Advanced (звідси індекс RA) — це передові в галузі 32-розрядні мікроконтролери з процесорними ядрами Arm Cortex-M33, -M23 і -M4 і сертифікатом PSA. Мікроконтролери RA забезпечують перевагу порівняно з конкурентними мікроконтролерами Arm Cortex-M, маючи більш надійні вбудовані функції підтримання безпеки, чудову продуктивність і наднизьке енергоспоживання. Сертифікація PSA дає клієнтам впевненість у швидкому створенні захищених кінцевих і периферійних пристроїв IoT, а також інтелектуального виробничого обладнання для «Індустрії 4.0».

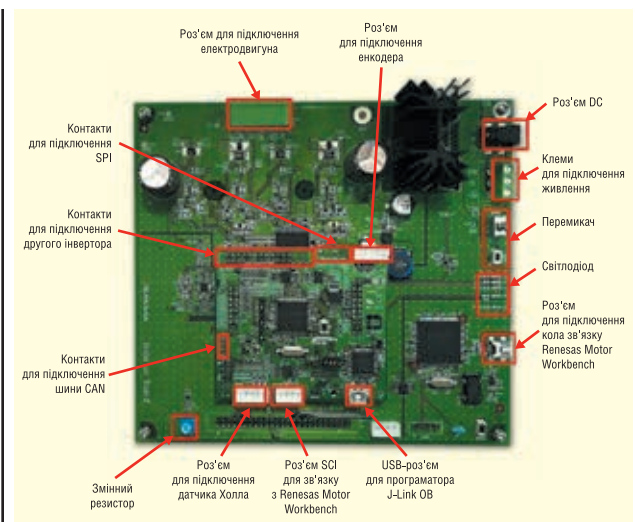
Що стосується розглянутого RA6T1, то це 32-бітний пристрій Arm Cortex M4 з тактовою частотою 120 МГц, у якому є 32-бітові ШІМ-таймери з високою роздільною здатністю, а також розширені аналогові функції, оптимальні для розроблення безпечних і високоточних програм керування двигуном. ШІМ-таймери мають сім різних режимів роботи і можуть бути запрограмовані зі шпаруватістю

0–100%. Таймери можуть бути синхронізовані для забезпечення трифазного виходу. Аналогові функції включають 11-канальний і 8-канальний 12-розрядний аналого-цифрові перетворювачі (АЦП), три канали яких містять схеми вибірки/зберігання.

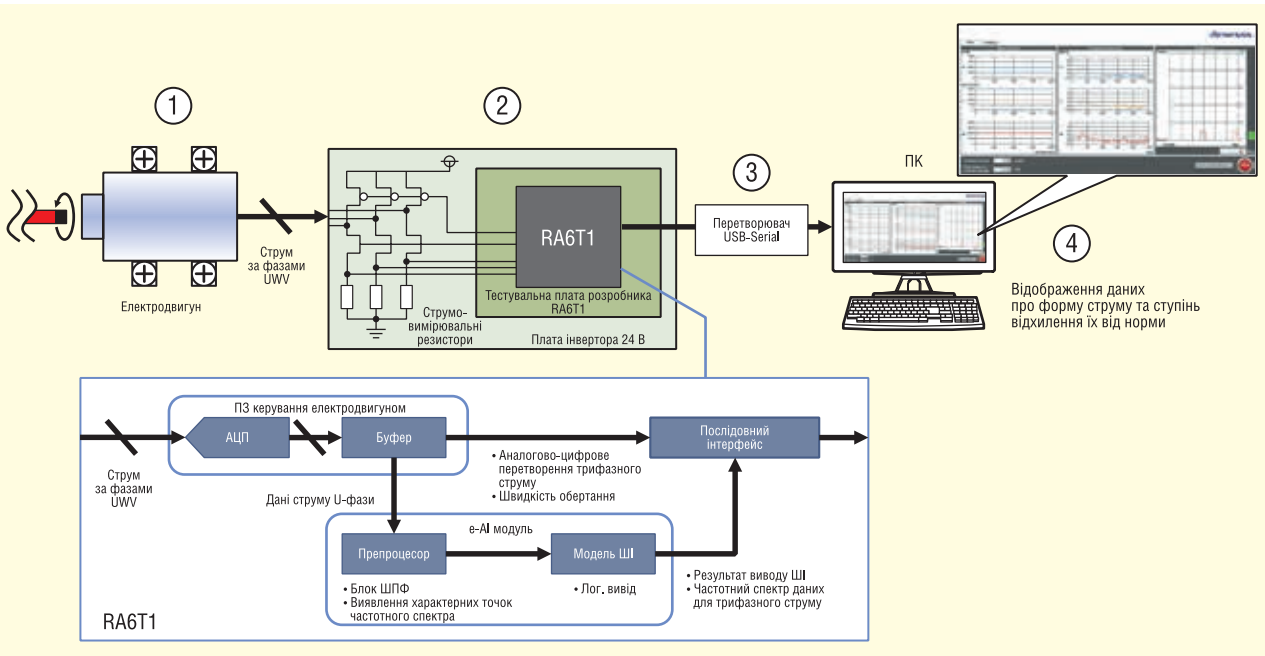
Інтегровані периферійні функції, включно з високошвидкісними аналоговими, значно знижують вартість кінцевого виробу, водночас підвищуючи ефективність керування двигунами в побутових приладах, системах опалення, вентиляції та кондиціонування повітря, сонячних інверторах і приводах змінного струму. Крім того, сумісність із платформою Google Tensor Flow LiteMicro для програм TinyML дає змогу спростити й покращити виявлення збоїв у мікроконтролері RA6T1, пропонує розробникам для підтримки профілактичного обслуговування інтелектуальну, просту у використанні й економну безсенсорну систему керування двигуном. Інфраструктура штучного інтелекту Tensor Flow виявляє потенційно небезпечні аномалії в системах електроприводу раніше і точніше, що допоможе розробникам оптимізувати процедури профілактичного обслуговування і знизити витрати на нього.

## РЕСУРСИ, ДОСТУПНІ ДЛЯ ПРОЄКТУВАННЯ АПАРАТНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ КЕРУВАННЯ ДВИГУНОМ

Для допомоги в освоєнні мікроконтролера RA6T1 і створенні прототипів програм для керування двигуном компанією Renesas розроблено дві повноцінні тестувальні плати розробника з додаванням до них штучного інтелекту e-AI: тестувальна плата розробника для керування двигуном з мікроконтролером RA6T1 під номером замовлення RTK0EMA170C0000BJ [3] і плата інвертора (драйвера двигуна) під номером замовлення RTK0EMX270S00020BJ [4], для використання з безщітковими двигунами постійного струму BLDC (скорочено від brushless DC), що представлена на рисунку 1. Інструменти для розробки програмного забезпечення містять IDE Renesas e<sup>2</sup> studio і Renesas Motor Workbench 2.0.



**Рис. 1. Плата інвертора компанії Renesas RTK0EMX270S00020BJ зі встановленою на ній тестувальною платою розробника для керування двигуном RTK0EMA170C0000BJ**



**Рис. 2.** Алгоритм виявлення несправності двигуна на базі електронного штучного інтелекту e-AI RA6T1

**РЕСУРСИ ДЛЯ ПРОЄКТУВАННЯ АПАРАТНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ КЕРУВАННЯ ДВИГУНОМ**

У цьому розділі для реалізації алгоритму виявлення відмови двигуна за допомогою e-AI використовуються дві раніше згадані плати. Функціональна блок-схема показана на рисунку 2. Безпосередньо сам BLDC-двигун приводиться в дію векторним алгоритмом керування, а для отримання даних про струм на платі інвертора є струмовимірні резистори, вбудовані в схему приводу двигуна.

Для контролю за станом двигуна шляхом вимірювання струму, перетворення його в напругу і для організації кола зворотного зв'язку по кожній фазі двигуна використовуються струмовимірні резистори. З метою подальшого застосування отриманих даних в алгоритмі векторного керування, для визначення положення ротора двигуна, АЦП перетворює напругу зворотного зв'язку на струмовимірних резисторах у цифрову форму. Крім того, струм приводу двигуна, що визначається через струмовимірні

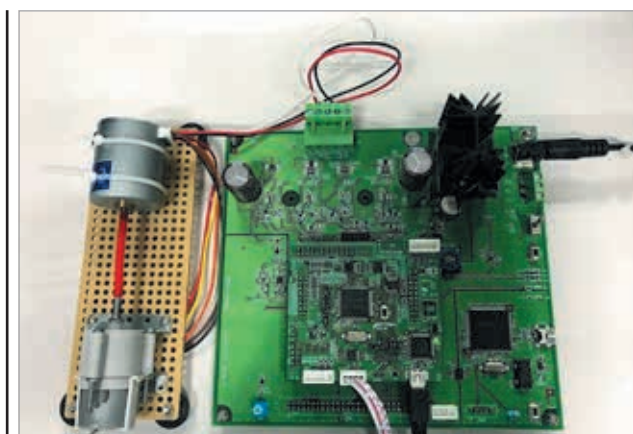
резистори, формує вхідний сигнал АЦП для його подальшого передавання в нейронну мережу e-AI. Під час передавання вихідного сигналу АЦП на попереднє опрацювання нейронною мережею сигнал переводять із часової області в частотну, що досягається за допомогою методів швидкого перетворення Фур'є (ШПФ). Рівень апаратної абстракції стандарту програмного інтерфейсу мікроконтролера Cortex (CMSIS — Cortex Microcontroller Software Interface Standard) компанії Arm надає бібліотеку компонентів DSP, яка містить понад 60 різноманітних функцій, включно з ШПФ. Аналіз частотних даних — більш надійний спосіб для нейронної мережі виявляти зміни в робочому стані двигуна. Для забезпечення візуального доступу до даних під час розроблення та тестування використовується ПК з операційною системою Windows, який підключається до плати мікроконтролера через порт USB.

Прототип експериментальної установки для дослідження проблем прогнозного обслуговування показано на рисунку 3. Двигун BLDC через гнучкий приводний вил з'єднаний із планетарною коробкою передач. Двигун і коробка передач встановлені на композитній монтажній пластині, яку для імітації неспіввісності приводного вала та інших аномальних умов можна злегка відхилити натисканням пальця.

**АЛГОРИТМ ПОПЕРЕДЬОГО ОПРАЦЮВАННЯ ДАНИХ СТРУМУ**

Як для процесу навчання нейронної мережі, так і для отримання певних висновків, використовується один і той самий метод попереднього опрацювання. Для того, щоб визначити різницю між нормальними та аномальними умовами, виявлення несправностей може бути досягнуто тільки шляхом навчання моделі нейронної мережі. Наприклад, в обраному сценарії створення прототипу аномальний стан може вказувати на неспіввісність приводного вала.

На рисунку 4 показано форму вихідного сигналу на одному з трьох струмовимірних резисторів (шунтів).



**Рис. 3.** Плата розроблення Renesas RA6T1, встановлена на інверторній платі з двигуном BLDC, що приводить у дію планетарний редуктор

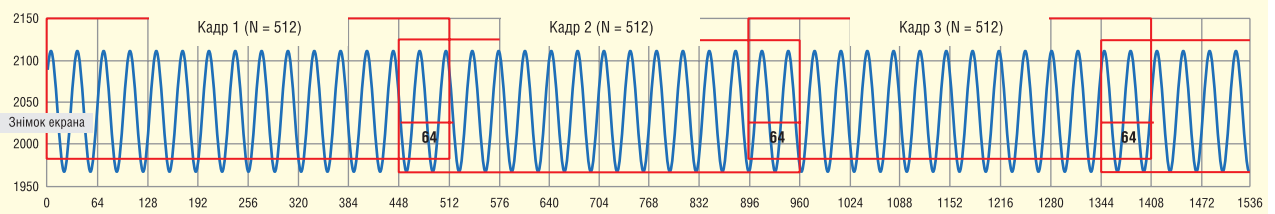


Рис. 4. Вихідна напруга шунта з виділенням перекриття вікна кадру

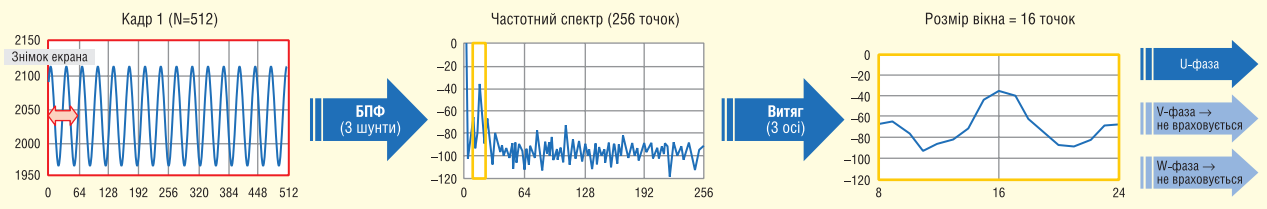


Рис. 5. Потік попереднього опрацювання даних від струмовимірювальних резисторів (шунтів) у вигляді аналогових даних до виділення артефакту піка частоти в спектрі

Аналого-цифрове перетворення здійснюється вибірками по 512 точка, при цьому для того, щоб уникнути втрати даних, останні 64 точки перекриваються.

Після використання ШПФ і переходу з часової в частотну область, вихідний сигнал відображається в діаграмі частотного спектра, як показано на рисунку 5. Аномальні умови позначаються піковими значеннями, які потім виділяють у 32-точкове вікно. Зверніть увагу, що для навчання моделі ШІ тут застосовуються тільки дані однієї фази двигуна.

### АЛГОРИТМ ПРОЦЕСУ РОЗРОБЛЕННЯ МОДЕЛІ ШІ

Крім середовища розробки Renesas e<sup>2</sup> studio, набору інструментів GCC і операційного середовища ПК з Windows 10, для перенесення навченої моделі у вбудоване середовище використовується програмне забезпечення

платформи Tensor Flow Lite для мікроконтролерів. Компанія Renesas також надає повний демонстраційний пакет інструментів, зокрема й необхідних для збору даних і навчання. Початкова модель ШІ поставляється з демонстраційним проєктом, готовим до навчання. Для цієї мети компанія Renesas створила вихідну модель ШІ, що поставляється з використанням Tensor Flow, і навчила її за допомогою різних наборів даних. Потім модель ШІ було перетворено у формат Tensor Flow Lite для мікроконтролерів.

На рисунку 6 у вигляді блок-схеми алгоритму розробки моделі ШІ показано основні етапи від збору даних до тестування логічних висновків. Алгоритм передбачає використання доданого інструменту збору даних Windows для запуску двигуна. Дані збираються з візуальним відображенням струму, виміряного через падіння напруги на струмовимірювальних резисторах, і отримання його частотного спектра так, як це показано на рисунку 7.

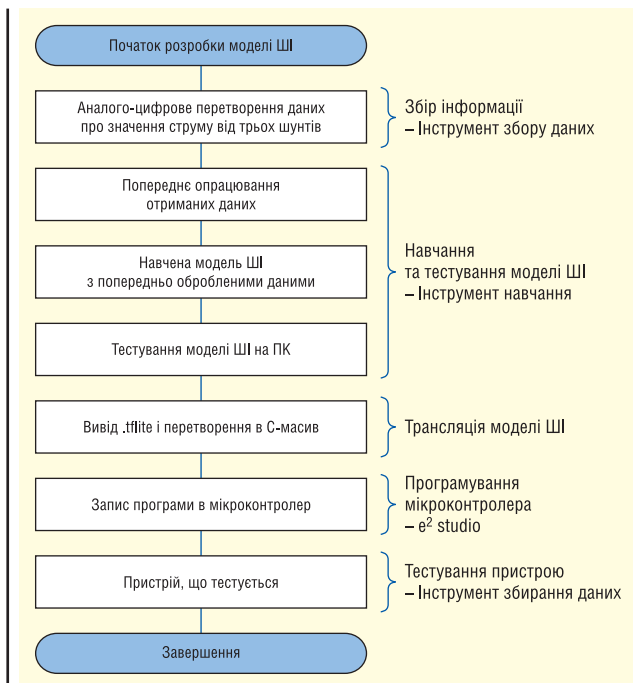


Рис. 7. Блок-схема алгоритму розроблення моделі ШІ

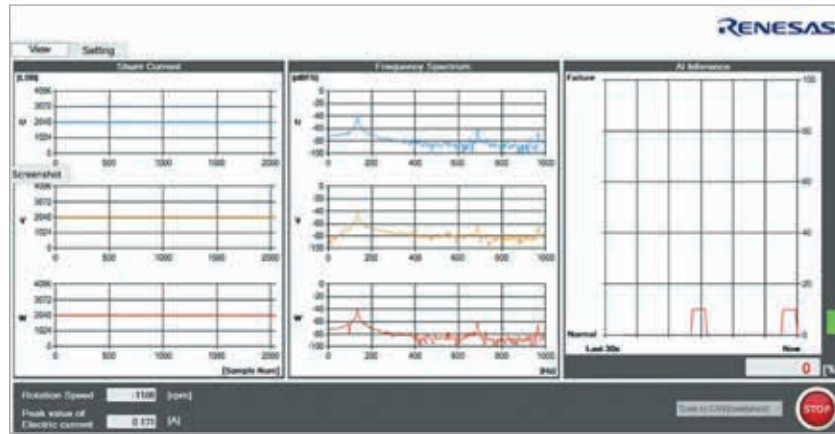
### ЗБИРАННЯ ІНФОРМАЦІЇ

Процес збирання даних має проводитися з двигуном, що працює з різними швидкостями обертання вала, в нормальних умовах (відсутність прогину карданного вала) і аномальних умовах (слабке натискання на монтажну пластину). На знімку екрана збирання даних, крім усього іншого, показано результат логічного виводу, проведений мікроконтролером RA6T1. Файли даних, зібрані за допомогою інструменту збору, використовуються для наступного етапу процесу — навчання моделі. Можна налаштувати кілька параметрів збору даних — наприклад, частоту дискретизації, розмір кадру і вікно перекриття. Ступінь виявленої аномалії залежить від кількох чинників, як-от різні швидкості вала та умови навантаження, прикладені до двигуна. При цьому для навчання і тестування моделі призначені окремі файли даних.

### НАВЧАННЯ МОДЕЛІ

Після збору даних їх обробляють за допомогою навчального інструменту Renesas e-AI на ПК. Демонстраційні дані проєкту містять набори нормальних і аномальних даних





**Рис. 7.** Знімок екрана інструмента, що використовується для збору та відображення даних

для швидкостей двигуна 850, 900, 950 і 1 000 об/хв. Під час тестування точність моделі становила 96% під час роботи двигуна в діапазоні 850–950 об/хв.

Інструмент навчання e-AI виводить модель у вигляді файлу \*.flite, який підтримується платформою Tensor Flow Lite Micro для програм TinyML компанії Google для мікроконтролерів. ПЗ Tensor Flow Lite, призначене для мікроконтролерів, було спеціально створено для підтримки роботи моделей нейронних мереж на 32-розрядних мікроконтролерах Arm Cortex з обмеженими ресурсами. Інструмент навчання e-AI включає конвертер, який бере модель алгоритму машинного навчання і перетворює її на масив C. За такого підходу перетворена модель може бути включена у вбудоване програмне забезпечення мікроконтролерів з використанням стандартного інструментального ланцюжка MCU IDE.

## ТЕСТУВАННЯ МОДЕЛІ ПРОГНОЗНОГО ПРОФІЛАКТИЧНОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ

Зростання рівня автоматизації в будинках, будівлях і на промислових підприємствах призводить до ширшого використання електродвигунів. Розробники, які вже використовують електродвигуни, стикаються з необхідністю оптимізації їх застосування. Для інженерів, які вперше додають їх у свої проекти, розуміння того, як це зробити швидко та ефективно, стає проблемою.

Компанія Renesas пропонує комбінацію з оптимізованого мікроконтролера, вже готового до використання програмного забезпечення для керування двигуном, і ланцюжка інструментів, що

спирається як на пропозиції з відкритим вихідним кодом, так і на спеціальні рішення, які використовують переваги відкритої екосистеми розробки Arm (огляд партнерської екосистеми Renesas RA доступний за посиланням [5]). Програмний інструмент Motor Workbench 2.0 компанії Renesas доповнює цю пропозицію, надаючи користувачам можливість скористатися перевагами передових методів керування, розроблених компанією. Загальна комбінація функцій допоможе користувачам підвищити ефективність налагодження та скоротити цикл розроблення, оскільки вони зможуть реалізувати свої виробництва з електродвигунами на основі новітніх розробок, що базуються на базі мікроконтролерів RA6T1 компанії Renesas.

## ВИСНОВОК

Прогнозне профілактичне обслуговування — це найефективніший і найдієвіший спосіб управління великим виробничим об'єктом або виробничим майданчиком, що ґрунтується на різних виробничих активах. Отримання логічного висновку безпосередньо на периферії, що базується на мікроконтролерах із широко відомою архітектурою, наприклад для керування двигуном, дає змогу значно заощадити на розгортанні кінцевої системи. Крім того, виконання логічного висновку безпосередньо на периферії усуває необхідність у постійних і дорогих проблемах із пропускнуною спроможністю мережі та часовими затримками.

Сімейство мікроконтролерів RA6T1 компанії Renesas оптимізовано для застосувань керування двигунами. Периферійні функції для застосувань керування двигуном включають таймери з ШІМ з високою роздільною здатністю,

високошвидкісні аналогові компаратори та 12-розрядний аналого-цифровий перетворювач. Доступний у різних корпусах LQFP, RA6T1 містить ядро Arm Cortex-M4 з тактовою частотою 120 МГц, флеш-пам'ять об'ємом до 512 кбайт і ОЗП 64 кбайт. Типові сфери застосування RA6T1 — це приводи промислової автоматизації для електродвигунів змінного струму, компресорів, вентиляторів, а також устаткування для опалення, вентиляції та кондиціонування повітря. Ресурси підтримки розробки включають Renesas e<sup>2</sup> studio IDE, Renesas Flexible Software Package (FSP) [6], що містить алгоритми керування двигуном, а також Renesas Motor Workbench. Ресурси для проектування апаратного забезпечення містять тестувальну плату розробника для RA6T1 і платформу розробки керування двигуном. Інформація щодо сімейства мікроконтролерів RA, виконаних на базі Arm Cortex-M, доступна за посиланням [7].

## Література:

1. Predictive Maintenance Solution for Motor Control. Renesas Electronics Corporation Renesas, White Paper, November 2020. [www.renesas.com/us/en/document/whp/predictive-maintenance-solution-motor-control](http://www.renesas.com/us/en/document/whp/predictive-maintenance-solution-motor-control)
2. RA6T1 120MHz Arm Cortex-M4, ASSP of RA6 for Motor Control. [www.renesas.com/us/en/products/microcontrollers-microprocessors/ra-cortex-m-mcus/ra6t1-120mhz-arm-cortex-m4-ssp-ra6-motor-control](http://www.renesas.com/us/en/products/microcontrollers-microprocessors/ra-cortex-m-mcus/ra6t1-120mhz-arm-cortex-m4-ssp-ra6-motor-control)
3. RTK0EMA170S00020BJ Motor Control Evaluation System for RA Family — RA6T1 Group. [www.renesas.com/us/en/products/microcontrollers-microprocessors/ra-cortex-m-mcus/rtk0ema170s00020bj-motor-control-evaluation-system-ra-family-ra6t1-group](http://www.renesas.com/us/en/products/microcontrollers-microprocessors/ra-cortex-m-mcus/rtk0ema170s00020bj-motor-control-evaluation-system-ra-family-ra6t1-group)
4. RTK0EMX270S00020BJ Evaluation System for BLDC Motor. [www.renesas.com/us/en/products/microcontrollers-microprocessors/rx-32-bit-performance-efficiency-mcus/rtk0emx270s00020bj-evaluation-system-bldc-motor](http://www.renesas.com/us/en/products/microcontrollers-microprocessors/rx-32-bit-performance-efficiency-mcus/rtk0emx270s00020bj-evaluation-system-bldc-motor)
5. Renesas RA Partner Ecosystem Overview. [www.renesas.com/us/en/products/microcontrollers-microprocessors/ra-cortex-m-mcus/ra-partners](http://www.renesas.com/us/en/products/microcontrollers-microprocessors/ra-cortex-m-mcus/ra-partners)
6. Flexible Software Package (FSP). [www.renesas.com/us/en/software-tool/flexible-software-package-fsp](http://www.renesas.com/us/en/software-tool/flexible-software-package-fsp)
7. RA Family of Arm Cortex-M based MCUs. [www.renesas.com/us/en/products/microcontrollers-microprocessors/ra-cortex-m-mcus](http://www.renesas.com/us/en/products/microcontrollers-microprocessors/ra-cortex-m-mcus)

# Високоєфективні трифазні джерела живлення потужністю 30 кВт

**MW**  
MEAN WELL

**SHP-30K-HV**



- Трифазний вхід з широким діапазоном живлення 340...530 В AC
- Номінали вихідних напруг: 55, 115, 230, 380 В DC
- Високий ККД до 97%
- Програмування вихідного струму (1-100%) та напруги (50-120%)
- CANBus протокол обміну даними (опціонально - PMBus/MODBus)
- Паралельне підключення до 12 модулів – система потужністю до 285 кВт!
- Захист від перенапруги, перевантаження, короткого замикання
- Розміри 540 × 424 × 83.5 мм
- Вбудований DC-ОК, сигналізація перегріву, несправності вентилятора і втрати живлення на вході
- 5 років 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



# Мульткіловатні керовані джерела живлення MEAN WELL: унікальні рішення для сучасних промислових установок

Серія DPU-3200 має дві моделі потужністю 3200 Вт із номінальними вихідними напругами 24 і 48 В. Структуру найменування джерел живлення цієї серії наведено на рисунку 8.

Опціонально джерела живлення серії DPU-3200 можуть випускатися з можливістю комунікації за допомогою цифрових каналів зв'язку. У цьому разі наприкінці назви після цифр, що позначають номінальну вихідну напругу (24 або 48 В), додають суфікс — дві або три літери, що позначають протокол комунікації, який використовують (синій прямокутник на рис. 8). Допускається використання одного з двох стандартних протоколів комунікації:

- PMBus позначається літерами PM;
- CANBus позначається літерами CAN.

Опис цих протоколів виходить за рамки цієї статті. Можна лише зазначити, що наявність цієї опції дає змогу об'єднувати кілька джерел живлення в мережу з присвоєнням кожному з них унікальної адреси, що дає змогу в індивідуальному порядку отримувати від них інформацію про поточний стан або керувати їхніми робочими характеристиками.

Зовнішній вигляд джерел живлення серії DPU-3200 наведено на рисунку 9. Прилад виконано в металевому корпусі розмірами 325.8 × 107 × 41 мм. Для джерела живлення такої потужності корпус досить компактний. Густина потужності при даних розмірах виходить рівною 37 Вт на 1 дюйм<sup>3</sup>. За такої густини потужності потрібне інтенсивне охолодження, яке забезпечують вбудовані вентилятори, встановлені на задній поверхні корпусу. На передній поверхні (рис. 10) розміщено: клемна колодка для під'єднання шини живлення (контакти AC/N і AC/L) і «землі» (FG), вихідні шини (–V і +V), інтерфейсні роз'єми (CN1 і CN500), перемикач (SW1), потенціометр (SVR) та індикаторний світлодіод (LED).

Джерела живлення серії DPU-3200 характеризуються відносно низькими вихідними напругами, але при цьому великим значенням максимальної вихідної потужності. Це означає, що вихідні струми можуть досягати досить істотних величин. Простий розрахунок показує, що за вихідної напруги 24 В і потужності 3200 Вт вихідний струм перевищить 133 А. Якщо при цьому навантаження буде розташовуватися на значній відстані від джерела живлення, то завдяки резистивним втратам на підвідних проводах напруга в кінцевій точці буде меншою за задану. Причому якщо в процесі роботи буде змінюватися вихідний струм, то пропорційно буде змінюватися і напруга на навантаженні, хоча вихідна напруга джерела живлення, як і раніше, збереже первісне значення. У зв'язку з цим у джерелах живлення серії DPU-3200 передбачено можливість динамічної компенсації втрат на проводах навантаження. Для цього організовується коло зворотного зв'язку за напругою за допомогою витої пари дротів (рис. 11) так, щоб позитивний по-

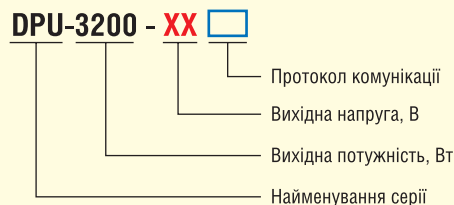


Рис. 8. Структура найменування джерел живлення серії DPU-3200

люс напруги навантаження подавали на вивід +S роз'єму CN1 (контакт 15), а негативний — на вивід –S (контакт 1).

Вбудований компаратор порівнює напругу на контактах +S і –S із заданою і за потреби коригує вихідну напругу джерела живлення. Якщо в компенсації втрат на проводах навантаження немає потреби, то в цьому разі необхідно з'єднати виводи +S і –S відповідно з контактами 13 (+V signal) і 14 (–V signal) роз'єму CN1.

Вихідну напругу у джерел живлення серії DPU-3200 можна регулювати вручну за допомогою потенціометра SVR і дистанційно, за допомогою дротового інтерфейсу. На рисун-



Рис. 9. Зовнішній вигляд джерел живлення серії DPU-3200

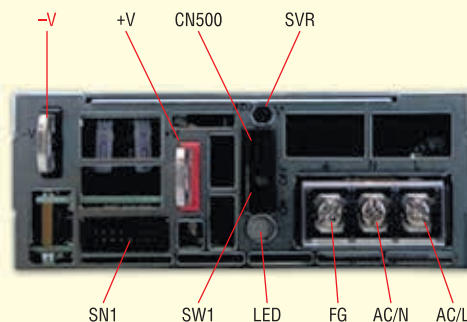
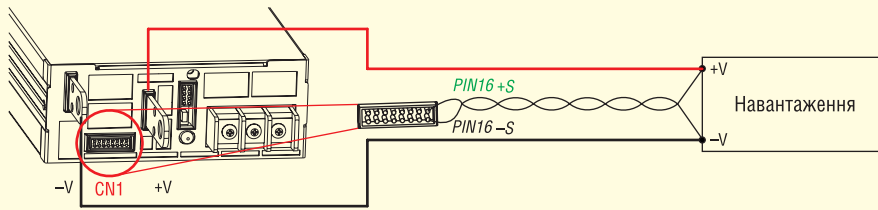


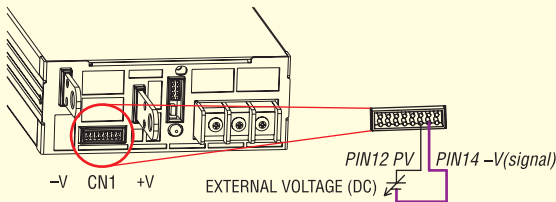
Рис. 10. Передня панель джерела живлення серії DPU-3200

\* Продовження. Початок див. CHIP NEWS, № 4, 2024

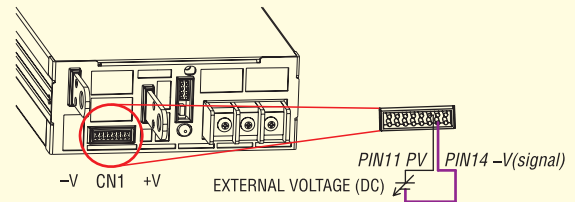




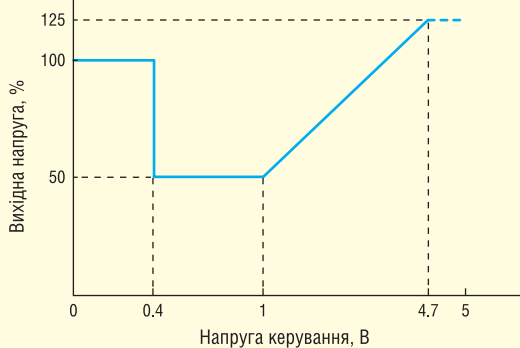
**Рис. 11.** Схема компенсації втрат на проводах навантаження джерел живлення серії DPU-3200



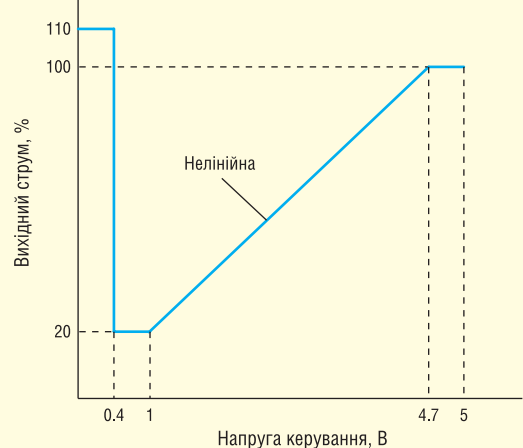
**Рис. 12.** Схема під'єднання зовнішнього інтерфейсу керування вихідною напругою для джерел живлення серії DPU-3200



**Рис. 14.** Під'єднання зовнішнього інтерфейсу керування в режимі стабілізації вихідного струму для джерел живлення серії DPU-3200



**Рис. 13.** Залежність вихідної напруги джерела живлення серії DPU-3200 від напруги керування



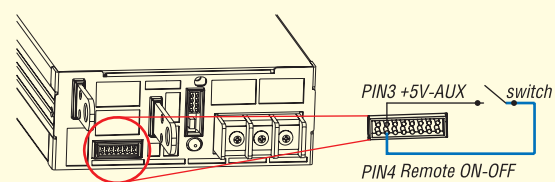
**Рис. 15.** Залежність вихідного струму від напруги керування у джерел живлення серії DPU-3200 у режимі стабілізації вихідного струму

ку 12 зображено схему підключення зовнішнього інтерфейсу для дистанційного керування вихідною напругою.

Керування вихідною напругою здійснюється поданням постійної напруги від зовнішнього джерела (EXTERNAL VOLTAGE на рис. 12) на виводи PV (контакт 12) і V(signal) — контакт 14 роз'єму CN1. Напруга керування має перебувати в межах 0–5 В, що дає змогу регулювати вихідну напругу в діапазоні 50–125% від номіналу. Залежність вихідної напруги від напруги керування представлена на рисунку 13.

Як видно з графіка, залежність вихідної напруги від напруги керування має досить складний характер. У діапазоні 0–0.4 В вихідна напруга встановлюється на рівні 100% від номіналу, далі в діапазоні 0.4–1 В — 50% від номіналу, після 1 В і аж до 4.7 В спостерігається практично лінійна залежність вихідної напруги від напруги керування в діапазоні 50–125%, а далі, коли напруги керування перевищує 4.7 В, уже не змінюється і залишається на рівні 125%.

Джерела живлення серії DPU-3200 також можуть працювати і в режимі стабілізації вихідного струму, чие регулювання здійснюють за зовнішнім дровитим інтерфейсом за допомогою напруги від стороннього джерела, як показано на рисунку 14. Джерело напруги керування під'єднують до виводів PC (контакт 11) і V (signal) (контакт 14). Як впливає з графіка, зображеного на рисунку 15, зміна напруги керування з 1 до 4.7 В спричиняє пропорційну зміну вихідного струму джерела



**Рис. 16.** Схема дистанційного вмикання/вимикання джерел живлення серії DPU-3200

живлення в діапазоні 20–100%. Коли напруги керування нижча за 0.4 В, на виході джерела живлення встановлюється значення струму на рівні 110%. В інтервалі 0.4–1 В вихідний струм фіксується на рівні 20%, а коли напруги керування перевищує 4.7 В, вихідний струм джерела живлення встановлюється на рівні 100%.

Увімкнення і вимкнення джерел живлення серії DPU-3200 можна здійснювати дистанційно. На рисунку 16 показано схему дистанційного увімкнення/вимкнення. Суть схематичного рішення полягає в комутації між контактами 3 і 4 роз'єму CN1. Контакт 3, позначений як +5V-AUX, є виходом будо-

ваного допоміжного джерела живлення напругою 4.5–5.5 В. Для увімкнення джерела живлення необхідно подати цю напругу на контакт 4 (Remote ON-OFF), тобто замкнути контакти перемикача switch. Відповідно, для вимкнення потрібно виконати зворотню дію — роз'єднати контакти перемикача. У реальній схемі, де роль перемикача може відігравати біполярний або польовий транзистор, необхідно врахувати, що у вимкненому стані напруга на контакті 4 не має перевищувати 0.5 В.

Джерела живлення серії DPU-3200 можуть передавати деяку інформацію про свій стан через дротовий інтерфейс або за допомогою світлодіодного індикатора. Схему під'єднання дротового інтерфейсу для дистанційного моніторингу поточного статусу джерела живлення наведено на рисунку 17.

Для передавання інформації стану використовуються три контакти роз'єму CN1:

- контакт 5 (DC-OK) призначений для індикації статусу вихідної напруги джерела живлення;
- контакт 6 (T-ALARM) призначений для передавання сигналу тривоги в разі виникнення проблем у системі охолодження;
- загальний контакт 2 («земля») позначений як GND-AUX.

У таблиці 4 наведено значення сигналів на виводах DC-OK, T-ALARM і відповідні їм стани джерела живлення.

Сигнали, що подаються індикаторним світлодіодом, і відповідні їм стани джерел живлення наведено в таблиці 5.

Джерела живлення серії DPU-3200 можна об'єднувати паралельно для збільшення вихідної потужності. Об'єднувати можна до п'яти приладів виключно однієї й тієї самої моделі, водночас мають бути дотримані такі умови:

- Вихідні шини (+V і -V) об'єднуються в паралель, водночас дроти мають

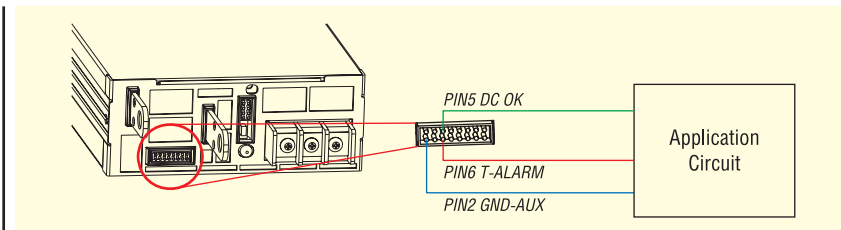


Рис. 17. Схема дистанційного моніторингу статусу джерела живлення серії DPU-3200

бути якомога коротшими та мати досить великий перетин, щоб уникнути серйозних резистивних втрат.

- Виводи +S і -S роз'єму CN1 (відповідно, контакти 15 і 16) також мають бути об'єднані в паралель і під'єднані

ні до спільного навантаження з дотриманням полярності за допомогою витой пари.

- Вихідні напруги кожного джерела живлення в об'єднаній групі мають бути задані з точністю не гірше

| Таблиця 4. Статусні сигнали, що передаються джерелами живлення серії DPU-3200 |                       |  |
|---|-----------------------|--|
| Контакт   | Значення сигналу, В   | Стан джерела живлення  |
| DC-OK   | Високе, 4.5–5.5       | Вихідна напруга не більше $80 \pm 5\%$ від заданої   |
|   | Низьке, $-0.1...+0.5$ | Вихідна напруга не менше $80 \pm 5\%$ від заданої  |
| T-ALARM   | Високе, 4.5–5.5       | Внутрішня температура перевищила допустиму межу або виявлено несправність вентиляторів охолодження |
|   | Низьке, $-0.1...+0.5$ | Внутрішня температура в допустимих межах і вентилятори охолодження працюють нормально              |

| Таблиця 5. Статусні сигнали, що передаються індикаторним світлодіодом джерела живлення серії DPU-3200 |            |   |
|---|------------|---|
| Сигнал  | Індикація  | Стан джерела живлення   |
| Зелений постійний   | ██████████ | Джерело живлення функціонує нормально   |
| Червоний постійний  | ██████████ | Аварійний стан, спрацював захист (від перевантаження, перенапруги, перегрівання тощо) або несправність вентилятора охолодження  |
| Червоний миготливий   | ██████████ | Внутрішня температура сягнула $+60^\circ\text{C}$ , але джерело живлення перебуває в робочому стані, захист від перегрівання не задіяно. Якщо підключено інтерфейс PMBus, цим каналом буде надіслано сигнал тривоги |

| Таблиця 6. Положення перемикачів SW1 при паралельному об'єднанні джерел живлення серії DPU-3200 |               |               |               |               |               |
|---|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| Кількість приладів  | SW1 приладу 1 | SW1 приладу 2 | SW1 приладу 3 | SW1 приладу 4 | SW1 приладу 5 |
| 1   | ON            | –             | –             | –             | –             |
| 2   | ON            | ON            | –             | –             | –             |
| 3   | ON            | OFF           | ON            | –             | –             |
| 4   | ON            | OFF           | OFF           | ON            | –             |
| 5   | ON            | OFF           | OFF           | OFF           | ON            |

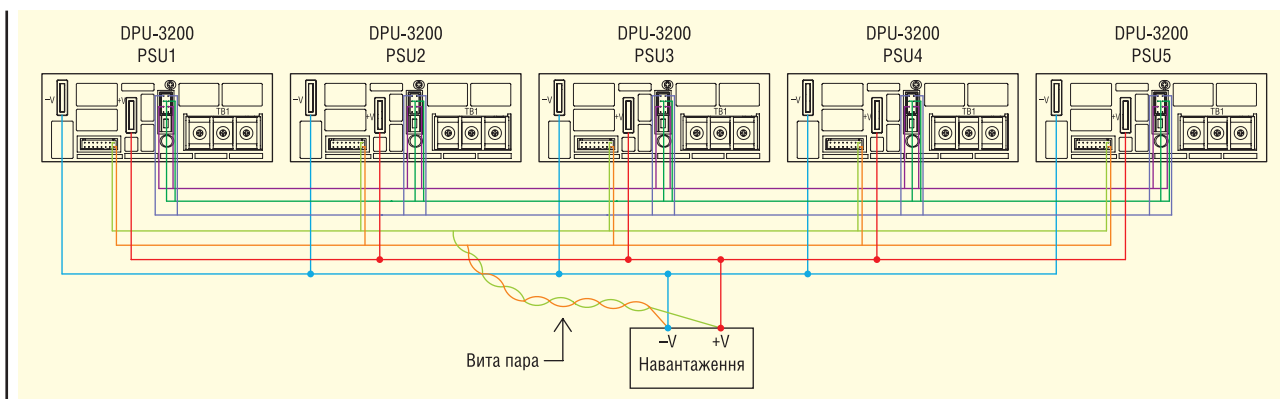


Рис. 18. Схема паралельного об'єднання п'яти джерел живлення серії DPU-3200

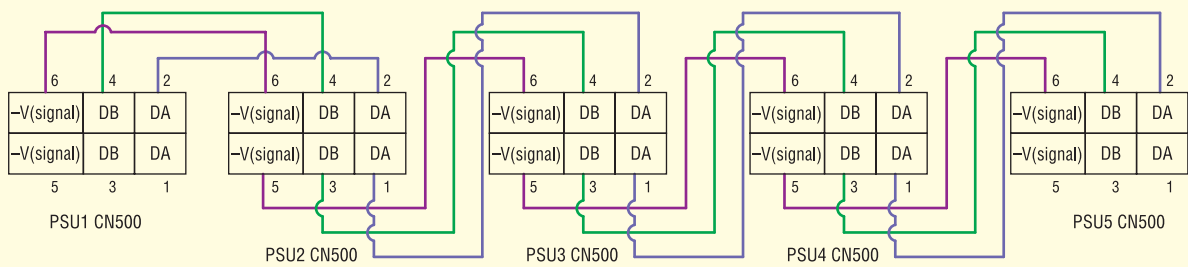


Рис. 19. Схема з'єднання контактів роз'ємів CN500 при паралельному об'єднанні п'яти джерел живлення серії DPU-3200

| Таблиця 7. Технічні характеристики джерел живлення серії DPU-3200                  |             |             |
|--|-------------|-------------|
| Найменування   | DPU-3200-24 | DPU-3200-48 |
| Номінальна вихідна напруга, В  | 24          | 48          |
| Номінальний вихідний струм, А  | 133         | 67          |
| Номінальна вихідна потужність, Вт  | 3192        | 3216        |
| Максимальний розмах пульсацій вихідної напруги, мВ                                 | 300         | 480         |
| Діапазон регулювання вихідної напруги, В   | 23.5–30     | 47.5–58.8   |
| Загальна нестабільність вихідної напруги, %  | ±1          |             |
| Нестабільність вихідної напруги мережі, %  | ±0.5        |             |
| Нестабільність вихідної напруги за навантаженням, %                                | ±0.5        |             |
| Типовий час утримання при навантаженні 75%, мс                                     | 16          |             |
| Типовий час утримання при повному навантаженні, мс                                 | 9           |             |
| Діапазон вхідних напруг змінного струму, В   | 90–264      |             |
| Діапазон вхідних напруг постійного струму, В                                       | 127–370     |             |
| Частота змінного струму, Гц  | 47–63       |             |
| Типовий коефіцієнт потужності при повному навантаженні                             | 0.97        |             |
| Типовий коефіцієнт корисної дії, %   | 93.5        | 94.5        |
| Типовий викид вхідного струму на холодному старті, А                               | 55          |             |
| Струм витікання, не більше, мА   | 2           |             |
| Діапазон робочих температур, °С  | –30...+70   |             |
| Діапазон температур зберігання, °С   | –40...+85   |             |
| Напруга ізоляції «вхід-вихід», В   | 3000        |             |
| Опір ізоляції «вхід-вихід», МОм  | 100         |             |
| Середній час напрацювання на відмову за стандартом Telcordia SR-332, не менше, год | 168 000     |             |
| Середній час напрацювання на відмову за стандартом MIL-HDBK-217F, не менше, год    | 44 900      |             |

0.2 В — це максимальна різниця вихідних напруг між будь-якими двома джерелами живлення в групі. Регулювання вихідних напруг здійснюється за допомогою потенціометра SVR (рис. 10).

- Максимальний вихідний струм навантаження не повинен перевищувати значення, розрахованого за формулою (2), де  $I_{out}$  — вихідний струм джерела живлення (у режимі паралельного об'єднання вихідні струми окремих приладів дорівнюватимуть між собою), а  $N$  — кількість джерел живлення в групі.

$$I_{max} = 0.9 \times I_{out} \times N. \quad (2)$$

Відповідно до останньої умови, максимум потужності, яку можна отримати під час паралельного об'єднання, дорівнює кількості джерел живлення, помноженій на максимальну потужність одного приладу (3200 Вт) і на коефіцієнт 0.9. Крім викладених вище умов, під час па-

ралельного об'єднання джерел живлення серії DPU-3200 також необхідно певним чином з'єднати контакти роз'ємів CN500 і встановити в потрібне положення перемикач SW1. Загальну схему паралельного під'єднання п'яти джерел живлення наведено на рисунку 18. На рисунку 19 показано схему з'єднання контактів роз'ємів CN500 окремих джерел живлення в групі з п'яти приладів, а в таблиці 6 наведено стани перемикачів SW1 (ON — увімкнено або OFF — вимкнено) окремих джерел живлення за різних кількостей приладів у групі. У цій таблиці формально наведено положення перемикача SW1 у групі з одного приладу, це лише означає, що для одного джерела живлення треба встановлювати перемикач SW1 у положення ON.

Основні технічні характеристики джерел живлення серії DPU-3200 подано в таблиці 7.

Далі буде

## СЕРТИФІКОВАНІ АС/DC-АДАПТЕРИ 12–90 ВТ

Адаптери серій GE, GEM, GS, GSM, SGA, SGAS виробництва компанії **MEAN WELL** добре зарекомендували себе на ринку електроніки завдяки своїй високій якості та довгому терміну служби. З моменту старту їх виробництва, загальний обсяг продажів перевищив мільйони одиниць. Вони широко використовуються в галузях безпеки, зв'язку, медицині тощо.

Для задоволення потреб на легшу і портативнішу конструкцію та багатофункціональніше застосування однієї моделі, компанія MEAN WELL запустила виробництво нового покоління АС/DC-адаптерів зі змінною вилкою — серії NGE. На сьогодні вся лінійка охоплює моделі потужністю від 12 до 90 Вт.

У порівнянні з серіями SGA, SGAS, GSM, GE, GEM, які вже багато років на ринку, нові серії NGE мають багато відмінностей. Основна відмінність полягає в їх одночасній відповідності різним стандартам безпеки, таким як 62368-1, 60601-1, 61558-1, 60335-1, а також CCC, BSMI, PSE. Завдяки тонкому корпусу (30 мм) ці адаптери не перекривають сусідні розетки, а широкий діапазон робочих температур від –30 до +70 °С робить їх придатним для використання в різних країнах, а також для встановлення в обмеженому просторі. Дизайн цих адаптерів відповідає 2хМОРР, що дозволяє застосовувати їх у виробках, що контактують із тілом людини.

Цей продукт є високоякісним, довговічним, портативним і повністю сертифікованим, що робить його чудовим вибором для побутової електроніки, пристроїв для подорожей або будь-яких електронних продуктів, які вимагають міжнародної сумісності зі змінними штекерами.

[www.meanwell.com](http://www.meanwell.com)



# «Хакінг» АС/DC-конвертера

Стів Робертс (Steve Roberts)

**«Злом», або «хакінг» (hack), – прогресивне рішення, що використовує щось для певної мети, для якої це «щось» від початку не було призначене. Зазвичай хакінг роблять заради розваги, але він може слугувати і для більш серйозних речей, даючи змогу знайти неординарне рішення, недосяжне за звичайного підходу.**

**У першій статті блоку статей про «хакінг» конвертера було описано «хакінг» DC/DC-конвертера [1]. А у цій частині опишемо, як можна «зламати» звичайний АС/DC-конвертер.**

У статті розглянуто п'ять оригінальних прикладів використання встановлених на плату АС/DC-конвертерів, що дає змогу їх використовувати в різних застосуваннях.

Як приклад візьмемо сучасну зарядну станцію для електромобілів, де необхідно забезпечити живлення допоміжного джерела від одно- або трифазної мережі, а також від низьковольтної та високовольтних шин постійної напруги. До того ж джерело має забезпечити вихідну біполярну напругу  $\pm 10$  В для живлення відкаліброваних датчиків і підсилювачів струму та напруги (рис. 1).

Після багатогодинних пошуків ви не знаходите серійного джерела живлення з необхідними характеристиками в

жодного із виробників. І що ж робити? Треба «хакнути» АС/DC-конвертер!

## СПОСІБ 1: ВИКОРИСТОВУВАТИ ЗНИЖУВАЛЬНІ ДІОДИ

Зазвичай малопотужні АС/DC-конвертери не забезпечені функцією підстроювання вихідної напруги. Причини досить проста. На відміну від ізолюваного DC/DC-конвертера, наприклад  $24 \rightarrow 5$  В з коефіцієнтом трансформатора 5:1, відповідний АС/DC-конвертер із вхідною напругою 230 В АС RMS з 5 В на виході вимагає трансформатора 65:1. Це пов'язано з тим, що впрявлена вхідна напруга значно вища

за вхідну. Коло зворотного зв'язку АС/DC-конвертера оптимізовано для компенсації широкого діапазону вхідної напруги (зазвичай 85–264 В АС) і фіксованої вихідної напруги. Якщо зробити змінною і вихідну напругу, то поєднання несприятливого відношення вхід/вихід і високого коефіцієнта трансформації може призвести до нестабільної роботи перетворювача.

Очевидно, що можна використати звичайний лінійний стабілізатор на кожній вихідній лінії  $\pm 12$  В і отримати стабілізований вихід  $\pm 10$  В, але чи є менш дороге і більш елегантне рішення?

Напівпровідникові діоди мають пряме падіння напруги в межах 0.6–0.7 В. Відповідно, на трьох послідовних діодах падіння становитиме близько 2.1 В (рис. 2).

Необхідно взяти до уваги нагрівання діодів, оскільки за струму 500 мА розсіювана потужність становить 350 мВт, тому потрібен вибір відповідних діодів.

Аналогічне рішення можна застосувати і з однополярним АС/DC-конвертером. Зниження напруги з 15 до 13.6–13.8 В для безперервного заряджання 12-В акумулятора можна реалізувати двома послідовними діодами в колі +Vout (рис. 3). Такі зарядні пристрої знаходять застосування в системах сиг-

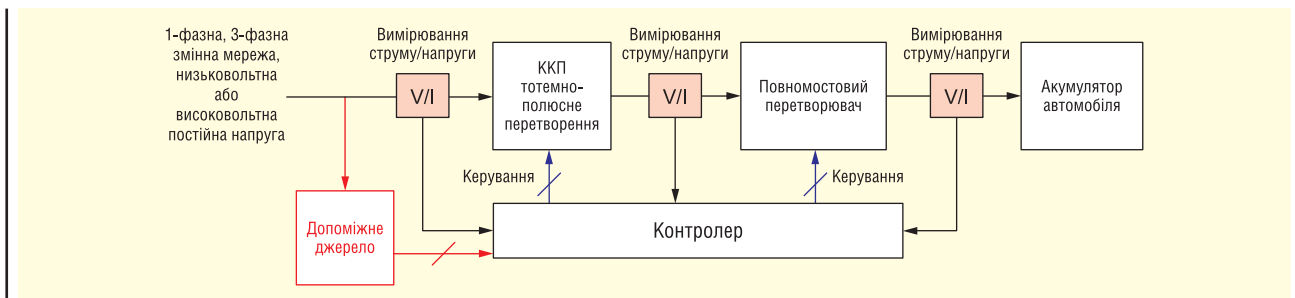


Рис. 1. Зарядна станція з універсальним живленням від АС-мережі або DC-шин

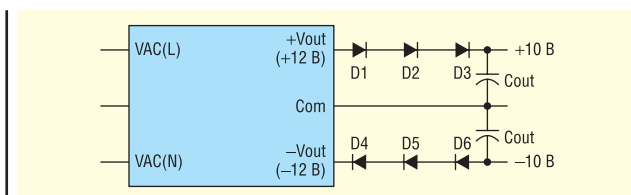


Рис. 2. Знижувальні діоди

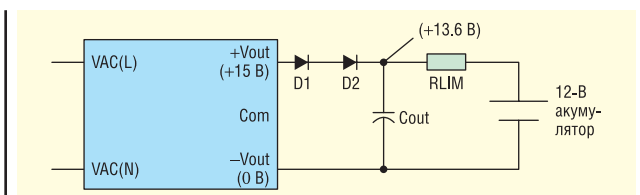


Рис. 3. Зарядний пристрій зі знижувальними діодами

налізації та безпеки, оскільки необхідно забезпечити роботу і за відсутності напруги в мережі.

Використання знижувальних діодів вважається простим, але не дуже ефективним способом через втрати на розсіювання потужності. Встановлення імпульсних регуляторів на виході не тільки видається більш ефективним методом, а й дає змогу здійснювати підстроювану напругу.

**СПОСІБ 2: РЕГУЛЮВАННЯ ПОЗИТИВНОЇ ТА НЕГАТИВНОЇ ШИН НАПРУГИ**

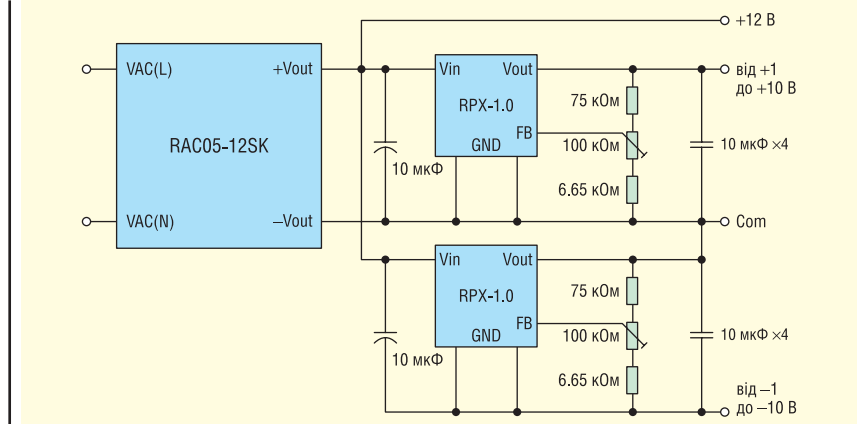
Лінійні стабілізатори негативної напруги вимагають наявності двополярної шини живлення і досить дорогі. А чи є можливість зробити двополярну шину тільки від однополярного виходу АС/DC-конвертера? Продемонструємо такий спосіб.

Неізолювані імпульсні регулятори мають той самий функціонал, що і звичайні лінійні, а також випускаються моделі, сумісні з ними за виводами, — наприклад, серія R-78 RECOM. Проте їхня внутрішня конструкція значно відрізняється. Якщо вихід імпульсного регулятора під'єднано на «землю», то на виводі GND встановлюється негативна напруга. У результаті ми отримуємо необхідний перетворювач (рис. 4).

На рисунку 4 показано джерело живлення з кількома виходами: +12 В, і два підстроюваних +1...+10 В і -1...-10 В, з використанням трьох основних недорогих компонентів. RAC05-12SK є універсальним джерелом живлення (вхід 85–264 В АС) потужністю 5 Вт для встановлення на плату з розміром основи всього 1×1", яке не потребує об'язки.

Два неізолюваних модулі RPX-1.0 використовуються для генерації шин живлення, що настроюються, — позитивної та негативної. RPX-1.0 є повноцінним DC/DC-модулем із вбудованою індуктивністю. Незважаючи на великий вихідний струм 1 А, розміри основи становлять лише 5×3 мм, а висота корпусу 1.6 мм. Таким чином, все джерело живлення може бути реалізоване на платі розміром 1×1", зі встановленими SMD-компонентами на нижньому боці поруч із виводами АС/DC-конвертера (рис. 5).

Додаткова перевага використання регуляторів у вторинному колі — стабільність напруг навіть за сильно асиметричного навантаження. Двополярний вихід АС/DC-конвертера не може забезпечити стабільність напруги,

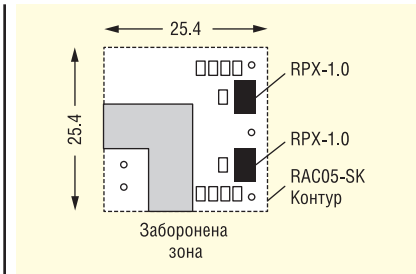


**Рис. 4. Підстроювані біполярні (±) шини живлення від однополярного АС/DC-конвертера**

оскільки має тільки один зворотний зв'язок внутрішнього кола регулювання. Є два варіанти:

- або стабілізується розмах між позитивною і негативною напругою, а нульовий вивід залишається не задіяним (рис. 6);
- або стабілізується одна з напруг позитивної або негативної шин, а інша залишається «плаваючою», у разі такого підходу та наявності асиметрії за навантаженням — наприклад, 100%-ної за позитивною і 10%-ної за негативною — вихідна напруга також буде розбалансована (табл. 1).

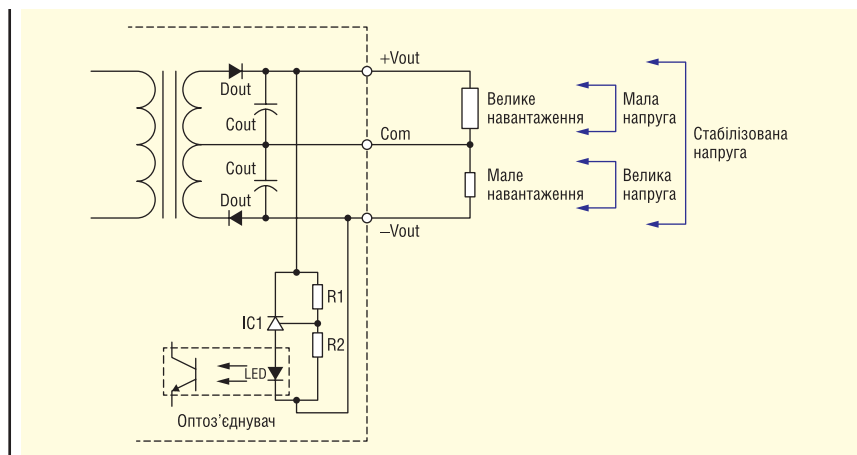
Ці методи стабілізації забезпечують прийнятну напругу за збалансованого навантаження. Однак спостерігається суттєва різниця між такими підходами, коли навантаження розбалансоване. Перевагою стабілізації загальної напруги є те, що сума позитивної та негативної шин залишається постійною, а стабілізація позитивної або негативної шин робить стабільною саме її. У будь-якому разі, за цих підходів не існує оптимального рішення.



**Рис. 5. Можливе компонування плати АС/DC-джерела з трьома виходами розміром 25.4×25.4 мм (1×1")**

Однак якщо для стабілізації використовують імпульсні регулятори, як було показано на рисунку 4, то обидві шини залишаються стабільними навіть за великого розбалансу за відсутності навантаження на одному виході та повного на іншому.

Застосування імпульсних регуляторів дає додаткову перевагу — вони забезпечують постійну потужність на виході. Що нижча вихідна напруга, то вищий струм. Якщо в прикладі на рисунку 4 виходи налаштовані на ±3.3 В, то доти,



**Рис. 6. Несиметричне навантаження (стабілізація загальної напруги між +Ve і -Ve)**

| Таблиця 1. Порівняння стабілізації двополярних джерел (номинал 12 В) |                        |                        |                   |                   |                     |
|--|------------------------|------------------------|-------------------|-------------------|---------------------|
| Метод стабілізації   | Навантаження + шини, % | Навантаження - шини, % | Напруга + шини, В | Напруга - шини, В | Загальна напруга, В |
| Загальна напруга   | 100                    | 100                    | +12               | -12               | 24*                 |
|  | 100                    | 10                     | +11               | -13               | 24*                 |
|  | 10                     | 100                    | +13               | -11               | 24*                 |
| Тільки негативна   | 100                    | 100                    | +12               | -12*              | 24                  |
|  | 100                    | 10                     | +11               | -12*              | 23                  |
|  | 10                     | 100                    | +13               | -12*              | 25                  |
| Тільки позитивна   | 100                    | 100                    | +12*              | -12               | 24                  |
|  | 100                    | 10                     | +12*              | -11               | 23                  |

**Примітка.** \* Параметр, що стабілізується.

доки загальна потужність, що споживається, менша за 5 Вт, струм по кожній із шин може досягати 1 А, що значно більше за номінальний вихідний струм AC/DC-конвертера 416 мА. Ця особливість необхідна в застосуваннях із кількома шинами живлення, оскільки зазвичай значно більшу потужність споживають тільки на одній із шин, що не стає проблемою під час використання імпульсних регуляторів. У прикладі на рисунку 4 можливий варіант, +12 В при 0.1 А, +3.3 В при 1 А і -3.3 В при -0.15 А з повноцінною стабілізацією виходів.

Досі ми розглядали тільки приклади з AC/DC-модулями, але що буде, якщо використовувати альтернативні джерела живлення? Для цього є такий спосіб.

### СПОСІБ 3: ЗОВНІШНЄ DC-ДЖЕРЕЛО І ВИХІД AC/DC-КОНВЕРТЕРА

У деяких специфічних застосуваннях потрібно використовувати або AC-, або DC-джерело залежно від доступності. Як видно на рисунку 7, якщо зовнішнє DC-джерело під'єднано до виходу AC/DC-модуля, вихідний діод Dout запобігає протіканню зворотного струму через вторинну обмотку трансформатора.

Однак шунтувальний регулятор IC1 залишається в колі. Якщо зовнішня напруга перевищує уставку шунтувального регулятора, він вмикається, що призводить до протікання струму через діод оптопари.

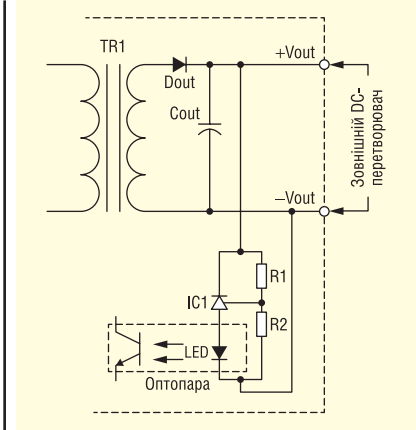
Оскільки AC/DC-конвертер неактивний — немає механізму, що обмежує струм через діод оптопари, і це може вивести її з ладу. Таким чином, пряме підключення постійної напруги на вихід AC/DC-конвертера не рекомендовано.

Можна застосувати два розділювальні діоди для запобігання впливу джерела живлення з більшою напругою на інший під час об'єднання їх за виходом (рис. 8).

Однак цей прийом хоч і є простим, має два суттєві недоліки. Перший — ви-

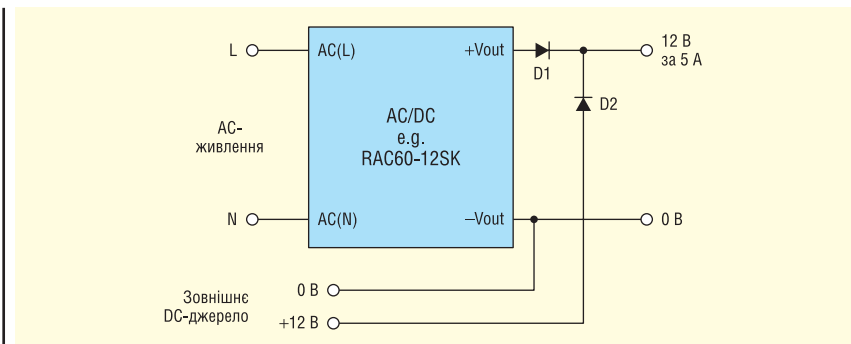
хідна напруга завжди нижча за джерело на падіння на діоді. Другий — за істотних струмів навантаження потужність, що розсіюється на діодах, стає досить значною (у прикладі на рис. 8 — 3.5 Вт). Фактично потрібне застосування масивних дорогих діодів із додатковим радіатором для відведення тепла. Також втрати потужності на діоді D2 значно скорочують час роботи від акумулятора.

Удосконалити цей спосіб можна за допомогою мікросхеми «ідеальний

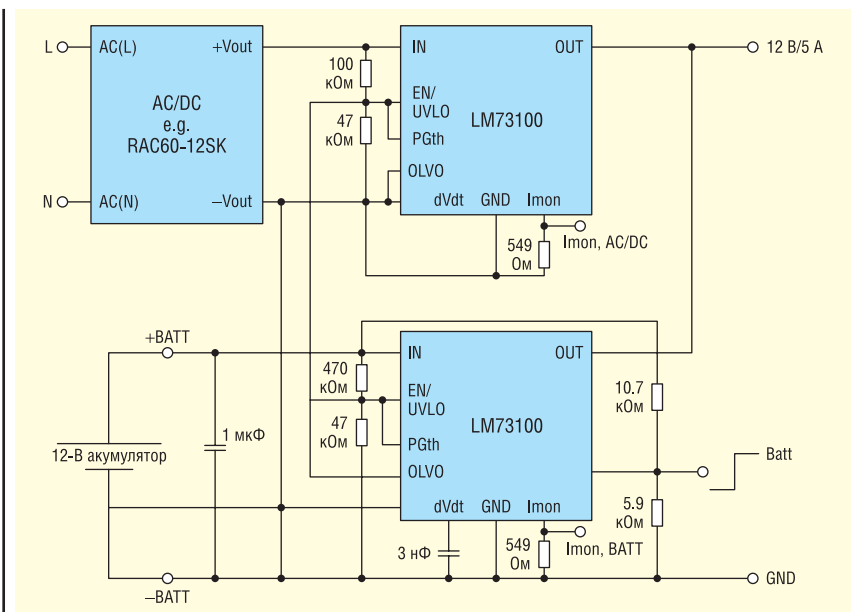


**Рис. 7. Типовий вихідний каскад AC/DC-конвертера**

діод», наприклад, компактного рішення LM71300 компанії Texas Instruments із вбудованими польовими транзисторами (рис. 9). У цьому рішенні є додаткові дуже корисні особливості: акумулятор дуже захищено від глибокого розрядження завдяки реалізації захисту від падіння



**Рис. 8. Використання розділювальних діодів для AC- і DC-джерел живлення**



**Рис. 9. Мікросхема контролера «ідеальний діод» для підключення AC-джерела та акумулятора**



напруги (UVLO), а саму схему — від впливу стрибків струму завдяки контролю  $dv/dt$ . Так само можна відстежувати струм навантаження за обома джерелами, використовуючи вивід  $I_{mon}$ .

#### СПОСІБ 4: ФАЗОВЕ РЕЗЕРВУВАННЯ ЗМІННОЇ НАПРУГИ

Попередні способи були пов'язані з вихідними каскадами джерел. Підхід виглядає розумним, оскільки напруга в мережі несе певну небезпеку і під час роботи з нею необхідно проявляти особливу обережність. Повертаючись до прикладу із зарядної станцією, розглянутого на початку статті, зазначимо, що необхідно забезпечити роботу від однієї або декількох фаз мережевої напруги, а також від високовольтної DC-шини. Відповідно, цей спосіб стосується первинної сторони.

Трифазний однопівперіодний випрямляч, показаний на рисунку 10, видає постійну напругу приблизно 1.17  $V_{phase}$  або приблизно 270 В за мережевої фазної 230 В. Це досить багато для стандартного AC/DC-конвертера з діапазоном 230 В  $\pm 10\%$ , але допустимо для моделей AC/DC, спеціально розроблених для діапазону 277 В AC (фаза-фаза в мережі 115 В AC). У схемі, показаній на рисунку 10, використовують запобіжники для захисту, якщо відбувається вихід із ладу одного з діодів, а також передбачено металооксидний варистор (MOV) для поглинання стрибків напруги, які можуть вивести конвертер із ладу. Варистор не є обов'язковим, оскільки конвертер має вбудований запобіжник, але може знадобитися відповідно до місцевих вимог до електроустановок і монтажу. Вхідні діоди також повинні мати необхідний запас за допустимою зворотною напругою.

У разі зникнення однієї з трьох фаз конвертер продовжить роботу, тому цей спосіб може знайти застосування в системах моніторингу та оповіщення, наприклад сигналізації, саме за відсутності фази.

Серія конвертерів компанії RECOM із суфіксом /277 забезпечує роботу при вхідному діапазоні 85–305 В AC. Таким чином, за такого підключення можна використовувати будь-який конвертер цієї серії.

Якщо в системі відсутня нейтраль або в разі її обриву, напруга між фазними провідниками становить  $\sqrt{3}$   $V_{rms}$  або близько 400 В за фазної 230 В, що перевищує межі більшості AC/DC-модулів, окрім спеціально розроблених для такого завдання, наприклад серія /480, із вхідним діапазоном 85–528 В AC або 120–745 В DC.

Як ми зазначали раніше, ці способи слід використовувати з обережністю, оскільки ми працюємо з високими небезпечними рівнями напруг. Крім того, вимоги щодо безпеки можуть передбачати додаткові захисні заходи — зокрема, більшу відстань пробою повітрям і поверхнею або підвищену напругу пробою ізоляції, які це підключення роблять неприйнятним. Так, під час під'єднання до мережі слід забезпечити безпеку щодо перенапруг згідно з категорією III або IV.

Ці вимоги передбачають використання останнього способу — заземлення виходу AC/DC-конвертера для безпеки.

#### СПОСІБ 5: ЗАЗЕМЛЕННЯ ВИХОДУ

Оскільки ми працюємо з ізольованими AC/DC-конвертерами, вихід є плаваючим (гальванічно розв'язаним

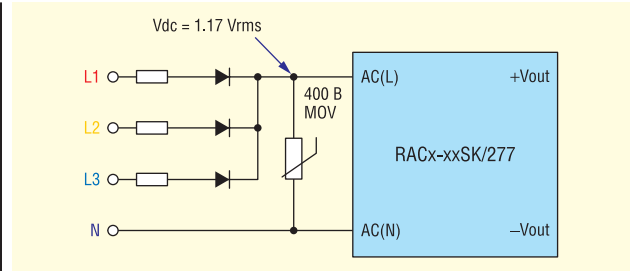


Рис. 10. Фазове резервування з трифазним однопівперіодним випрямлячем

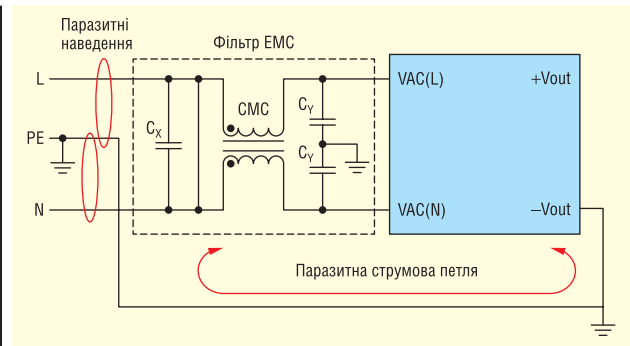


Рис. 11. Рекомендований вхідний фільтр у разі заземлення виходу

із виходом), тому вихід може забезпечити як позитивну, так і негативну напругу. Наприклад, поширена напруга шини живлення в телекомунікаційному обладнанні становить  $-48$  В DC і може бути забезпечена будь-яким AC/DC-модулем із виходом 48 В або  $\pm 24$  В під'єднанням +Vout до 0 В, а виводу  $-Vout$  — безпосередньо до шини живлення.

У деяких випадках заземлення шини живлення стає вигідним або в принципі неминучим. На перший погляд, це може здатися досить простим у вихідній реалізації в попередньому прикладі шини  $-48$  В. Однак правила для AC/DC-джерел живлення стосуються не тільки безпеки, а й забезпечення прийнятного рівня ЕМЗ. Будь-які наведені струми, проходячи через паразитну ємність ізоляції, можуть спричинити завади, що, зі свого боку, призведе до провалу тестування з ЕМС. Крім того, заземлення виходу практично гарантовано забезпечить струмову петлю. Наприклад, для пристроїв класу В струм у кілька десятків мікроампер призведе до виходу завад за допустимі межі.

Для забезпечення вимог щодо ЕМС необхідно використовувати зовнішній мережевий фільтр із синфазним дроселем (рис. 11).

Два Y-конденсатори створюють низькоімпедансний шлях для струмів завад на «землю», тоді як синфазний дросель (СМС) нівелює синфазні завади по виводах VAC(L) і VAC(N), які не потрапляють на вхід AC/DC-модуля. X-конденсатор на вході в поєднанні з синфазним дроселем допомагає послабити диференціальний шум. Високоомний опір, під'єднаний паралельно  $C_x$ , є опціональним і використовується для розрядження конденсатора під час вимкнення джерела живлення (потрібен у деяких стандартах безпеки). Готові мережеві фільтри доступні у багатьох виробників.

Література:

1. Стив Робертс (Steve Roberts), «Хакінг» DC/DC-конвертера // CHIP NEWS. 2023. № 2.

## ЕЛЕКТРОННІ КОМПОНЕНТИ

від провідних виробників світу,  
зі складу та під замовлення

Гнучкі ціни



ТОВ "АДС ТІМ"

Україна, 03680, м. Київ  
пров. Ю. Матушняка, буд. 3  
+38 (044) 361-46-78, 206-22-52  
+38 (067) 249-77-58, (050) 464-22-52  
zapros@adcgr.com www.adcgr.com

## ТОВ Айронікс КОМПОНЕНТС

тел.: +38 044 384-17-55  
+38 044 501-07-29  
+38 044 501-80-09  
info.aironics@gmail.com

- електронні компоненти
- друковані плати
- виготовлення дослідних зразків приладів
- контрактне виробництво
- перетворювачі частоти до 11 кВт (Україна) до 220 кВт (Китай)

м. Київ, вул. О. Довженка, 3  
www.aironics.com.ua  
www.aironics.prom.ua

## ТОВ «АЙПІ-КОМ»

Гуртове постачання електронних компонентів, плівкових клавіатур, світлодіодної комунікаційної продукції, роз'ємів тощо

моб.: 098-980-48-38

ill1982  
ill82@ukr.net  
ip-com.net.uaAltway Electronics, Inc  
5970 Unity Drive Suite E,  
Norcross, GA 30071, USA  
www.altwaygroup.comОПЕРАТИВНІ ПОСТАВКИ  
ЕЛЕКТРОННИХ КОМПОНЕНТІВТел. 044-3-922-911  
E-mail: sales.int@altwaygroup.com

ТОВ «НВП АСТЕРА»

директор ТЕРЕЙКОВСЬКИЙ  
Артем Семенович

Феритові осердя,  
аксесуари, індуктивні елементи

61072, Україна, Харків, вул. Тобольська 42 оф. 222  
тел.: 057-757-2859, факс: 057-728-1808  
050-323-3763, 067-575-4440, 068-616-7777  
http://www.ferrite.com.ua E-mail: ferrite@ukr.net

- Електронні компоненти
- Світлодіодне освітлення
- Друковані плати
- Контрактне виробництво

bis\_electronics @BISelectronic bis@bis-el.kiev.ua | bis-el.com  
+38 (044) 490-35-99

## ВЕРІКОМ КОМПОНЕНТС

- Виробництво друкованих плат від 1 шт
- Контрактне виробництво
- Власний склад електронних компонентів
- Покриття плат лаком і компаундами
- Відповідаємо вимогам стандарту ISO 9001:2015

Україна, м. Київ  
вул. Марії Калніст, 2а, оф. 114  
URL: www.verikom.kiev.uaтел./факс: (+380) 44-501-9335  
(+380) 67-508-0229  
E-mail: sales@tomys.kiev.uaWINTEX (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 багатощарових 3<sup>го</sup>-5<sup>го</sup> класів складності;
- жорсткогнучких друкованих плат, гнучких кабелів;
- друкованих плат на металі (алюміній, мідь).

Швидко виготовлення (від 3-х днів).

Висока якість. Оптиміальне співвідношення ціна/якість.  
Послуги по монтажу плат.03680, м. Київ, вул. Предславинська, 35  
тел.: (044) 592-5467, 528-2068, 528-3656http://plata.com.ua  
order@plata.com.ua38 (044) 239-96-06  
38 (044) 498-01-68www.grandelectronic.com  
office@grandelectronic.comБульвар Вацлава Гавела, 8  
м. Київ, 03124

## 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



**ТОВ "ДЕЛЛІ"**  
**МОНТАЖ SMT ТА SHT  
 ЕЛЕКТРОННИХ  
 КОМПОНЕНТІВ**

79060, м. Львів,  
 вул. Наукова, 5-А, корп. Е  
 Тел.: +38 (032) 245-75-72  
 +38 (067) 672-27-40  
 E-mail: basarab@delly.info



Незалежний постачальник  
 електронних компонентів

**EVOCOM**  
 www.evocom.ua

- Швидкі терміни поставок (до 7 днів)
- Безкоштовна доставка по Україні
- Сільшо ніж 6 млн. товарів в каталозі

www.evocom.ua email: info@evocom.ua  
 тел. (044) 520 19 13

Де  
Ка


**ДРУКОВАНІ ПЛАТИ**  
**ТЕРМІНОВЕ ВИРОБНИЦТВО ВІД 1-ГО ДНЯ!**  
 Одно-, дво-, багатшарові друковані плати,  
 плати на алюмінієвій основі з технологічними  
 показниками відповідно до вимог  
 міжнародного стандарту IPC-A-600

**Мембранні клавіатури**  
 – мембранні клавіатурні панелі  
 – лицеві і накладні панелі

www.pcbetal.com

ТОВ «PCB-ЕТАЛ»  
 28000, Кіровоградська обл.,  
 м. Олександрія, вул. Заводська, 1

Для замовлення:  
 Тел.: +38 (050)288-95-73  
 e-mail: pcb@etal.ua

З питань ціноутворення:  
 Тел.: +38 (066)872-60-65  
 e-mail: sb10@etal.ua



**EUROCOM  
 COMPONENTS**

дистрибуція електронних компонентів  
 контрактне виробництво

08298, смт. Коцюбинське  
 вул. Пономарьова, 7

Тел. +38 044 33 44 575  
 E-mail: info@eurocom-c.com

www.eurocom-c.com

**ВЧ- та НВЧ-КОМПЛЕКТУЮЧІ І КОМПОНЕНТИ**

мікросхеми • транзистори • коаксиальні фільтри  
 коаксиальні з'єднувачі • коаксиальні кабелі  
 матеріал для ВЧ-плат • теплорозподільчі матеріали



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



**MASTEK**

м. Київ, пров. Ю. Матушача, 3, оф. 307  
 тел. +38 (044) 451-60-80 info@mastek.com.ua  
 моб. +38 (067) 919-51-15 www.mastek.com.ua

Авторизований дистрибутор  
 NXP, AMPLION, WeEn в Україні



**Інтегральні Комплексні Системи**  
 Контрактне виробництво електроніки

т +38 (050) 469-12-07 info@incos.kiev.ua www.incos.kiev.ua  
 Київ, вул. Бориспільська, 9, корпус 111



**IMRAD**  
 Електронні компоненти

Електронні компоненти  
 провідних світових виробників  
 зі складу в Києві та на замовлення

Інформаційна та технічна підтримка

- 03113, Україна, м. Київ  
 вул. 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

Радіодеталі зі складу – 35 000 найменувань!



**Усе для розробки,  
 ремонту та виробництва  
 електроніки!**

Від резистора до мікропроцесора, радіомонтажний  
 інструмент та вимірювальні прилади, підбір аналогів  
 та консультації.

www.ims.kh.ua тел.: (073) 757 25 22 (23), (098) 028 89 17  
 e-mail: imskharkov@gmail.com (057) 732 04 50, 732 01 76



**K206**  
 Електронні компоненти

Все для виробництва  
 та ремонту зі складу  
 та на замовлення

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



**Canyon Development**  
 hello@canyond.com  
 https://canyond.com/



Ми створюємо найкращі рішення, які відповідають усім вимогам ринку: інноваційність, надійність та доступність

**Altium Designer**  
 Altium Designer — комплексне проектування друкованих плат та радіоелектронних засобів

**Itb soft**  
 +38 (095) 601 53 01  
 sales@itbsoft.com.ua  
 www.itbsoft.com.ua  
 Партнер Altium в Україні



**PCB DESIGN**

<http://melsys.com.ua>



- контрактне виробництво електроніки
- монтаж і виготовлення друкованих плат
- виготовлення трафаретів

**ТОВ "Мелсис"**  
 Київ, вул. Новозабарська, 2/6, оф. 204  
 info@melsys.com.ua

+38 044 578 18 15  
 +38 096 926 70 69  
 +38 063 435 68 10

**Партнерство в електроніці**



03142, м. Київ, вул. Омеляна Прицака, 4, офіс 101  
 Тел.: 044 392-93-86, Факс: 044 392-93-87  
 www.micropribor.com.ua sales@micropribor.com.ua

**Pcb24** — сервіс з експрес виробництва прототипів і невеликих партій одно- та двошарових друкованих плат



**ТОВ «Крейтив Лоджикс»**  
[www.pcb24.com.ua](http://www.pcb24.com.ua)  
 pcbprint24@gmail.com  
 068 614 38 28

**За 24 години виготовимо Ваше замовлення**  
 Власне виробництво у м. Львів



**ТОВ "КОМПАНІЯ ОЛЬВІЯ"**  
 Корпуса пластиківі. Клавіатура плівкова.  
 Кабельно-провідникова продукція.

[044] 599.7550 [044] 503.3323 KORPUS.KIEV@GMAIL.COM  
 03113, м. Київ, вул. Дружківська, 12 А ICQ: 288-782-777  
 korpus.kiev.ua



м. Київ, пров. Ю. Матушака, 3, оф. 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, AMPLEON, WeEn в Україні

**Microdis Electronics GmbH**  
 Rheinauer Straße 1  
 68766 Hockenheim  
 Germany

**MICRODIS**

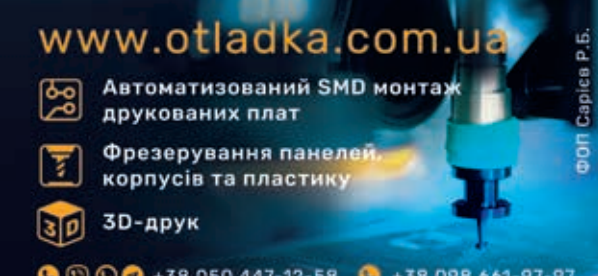
Роман Прокопець  
 Менеджер з продажу

Дистриб'ютор електронних компонентів

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

www.microdis.net

[www.otlodka.com.ua](http://www.otlodka.com.ua)



- Автоматизований SMD монтаж друкованих плат
- Фрезерування панелей, корпусів та пластику
- 3D-друк

+38 050 447-12-58 +38 098 661-97-97



КОНТРАКТНИЙ ВИРОБНИК ЕЛЕКТРОНІКИ ПІД ЗАМОВЛЕННЯ

+38 044 338 97 73  
 info@pcba.com.ua  
 pcba.com.ua

вбудовані процесорні плати

COMexpress  
Qseven  
PC-104  
ETX

промислові комп'ютери та системи

www.proxis.ua  
+380(44)4675977  
+380(44)5995977

**РАДІОМАГ**  
МЕРЕЖА МАГАЗИНІВ РАДІОДЕТАЛЕЙ

Львів Київ Харків  
Одеса Дніпро

www.rcscomponents.kiev.ua  
+38(044)299-77-55 sales@radiomag.com.ua

- мікросхеми
- транзистори
- діоди і діодні містки
- GSM, GPS, GPRS
- паяльне обладнання
- вимірвальне обладнання
- блоки живлення
- роз'єми
- інструмент
- пасивні компоненти
- батареї та акумулятори
- та багато іншого

**Rich E1**  
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

**Промислові та IT-шафи, щити, електронні системи, системи контролю мікроклімату, струмозрозподільче обладнання, всепогодні шафи та комплексні рішення для ЦОД, ПЗ EPLAN**

Ріттал ТОВ - вул. Київська, 6В, 08132, Вишневе, Київська обл.  
Тел.: +380 (44) 536 99 44 E-mail: office@rittal.com.ua  
www.rittal.com.ua

ВІСЛОВИЩА КОМП'ЮТЕРНИХ СИСТЕМ ІНТЕРНЕТ-МАГАЗИН ПІДПРИЄМСТВА

**РІТТАЛ**

**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!

**RADIODETAILI**

- Паяльне обладнання
- Вентилятори
- Трансформатори
- Реле
- Конденсатори
- Резистори
- Світлодіодне обладнання
- Акумулятори
- Блоки живлення
- Мобільні аксесуари

КУПУЙ ВИГІДНО

radiodetaili.com.ua

**RAINBOW TECHNOLOGIES**

Rainbow Technologies – офіційний дистрибутор і постачальник в Україні:

**MICROCHIP, MAXIM, INFINEON, WINBOND, ALTERA, SAMSUNG (LED), LEDIL, VISHAY, ANALOG DEVICES, TEXAS INSTRUMENTS**

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

www.rainbow.com.ua

**MASTEK**

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

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

Авторизований дистрибутор  
NXP, AMPLEON, WeEn в Україні

**SEA** ІННОВАЦІЯ ТА ЕФЕКТИВНІСТЬ 30

м. Київ, вул. Краківська, 13-Б  
тел.: +38 (044) 330-00-88  
sea.com.ua, info@sea.com.ua

**Постачання:** Електронні компоненти • Джерела живлення • Світлодіодна продукція та автоелектроніка (індикатори, дисплеї) • Обладнання для енергетики • Електротехнічна продукція • Кабельно-проводникова продукція • Обладнання для промислової автоматизації • Бездротові компоненти • Вимірвальні прилади • Паяльне обладнання і матеріали для пайки • Сонячна енергетика

**Виробництво:** Світлофори та технічні засоби управління дорожнім рухом • Автоматизована система обліку та контролю енергоресурсів • Паркувальне обладнання і системи • WIM - системи динамічного завантаження транспорту • Світлодіодні екрани та медіафасди SEA • Система керування міським освітленням • Комплексна система диспетчеризації ліфтів • Джерело безперебійного живлення

**Послуги:** Великоузлове складання обладнання • Просування друкованих плат • Виробництво друкованих плат • Контрактне виробництво електроніки • SMD і DIP монтаж компонентів • Комерційні розробки • Проектування, монтаж, модернізація, технічне обслуговування паркувальних комплексів, світлофорних та WIM об'єктів

Харків: khar@sea.com.ua Дніпро: dnipro@sea.com.ua Львів: lviv@sea.com.ua

**ЕЛЕКТРОННІ КОМПОНЕНТИ ТА КОНТРАКТНЕ ВИРОБНИЦТВО**

**SMD UKRAINE**

03057, м. Київ, вул. Желязова, 2-А,  
корп. 7, кім. 303

тел.: (044) 223-12-42  
(073) 705-70-05  
(096) 705-70-05

info@smdua.in.ua www.smdua.in.ua



**SOFTPROM**  
VALUE ADDED IT DISTRIBUTOR

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

TOB "Софтпром Сопром"




**НВП ТЕХНОСЕРВІСПРИВІД**  
ВСЕ ДЛЯ СИЛОВОЇ ЕЛЕКТРОНИКИ ТА ЕЛЕКТРОТЕХНІКИ

Діоди та містки, діодні, тиристорні, IGBT модулі, силові напівпровідники (SEMİKRON), конденсатори косинусні, імпульсні, моторні (ELECTRONICON)

Продаж, ремонт перетворювачів частоти, пристроїв плавного пуску (DANFOSS)

Для пошти: 04211, Київ-211, а/с 141  
Тел./факс: (044) 458-47-66, 456-19-57  
E-mail: tsdrive@ukr.net, Web: www.tsdrive.com.ua



Електронні компоненти Рознімачі З'єднувачі

**ТЕХПРОГРЕСС**  
www.tpss.com.ua

ТОВ «КП «Техпрогрес»  
04070, м. Київ,  
вул. Ігорівська, 8/10-А, оф. 38

(044) 461-91-00



**TMS PROJECT**

Контрактне виробництво  
Сертифіковано ISO9001  
Постачання електронних компонентів

Якісно  
Швидко Дешево

Україна, Київ  
вул. Марії Капніст, 2а, оф. 114  
тел./факс: (044) 501-9335  
URL: www.tmsproject.com.ua  
E-mail: sales@temys.kiev.ua



**ELFA DISTRELEC**  
ПОСТАВКИ ЕЛЕКТРОННИХ КОМПОНЕНТІВ ЗІ СКЛАДУ У ЄВРОПІ.

**ТОК ЕЛЕКТРОНІКС**  
Освітній дистрибутор в Україні

04060, м. Київ  
вул. Вікентія Хвойки, 18/14  
склад: 10/8

www.distrelec.biz  
e-mail: ulad@tok-el.com  
oksana@tok-el.com

Тел. +38 066 781 66 11  
+38 093 896 40 88



**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



**PHOENIX CONTACT**

phoenixcontact.com




**ФІЛУР ЕЛЕКТРИК**

Електронні компоненти  
Технологічне обладнання, інструменти, матеріали  
Комплектуючі для Hi-Fi та Hi-End

вул. Гетьмана Павла Полуботка, 22/14  
м. Київ, Україна, 02100  
www.flur.net

+38 (068) 496 75 75  
+38 (044) 495 75 75  
offices@flur.net



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

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

**KEYSIGHT TECHNOLOGIES**  
Авторизований дистрибутор



**ЮСТАС**

Електронні компоненти провідних світових виробників:  
конденсатори всіх типів, транзистори, тиристорні, мікросхеми, діоди, діодні мости, кварци, індикаторна продукція всіх типів, вентилятори, механічні елементи, кабельна продукція

Магазин "Електронних компонентів"  
79018, м. Львів, вул. Героїв УПА, 40,  
т/ф (032) 237-31-82, (032) 238-94-41  
поведілок - субота з 10.00 до 18.00

http://justas-electronics.com.ua  
+38 (093) 020-40-51







VI Міжнародна спеціалізована виставка  
низьковольтної електротехніки  
та електроніки

# ELECTRO INSTALL 2024

**Жовтень 15–17**



**МІЖНАРОДНИЙ  
ВИСТАВКОВИЙ ЦЕНТР**

Україна, м. Київ, Броварський пр-т, 15

тел.: +38 (095) 268-05-84

e-mail: [lyudmila@iec-expo.com.ua](mailto:lyudmila@iec-expo.com.ua)

[www.iec-expo.com.ua](http://www.iec-expo.com.ua)



## ВИСТАВКИ 2024

| Назва                         | Сайт   | Організатор     | Місто | Дата проведення* |
|-------------------------------|--|-----------------|-------|------------------|
| Kyiv Maker Faire              | <a href="https://kyiv.makefaire.com/">https://kyiv.makefaire.com/</a>                        | ГО «Мейкер Хаб» | Київ  | 02.03.2024       |
| GreenExpo                     | <a href="http://www.greenexpo.com.ua">www.greenexpo.com.ua</a>                               | Євроіндекс      | Київ  | 23.05–24.05.2024 |
| Міжнародний промисловий форум | <a href="http://www.iec-expo.com.ua/pf-2024.html">www.iec-expo.com.ua/pf-2024.html</a>       | МВЦ             | Київ  | 28.05–30.05.2024 |
| Addit EXPO 3D                 | <a href="http://www.iec-expo.com.ua/addit-2024.html">www.iec-expo.com.ua/addit-2024.html</a> | МВЦ             | Київ  | 28.05–30.05.2024 |
| Expert Security               | <a href="https://expert-security.com.ua/">https://expert-security.com.ua/</a>                | МВЦ             | Київ  | 28.05–30.05.2024 |
| ELECTRO INSTALL               | <a href="http://www.iec-expo.com.ua/ei-2024.html">www.iec-expo.com.ua/ei-2024.html</a>       | МВЦ             | Київ  | 15.10–17.10.2024 |
| E-Comps+DigiTec               | <a href="http://www.iec-expo.com.ua/ecom-2024.html">www.iec-expo.com.ua/ecom-2024.html</a>   | МВЦ             | Київ  | 15.10–17.10.2024 |
| EcoEnergy Expo                | <a href="http://www.iec-expo.com.ua/ee-2024.html">www.iec-expo.com.ua/ee-2024.html</a>       | МВЦ             | Київ  | 15.10–17.10.2024 |
| Енергетика в промисловості    | <a href="http://www.iec-expo.com.ua/ep-2024.html">www.iec-expo.com.ua/ep-2024.html</a>       | МВЦ             | Київ  | 15.10–17.10.2024 |

\* Інформація отримана від організаторів виставок. Можливі зміни в залежності від ситуації.

## РОЗМІРИ РЕКЛАМНИХ БЛОКІВ

1 сторінка (200×270 мм)\*  
 2/3 сторінки (112×240 мм)  
 1/2 сторінки (170×120/83.5×240 мм)  
 1/3 сторінки (54×240/112×120/170×80 мм)  
 1/4 сторінки (112×100 мм)  
 1/6 сторінки (54×120/112×60/127×55 мм)  
 «Візитка» (80×40 мм)

\* Для усунення неточностей при обрізанні, розмір реклами, яка подається, повинен бути 210×280 мм (дообрізний формат з урахуванням «вильотів» по 5 мм з кожного боку, які краще заповнити основним фоном реклами). Значимі символи (текст, логотип та інші елементи оформлення, які гарантовано не повинні потрапити під обрізку) не повинні підходити до краю сторінки менш ніж на 10 мм (післяобрізний формат сторінки 200×270 мм).

Редакція журналу «CHIP NEWS» приймає до розміщення тільки повнокольорові рекламні блоки, розміри яких повинні в точності відповідати розмірам, наведеним у таблиці.

Текст реклами повинен бути виключно українською мовою.

## ВИМОГИ ДО РЕКЛАМНИХ І АВТОРСЬКИХ МАТЕРІАЛІВ

**Рекламні матеріали** приймаються **тільки українською мовою в форматах «.eps» або «.tif» (300 dpi)**. Кольорова модель — **СМУК**. Сумарний процент фарб — не більше 300%. Якщо в форматі «.eps» є впроваджені растрові зображення, вони також повинні мати роздільну здатність 300 dpi і кольорову модель СМУК. **Всі шрифти обов'язково повинні бути переведені в криві.**

**Авторські матеріали.** Текст статті приймається в форматі «.doc» (Microsoft Word). Всі рисунки повинні бути підготовлені **тільки в форматах «.eps»**, фотографії — в форматі **«.tif» (300 dpi)**, кольорова модель — **СМУК** і надані окремими файлами. Кожний рисунок повинен мати підписуночний 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».





# Осердя, фурнітура, моточні вироби вимірювальні трансформатори струму



## ТОВ «НВП АСТЕРА»

e-mail: [ferrite@ukr.net](mailto:ferrite@ukr.net)  
[www.ferrite.com.ua](http://www.ferrite.com.ua)

61072, Україна, м. Харків, вул. Тобольська, 42, оф. 222,  
факс: (+38) 057-728-1808,  
тел.: (+38) 057-757-2859, (+38) 050-323-3763,  
(+38) 067-575-4440, (+38) 068-616-7777



# Шафи AX. KX. з нержавіючої сталі



- ОПТИМІЗОВАНИЙ ПРОСТІР ДЛЯ ВНУТРІШНЬОГО МОНТАЖУ
- КОРПУС З НЕРЖАВІЮЧОЇ СТАЛІ 1.4301 (AISI 304) ТА 1.4404 (AISI 316L)
- КЛАС ЗАХИСТУ ДО IP 66



[rittal.com.ua](http://rittal.com.ua)

тисніть,  
щоб дізнатись  
більше



**ГНУЧКІ ТА НАДІЙНІ РІШЕННЯ ДЛЯ ЗАХИСТУ ВАШИХ СИСТЕМ**