

# CHIP NEWS



## Нові блоки живлення потужністю 120-600 Вт з функцією ДБЖ

### Серії LAD

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



- Вихідні напруги 13.8, 27.6, 41.5 та 55.2 В з можливістю регулювання в межах -20%...+5% (основний канал CH1)
- Вбудований зарядний пристрій та схема ДБЖ
- Контроль робочих станів (сигнали TTL): AC OK; батарея відключена, заряд 100% або повний розряд; невірна полярність батареї
- Функції вкл/викл вхідної напруги та батареї
- Примусовий режим ДБЖ для обслуговування батареї
- Захист від реверсного підключення батареї (без пошкоджень)
- Діапазон робочих температур від -20 до +60°C
- Розробка відповідно до стандарту GB17945
- 3 роки гарантії
- Доступна ціна та короткий термін виробництва!

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

- Медичні стандарти та терміни ... стор. 12
- Кремнієві LDMOS-транзистори ... стор. 26
- Компактні модулі IGBT MiniSKiiP ... стор. 34

- Система керування будівлею ... стор. 45
- Поглинальні пластини WE-FAS ... стор. 48
- Вимірювання сигналів РЛС ... стор. 52

- 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
- Високи 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: MCU</b><br><b>W: Wireless</b> | <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>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>Z 192<br>C 256<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 WL CSP | <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   |   |  |   |   |   |  |

# ЗМІСТ

№ 02 (222), 2023 р.

Науково-технічний журнал  
Видається з 2001 р.  
ТОВ «Булавія-Посад л.т.д.»

Зареєстрований  
Міністерством юстиції України.  
Свідоцтво про державну реєстрацію  
друкованого засобу масової  
інформації  
Серія КВ № 25055-14995Р  
14.12.2021 р.

Головний редактор:  
Сірич О. В.  
E-mail: editor@chipnews.com.ua

Редакційна колегія:  
Войналович М. Ю., Крючатов С. Д.,  
Кунчак Н. К., Кураєв П. П.,  
Макаренко В. В., Мовчанюк А. В.,  
Олещенко Н. І., Першин М. О.,  
Поліщук С. Й., Рентюк В. К.,  
Стецюк Л. В., Шевченко В. Л.

Адреса редакції:  
03061, Київ,  
просп. Відрадний, 10

E-mail: info@chipnews.com.ua  
http://www.chipnews.com.ua

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



## НОВИНИ

Новини світу електронних компонентів. . . . . 4

## ПОДІЇ

Виставка SECURITY 2.0 — нове ім'я виставки БЕЗПЕКА . . . . . 10

XX Міжнародний енергетичний бізнес форум «5Е».  
Енергетика. Електротехніка. Енергоефективність.  
Екологія. Енергоресурси . . . . . 11

## ДЖЕРЕЛА ЖИВЛЕННЯ

Медичні стандарти та терміни: від А до Я . . . . . 12  
Стів Робертс (Steve Roberts)  
«Хакінг» DC/DC-конвертера . . . . . 14

## ОБЛАДНАННЯ ТА ІНВЕНТАР

Рішення для військової сфери . . . . . 18

## АВТОМОБІЛЬНА ЕЛЕКТРОНІКА

Грехем Мостін (Graham Mostyn)  
Проектування систем автомобільної електроніки  
з використанням синхронізувальних МЕМС-пристроїв . . . . . 20

## ТРАНЗИСТОРИ

Том Деккер (Tom Dekker)  
Адаптований переклад українською  
та технічне редагування: Роман Горелков  
Сильові радіочастотні транзистори компанії  
Ampleon для застосування в широкосмуговому  
зв'язку . . . . . 26

## ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЇ

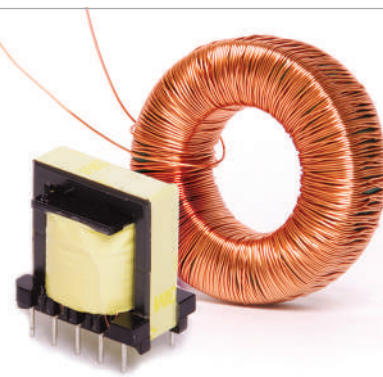
Валеріо Карта (Valerio Carta)  
u-blox — LTE Cat 1bis.  
Опція для широкосмугових застосувань з низьким  
енергоспоживанням (LPWA) . . . . . 31

www.adcgr.com

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



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



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

### СИЛОВА ЕЛЕКТРОНІКА

Френк Стірлер (Frank Stiegler), Томас Гертген (Thomas Hurtgen)  
Адаптований переклад українською  
та технічне редагування: Сергій Поліщук, к.т.н.

**Компактні модулі IGBT MiniSKiiP:  
інструкція із застосування** ..... 34

Ялцин Хаксоз (Yalcin Haksoz)

Адаптований переклад українською  
та технічне редагування: Віталій Шевченко

**Паралельне ввімкнення GaN-транзисторів** ..... 42

### СИСТЕМИ АВТОМАТИЗАЦІЇ

Торстен Зенк (Thorsten Sienk)

**Підвищення ефективності гри. Нова система  
керування будівлею для стадіону Schüco Arena** ..... 45

### ПАСИВНІ КОМПОНЕНТИ

Хорхе-Вікторія Авір (Jorge Victoria Ahuir)

**Методи визначення характеристик  
гнучких поглинальних пластин WE-FAS** ..... 48

### ВИМІРЮВАЛЬНА ТЕХНІКА

Вимірювання широкосмугових сигналів  
РЛС і супутникових систем зв'язку.

**Нотатки щодо застосування** ..... 52

### МІКРОКОНТРОЛЕРИ

Сергій Надеждін

**Мікроконтролери R7FS1JA платформи Renesas Synergy** ..... 56

### МЕРЕЖІ, СИСТЕМИ, АПАРАТУРА

Неіл Квінн (Neil Quinn), Річард Анслоу (Richard Anslow)

**Оптимізація шини FieldBus допоможе вдосконалювати  
інтелектуальні системи** ..... 62

### ЕЛЕКТРОМАГНІТНА СУМІСНІСТЬ

Кріс Буркет (Chris Burket)

Адаптований переклад українською  
та технічне редагування: Олег Бевза

**Екранування електромагнітних завод: основні принципи** ..... 68

### ДРУКОВАНІ ПЛАТИ

Аркадій Медведєв, Аркадій Сержантов,  
Катерина Шкундіна

**Параметри керування електрохімічними процесами  
у виробництві друкованих плат** ..... 74

### НА ДОПОМОГУ РОЗРОБНИКУ

Тодд Філліпс (Todd Phillips)

**Захист високошвидкісних портів** ..... 82

**ВІЗИТКИ** ..... 86

**ВИСТАВКИ** ..... 91

**ІНФОРМАЦІЙНА СТОРІНКА** ..... 96



## Empowering the All Electric Society

All Electric Society — це наше бачення майбутнього, яке пропонує науково обґрунтовані відповіді на великі глобальні виклики нашого часу: зміни клімату та всесвітнє прагнення до сталого розвитку. Усі технічні продукти та рішення для впровадження All Electric Society вже готові. Від нас усіх залежить, чи скористаємося ми ними зараз. Тому що разом ми можемо досягти більшого на шляху до світу, у якому варто жити кожному.

Детальніше:

ТОВ “Фенікс Контакт”

<https://www.phoenixcontact.com/uk-ua/pidpryyemstvo/korporatyvna-kultura-stavlennya/all-electric-society>

# Новини світу електронних компонентів

## ПАКЕТ ДЛЯ РОЗРОБКИ МАШИННОГО НАВЧАННЯ MPLAB®

Машинне навчання (ML) стає стандартною вимогою для розробників вбудованих систем, які працюють над створенням або вдосконаленням широко- або спектра продуктів. Відповідаючи на цю потребу, компанія **Microchip Technology** запустила повний, інтегрований робочий процес для спрощеної розробки моделей машинного навчання за допомогою нового пакету **MPLAB® Machine Learning Development Suite**. Цей програмний інструментарій може бути використаний для всього портфоліо мікроконтролерів (MCU) та мікропроцесорів (MPU) Microchip для швидкого та ефективного додавання обчислень на основі машинного навчання (ML).

«Машинне навчання є новою нормою для вбудованих контролерів, і його використання на периферії дозволяє продукту бути ефективнішим, безпечнішим і споживати менше енергії, ніж системи, які складаються на хмарний зв'язок для обробки даних», — сказав Роджер Річі (Rodger Richey), віцепрезидент бізнес-підрозділу систем розробки Microchip. — «Унікальне інтегроване рішення Microchip призначене для розробників вбудованих систем і є першим, яке підтримує не лише 32-розрядні МК і МП, але й 8- та 16-розрядні пристрої, що дозволяє ефективно розробляти нові продукти».

Машинне навчання використовує набір алгоритмічних мето-

дів для виокремлення закономірностей з великих масивів даних для прийняття рішень. Зазвичай він працює швидше, легше оновлюється і є більш точним, ніж ручна обробка. Одним з прикладів використання цього інструменту клієнтами Microchip є забезпечення рішень для прогнозованого технічного обслуговування з метою точного прогнозування потенційних проблем з обладнанням, що використовується в різних промислових, виробничих, побутових і автомобільних застосуваннях.

MPLAB Machine Learning Development Suite допомагає інженерам створювати високо-ефективні, компактні ML-моделі. Працюючи на основі AutoML, цей інструментарій усуває багато одноманітних, нудних і трудомістких завдань з побудови моделей, включаючи виводування, навчання, валідацію і тестування. Він також забезпечує оптимізацію моделей з урахуванням обмежень пам'яті МК і МП.

У поєднанні з інтегрованим середовищем розробки (IDE) MPLAB X новий інструментарій забезпечує комплексне рішення, яке може бути легко реалізоване навіть тими, хто не має достатніх знань з програмування ML, що дозволяє уникнути витрат на наймання фахівців з аналізу даних. Він також є достатньо складним для більш досвідчених розробників ML, щоб ним могли керувати.

Microchip також пропонує можливість перенесення моделі з TensorFlow Lite і використання її в будь-якому проєкті MPLAB

Harmony v3, повністю інтегрованого середовища розробки вбудованого програмного забезпечення, яке забезпечує гнучкі та сумісні програмні модулі, що спрощують розробку додаткових функцій і скорочують час виходу продукту на ринок. Крім того, комплект розробки програмного забезпечення (SDK) для прискорювача VectorBlox™ Accelerator пропонує найбільш енергоефективний метод штучного інтелекту/машинного навчання (ШІ/МН) на основі згорткових нейронних мереж (CNN) з використанням ПЛІС на базі PolarFire®.

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

## БАГАТОРЕЖИМНИЙ СТІЛЬНИКОВИЙ ІА СУПУТНИКОВИЙ ІОТ-МОДУЛЬ

Компанія **u-blox** оголосила про випуск SARA-S520M10L — мобільного та супутникового IoT-модуля з точним позиціонуванням, низьким енергоспоживанням і можливістю безперебійного з'єднання з мережею. Можливості зв'язку та відстеження модуля ідеально підходять для відстеження вантажів, управління автопарком, морських перевезень, гірничодобувної промисловості, комунальних послуг та розумного сільського господарства. Він також обслуговує такі сегменти ринку, як системи захисту від крадіжок, промисловий моніторинг і контроль, а також застосування, які вимагають зв'язку в критично важливих для безпеки сценаріях.

u-blox SARA-S520M10L — це найменший багаторежимний супутниковий і стільниковий модуль Інтернету речей на ринку. Він забезпечує зв'язок через наземні стільникові мережі та геостанційні супутники. Маючи площу приблизно 400 мм², LTE-M/NB-IoT, супутниковий зв'язок L-діапазону та вбудовані навігаційні функції, він сумісний з іншими модулями u-blox, що працюють лише на стільниковому зв'язку, у форм-факторі SARA. Модуль може визначати місцеперебування, використовуючи до чотирьох супутникових супуз'їв.

Це перший модуль u-blox, розроблений на базі 2-го покоління мікросхеми u-blox UBX-R5 — UBX-R52/S52. Варіант S52 був розроблений для підтримки супутникового IoT-зв'язку поряд зі стандартними стільниковим зв'язку LTE-M/NB-IoT.

Зростанню попиту на супутниковий зв'язок як доповнення до стандартного стільникового зв'язку в екосистемі IoT сприяло кілька факторів. Потреба в глобальному, повсюдному зв'язку неухильно зростала протягом багатьох років і значно збільшилася після пандемії COVID-19. Критично важливі товари в ланцюгу постачання необхідно відстежувати, хоча лише невелика частина поверхні Землі обслуговується наземними мережами стільникового зв'язку. Паралельно з цим ринок Інтернету речей постійно розширюється, включаючи випадки використання, які потребують підтримки зв'язку в регіонах, де стільниковий зв'язок ненадійний або відсутній.

## 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:



**MICRODIS**  
COMPETENCE & RELIABILITY

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

Роман Прокопєць — менеджер з продажу

(067) 475-81-86

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

«u-blox SARA-S520M10L — це наш перший IoT-модуль, який інтегрує як стільниковий, так і супутниковий зв'язок. Аналогічні рішення на ринку вимагають двох окремих підсистем, одна для стільникового, а інша для супутникового зв'язку. SARA-S520M10L побудований на базі єдиної високоінтегрованої багаторежимної моделі системи на кристалі (SoC), що дозволяє зменшити розмір і складність, — говорить Алессандро Бонетті, старший менеджер по продуктах центру стільникового зв'язку в u-blox. — Поєднання цієї універсальної SoC з унікальними можливостями GNSS від u-blox пропонує ідеальне рішення для мобільних і стаціонарних додатків Інтернету речей у складних умовах, таких як ізольовані місця, гори або посеред океану».

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

### НОВІ DC/DC З УЛЬТРАШИРОКИМ ВХОДОМ

Компанія **MEAN WELL** заявила про початок серійного вироб-

ництва DC/DC-перетворювачів малої потужності з ультрашироким входом 150...1500 В: серії DDRH-15 (15 Вт), DDRH-30 (30 Вт), DDRH-45 (45 Вт).

Основні характеристики серій DDRH-15, DDRH-30, DDRH-45: можливість вибору типу корпусу (для монтажу на друковану плату, на DIN-рейку, в корпусі-кожусі), надширока вхідна напруга 150–1500 В постійного струму, широкий діапазон робочих температур –40...+80 °С, можливість роботи на висоті до 5000 метрів та сертифікація IEC62109-1 для фотоелектричних систем.

Нові DC/DC-перетворювачі можна використовувати в сонячній енергетиці, накопичувачах енергії, зарядних стовпах (станціях) або в іншому обладнанні чи системах, пов'язаних з перетворенням HV-LV.

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

### ІМПУЛЬСНЕ ДЖЕРЕЛО ЖИВЛЕННЯ ТА ЗАРЯДНИЙ ПРИСТРІЙ

Компанія **MEAN WELL** представила нове покоління блоків

живлення серії NCP-3200. Серія включає 3 моделі з вихідними напругами 24, 48 і 380 В. Всі моделі враховують вимоги до систем енергопостачання різних типів легких/важких промислових машин і обладнання, автоматизації або мобільного обладнання, всіх видів базових станцій зв'язку, включаючи 5G, зарядних станцій, центрів даних, систем зберігання енергії та багато іншого.

Крім того, модель високовольтного виходу 380 В постійного струму підходить для централізованого високовольтного електропостачання, сільськогосподарських систем освітлення, обладнання для накопичення енергії та багато іншого. Модель NCP-3200-380 сумісна з SELV системою (система безпечної наднизької напруги), завдяки чому її можна використовувати в широкому спектрі силової електроніки, галузей зв'язку та енергетичних систем.

Моделі серії NCP-3200 мають вбудовану програмовану вихідну напругу (PV) і програмований вихідний струм (PC), завдяки чому можна безпосередньо регулювати вихідну напругу або

струм за допомогою зовнішніх аналогових сигналів.

Джерела живлення NCP-3200 підтримують 2 міжнародні протоколи зв'язку: PMBus і CANbus, а також можуть використовуватися безпосередньо з мультимедійним загальним інтелектуальним контролером MEAN WELL — CMU2.

Будь-які моделі серії NCP-3200 можна комбінувати з 19-дюймовими стійками, щоб забезпечити інтелектуальне шасі потужністю до 128 кВт, або підключити кожне шасі паралельно, щоб утворити системне джерело живлення або зарядний пристрій з більшою потужністю. NCP-3200 найчастіше використовують у поєднанні з іншим обладнанням у вигляді шаф, для потужних централізованих систем живлення, таких як промислові диспетчерські та електричні машинні приміщення, системи живлення інформаційних і телекомунікаційних серверів, великі зарядні станції, логістичне або автоматизоване обладнання, промислове опалення або живлення електролізера, системне обладнання, очисне обладнання та інше.

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



# Потужні. Надійні. Безшумні.




## Серії UHP та PHP — безвентиляторні джерела живлення потужністю до 3500 Вт

- Моделі потужністю 200, 350, 500, 750, 1000, 1500, 2500, 3500 Вт
- Вихідні напруги від 3.3 до 48 В DC (в розробці моделі на 120, 250, 400 В DC)
- Охолодження вільною конвекцією (200...2500 Вт) або водяне (3500 Вт)
- Активний коректор коефіцієнта потужності (PFC)
- ККД до 96%
- Діапазон робочих температур від -30 до +70°C
- Гарантія: 3 роки на моделі 200...750 Вт та 5 років на моделі від 1000 Вт

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



ІННОВАЦІЇ ТА  
ЕФЕКТИВНІСТЬ



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

## DC/DC-ПЕРЕТВОРЮВАЧІ 1 ВТ З НАДВИСОКОЮ ІЗОЛЯЦІЄЮ

Нові TRI 1 та TRI 1SM виробництва компанії **Traco Electronic AG** — це дві серії регульованих DC/DC-перетворювачів з високою ізоляцією, які виконані в компактних корпусах SIP-8 і SMD-14. Основною особливістю серій TRI 1(SM) є складна посилена система ізоляції, яка здатна витримувати високі тестові напруги (8000 В постійного струму протягом 1 с і 3000 В змінного струму протягом 60 с) і робочі напруги (480 В змінного струму). Ефективність до 84% забезпечує безпечну роботу при температурі -40 до +85 °C без зниження номінальних характеристик.

Усі моделі мають діапазон вхідних напруг  $\pm 10\%$  і точно відрегульовані ізольовані виходи. Завдяки найновішим сертифікатам IT-безпеки (IEC/EN/UL 62368-1) серія TRI 1(SM) є ідеальним вибором для багатьох вимогливих додатків у промисловості, транспорті та в контрольно-вимірювальних приладах.

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

## ОПТИМАЛЬНЕ ПРОЄКТУВАННЯ ЕЛЕКТРОНІКИ

Термомодельовання в режимі онлайн від **Phoenix Contact** пропонує нові можливості для оптимального проєктування промислової електроніки вже на етапі розробки. Процедура запуску термомодельовання інтуїтивно зрозуміла.

На першому етапі клієнт конфігурує свій корпус, зокрема необхідну технологію з'єднання, в онлайн-конфігураторі корпусів. Потім він отримує список деталей, 3D-дані та схему друкованої плати конфігурації. Тепер відбувається перехід до інтерфейсу для онлайн-модельовання. Тут визначаються теплові граничні умови пристрою. Сюди належать умови монтажу (монтажне положення, можливі сусідні пристрої) і температура навколишнього середовища.

На наступному кроці користувач може за допомогою перетягування розмістити до трьох різних гарячих точок на друкованій платі, визначити їх геометрію і задати очікувану розсіювану потужність. Потім потрібно передати модельовання, вказавши

дані клієнта. Щонайбільше через три робочі дні результат модельовання для конкретного випадку навантаження буде доступний у форматі 3D PDF. Крім того, є можливість отримати додаткову консультацію від команди Phoenix Contact.

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

## ДЖЕРЕЛО ЖИВЛЕННЯ З МАКСИМАЛЬНОЮ ФУНКЦІОНАЛЬНІСТЮ

Нова версія Quint Power Plus від **Phoenix Contact** — це рішення для вимогливих систем, навіть в екстремальних умовах навколишнього середовища.

Джерело живлення з номінальним вихідним струмом 40 А має захисне лакове покриття і відповідність стандартам ATEX, IECEx для вибухонебезпечного середовища (зона 2). Завдяки вбудованому роз'єднувальному польовому транзистору типу метал-оксид-напівпровідник джерело живлення можна безпосередньо підключати паралельно, підвищуючи таким чином експлуатаційну готовність обладнання. Крім того, додаткова версія з відповідністю SIL3 забезпечує високий рівень експлуатаційної безпеки. Додаткова версія Quint Power має подвійний захист від перенапруги (OVP), що захищає систему від стрибків напруги. У разі несправності відповідний вихід вимикається, щоб захистити споживачів від перенапруги, а паралельно підключене джерело живлення бере на себе безпечно живлення.

Можливі сфери застосування — переробна промисловість, суднобудування, енергетика і навіть залізнична галузь. Міцний вхідний бік із вхідною напругою від 85 В змінного струму до 264 В змінного струму та вбудованим газонаповненим розрядником забезпечує високу стійкість до перешкод (до 6 кВ) і час буферизації у разі відключення електроенергії  $\geq 20$  мс. Потужний вихідний бік зі статичним резервом потужності 45 А, динамічним резервом потужності 60 А і SFB Technology дозволяє легко розширювати систему і забезпечує надійний запуск великих навантажень, а також спрацьовування стандартних вимикачів LS.

Завдяки розширеним функціям сигналізації система профілактичного контролю функціонування з аналоговими, цифровими

та релейними контактами зачасно сповіщає про критичні робочі стани до виникнення несправностей. Характеристики нового виконання доповнює температурний діапазон від -40 до +75 °C для експлуатації навіть за екстремальних умов навколишнього середовища.

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

## ІНТЕЛЕКТУАЛЬНІ ПЕРИФЕРІЙНІ ОБЧИСЛЕННЯ

Відкрита екосистема PLCnext Technology і периферійні пристрої EPC 1502 і EPC 1522 від **Phoenix Contact** надають користувачам повну гнучкість в області локального оцінювання даних в нових і наявних системах. Можливість звертатися до датчиків і їхніх даних безпосередньо через IEC 61131 дає змогу здійснювати цілеспрямовану і швидко оптимізацію навіть із великими обсягами даних за допомогою інтелектуального аналізу з опціональним розширенням AI MLnext Execution.

Створення застосунків виявляється простим, незалежно від їхнього розміру й кількості пристроїв. Для застосунків з підтримкою відкритого вихідного коду можна легко спакувати у контейнер декілька застосунків, як-от Node-RED, бази даних або локальна візуалізація, для встановлення на інші пристрої або надання через цифрову платформу програмного забезпечення PLCnext Store. Це може бути індивідуальні рішення, такі як Data Collection Box або Secure Edge Box від Phoenix Contact. Data Collection Box оснащено функцією вимірювання енергії та струму за допомогою котушки Роговського, що дозволяє надійно збирати дані та оптимізувати стару установку з перспективою на майбутнє. Secure Edge Box збирає, зберігає та аналізує дані. Крім того, блок дає змогу безпечно сегментувати мережу за допомогою VPN, а також легко підключитися до хмарних сервісів.

Периферійні обчислення не замінюють хмарні, а доповнюють їх. Периферійні пристрої Phoenix Contact являють собою сертифіковані пристрої для Proficloud.io, Інтернету речей Cumulocity, AWS Cloud і Microsoft Azure Cloud.

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

## РЕГУЛЯТОР ПЕРЕМИКАННЯ З ПОПЕРЕДНЬО СФОРМОВАНИМИ ВИВОДАМИ

Компанія **RECOM** повідомила, що її серія R-78K-2.0 тепер доступна з 90-градусними, попередньо сформованими, наскрізними виводами для горизонтального монтажу, де низький профіль всього 8.5 мм є перевагою. Нова версія R-78K-2.0(L) має ті ж електричні характеристики і фіксовану вихідну напругу від 1.2 до 15 В, з максимальною вхідною напругою 36 В.

Низькопрофільний, горизонтальний варіант монтажу підходить для виробів з обмеженнями по висоті компонентів і доповнюється високим ККД, який досягає 96%. Це означає, що радіатор не потрібен, що додатково економить простір і витрати. Серія R-78K-2.0(L) має максимальну температуру корпусу +110 °C, що дозволяє працювати при температурі навколишнього середовища +90 °C для деяких варіантів без зниження, залежно від вхідної напруги. Струм споживає становить максимум 1 мА для економії енергії та подовження терміну служби батареї в портативному обладнанні.

Передбачено захист від вхідної напруги та короткого замикання, а деталі сертифіковані за стандартом IEC/EN 62368-1 третьої редакції.

[www.recom-power.com](http://www.recom-power.com)

## ЗНОВУ ВДОСКОНАЛЕНО СЕРІЮ ІМПУЛЬСНИХ СТАБІЛІЗАТОРІВ

Компанія **RECOM** повідомила, що її популярна серія імпульсних стабілізаторів R-78 — замінна лінійний стабілізаторам з втратами — тепер доступна з розширеним діапазоном вхідної напруги до 40 В і робочою температурою навколишнього середовища до +100 °C.

Нова економічна серія R-78CK-0.5 доступна з виходами 3.3, 5, 12 або 15 В, всі з номінальним струмом 0.5 А і коефіцієнтом перетворення до 96%. Досягнуті низькі втрати означають, що радіатор не потрібен, що економить матеріали і трудовитрати значний простір на платі. Залежно від варіанту, при температурі навколишнього середовища до +100 °C не потрібно або потрібно мінімальне зниження напруги,



оскільки компоненти працюють при мінімальній вхідній напрузі. При вищій вхідній напрузі повний вихід 0.5 А може бути використаний до мінімальної температури +65 °С, залежно від варіанту.

Забезпечується повний вхідний захист від зниженої напруги, короткого замикання і перегріву, а деталі сертифіковані за стандартом IEC/EN 62368-1 третьої редакції. Інші покращення в наявній серії R-78E включають нижчу допустиму диференціальну напругу між входом і виходом для вихідних частин 3.3 і 5 В, нижчий струм спокою і менший розмір корпусу в кожному вимірі при збереженні стандартної розводки виводів.

На відміну від лінійних стабілізаторів, ці елементи можуть бути налаштовані на формування від'ємного виходу з додатного виходу.

[www.recom-power.com](http://www.recom-power.com)

#### НОВІ МІКРОКОНТРОЛЕРИ ДЛЯ IOT ТА ВБУДОВАНИХ ДОДАТКІВ

Компанія **STMicroelectronics** розширила свою серію мі-

кроконтролерів STM32U5, представивши нові вироби, що підвищують продуктивність та безпеку при одночасному зниженні енергоспоживання.

Нові мікроконтролери засновані на ядрі Arm® Cortex®-M33, яке забезпечує чудову продуктивність та енергоефективність, а також стійкість до онлайн-атак. Навколо цього ядра ST реалізувала архітектуру, яка використовує переваги встановлених функцій Arm, таких як модуль захисту пам'яті та архітектура TrustZone для забезпечення чудової кібербезпеки. MCU також інтегрують криптографічні прискорювачі для передових алгоритмів AES, забезпечують підтримку архітектури з відкритим ключем та підвищують стійкість до фізичних атак.

Мікроконтролери STM32U5 отримали сертифікат Національного інституту стандартів та технологій США на вбудоване джерело ентропії із випадковими числами. Це перші в галузі мікроконтролери, які отримали таке схвалення. Оскільки клієнти можуть повторно використовувати цю сертифікацію, вона спрощує та прискорює сертифікацію для

тих програм, які потребують остаточної сертифікації SP800-90B.

STMicroelectronics розширила свою серію мікроконтролерів STM32U5, представивши нові вироби, що підвищують продуктивність та безпеку при одночасному зниженні енергоспоживання.

Нові мікроконтролери засновані на ядрі Arm® Cortex®-M33, яке забезпечує чудову продуктивність та енергоефективність, а також стійкість до онлайн-атак. Навколо цього ядра ST реалізувала архітектуру, яка використовує переваги встановлених функцій Arm, таких як модуль захисту пам'яті та архітектура TrustZone для забезпечення чудової кібербезпеки. MCU також інтегрують криптографічні прискорювачі для передових алгоритмів AES, забезпечують підтримку архітектури з відкритим ключем та підвищують стійкість до фізичних атак.

Мікроконтролери STM32U5 отримали сертифікат Національного інституту стандартів та технологій США на вбудоване джерело ентропії із випадковими числами. Це перші в галузі мікроконтролери, які отримали таке схвалення. Оскільки клієнти можуть повторно використовувати

цю сертифікацію, вона спрощує та прискорює сертифікацію для тих програм, які потребують остаточної сертифікації SP800-90B.

STMicroelectronics розширила свою серію мікроконтролерів STM32U5, представивши нові вироби, що підвищують продуктивність та безпеку при одночасному зниженні енергоспоживання.

Нові мікроконтролери засновані на ядрі Arm® Cortex®-M33, яке забезпечує чудову продуктивність та енергоефективність, а також стійкість до онлайн-атак. Навколо цього ядра ST реалізувала архітектуру, яка використовує переваги встановлених функцій Arm, таких як модуль захисту пам'яті та архітектура TrustZone для забезпечення чудової кібербезпеки. MCU також інтегрують криптографічні прискорювачі для передових алгоритмів AES, забезпечують підтримку архітектури з відкритим ключем та підвищують стійкість до фізичних атак.

Мікроконтролери STM32U5 отримали сертифікат Національного інституту стандартів та технологій США на вбудоване джерело ентропії із випадковими числами. Це перші в галузі мікроконтролери, які отримали таке



**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**

схвалення. Оскільки клієнти можуть повторно використовувати цю сертифікацію, вона спрощує та прискорює сертифікацію для тих програм, які потребують остаточної сертифікації SP800-90B.

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

## ВИСОКОІНТЕГРОВАНІЙ РАДАРНИЙ ДАТЧИК

Компанія **Infinion Technologies AG** представила новий радарний датчик XENSIV™ на 60 ГГц BGT60UR1 1AIP. Маючи компактний розмір всього 16 мм<sup>2</sup>, це найменший радарний датчик 60 ГГц з антенами в корпусі (AIP) на ринку і спеціально розроблений для інтеграції в найменші пристрої. Це робить датчик ідеальним для життєво важливих функцій (серцебиття і частота дихання) і медичних пристроїв, таких як радіоняні і трекери для відстеження сну. Він також підходить для побутової електроніки, такої як ноутбуки, телевізори та камери, а також для розумного будинку і будівельних пристроїв, таких як кондиціонери, термостати і розумні дверні дзвінки. Радарний датчик може також використовуватися в промислових додатках, включаючи робототехніку і вимірювання рівня в резервуарах.

Монолітна мікрохвильова інтегральна схема (MMIC) заснована на технології Infineon B11 SiGe BiCMOS, яка забезпечує відмінні радіочастотні характеристики. Мікросхема має надшироку смугу пропускання 5.6 ГГц і швидкість наростання сигналу 400 МГц/мкс. Завдяки цьому датчик працює в режимі безперервної частотно-модульованої хвилі (FMCW) з високою роздільною здатністю, чутливо виявляючи присутність і рух на відстані до 15 м (50 футів). Крім того, датчик забезпечує точне вимірювання відстані, 1D-жестікуляцію і виявлення життєво важливих ознак, і все це з можливістю виявлення руху з точністю до міліметра. Вбудовані антени забезпечують кут огляду ±60°. Крім того, інтегрований автомат дозволяє збирати дані в реальному часі без втручання процесора. MMIC також включає 12-розрядний аналого-цифровий перетворювач (АЦП) з частотою дискретизації до 4 MSPS (мегабіт/секунду).

Вбудований режим широко-модульована MMIC дозволяє син-

хронізувати декілька мікросхем. Він також містить в собі вбудовані датчики для вимірювання вихідної потужності та температури Tx. Крім того, датчик працює з наднизьким енергоспоживанням, що забезпечується апаратним режимом глибокого сну. Високий рівень інтеграції робить цю мікросхему ідеальною для оптимізації вартості системи.

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

## РОЗШИРЕННЯ ПОРТФЕЛЮ ВБУДОВАНИХ ПРОЦЕСОРІВ ДЛЯ КЕРУВАННЯ ДВИГУНОМ

Компанія **Renesas Electronics Corporation** представила три нові групи мікроконтролерів, що орієнтовані на застосування в системах керування двигунами. Renesas представляє понад 35 нових продуктів, включаючи пристрої з сімейств RX та RA. Нові мікроконтролери доповнюють провідний в галузі портфель продуктів для керування двигунами, що включає декілька сімейств MCU та MPU, аналогові та силові рішення, датчики, пристрої зв'язку, формувачі сигналів та багато іншого.

Renesas представляє дві нові групи мікроконтролерів з сімейства RA пристроїв Arm® Cortex®-M. Група RA4T1 забезпечує продуктивність 100 МГц з 256 КБ флеш-пам'яті та 40 КБ SRAM. Нова група RA6T3 працює на частоті 200 МГц і має 256 КБ флеш-пам'яті та 40 КБ SRAM.

Обидві нові групи пропонують винятковий набір можливостей і функцій спеціально для керування двигунами, включаючи тригонометричні функціональні блоки (TFU) для прискорення, вдосконалений АЦП з інтегрованим PGA, а також широкий вибір комунікаційних інтерфейсів, в тому числі CAN FD.

Нові компоненти підтримуються гнучким програмним пакетом Renesas (FSP) для легкого перенесення конструкцій з інших пристроїв сімейства RA.

Renesas також пропонує нові мікроконтролери групи RX26T сімейства RX, що працюють на частоті 120 МГц, мають до 512 КБ флеш-пам'яті та 64 КБ SRAM. Вони підтримують живлення 5 В, забезпечуючи високу заводськість і точність керування. Вони також підтримують TFU, синхронізацію на кристали

та керування перериваннями. Користувачі популярних мікроконтролерів RX24T можуть легко масштабувати свої проекти на нові продукти RX26T, щоб скористатися перевагами наявного програмного забезпечення для проектування, одночасно підвищуючи продуктивність і ефективність управління.

Компанія Renesas представила мікроконтролери, розроблені спеціально для керування двигунами, понад 10 років тому. На сьогодні компанія поставила понад 1.1 мільярда вбудованих процесорів для керування двигунами тисячам клієнтів по всьому світу. На додаток до сімейств RX і RA, Renesas пропонує 16-розрядні мікроконтролери RL78 і 64-розрядні мікроконтролери RZ, оптимізовані для застосування у двигунах. У 2022 році компанія Renesas представила першу в галузі ASSP на базі RISC-V, призначену для керування двигунами.

«Протягом багатьох років провідні світові постачальники побутової техніки, промислового обладнання, автоматизації будівель та офісів звертаються до Renesas для обробки сигналів керування двигунами, — сказав Роджер Венделкен, старший віцепрезидент і керівник підрозділу MCU в Renesas. — Ми пропонуємо найширшу в галузі лінійку продуктів та найповніший портфель технологій, а також неперевершену здатність надавати комплексні рішення, що охоплюють широкий спектр критично важливих функцій. Крім того, легендарна якість продукції Renesas є основою важливого в системі керування двигунами».

«Очікується, що ринок промислових двигунів буде стрімко зростати, оскільки індустріалізація та технології автоматизації машин продовжують розвиватися в країнах, що розвиваються. Ринок також грає від загальноналогового розвитку нових виробничих потужностей у відповідь на зростаючі геополітичні ризики, — сказав Таканобу Яманіші, старший науковий співробітник Fuji Keizai. — Зокрема, існує значний ринковий потенціал у робототехніці, обладнанні для виробництва електронних компонентів та електроінструментів, які широко використовують MCU. Ми очікуємо, що завдяки широкому асортименту мікроконтролерів для керування двигунами, які відповідають різноманітним вимогам клієнтів,

Renesas зможе допомогти галузі прискорити її розвиток».

Всі нові мікроконтролери підтримуються набором для розробки Flexible Motor Control від Renesas, який дозволяє легко оцінювати керування двигунами з постійними магнітами (безщітковими двигунами постійного струму), а також інструментом розробки Renesas Motor Workbench. Підвищуючи ефективність керування двигуном, мікроконтролери компанії Renesas можуть заощаджувати енергію в кінцевих системах.

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

## РОЗШИРЕННЯ АСОРТИМЕНТУ КОАКСІАЛЬНИХ РОЗ'ЄМІВ

Компанія **Würth Elektronik** розширила асортимент коаксіальних роз'ємів. Роз'єми серії SMA спеціально розроблені для частотного діапазону до 18 ГГц із опором 50 Ом. Завдяки технології різьбового з'єднання вони ідеально підходять як лінії передачі даних у середовищах із сильною вібрацією. Вони сертифіковані як стандартний інтерфейс згідно стандарту MIL-STD-348 і характеризуються надзвичайно складними технологіями виробництва (фрезерування на станках з ЧПУ з точністю до 0.003 мм, позолочені контакти).

Нові доповнення до асортименту також включають перегородкові роз'єми SMA та RPSMA з технологією різьбового з'єднання, прямий роз'єм, також зі звичайною та зворотною полярністю, роз'єми THT та кінцеві роз'єми для монтажу на верхній кромці друкованої плати — усі вони мають клас захисту IP67. Новинки також включають прямокутний SMA-адаптер WR-ADPT і серію варіантів кабельного штекера RPSMA з різними типами кабелю (RG174/U, RG-178/U, RG316/U), кожен стандартної довжини 152 та 305 мм.

Також компанія Würth Elektronik розширила свій асортиментний ряд коаксіальних кабелів і з'єднувачів кабельними роз'ємами серії N-Type, які відповідають вимогам MIL-STD-348 з опором 50 Ом. Це роз'єми для під'єднання до друкованої плати доступні у прямій і кутовій версії THT або у вигляді фланцевих панельних роз'ємів із 4 отворами з круглою опорою чи чашкою для

пайки. Крім попередньо зібраних кабелів, окремі кабельні з'єднання цієї серії також доступні для монтажу під замовлення на заводі виробника.

Коаксialні з'єднувачі Würth Elektronik цієї серії придатні для використання поза приміщеннями або в суворих умовах, наприклад, у базових радіостанціях, розподільниках сигналу, системах GPS, та системах в агресивному середовищі (наприклад, корабельних антенах). Це саме те застосування, для якого продукти цієї серії N-Туре й були розроблені.

Доступні як гвинтові з'єднання роз'ємів THT, так і з'єднання для монтажних пакетів з класом захисту IP67. Позолочені контакти THT мають підвищену корозійну стійкість порівняно зі стандартними лудженими роз'ємами, а позолочений центральний контактний матеріал із фосфорної бронзи навіть зменшує вартість компонентів порівняно з берилієво-мідними, які використовуються в інших моделях.

Компанія Würth Elektronik також пропонує різні кабельні збірки, включаючи серії з подвійним екрануванням Low Loss

195 і Low Loss 200, які сумісні з LMR195/200 або CFD195/200. Наприклад, кабель RG316 з оболонкою з FEP стійкий до масел, хімічних речовин і атмосферних впливів і може використовуватися при робочих температурах від  $-55$  до  $+165$  °C. Різноманітні кабельні з'єднувачі N-Туре призначені для швидкого монтажу кабельних вузлів в польових умовах. Надійне гвинтове з'єднання досягається без інструментів за допомогою накидної гайки з рифленою головкою. Гніздо перегородки IP67 і RG178 також підходить для мікрокоаксialних кабелів (1.3, 1.32 і 1.37). Нові коаксialні продукти від Würth Elektronik також включають адаптери N-Туре до SMA, необхідні для розширення з'єднання та адаптації радіочастотних інтерфейсів обо тестового обладнання.

[www.we-online.com](http://www.we-online.com)

#### НОВА ТЕХНОЛОГІЯ ЗМАЦЕННЯ ПІДШИПНИКІВ

Інженери науково-дослідного центру компанії **EVERCOOL** не-

щодавно створили вентилятор з системою повітряного ущільнення валу ELA (Ever Lubricate).

Конструкція валу такого типу дуже економічна (низькі матеріальні витрати та тривалий термін служби порівняно з традиційними рішеннями). Особливості цього рішення полягають у наступному: герметичний підшипник складається з п'яти компонентів — ковпачка, що утримує мастило, мідної гільзи, підшипника, пластикової шайби з герметиком з синтетичного поліефірного волокна (майлару) і кільця ущільнювача.

Конструктивне рішення компонентів ефективно запобігає витоку мастила через верхню частину підшипника. У нижній частині вентилятора герметичний цільний механізм може повністю герметизувати мастило всередині конструкції вентилятора без його витоку. Мідний підшипник, що використовується для блоку вентилятора, здатний зменшити кількість розтікання мастила, ефективно утримуючи його необхідну кількість у вентиляторі протягом тривалого часу, збільшуючи термін служби пристроїв та зменшуючи акустичний шум.

Конструктивна особливість вентиляторів системи ELA полягає в тому, що їх змащують, впершуочу достатню кількість мастила в мідний підшипник, а потім ущільнюють верхню та нижню частини підшипника, щоб запобігти витоку мастила, тим самим збільшуючи термін служби вентилятора. Оскільки підшипник, по суті, герметизований, пил залишається на верхній або нижній частині зовнішньої поверхні деталі, що мінімізує ймовірність відмови вентилятора через накопичення пилу.

Концепція цього новаторського дизайну в тому, що це повністю герметична конструкція з відсутністю механічного контакту протягом усього терміну служби вентилятора, що гарантує відсутність втрат мастила. Слід зазначити, що в цьому рішенні якість мастила з часом не погіршується (немає зовнішнього контакту), що важливо. Поки підшипники із системою ELA використовуються у вентиляторах постійного струму (DC), але розробки на їх основі ведуться, і такі моделі скоро вийдуть на ринок.

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

## ADVANTECH

### Інтелектуальні вбудовані комп'ютери Платформи для автоматизації на основі IoT

Роботизований/  
Автоматично  
керований  
транспортний засіб



Машинний автоматизований  
оптичний контроль



Керування рухом



Спрощення  
розгортання IoT  
для розумних  
фабрик



Промислові порти  
введення-виведення  
з гальванічною  
розв'язкою



Широкий  
температурний  
діапазон  
від  $-20$  до  $+60$  °C



Плати та камери  
для «машинного зору»



Граничні модулі AI



Intel IoT Solutions  
Alliance  
Premier

Плати контролю руху  
та карти відеозахоплення



[www.proxis.ua](http://www.proxis.ua)  
[sales@proxis.ua](mailto:sales@proxis.ua)

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

ПРОКСИС

# Виставка SECURITY 2.0 — нове ім'я виставки БЕЗПЕКА

**Цієї осені виставка SECURITY 2.0 презентує сучасні безпекові технології для захисту та збереження повноцінного функціонування всіх галузей економіки**

Сьогодні перед Україною гостро постало питання розробки фундаментально нової концепції безпеки. Від захисту кордону — до нових безпекових умов життєдіяльності територіальних громад, від інфраструктурних основ безпеки економіки — до реальної можливості гарантувати нашим людям захист від терору на рівні передових держав світу.

Майданчиком, для демонстрації безпекових інновацій, обміну ідеями та досвідом, комунікації представників державних інституцій, виробників та постачальників, професійних об'єднань, фахівців задля пошуку оптимальних рішень для завдань, що постали сьогодні перед багатьма підприємствами і компаніями, стане виставка SECURITY 2.0.

Виставка SECURITY 2.0 — результат низки трансформацій провідної галузевої виставки «БЕЗПЕКА» з урахуванням актуальних тенденцій і сучасних технологій. Напередодні війни, у 2021 році, було проведено ребрендинг події та створено сучасний бренд SECURITY 2.0 у відповідь на виклики, обумовлені глобальним трендом цифровізації економіки та суспільства.

Війна з РФ наочно та болюче показала уразливі місця у сфері безпеки критичної інфраструктури, промислових об'єктів, сектору АПК, житлових об'єктів. Воєнний час потребував швидких рішень і нових форматів. «Під сиренами ми проводили форуми, присвячені безпеці громад, інформаційній безпеці, безпеці критичної інфраструктури та гуманітарному розмінуванню, — розповідає керівник проекту SECURITY 2.0 Оксана Гордовенко. — Події викликали неабиякий інтерес з боку ринку, світових гравців, громад, фахівців, отримали потужну урядову підтримку і продемонстрували високий запит на живе спілкування, можливість презентації техніки та обладнання на стендах, що спонукало нас прийняти рішення про проведення виставки SECURITY 2.0 цієї осені».

В фокусі уваги SECURITY 2.0 — сучасні безпекові технології для захисту та збереження повноцінної життєдіяльності громад, функціонування об'єктів критичної інфраструктури, промислових підприємств та сільського господарства: безпека інфраструктури, пожежна безпека, сучасні безпекові технології, кібербезпека, гуманітарне розмінування, захисні споруди цивільного захисту, засоби індивідуального захисту. Серед учасників SECURITY 2.0 — вітчизняні та міжнародні лідери ринку безпеки.

В рамках SECURITY 2.0 на фахівців очікують цікаві дискусійні панелі та новини безпекової галузі від наших спікерів. Про відновлення повноцінної життєдіяльності громад, функціонування об'єктів критичної інфраструктури, промислових підприємств та сільського господарства на дискусійній панелі «Безпечна громада. Обладнання, споруди та системи захис-

ту життя» за модераторства Євгена Поремчука, IT-підприємця та громадського діяча, розкажуть експерти ринку — Мустафа Найєм, голова Державного агентства відновлення та розвитку інфраструктури України; Олександр Корінний, голова Асоціації ОТГ; Віктор Вітовецький, директор Департаменту організації заходів цивільного захисту ДСНС України.

Проблемам та перспективам гуманітарної протимінної діяльності в країні присвячено дискусійну панель «Розмінування територій України. Про сучасні технології та обладнання від учасників заходу за участі Ігоря Безкаравайного, заступника міністра економіки України; Євгена Зубаревського, заступника керівника секретаріату Національного органу з питань протимінної діяльності Міністерства оборони України; Олександра Лобова, спеціаліста з протимінної діяльності UNDP Ukraine; Дениса Головецького, Halo trust; Тимура Пістряги, голови Асоціації саперів України та Юлії Висоцької, директора з зовнішніх зв'язків ГС «Ліга оборонних підприємств України». Модератором виступить Ірина Кустовська, представник Асоціації саперів України.

Співорганізаторами SECURITY 2.0 виступають Ліга оборонних підприємств України та Асоціація саперів України. Виставка проходитиме за підтримки та участі Міністерства оборони України, Міністерства економіки України, Державної служби України з надзвичайних ситуацій, Державного агентства відновлення та розвитку інфраструктури України, ПРООН в Україні, Українського союзу пожежної та техногенної безпеки, Асоціації ОТГ України, Спілки українських підприємців, CEO Club, Міжнародної бізнес-спільноти Board.

Організатори SECURITY 2.0 з особливою уважністю дбають про безпеку учасників і відвідувачів виставки. Поряд з виставковим центром розташовані укриття — станція метро Шулявська, вул. О. Довженка, 10-й підземний перехід. В разі повітряної тривоги по системі гучного зв'язку ми оповістимо учасників та відвідувачів, просимо їх покинути приміщення виставкового центру і перейти до найближчого укриття. А також нагадуємо про особисту відповідальність за власну безпеку і закликаємо не ігнорувати сигнали тривоги і прямувати до укриття.

**КОЛИ: жовтень**

**ДЕ: ВЦ «АККО Інтернешнл»**

**УМОВИ участі: <https://www.bezpeka.ua>**

**КВИТКИ: <https://securityexpo2023.ticketforevent.com>**

**Соцмережі:**

**Facebook: <https://www.facebook.com/bezpeka.euroindex>**

**YouTube: <https://youtube.com/@security2.0>**

**СН**



# XX Міжнародний енергетичний бізнес форум «5Е»

## Енергетика. Електротехніка. Енергоефективність. Екологія. Енергоресурси

**XX Міжнародний енергетичний бізнес форум «5Е» відкриває горизонти технологічних можливостей для побудови нової архітектури повоєнної енергетичної системи України.**

**Ж**орстока повномасштабна війна, яку розв'язала проти нас росія, внесла багато змін у життя мільйонів українців, завдала важкого удару українській економіці та бізнесу. Але попри всі негаразди та трагедії, наш незламний народ об'єднався та вистояв. У короткий термін, навіть у таких непростих умовах, український бізнес знайшов можливість перебуватися та відновити свою роботу.

Міжнародному виставковому центру також вдалося пережити непрості часи, але ми зберегли свою стійкість та відчули, що можемо багато зробити для того, щоб об'єднати на єдиному майданчику незламних, успішних українців, які втрималися на ринку та мають здатність до подальшого зростання. У 2023 році, коли у бізнеса виникла необхідність у поновленні ділових зв'язків, комунікації, в обмінні досвідом, Міжнародний виставковий центр відновив свою діяльність.

Наразі триває підготовка до наймасштабнішої та найбільш відвідуваної галузевої події у сфері електроніки, інформаційних технологій, цифрової автоматизації, електротехніки, енергоефективності та енергоресурсів — XX Міжнародного енергетичного бізнес-форуму «5Е». 17–19 жовтня 2023 року одночасно відбудуться наступні виставки: «E-Comps+DigiTec», «Electro Install», «Енергетика в промисловості», «EcoEnergy Expo», «НафтоГазЕкспо», «Mining & Minerals Expo».

Унікальна синергія виставкових заходів концентрує на майданчику МВЦ чимало випереджаючих технологій, сучасного обладнання та техніки. Ця подія надає можливість відчути «пульс» технологічних змін, ознайомитись з кращими технічними рішеннями, від яких залежить щоденне безперербійне функціонування усіх сфер економіки України сьогодні та у майбутньому.

До участі у Міжнародному енергетичному бізнес-форумі «5Е» організатори залучають міжнародну й українську професійну спільноту — авторитетних галузевих експертів, представників влади, провідних фахівців електроенергетичного, нафтогазового та гірничодобувного ринків, лідерів електротехнічного, енергетичного і важкого машинобудування, електронної індустрії, спеціалістів суміжних галузей.



Серед виставкових проєктів особливе місце відведено виставці «E-comps+DigiTec», яка за тематикою презентує обладнання і технології виробництва мікроелектронної техніки, розробки рішень у сфері побудови корпоративних мереж передачі даних, телекомунікаційних мереж, цифровізації економіки. Синергетичний ефект двох тематичних складових виставки «E-Comps+DigiTec» створює ефективну комунікаційну платформу для розвитку електронної інфраструктури та реалізації проєктів цифрової трансформації в Україні. Особливої ваги виставка набула саме зараз, коли були перервані або обмежені логістичні ланцюги поставок, що призвело до дефіциту електроніки, комплектуючих та матеріалів для високотехнологічних виробництв.

Фахівці високо оцінюють формат проведення виставок, який традиційно залучає максимум надійних постачальників і потенційних споживачів, зацікавлених у запропонованих товарах та послугах. Саме тут, на експозиції, можна по-справжньому відчути «пульс» ринків високотехнологічних товарів, зустрітись з експертами, обмінятися актуальною інформацією. На виставки приходять відвідувачі, які знаходяться в активній фазі пошуку необхідної продукції, мають повноваження приймати рішення та обирати постачальників.

17–19 жовтня майданчик МВЦ стане місцем зустрічі професіоналів, лідерів галузі та всіх, хто розробляє, впроваджує та забезпечує цифрові технології в усіх сферах життя держави та бізнесу. Запрошуємо всіх зацікавлених фахівців підприємств, представництв, організацій взяти участь у роботі виставок!

17–19 жовтня 2023 **5Е** XX МІЖНАРОДНИЙ ЕНЕРГЕТИЧНИЙ БІЗНЕС-ФОРУМ  
Україна, м. Київ | Міжнародний Виставковий Центр

# Медичні стандарти та терміни: від А до Я

**Коли справа стосується медичних застосувань, потрібно розібратись у безлічі стандартів і правил. На це є вагомі причини через те, що дана техніка повинна мати постійне підключення для забезпечення життєдіяльності людини. І, коли справа доходить до вибору джерела живлення, ця стаття від швейцарського виробника джерел живлення TRACO POWER має допомогти розробникам підібрати джерела для особливо безпечного застосування.**

Якщо ви вважаєте, що універсально-го «медичного джерела живлення» не існує, ви маєте рацію. Підхід до вибору блоку живлення керуватиметься вашими електричними, механічними та бюджетними обмеженнями, специфікою використання вашої системи/приладу. Безпека в електричних та електронних медичних додатках базується на кількох стандартах (див. рис. 1). Центральним у процесі прийняття рішень є стандарт безпеки IEC 60601. Частина 1 цього стандарту охоплює загальні вимоги, від електромагнітної сумісності та випромінювання до зручності використання. Частина 2 зосереджена на конкретних вимогах до конкретних продуктів, таких як вентилятори, інфузійні насоси та дефібрилятори. Незважаючи на те що стандарту вже понад 40 років, він завжди йде в ногу з часом, відображаючи, як і де використовується та розгортається сучасне медичне обладнання.

Формальна оцінка ризику описана в ISO 14971. Мінімізація ризику є важливим елементом в керуванні медичними виробами протягом всього їхнього життєвого циклу. Також необхідно показати наявність системи управління якістю (QMS), яка відповідає стандарту ISO 13485. Це стосується не лише виробника пристрою, але й постачальників вибраних блоків живлення.

## ЩО ТАКЕ ПРИКЛАДНІ ЧАСТИНИ?

Наступне питання, на яке потрібно відповісти, полягає в тому, чи буде контактувати з пацієнтом або оператором під час нормального використання медичне електричне обладнання або система. У IEC 60601 вони визначені як прикладні частини, і є важливим визначенням під час обговорення ризиків і визначення вимог.

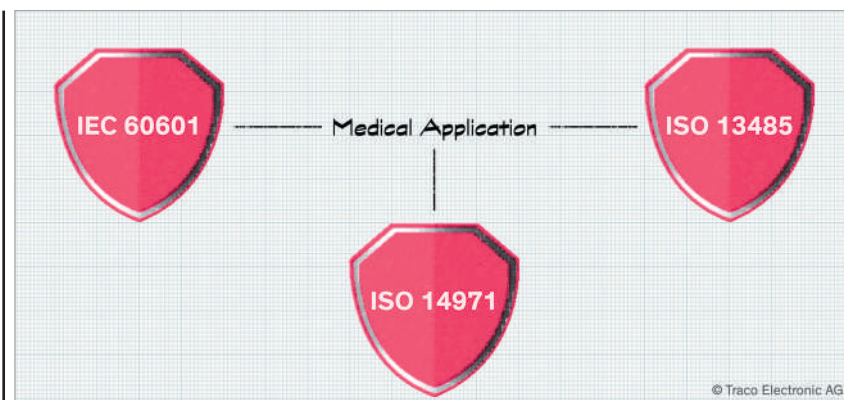
Для зменшення таких ризиків потрібен засіб захисту, що забезпечує захист від ураження електричним струмом навіть за умов несправності обладнання. Деякі процедури, такі як припикання та дефібриляція, використовують високу напругу. Вони можуть бути здійснені через прикріплене до пацієнта медичне обладнання, тому цей варіант також слід враховувати для захисту оператора. Досягається це за допомогою таких методів, як шляхи витoku, повітряні зазори, безпечна ізоляція та захисне заземлення, окремо або в комбінації.

Точні вимоги залежать від того, хто є об'єктом захисту. Пацієнти охоплюються параграфом (пунктом) «Засоби захисту пацієнтів» (MOOP, Means of Protection), тоді як оператори охоплюються параграфом (пунктом) «Засоби захисту операторів» (MOPP, Means of Operator Protection) (рис. 2). Оскільки пацієнти, підключені до апаратів, можуть бути без свідомості або мати обмежену рухливість, тому вимоги для пацієнтів є більш суворими з цих двох.

Не всі способи взаємодії з пацієнтом однакові. Їх можна класифікувати на три різні типи:

- тип B — заземлення без контакту з пацієнтом;
- тип BF — електрично підключений до пацієнта, але не безпосередньо до серця;
- тип CF — електрично підключений до серця пацієнта.

Стандарт IEC 60601 визначає максимальні струми витoku на «землю», корпус та пацієнта для кожного типу для

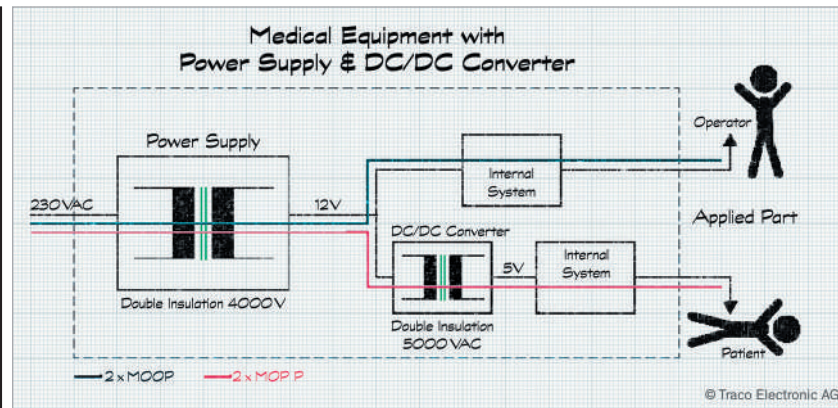


**Рис. 1. Стандарти, на яких базується безпека в електричних та електронних медичних додатках**

| 3rd Edition Requirements by Classification |                      |          |                     |
|--|----------------------|----------|---------------------|
| Classifications                            | Isolation            | Creepage | Insulation          |
| 1xMOOP                                     | 1500 V <sub>ac</sub> | 2.5 mm   | Basic               |
| 2xMOOP                                     | 3000 V <sub>ac</sub> | 5 mm     | Double / Reinforced |
| 1xMOPP                                     | 1500 V <sub>ac</sub> | 4 mm     | Basic               |
| 2xMOPP                                     | 4000 V <sub>ac</sub> | 8 mm     | Double / Reinforced |

The table is titled '3rd Edition Requirements by Classification'. It has four columns: 'Classifications', 'Isolation', 'Creepage', and 'Insulation'. The rows list different protection levels: 1xMOOP, 2xMOOP, 1xMOPP, and 2xMOPP, along with their corresponding isolation voltage, creepage distance, and insulation type. A small copyright notice '© Traco Electronic AG' is visible in the bottom right corner.

**Рис. 2. Визначення MOOP та MOPP відповідно до IEC 60601**



**Рис. 3. 2 x MOPP можна досягти за допомогою відповідного перетворювача постійного/постійного струму в поєднанні з джерелом живлення змінного/постійного струму, сумісним зі стандартом IEC 62368-1**

нормальних умов використання і за умови одиничного пошкодження. Те ж саме стосується рівнів ізоляції, при цьому до пристроїв з рейтингом BF/CF висуваються суворіші вимоги, ніж до пристроїв з рейтингом B.

### ДЖЕРЕЛО ЖИВЛЕННЯ – ЦЕ ПРИКЛАДНА ЧАСТИНА?

Деякі моделі блоків живлення призначені для медичних застосувань, прикладною частиною вважається лише та частина, яка контактує з пацієнтом або оператором. Як наслідок, забезпечення 2 x MOPP можна реалізувати у два етапи, а не за допомогою одного джерела змінного/постійного струму. На першому етапі використовується відповідне джерело живлення змінного/постійного струму з подвійною ізоляцією, яке відповідає 2 x MOOP для оператора. На другому етапі розгортається перетворювач DC/DC, що відповідає потребам 2 x MOPP для пацієнта.

Це означає, що джерела живлення змінного/постійного струму, що відповідають стандарту IEC 62368-1, що стосується обладнання інформаційних технологій, можна використовувати,

якщо вони відповідають іншим вимогам до живлення системи (рис. 3).

### ЯК ПОСТАЧАЛЬНИК ДЖЕРЕЛ ЖИВЛЕННЯ ДОПОМАГАЄ РОЗРОБНИКАМ МЕДИЧНИХ СИСТЕМ/ПРИЛАДІВ?

Як стало зрозуміло, не існує медично схваленого джерела живлення, яке б просто вирішило всі проблеми. Завжди потрібні оцінка ризиків і перегляд використовуваних вами частин, а також умов використання. Це спонукає команду проєктувальників до підходів, які відповідають медичним вимогам системи та іншим параметрам конструкції.

При цьому може допомогти співпраця з постачальником блоків живлення, який має досвід у цій галузі застосування. Він повинен мати систему управління якістю, що відповідає стандарту ISO 13485 і охоплює як процеси проєктування, так і виробництва. Але це мінімум, тому варто дізнатися, що ще він робить для забезпечення високого рівня безпеки та якості продукції. Крім того, у рамках вашої оцінки ризику постачальник також може надати цінні додаткові дані. Варто перевірити наявність звітів, що охоплюють такі питання, як наслідки пробую ізоляції, займистість, вплив несправності вентилятора, механічного удару та інвертованої роботи (експлуатації в перевернутому положенні).

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

### BQ24073RGTR – МІКРОСХЕМА ДЛЯ СТВОРЕННЯ ЗАРЯДНОГО ПРИСТРОЮ

Компанія CEA пропонує зі складу в Києві популярну мікросхему від **Texas Instruments Incorporated** – BQ24073RGTR, використовуючи яку можна без зайвих труднощів створити зарядний пристрій.

BQ24073RGTR являє собою мікросхему, призначену для портативних додатків з обмеженим простором. Вони працюють від USB-порту або від адаптера змінного струму і підтримують зарядний струм до 1.5 А. Точність обмеження вхідного струму USB та послідовність запуску дозволяють BQ24073RGTR відповідати специфікаціям пускового струму USBIF. Крім того, динамічне керування живленням на вході (VIN-DPM) запобігає збою зарядного пристрою від неправильно налаштованих джерел USB.

BQ24073RGTR має функцію динамічного керування живленням (DPPM), яка забезпечує живлення системи при одночасному та незалежному зарядженні акумулятора. Схема DPPM зменшує струм заряду, коли обмеження вхідного струму призводить до того, що вихід падає до порога DPPM; таким чином, забезпечуючи постійне навантаження системи за окремого контролю зарядного струму. Ця функція скорочує кількість циклів зарядження та розрядження батареї, забезпечує правильне завершення зарядження та дозволяє системі працювати з несправною або відсутньою акумуляторною батареєю. BQ24073RGTR застосовується в смартфонах, портативних медіаплеєрах, навігаційних пристроях та пристроях з низьким енергоспоживанням.

BQ24073RGTR використовує запатентовану технологію для обмеження пускового струму і дозволяє вибирати максимальний струм 100 або 500 mA, що відповідає стандарту USB-IF. Пристрій також може незалежно жити систему та вимикати батарею з функцією SYSOFF для правильного припинення зарядження та увімкнення системи. Пристрій також має програмовані таймери безпеки попередньої та швидкої зарядки і захист від зворотного струму, короткого замикання та перегріву.

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

Джерела живлення TRACO POWER відрізняються високою надійністю та оптимальним співвідношенням ціна/якість. Бренд співпрацює з провідними компаніями в різних секторах, включаючи медичний, промисловий та транспортний, щоб забезпечити найкращі рішення для клієнтів.

З продукцією TRACO POWER можна ознайомитись в каталозі SEA.

# «Хакінг» DC/DC-конвертера

Стів Робертс (Steve Roberts)

**«Злом», або «хакінг» (hack), — прогресивне рішення, яке використовує щось для певної мети, для якої це «щось» від самого початку не було призначене. Зазвичай його роблять заради розваги, але він може слугувати і для більш серйозних речей, даючи змогу знайти неординарне рішення, недосяжне за звичайного підходу. Але як можна «зламати» звичайний DC/DC-конвертер?**

У статті розглядаються чотири оригінальні приклади використання ізолюваного DC/DC-конвертера для живлення ключів. Ці способи можуть призначатися для безлічі різних застосувань. Вони побудовані на серії конвертерів RxxPxx компанії RECOM, що забезпечує базову ізоляцію 6.4 кВ DC (робоча напруга 250 В AC), промисловий діапазон робочих температур і малу прохідну ємність, а отже, підходять для живлення схем керування затвором високовольтних ключів.

Припустимо, є завдання керування SiC-транзистором, якому для оптимальної продуктивності та малих динамічних втрат потрібна позитивна напруга затвора близько +15 В і негативна -4 В (рис. 1). Після багатогодинних пошуків

ви виявляєте, що DC/DC-перетворювач з необхідною комб інацією напруг не виробляється як стандартна продукція. Що ж можна зробити?

**Важливе зауваження.** Застосування будь-якого електронного компонента за межами специфікації призводить до втрати гарантії. Якщо ви припускаєте використовувати одне з рішень, запропонованих далі, обов'язково зв'яжіться з виробником і отримайте його згоду.

## СПОСІБ 1: ВИКОРИСТАННЯ ВХІДНОЇ НАПРУГИ ЗА МЕЖАМИ СПЕЦИФІКАЦІЇ

Малопотужні нестабілізовані DC/DC-конвертери зазвичай мають спів-

відношення зміни вихідної напруги від вхідної як 1.2:1% за повного навантаження. Інакше кажучи, якщо вхідна напруга на 1014% вища або нижча за номінальну, вихідна зміниться більш значно і буде також вищою або нижчою приблизно на 12%. Це співвідношення покращується зі зменшенням навантаження, наприклад, при 50% воно становить 1.1:1% і при мінімальному навантаженні практично дорівнює 1:1%. Для забезпечення порівняння характеристик різних виробників зміну вихідної напруги від вхідної для нестабілізованих перетворювачів наводять для діапазону  $\pm 10\%$  від номінального. Що відбувається за рамками цього діапазону?

Конвертер працюватиме і за межами діапазону, але параметри можуть вийти за межі специфікації. Якщо вхідна напруга занадто висока або, навпаки, мала, вихідна також буде вищою або нижчою за специфікацію, але це можна практично використовувати в деяких ситуаціях. На рисунку 2 і в таблиці 1 показано значення, виміряні за допомогою плати для налагодження RECOM-REF01-HV, яка керує SiC-транзистором із частотою ШИМ 1 МГц.

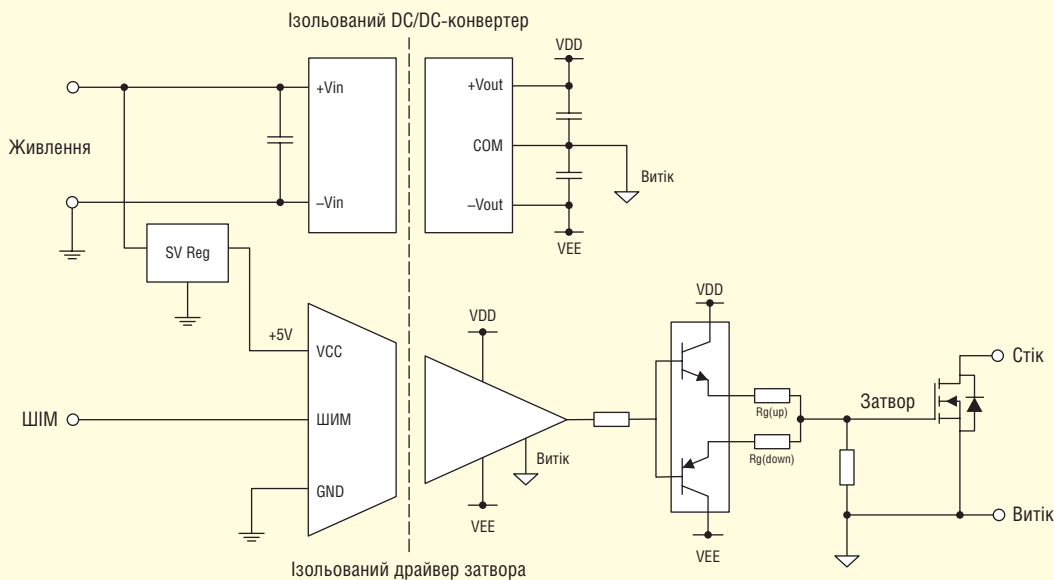


Рис. 1. Спрощена схема ізолюваного драйвера SiC-транзистора



Як видно з результату, встановлення вхідної напруги на 20% нижче за номінальну (9.6 В) дає змогу отримати необхідні нестандартні значення вихідної напруги, попри те, що ми працюємо за межами специфікації.

Як далеко ми можемо зайти з цим підходом? Результати наведено в таблиці 2. Результати, отримані в разі перевищення напруги, наведено в таблиці 3.

Ми бачимо, що конвертер працює і за межами  $\pm 10\%$  специфікації і не відбувається його раптової зупинки.

**Попередження.** Робота конвертера за межами специфікації за вхідною напругою призводить до збільшення внутрішніх навантажень, тому інші характеристики, як-от ККД, пульсації та діапазон робочих температур, можуть виходити за вказані рамки. Якщо вхідна напруга занадто низька, збільшений вхідний струм здатний призвести до перегріву компонентів первинної сторони. Під час збільшення напруги може бути перевищено допустиму напругу для конденсаторів і транзисторів. Робота за межами специфікації призводить до значного дрейфу вихідної напруги від температури або зміни навантаження, тому цей спосіб необхідно використовувати з обережністю!

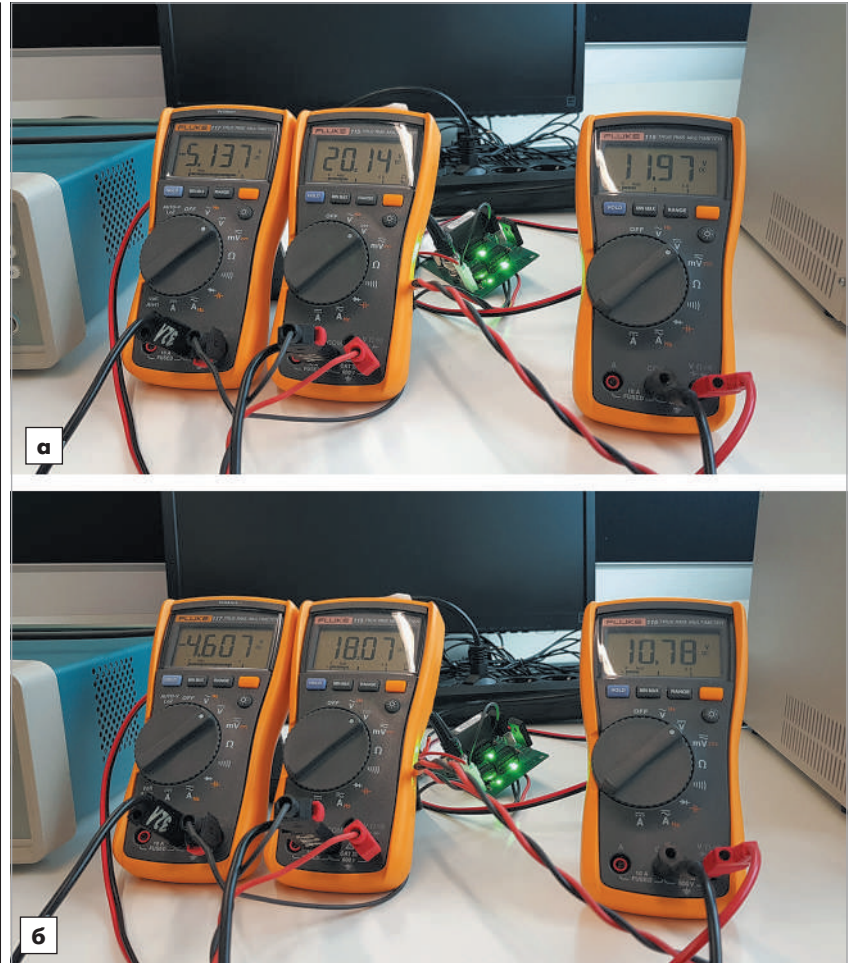
Для більш надійного отримання нестандартної асиметричної комбінації 15/-4 В необхідно використовувати частково стабілізовану схему.

## СПОСІБ 2: СТАБІЛІЗУВАТИ ТІЛЬКИ ОДИН ВИХІД

Під час використання DC/DC-конвертера RxxP21509D з асиметричним виходом +15/-9 В, якщо одна з напруг є необхідною, то другу можна стабілізувати до необхідного значення. Наприклад, для ізолюваного драйвера ключів струм кола від'ємної напруги менший, ніж у позитивної, отже, стабілітрон і звичайний *p-p-n*-транзистор можуть розв'язати це завдання (рис. 3).

Перевага цього рішення полягає в роботі DC/DC-конвертера в межах специфікації, тому немає ризику втрати гарантії та зниження продуктивності, включно з роботою в повному промисловому діапазоні температур  $-40...+85$  °С без зниження характеристик.

Крім того, шина негативної напруги залишається фіксованою незалежно від зміни навантаження і вхідної напруги. Значення напруги в межах діапазону можна встановити вибором іншого номіналу стабілітрона. Цей самий спосіб можна застосувати для стабілізації по-



**Рис. 2.** Результати тестування ізолюваного DC/DC-конвертера R12P22005D DC/DC з виходом +20/-5 В і номінальним входом: 12 В (а); 10.8 В (б), за 60%-го навантаження і під'єданого драйвера SiC-транзистора

**Таблиця 1.** Ізолюваний 2-Вт DC/DC-конвертер з асиметричним виходом (R12P22005D) за номінальної напруги живлення 12 В, -10 і 20% (за межами специфікації), за 60%-го навантаження

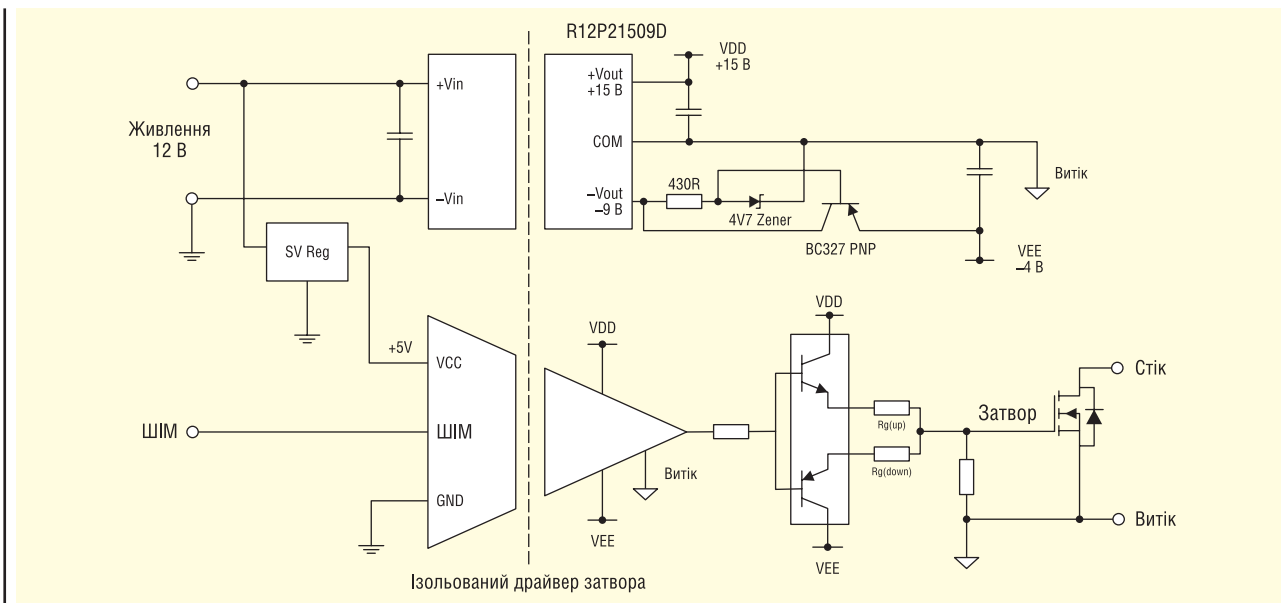
| Вхідна напруга | Вихідна напруга (+ve) | Вихідна напруга (-ve) |
|----------------|-----------------------|-----------------------|
| 12 В (ном.)    | +20.1 В (ном.)        | -5.1 В (ном.)         |
| 10.8 В (-10%)  | +18 В                 | -4.6 В                |
| 9.6 В (-20%)   | +16 В                 | -4 В                  |

**Таблиця 2.** Ізолюваний 2-Вт DC/DC-конвертер з асиметричним виходом (R12P22005D) за номінальної напруги живлення 12 В і значень, що наведені нижче за специфікацію, за умови 60%-вого навантаження

| Вхідна напруга | Вихідна напруга (+ve) | Вихідна напруга (-ve) |
|----------------|-----------------------|-----------------------|
| 12 В (ном.)    | +20.1 В (ном.)        | -5.1 В (ном.)         |
| 10.8 В (-10%)  | +18 В                 | -4.6 В                |
| 10.2 В (-15%)  | +17.5 В               | -4.5 В                |
| 9.6 В (-20%)   | +16 В                 | -4 В                  |
| 9 В (-25%)     | +15.4 В               | -3.9 В                |
| 7 В (-40%)     | +12 В                 | -3 В                  |
| 6 В (-50%)     | +10 В                 | -2.5 В                |

**Таблиця 3.** Ізолюваний 2-Вт DC/DC-конвертер з асиметричним виходом (R12P22005D) за номінальної напруги живлення 12 В і значень, що перевищують специфікацію за 60%-го навантаження

| Вхідна напруга | Вихідна напруга (+ve) | Вихідна напруга (-ve) |
|----------------|-----------------------|-----------------------|
| 120 В (ном.)   | +20.1 В (ном.)        | -5.1 В (ном.)         |
| 13.2 В (+10%)  | +22.6 В               | -5.8 В                |
| 13.8 В (+15%)  | +23.5 В               | -6 В                  |
| 14.4 В (+20%)  | +24.7 В               | -6.3 В                |



**Рис. 3.** Рішення зі стабілізацією негативної напруги

зитивної напруги, якщо її зміни більш критичні (спосіб 3).

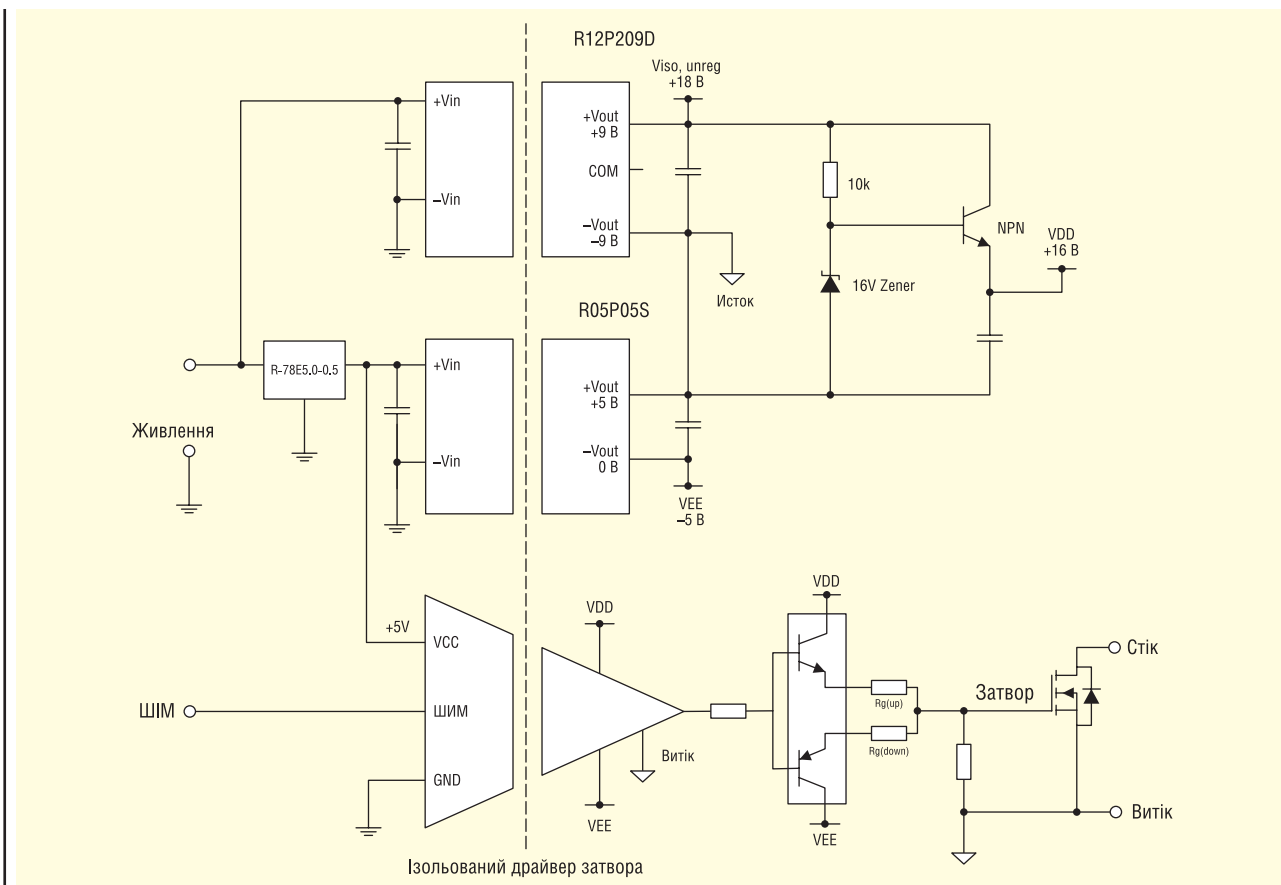
Недоліком цього підходу є обмеження струму в ланцюзі потужністю розсіювання транзистора. У цьому прикладі падіння на транзисторі становить близько 5 В, до того ж середній струм

навантаження не повинен перевищувати -100 мА (береться до уваги саме середнє значення, оскільки пікові компенсуються конденсаторами).

Якщо потрібен більший вихідний струм без зростання втрат, комбінація конвертерів стає найкращим варіантом.

**СПОСІБ 3: КОМБІНУВАННЯ КОНВЕРТЕРІВ**

Середня потужність споживання драйвера затвора залежить від діапазону напруги, заряду затвора і частоти перемиць, і її можна апроксимувати виразом:



**Рис. 4.** DC/DC-конвертер із комбінованим увімкненням

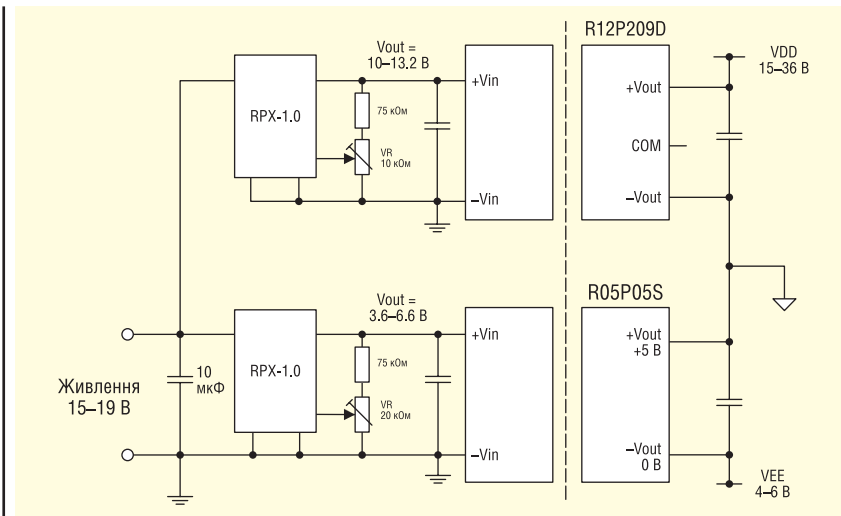


Рис. 5. Ізольований драйвер, що підлаштується, з асиметричними напругами

$$P_{gate\ driver} = V_{gate} \times Q_{gate} \times f_{sw}$$

Отже, потрібна більша потужність у разі збільшення частоти перемикачів або керування кількома транзисторами. Проте напруга в нашому прикладі асиметрична (+15/-4 В), і потрібна більша потужність на позитивній напрузі  $V_{gate}$ , ніж на негативній.

У разі перевищення можливостей одиничного DC/DC-конвертера за споживаною потужністю можна використовувати два різні конвертери, з'єднані на виході (рис. 4). У цьому прикладі забезпечується +16 В за 2 Вт і -5 В за 0.7 Вт.

DC/DC-конвертер R12P209D з біполярним виходом використовується з відключеним загальним виходом для отримання нестабілізованої шини 18 В/222 мА. Подальше застосування стабілітрона і біполярного транзистора видає регульовані +16 В.

Оскільки струм транзистора більший удвічі, а падіння напруги настільки ж менше, потужність розсіювання практично збігається з прикладом зі способу 2.

Додатково при цьому було здійснено заміну лінійного 5-В регулятора бюджетним імпульсним R-78E з вихідним струмом 500 мА при 5 В. Він забезпечує живлення і для драйвера ключа, і для DC/DC-конвертера R05P05SDC/DC, що робить негативну шину незалежною від коливань напруги шини +12 В.

Робота нестабілізованого DC/DC-конвертера від стабільної шини живлення збільшує загальну продуктивність системи та є базою для наступного способу: використання каскадного ввімкнення.

#### СПОСІБ 4: КАСКАДУВАННЯ КОНВЕРТЕРІВ

Як було показано в способі 1, вихідну напругу нестабілізованого конвертера можна «підлаштувати» зміною вхідної. Тому, якщо потрібна вихідна ізольована напруга драйвера, що підлаштується, додавання бюджетного неізольованого стабілізованого DC/DC-модуля дасть змогу створити схему настроювання напруги затвора в широкій межі (рис. 5). Цей спосіб особливо корисний під час порівняльного тестування різних позитивних і негативних значень напруги для виявлення оптимальної комбінації з найменшими втратами. Потім можна встановити постійні опори замість змінних.

Модуль RPX-1.0 є відмінним бюджетним DC/DC-модулем для SMD-монтажу, забезпечуючи вихідну напругу в широких межах 0.8-30 В з постійним струмом 1 А. Вихідна напруга може бути встановлена за допомогою резистивного дільника або для регулювання, як показано в цьому прикладі, за допомогою підлаштування опору. У будь-якому разі, під час використання продукції не за призначенням і за межами специфікації потрібна обережність.

Якщо у розробників виникають сумніви, вони завжди можуть звернутися за технічною підтримкою в компанію RECOM. Її фахівці протестують запропоноване рішення і дадуть оцінку його застосовності в конкретних умовах. Для серійної продукції співробітники RECOM можуть запропонувати доопрацювання стандартного конвертера з необхідною комбінацією вихідних напруг, а замовник отримує модифіковане рішення з повноцінною гарантією. **CN**



www.radiomag.com.ua

# Рішення для військової сфери

**Пропонуємо вашій увазі добірку сучасного промислового обладнання від компанії ПРОКСИС™, яке може бути корисним для Збройних Сил України.**

Для виконання поточних задач ЗСУ потрібне якісне матеріально-технічне забезпечення для всіх рівнів застосування — від оптимізації діяльності штабів до РЕБ та інших автоматизованих систем, що забезпечують оперативне та ефективне управління військами та бойовими засобами.

Автоматизація цих процесів підвищує оперативність управління, збору і доставки актуальної інформації, обґрунтованість рішень, якість управління та зменшує навантаження на залучений персонал.

Для їх роботи зокрема потрібне обладнання, яке буде працювати за несприятливих умов, тому має відповідати низці критеріїв, таких як: міцність, стійкість до перепадів температур, вібрації, ударів, електромагнітних завод, відповідність стандарту MIL-STD-810G.

Розглянемо добірку сучасного промислового обладнання від компанії Проксис, яке може бути корисним для Збройних Сил України.

## КОМПАКТНА ОБЧИСЛЮВАЛЬНА СИСТЕМА ШІ VESOW EAC-2000

EAC-2000 (рис. 1) — це компактна обчислювальна система зі штучним інтелектом (ШІ) на базі NVIDIA® Jetson Xavier™ NX, яка забезпечує потужну обчислювальну продуктивність до 21 TOPS. Завдяки вдосконаленому графічному процесору NVIDIA Volta™ із 384 ядрами NVIDIA® CUDA® та 48 тензорними ядрами Vesow EAC-2000/2100 допомагає прискорити впровадження додатків ШІ на границі. Оснащений роз'ємами Fakra-Z і підтримує розширений діапазон робочих температур від -20 до 70 °C, Vesow EAC-2000/2100 ідеально підходить для автомобільних додатків і будь-яких додатків AIoT.

*Характеристики:*

- компактний форм-фактор NVIDIA® Jetson Xavier™ NX підтримує до 21 TOPS продуктивності ШІ;

- передова архітектура NVIDIA Volta™ з 384 ядрами NVIDIA® CUDA® та 48 ядрами Tensor;
- безвентиляторний режим роботи від -20 до +70 °C;
- 4 GigE LAN з 2 PoE+, 4 USB 3.1, 1 цифровий дисплей;
- M.2 для 5G/4G/LTE/WiFi/BT/GPRS/UMTS;
- сховище: M.2 PCIe NVMe SSD, зовнішній Micro SD;
- вхідна напруга від 9 до 50 В постійного струму в широкому діапазоні;
- випробовано на ударостійкість та вібрацію за стандартом MIL-STD-810G;
- підтримка безпечного віддаленого моніторингу, керування та розгортання OTA в режимі 24/7 за допомогою Allxon.

## БАЗОВИЙ ЗАХИЩЕНИЙ ПК CINCOZE DV-1000

DV-1000 (рис. 2) оснащений процесором Intel® Core™ i7/i5/i3 9/8-го покоління (серія Coffee Lake-R S) та набором мікросхем Intel® H310, підтримує до 128 Гб пам'яті DDR4 2666 МГц.

DV-1000 забезпечує достатню потужність для важких багатозадачних робочих навантажень та додатків.

DV-1000 має найбільш популярні входи/виходи (порти LAN, USB, COM), аналогові та цифрові дисплеї (VGA і DP) та варіанти зберігання (SATA HDD/SSD, mSATA чи NVMe), достатні для більшості промислових додатків.

Для додавання додаткових входів/виходів чи функцій Cincoze пропонує власні модулі комбінованого вводу/виводу (CMI), модуль функцій управління (CFM), а також модуль карт розширення Mini-PCIe (MEC). Модулі CMI підтримують HDMI, DisplayPort, COM та DIO, модулі MEC підтримують розширення GbE LAN та USB, а модулі CFM мають функцію IGN.

DV-1000 був протестований на відповідність до ряду галузевих стандартів, в тому числі MIL-STD-810G для забезпечення надійної роботи в умовах сильних ударів і вібрації, а також на відповідність вимогам EMC EN50155 (тільки EN 50121-3-2) для розгортання в рухомому складі.

*Характеристики:*

- підтримка процесорів Intel® Core™ i7/i5/i3 чи Pentium®/Celeron® 9/8-го покоління (до 65 Вт);
- компактний розмір (224 × 162 × 64 мм);
- 1 роз'єм M.2 2280 key M, автоматичне визначення твердотільних накопичувачів NVMe/SATA;



Рис. 1. Vesow EAC-2000



Рис. 2. Cincoze DV-1000



Рис. 3. Winmate R19L100-RKA3ML

- 1 M.2 2230 key E для Intel® CNVi/ бездротового модуля;
- 2 повнорозмірних роз'єми Mini PCIe для розширення модулів;
- додаткові модулі CMI/MEC для розширення вводу/виводу;
- широкий діапазон робочих температур: від -40 до +70 °C;
- військовий стандарт (MIL-STD-810G) захист від ударів та вібрації;
- стандарт електромагнітної сумісності для залізних доріг EN50155 (тільки EN 50121-3-2).

### ВІЙСЬКОВИЙ ДИСПЛЕЙ WINMATE R19L100-RKA3ML

Дисплей і панельний комп'ютер Winmate (рис. 3) військового класу призначені для використання в надзвичайно суворих і несприятливих погодних умовах. Цей надміцний дизайн був розроблений, щоб витримати як військові, так і промислові застосування. Ці системи пройшли сертифікацію вібрації і удару MIL-STD 810F.

#### Характеристики:

- антикорозійний корпус/без вентилятора;
- відповідає MIL-STD-810F;
- механічна конструкція для монтажу в стійку;
- зручна екранна панель управління;
- вбудоване джерело живлення змінного струму/ізоляція постійного струму 9–36 В вхідної потужності (опціонально);
- вбудований датчик світла для автоматичного керування яскравістю;
- роз'єм живлення військового класу;
- стандартне скло AR;
- скло EMI ITO (опціонально);
- 5-дротовий резистивний дотик із захисним покриттям від електромагнітних завод (опціонально).

### ПАНЕЛЬНИЙ ПК ELGENS LPC-P185WAG

ELGENS LPC-P185WAG (рис. 4) — це 18.5" (1920×1080) безрамковий панельний ПК з P-сар з процесорами Intel® Tigerlake-UP3 Core™ i3/i5/i7, алюмінієвою передньою панеллю IP65, AG та 2.5" знімним лотком для жорстких дисків/твердотільних накопичувачів. Він має широкий діапазон вхідної напруги 12–24 В постійного струму. Робоча температура в діапазоні від -40 до ±70°C.

#### Характеристики:

- процесори Intel® Tigerlake-U Core™ i3/i5/i7;
- 18.5" плоска рамка з P-сар;
- РК-дисплей з роздільною здатністю 1920×1080;
- безрамочний и безвентиляторний дизайн;
- вхідна напруга в діапазоні 12–24 В постійного струму;
- передня панель IP65/66;
- 3-контактний клемний блок живлення;
- додаткове світлодіодне підсвічування 1000 нт;
- відповідність стандарту MIL-STD-810H.

### 10" ПЛАНШЕТ ПРОМИСЛОВОГО КЛАСУ ADVANTECH PWS-872

Планшет промислового рівня PWS-872 (рис. 5) оснащений процесором Intel® Core™ i3/i5/i7/Celeron®, 10.1" світлодіодним дисплеєм WUXGA з мультисенсорним керуванням PCAP, SSD-накопичувачем mSATA SATA III, декількома пристроями вводу/виводу та технологією зв'язку Wi-Fi (802.11 a/b/g/n/ac), NFC, 3G/4G LTE та Bluetooth 4.1.

Вбудована передня (2M) та задня (8M) камери, сканер штрих-коду 1D/2D та NFC-рідер надають зручні інструменти для збору даних, а дисплей високої яскравості, що читається під сонячним світлом, підтримує роботу просто неба.

Для мобільних додатків на місцях PWS-872 може бути інтегрований із зовнішньою батареєю із можливістю гарячої заміни, яка підтримує до 11 годин роботи для довготривалого використання. Розроблений для суворих умов навколишнього середовища, PWS-872 також сертифікований згідно стандарту MIL-STD-810G на стійкість до ударів та вібрації, має ступінь захисту IP65 від проникнення води та пилу, а також витримує падіння з висоти до 4-х футів (1.22 м).

PWS-872 може бути інтегрований з широким спектром периферійних при-



Рис. 4. ELGENS LPC-P185WAG



Рис. 5. Advantech PWS-872

строїв, таких як автомобільна док-станція, зарядний пристрій на декілька відсіків та універсальна кришка і різноманітні модулі розширення вводу/виводу для забезпечення рішень конкретних додатків.

#### Характеристики:

- процесор Intel® Core™ i3/i5/i7/Celeron® 7-го покоління із вбудованою технологією Intel® Turbo Boost;
- 10.1" світлодіодний дисплей WUXGA з високою яскравістю та стійкістю до подряпин Corning® Gorilla® Glass 3;
- сенсорний екран Multi-Touch PCAP з підтримкою роботи в рукавичках
- міцна конструкція з сертифікацією MIL-STD-810G, класом захисту IP65
- 4G LTE, WLAN (802.11 a/b/g/n/ac), Bluetooth 4.1 та модулі GPS з підтримкою BeiDou/GLONASS;
- вбудовані передня та задні камери, сканер 1D/2D штрих-коду та зчитувач NFC RFID;
- акумулятор із можливістю гарячої заміни підтримує до 11 годин роботи (розрахунковий час автономної роботи заснований на тесті MobileMark® 2014, фактична продуктивність акумулятора залежить від налаштувань та конфігурації системи);
- ОС Microsoft® Windows 10;
- додаткові периферійні пристрої: автомобільна док-станція, настільна док-станція та декілька модулів розширення.

Матеріал надано ПРОКСИС™  
www.proxis.ua

CN

# Проектування систем автомобільної електроніки з використанням синхронізувальних MEMS-пристроїв

Грехем Мостін (Graham Mostyn), директор проектного відділу, Microchip Technology

**У статті розглядаються переваги використання MEMS-осциляторів у сучасних автотранспортних засобах порівняно з традиційними кварцовими резонаторами.**

Усі ми є свідками стрімкого розвитку автомобільної електроніки. Ті результати, які були досягнуті в першій половині минулого століття і здебільшого стосувалися вдосконалення механіки (наприклад, автоматична трансмісія, гідропідсилювач керма, омивачі вітрового скла, круїз-контроль), стали

давно звичними для водіїв. Впровадження інноваційних рішень відбувається завдяки зростанню обчислювальних ресурсів напівпровідникових пристроїв, розвитку інфраструктури бездротового зв'язку та Інтернету. Автотранспортні телематичні системи, в яких засоби зв'язку спільно функці-

онують з обчислювальною технікою, насамперед дають змогу підвищити безпеку і зручність водіння машин. Реалізація та вдосконалення функцій цих систем багато в чому стали можливими завдяки підключенню до комунікаційної інфраструктури.

## БЕЗПЕКА

Система сприяння керуванню автомобілем (ADAS) сповіщає водія про потенційно небезпечні ситуації і в

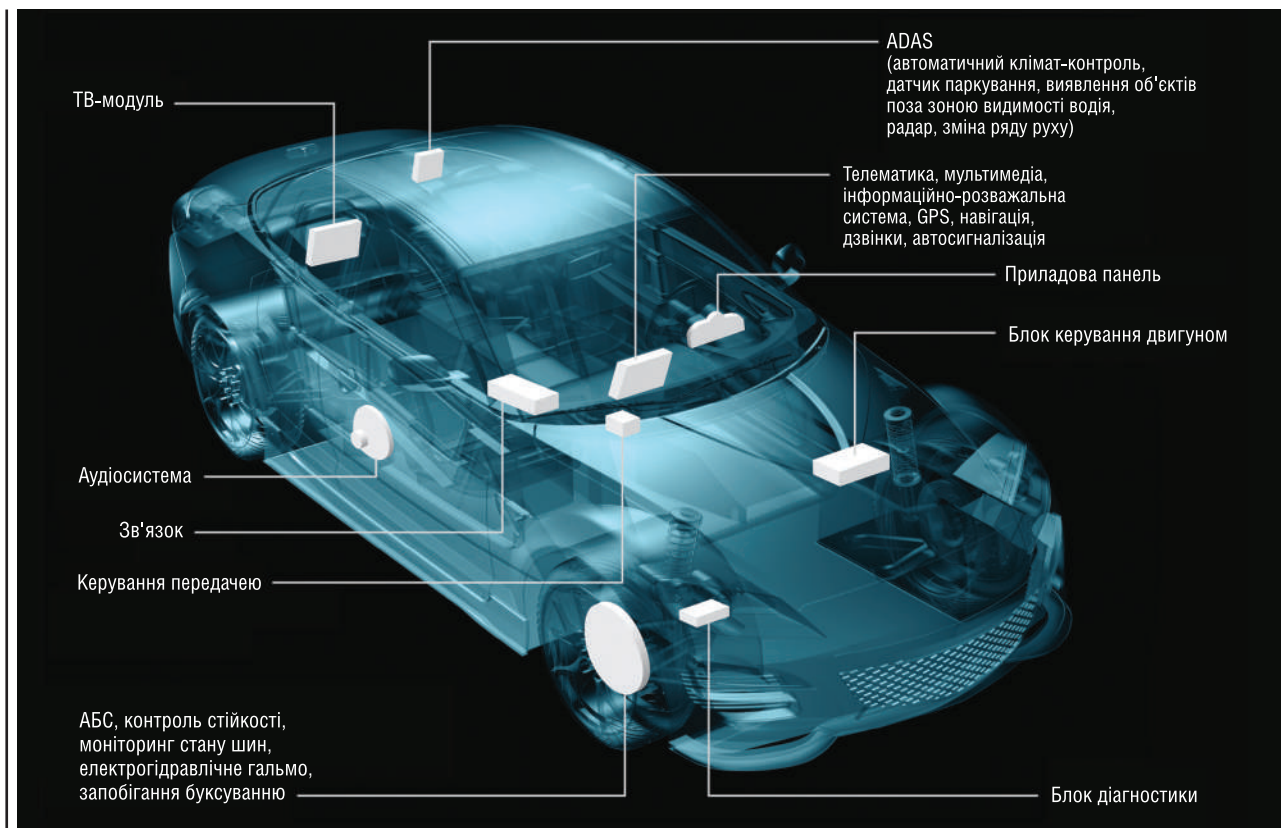


Рис. 1. Електронні підсистеми сучасного автомобіля

деяких випадках забезпечує автоматичне керування автотранспортним засобом. Радар, відеокамери кругового огляду, а також інтелектуальні модулі обробки зображення у складі ADAS дають змогу контролювати відстань до інших об'єктів, допомагати під час гальмування та паркування, визначити швидкість руху тощо. Наприклад, ADAS-система забезпечує тактильний зворотний зв'язок із шофером через кермо під час спроби виїзду автомобіля на іншу смугу або автоматично змикає гальма, якщо інша машина опиняється дуже близько. Така система сповіщає відповідні служби про аварійну ситуацію або забезпечує навігаційні послуги, визначаючи потенційні загрози на дорозі в реальному часі.

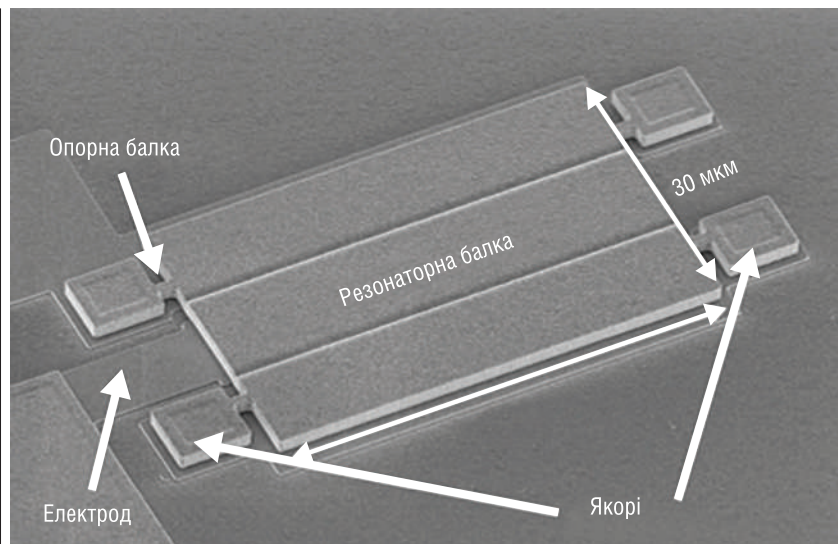


Рис. 2. Мікрофотографія МЕМС-резонатора перед корпусуванням

## КОМФОРТ

Інформаційно-розважальні системи (IVI) надають відповідний контент, забезпечують GPS-навігацію, зв'язок зі смартфонами за допомогою сенсорного екрана в автомобілі та розпізнавання мовних команд.

## ІНШІ СЕРВІСИ

Сервіси з керування автотранспортним засобом дають змогу відстежувати викрадений автомобіль, дають рекомендації з технічного обслуговування та оновлюють функціонал за допомогою нових версій програмного забезпечення. На рисунку 1 показано основні функції електронних підсистем сучасного автомобіля.

Автовиробники змушені вирішувати три основні завдання під час реалізації системи на базі інтелектуальної технології зв'язку:

1. Нова технологія має бути надійною — забезпечувати захист і безпеку пасажирів і пішоходів.
2. Вона має працювати за екстремальних температур. На відміну від електронних компонентів для промислового застосування, які функціонують у межах  $-40...85$  °C, електронні пристрої в автотранспортних засобах розраховані на експлуатацію в діапазонах  $-40...105$  °C (клас 2),  $-40...125$  °C (клас 1) та  $-40...150$  °C (клас 0) або вище  $150$  °C.
3. Розмір і вага — найбільш критичні параметри через велику кількість електронних підсистем та їхню складність. Для багатьох із цих нових

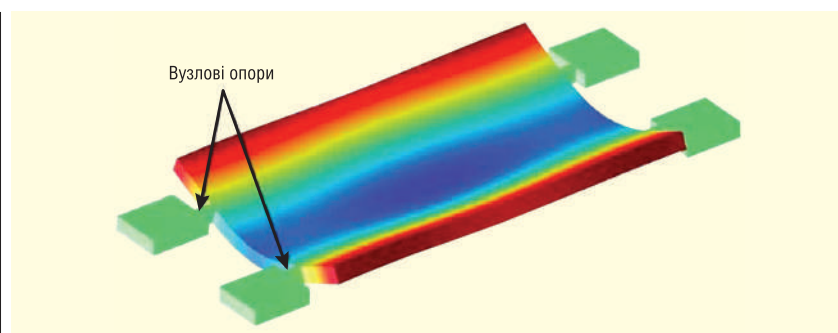


Рис. 3. Згинання балки під впливом електростатичної сили

застосувань осцилятори та генератори тактових імпульсів компанії Microchip на базі мікроелектромеханічної (MEMS) технології є чудовими рішеннями, що відповідають потребам вдосконалених систем і тих викликів, з якими стикається автомобільна галузь.

## МЕМС-ОСЦИЛЯТОРИ І ТАКОВІ ГЕНЕРАТОРИ

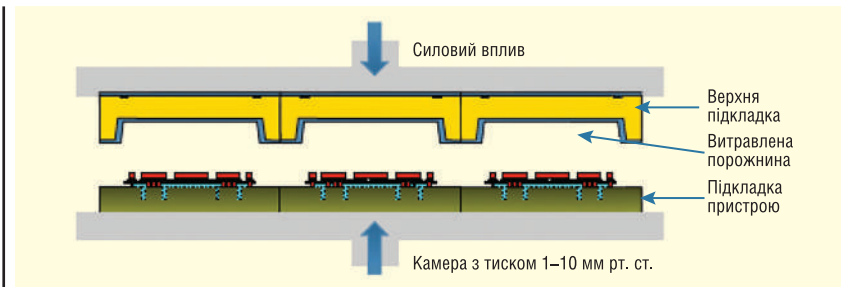
Кварцові резонатори справно служать в осциляторах, тактових генераторах уже багато десяти років і мають попит у великій кількості застосувань. Однак МЕМС-технологія дає змогу замінити кварцові кристали МЕМС-резонаторами.

До переваг МЕМС-осциляторів належать висока надійність (зокрема відповідно до вимог AEC-Q100), ударостійкість, стабільність частоти вихідного сигналу в розширеному діапазоні робочої температури, невеликий розмір і мале енергоспоживання. Далі ми подивимося, завдяки чому досягаються ці переваги.

## ВИСОКА НАДІЙНІСТЬ

Кварцові кристали являють собою пластини розміром у кілька міліметрів, виготовлені з чистого кварцу (діоксиду кремнію) з покриттям зі срібла по обидва боки. Кристали з'єднуються з контактами за допомогою провідного епоксидного складу і поміщаються в герметичний корпус (керамічний або металевий), заповнений сухим азотом. Перед збиранням резонатор налаштовується на задану робочу частоту. МЕМС-резонатори виготовляють із чистих кремнієвих пластин із використанням того ж літографічного процесу, який застосовується для виробництва напівпровідникових кристалів. Резонатор складається з крихтливої полікристалічної балки розміром  $30 \times 50$  мкм, яка підвішується на кремнієві опори над полікремнієвою заземлювальною площиною (див. рис. 2). Балка прогинається, коли вона притягнута до цієї площини під впливом електростатичних (на відміну від п'єзоелектричних) сил (див. рис. 3).

З однієї кремнієвої пластини виготовляють приблизно 100 тис. резона-



**Рис. 4.** Зварювання верхньої підкладки з підкладкою пристрою



**Рис. 5.** Кристал резонатора з МЕМС-структурою всередині герметичної порожнини. Перехідні отвори забезпечують зв'язок резонатора із зовнішньою поверхнею кристала

### УДАРОСТІЙКІСТЬ

Кожен МЕМС-кристал встановлюється на верхню частину КМОП-осцилятора і з'єднується з ним за допомогою проводу (див. рис. 6). Уся збирна конструкція монтується в корпус з використанням стандартного методу ливарного формування (див. рис. 7). На відміну від кварцу, в цьому випадку не потрібне фінальне герметичне корпусування.

Оскільки МЕМС-резонатор дуже мало важить (на кілька порядків менше порівняно з кварцовими корпусами), розрахункове значення його ударостійкості становить 1 млн г. На практиці обмежувальним фактором є корпус, через який ударостійкість такого МЕМС-пристрою менша і дорівнює десяткам тисяч г. Зауважимо, що у кварцових пристроїв цей показник не перевищує 50–100г.

### СТАБІЛЬНІСТЬ ЧАСТОТИ

Параметри МЕМС-резонатора істотно залежать від температури. Однак ця залежність передбачувана. У схему КМОП-осцилятора входить високоточний датчик температури, який спільно



**Рис. 6.** МЕМС-кристал встановлюється на верхню частину осцилятора ASIC



**Рис. 7.** Інтегральний осцилятор у корпусі

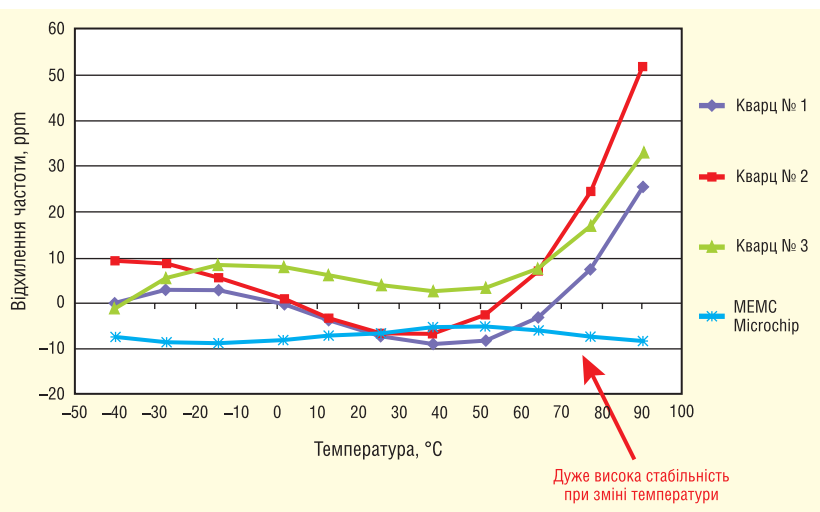
з ФАПЧ з дробовим коефіцієнтом ділення N забезпечують автоматичну корекцію частоти при зміні температури. МЕМС-резонатор може працювати за температури понад 200 °С. Сучасні МЕМС-осцилятори мають дуже високу стабільність частоти, принаймні до 125 °С (див. рис. 8).

### КОМПАКТНИЙ РОЗМІР

Розмір кристала резонатора становить лише 400 кв. мкм, а завдяки меншим проектним нормам розміри КМОП-кристала стали меншими за

торів із використанням стандартного літографічного процесу. Крім того, в їхньому виробництві застосовують кілька специфічних для МЕМС процедур травлення, що дають змогу створити об'ємну структуру. Виготовляється також верхня підкладка, яку протравлюють таким чином, щоб забезпечити відповідність кожної резонаторної структури на поверхні підкладки пристрою. Ці дві підкладки вирівнюються відносно одна одної, притискаються у вакуумі одна до одної і герметизуються в печі за високої температури. Сплав двох цих підкладок має дуже високу міцність (див. рис. 4). Потім кремнієву пластину розрізають на окремі МЕМС-кристали, резонатори яких розташовані в герметичних порожнинах, сформованих у верхній підкладці (див. рис. 5).

У вакуумі та під час нагрівання видаляються всі забруднення, завдяки чому створюється дуже чиста порожнина, що забезпечує високу надійність функціонування МЕМС-резонатора. Резонатор у порожнині з'єднується із зовнішньою частиною кристала за допомогою перехідних отворів, що дає змогу зберегти герметичність порожнини, тоді як керамічні або металеві корпуси, у які поміщено кварцові кристали й осцилятор ASIC, мають порівняно великі розміри і не забезпечують такого рівня чистоти. Крім того, під час дегазації епоксидного складу відбувається невеликий зсув частоти.



**Рис. 8.** Порівняння стабільності частоти кварцового і МЕМС-осциляторів

Дуже висока стабільність при зміні температури

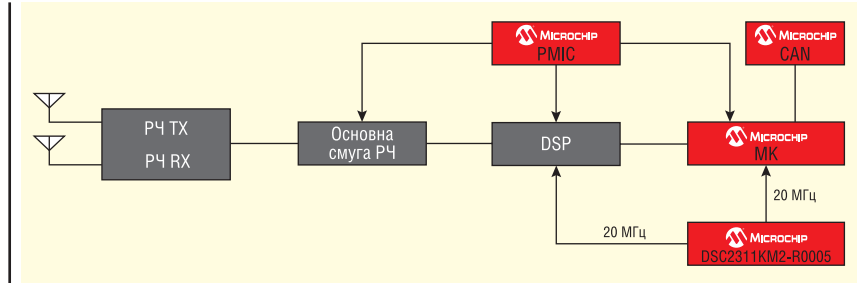


1 кв. мм. Новий пристрій DSC6000 випускається в корпусах, розміри яких становлять 1.6×1.2 мм.

**МЕМС-ОСЦИЛЯТОРИ І ТАКТОВІ ГЕНЕРАТОРИ ДЛЯ АВТОМОБІЛЬНИХ ЗАСТОСУВАНЬ**

**А**DAS-радар дальньої дії визначає швидкість, азимут і висоту багатьох автомашин, пішоходів та інших об'єктів на дорозі в складних умовах міського трафіку. Радарна підсистема передає НВЧ-сигнали в навколишній простір і виявляє близькі об'єкти за енергією відбитих сигналів за допомогою приймача. На рисунку 9 показано реалізацію ADAS-радара дальньої дії. РЧ TX і РЧ RX — радіосигнали передавача і приймача, оснащених власними антенами. Часовий інтервал між переданим і прийнятим сигналами з урахуванням доплерівського зсуву частоти дає змогу визначити відстань до об'єкта і його відносну швидкість. Цей вимір спрощується шляхом частотної модуляції сигналу, що передається, за допомогою DSP-блока і перетворення в сигнал з аналоговою модуляцією.

Отримані відбиті сигнали також перетворюються в сигнали основної смуги частот, а потім оцифровуються DSP для використання в якості даних про від-



**Рис. 9. Структурна схема ADAS-радара дальньої дії**

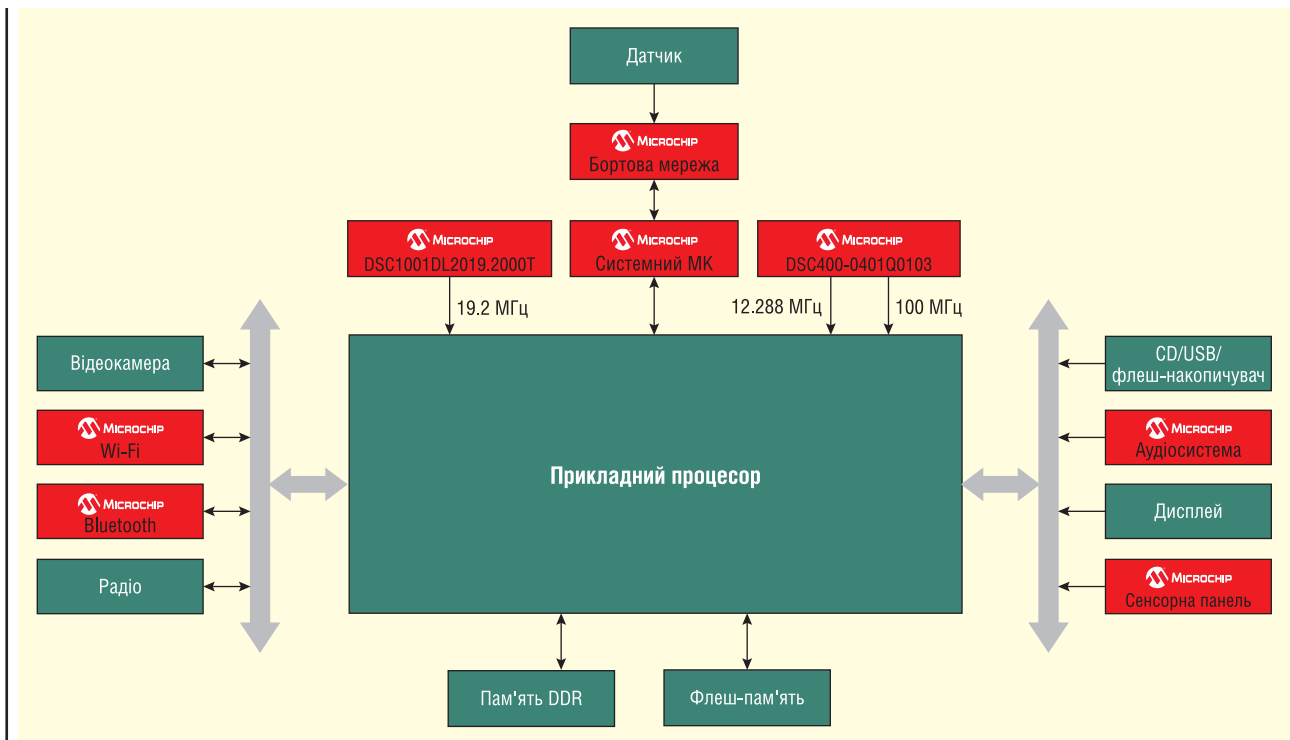
стань і швидкість. Технологія керованого спрямованого випромінювання дає змогу отримати інформацію про азимут. ІС керування живленням (PMIC) керує живленням схеми. Первинним джерелом живлення слугує автомобільний акумулятор. Централізоване керування системою здійснюється мікроконтролером (МК). Його зв'язок з іншими пристроями реалізується за допомогою CAN-шини.

Зі свого боку, контролер передає дані водієві і підсистемам. Тактовий MEMS-генератор DSC2311 має два роздільних КМОП-виводи з частотою 20 МГц для МК і DSP. Ця надійна в експлуатації мікросхема має стійкість до ударів, забезпечує дуже стабільну частоту в діапазоні -40...125 °C і дає змогу заощадити місце, яке займає на платі, завдяки двом роздільним виводам із буферизацією в одному корпусі розміром 2.5×2.0 мм.

**ІНФОРМАЦІЙНО-РОЗВАЖАЛЬНА СИСТЕМА**

**І**нформаційно-розважальна система надає дані про керування автотранспортним засобом і розважальні сервіси. На рисунку 10 показано взаємодію спеціалізованого прикладного процесора автомобільної системи з дисплеєм сенсорної панелі. Блок радіо (включно з GPS, службами супутникового та наземного зв'язку) і CD/DVD-приводи відтворюють музику, відео та забезпечують навігацію з використанням у т.ч. аудіосистеми та дисплея. Модуль Bluetooth і Wi-Fi надає зв'язок зі смартфонами та відеокамерою кругового огляду, даючи змогу водієві безпечно маневрувати автомашиною.

Мікроконтролер забезпечує централізоване керування через бортову мережу (як правило, через шину CAN) такими системними функціями, як ре-



**Рис. 10. Структурна схема автомобільної стереосистеми**

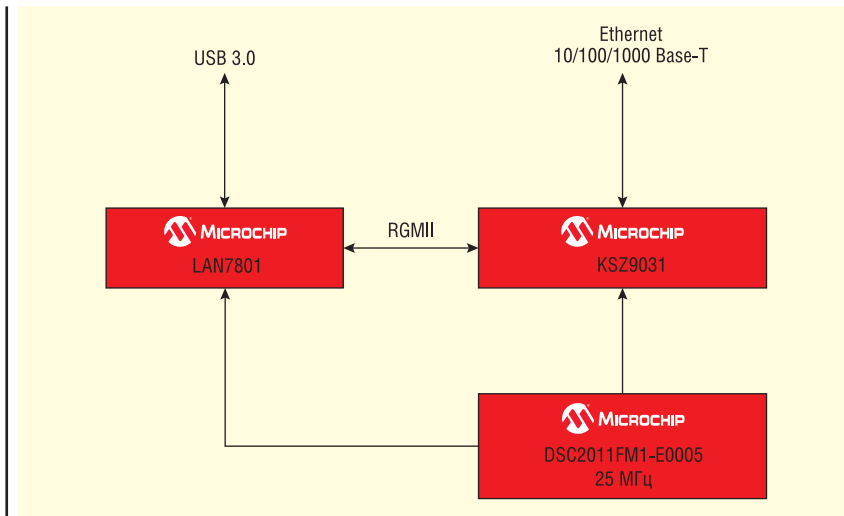


Рис. 11. Структурна схема автомобільної мережі

гулювання температури, контроль над дверними замками та тиском у шинах. 100-МГц тактовий HCSL-генератор DSC400 з дуже невеликим джиттером забезпечує зв'язок із флеш-пам'яттю. Він також генерує тактові сигнали частотою 12.288 МГц для цифрової аудіосистеми. Окремий осцилятор DSC6100 являє собою джерело 12-МГц сигналів для МК всередині прикладного процесора.

## МЕРЕЖНИЙ ЗВ'ЯЗОК

Підключеним до мереж інтелектуальні автомашини з GPS, мультимедійними функціями, блоками керування двигуном і системою сприяння керуванню автомобілем потрібні мережні протоколи, що підтримують більшу ширину смуги пропускання порівняно з протоколом CAN. Компанія Microchip випускає приймачі з підтримкою технології MOST (Media Oriented Systems Transport — високошвидкісне передавання даних у бортовій системі автомобіля), що забезпечують відповідність вимогам до мережного зв'язку зі швидкостями передавання до 150 Мбіт/с USB 3.1 Gen 2 (до 10 Гбіт/с) і 100Base-T1 Ethernet (до 100 Мбіт/с).

Контролери INIC (Integrated Network Interface Controllers) від Microchip для MOST-мереж працюють із тактовим сигналом розподіленої мережі. Крім того, оскільки потрібен також резервний тактовий генератор, наразі для цієї мети вивчається питання про застосування компонента DSC6100 розміром 1.6×1.2 мм, що працює на частотах 18.432 і 24.576 МГц.

Високошвидкісним додаткам з USB 3.1 і 100Base-T1 Ethernet потрібні такто-

ві генератори з малим джиттером, щоб уникнути бітових помилок у потоках даних. На рисунку 11 показано структурну схему вихідного проекту Ethernet/USB. Джиттер генератора DSC2311, що працює на частоті 25 МГц, становить приблизно 400 фс (СКЗ) у смузі зміщення 100 кГц...20 МГц. Ці параметри набагато кращі за мінімальні значення, зазначені в стандарті.

## ВІДМІННА ВІДПОВІДНІСТЬ ПОТРЕБАМ АВТОМОБІЛІВ НАСТУПНОГО ПОКОЛІННЯ

Напівпровідникові синхронізувальні MEMS-пристрої, що повною мірою відповідають вимогам інтелектуальних автомобілів завтрашнього дня з функціями зв'язку, забезпечують високу точність ( $\pm 10$  ppm) і надійність, зокрема й ту, яку визначено стандартом AEC-Q100. Вони працюють у широкому діапазоні температури  $-55 \dots 125$  °C, мають чудову стійкість до ударів і вібростійкість, а також компактні розміри.

Компанія Microchip пропонує найповніший у галузі набір MEMS-рішень для синхронізації, до числа яких відносяться осцилятори з одним виходом, що легко замінюють традиційні кварцові осцилятори, та генератори з декількома виходами, які забезпечують високу надійність та високоточні тактові сигнали, не потребуючи використання зовнішнього кристала.

Детальнішу інформацію про нашу продукцію та засоби проектування див. на сторінці MEMS Timing (<https://www.microchip.com/en-us/products/clock-and-timing/components/mems-timing>). CN

## ПРОЦЕС РОЗРОБКИ ОДНОКРИСТАЛЬНОЇ КРИПТОГРАФІЧНОЇ ПЛІС POLARFIRE® ВІД MICROCHIP

Безпека сьогодні є обов'язковою вимогою для всіх розробок на всіх вертикальних ринках. Нещодавно системні архітектори та дизайнери отримали додаткові докази безпеки своїх комунікаційних, промислових, аерокосмічних, оборонних, ядерних та інших систем, що покладаються на ПЛІС PolarFire від **Microchip Technology**. Національний центр кібербезпеки уряду Великої Британії (NCSC) перевіряв ці пристрої на відповідність суворим вимогам щодо відмовостійкості на рівні пристроїв, які використовуються з однокристальним криптографічним потоком.

«NCSC проводить дуже суворий аналіз, і робота, проведена з компанією Microchip над методологією розділення дизайну в ПЛІС PolarFire, дозволяє користувачеві скористатися перевагами підвищеної стійкості та функціональної ізоляції всередині пристрою. Це посилює відданість компанії Microchip нашому комплексному підходу до безпеки, — сказав Тім Морін (Tim Morin), технічний співробітник підрозділу ПЛІС компанії Microchip. — Цей аналіз дає можливість використовувати однокристальну криптографію на додаток до того, що вже існує в пристроях для захисту інтелектуальної власності, захисту даних і захисту від фізичного втручання — часто ігнорованої і дуже потужної загрози для кожної електронної системи, особливо для тих, що знаходяться на передовій інтелектуальних технологій».

ПЛІС PolarFire реалізують архітектуру безпеки Microchip для захисту інтелектуальної власності, безпеки даних і ланцюгів постачання. Функції безпеки ланцюжка постачання ПЛІС PolarFire знижують ризик підробки, повторного маркування та переналагодження.

Пристрої підтримуються пакетом **Libero® SoC Design Suite** від Microchip, який можна ліцензувати, включаючи безплатні версії, на веб-сайті відділу закупівель та обслуговування клієнтів компанії Microchip за адресою [www.microchipdirect.com](http://www.microchipdirect.com). Набори для розробки ПЛІС і SoC PolarFire, а також апаратне забезпечення також доступні на веб-сайті відділу закупівель і обслуговування клієнтів.

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

# Microchip is...

# Connectivity

Bluetooth® <

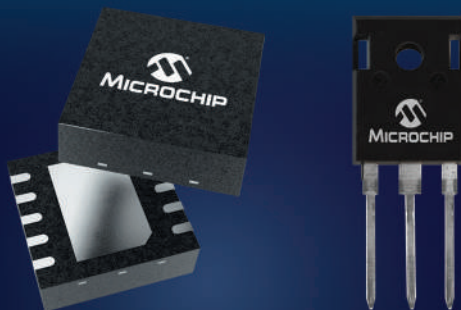
Wi-Fi® <

Zigbee® <

Sub-GHz <

Ultra-Wideband <

RF Identification <



- Automotive
- Industrial
- Communications
- IoT
- Medical



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



The Microchip name and logo and the Microchip logo are registered trademarks of Microchip Technology Incorporated in the U.S.A. and other countries. All other trademarks are the property of their registered owners.  
© 2023 Microchip Technology Inc. All rights reserved.  
MEC2484A-UK-03-23

# Силові радіочастотні транзистори компанії Ampleon для застосування в широкосмуговому зв'язку

Том Деккер (Tom Dekker), Ampleon

Адаптований переклад українською та технічне редагування:

Роман Горелков

**В статті мова піде про кремнієві LDMOS-транзистори для роботи у частотних діапазонах від HF до L (живлення від 28 до 50 В), GaN SiC HEMT-транзистори для роботи у частотних діапазонах від VHF до S (живлення від 28 до 50 В).**

Сучасні вимоги до військового зв'язку та систем протидії продовжують накладати дедалі більші вимоги до транзисторів підсилювачів потужності, що працюють у широкій смузі частот з сигналами різної форми — від QAM, OFDM до сигналів зі сталою огинальною (FM) з розширеною смугою відеосигналу для підтримки роботи з кількома несучими частотами. Кон-

струкція підсилювача повинна бути виконана в невеликому форм-факторі з ефективним терморегулюванням. Тому сучасні схеми програмно-визначених радіочастотних підсилювачів, які мають підтримувати динамічну і багаторежимну роботу, продовжують потребувати транзисторів, що мають ще більшу ефективність та лінійність у широкому динамічному діапазоні та смузі частот.

Для того, щоб задовольнити цим вимогам, компанія Ampleon пропонує транзистори, виготовлені за двома технологіями: Si LDMOS та GaN-SiC HEMT. Для застосування на частотах до 1 ГГц є широкий вибір опцій та рівнів потужності на базі Si LDMOS транзисторів, що здатні задовольнити вимогам багатооктавної смуги частот. Для роботи на частотах понад 1 ГГц транзистори на основі GaN-SiC HEMT технології були б правильним вибором завдяки більшій величині Ft і менших величинах паразитної ємності, що допомагає забезпечити роботу у широкій смузі на таких високих частотах. Далі розглянемо продукцію Ampleon та прикла-

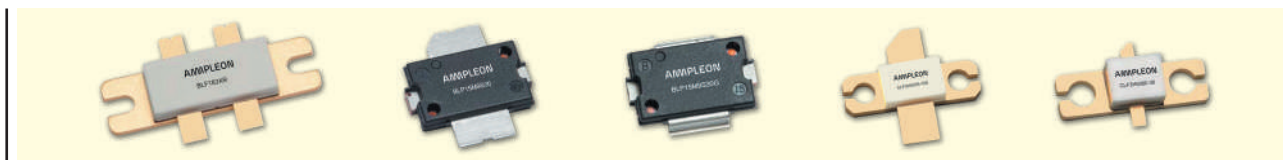
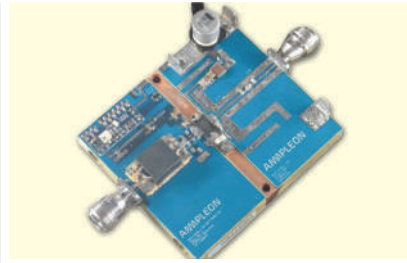


Рис. 1. LDMOS-транзистори 9-го покоління

| Таблиця 1. Огляд кремнієвих LDMOS транзисторів |                |   |                     |          |             |                       |
|--|----------------|---|---------------------|----------|-------------|-----------------------|
| Тип транзистора                                | Робоча напруга | Частотний діапазон (миттєвий)               | Рівень потужності   | Psat Eff | Тип корпусу | Звіт про застосування |
| BLP15H9S10G                                    | 50 В           | 2–30 МГц                                    | >10 Вт              | >50%     | SOT1482-1   | AR212123              |
|  | 35–50 В        | 30–512 МГц                                  | >4 Вт               | >25%     |             | AR212089              |
| ART35FE  | 50–65 В        | 2–30 МГц                                    | >30 Вт              | >35%     | SOT467C     | AR212131              |
| ART1K6FH                                       | 50 В           | 2–30 МГц                                    | >700 Вт             | >55%     | SOT539AN    | AR212082              |
| BLP15H9S30<br>2 × BLP15H9S30                   | 50 В           | 30 МГц–1 ГГц                                | >25 Вт              | >35%     | SOT1482-1   | AR212026              |
|  |                | 30–512 МГц                                  | >50 Вт              | >35%     |             | AR212058              |
| BLP15H9S100                                    | 50 В           | 30–800 МГц                                  | >75 Вт              | >37%     | SOT1482-1   | AR212005              |
| BLP15M9S30                                     | 32 В           | 30–512 МГц                                  | >25 Вт              | >50%     | SOT1482-1   | AR192035              |
| BLP15M9S100                                    | 32 В           | 148–175 МГц та 400–470 МГц (вузькополосний) | >90/100 Вт          | >45%     | SOT1482-1   | AR212114 AR202140     |
| BLP974P  | 28–50 В        | 30–512 МГц                                  | 400 Вт при 50 В     | >50%     | SOT539A     | AR201250              |
| BLP647P  | 32 В           | 30–512 МГц                                  | 100 Вт при 28 В     | >58%     | SOT1121A    | AR212016              |
| ART700FH                                       | 62 В           | 30–512 МГц                                  | >600 Вт (імпульсн.) | 45%      | SOT1214A    | В процесі             |
| ART2K0FE                                       | 62 В           | 20–100 МГц                                  | >1 400 Вт           | >60%     | SOT539AN    | В процесі             |
|  | 50 В           |   | >1 000 Вт           | >60%     |             |                       |



**Рис. 2. Плата підсилювача на базі BLP15H9S30**

ди її використання, що демонструють роботу Si LDMOS та GaN-SiC HEMT транзисторів разом з їх можливостями лінійної роботи у широкій смузі частот та високими показниками ККД.

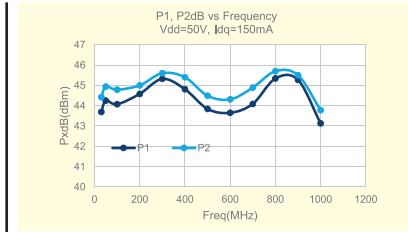
Компанія Ampleon має багаторічний досвід з розробки кремнієвих LDMOS-транзисторів і наразі пропонує прилади 9-го покоління, призначені для роботи у широкосмугових застосуваннях. Ці кремнієві прилади показані на рисунку 1 і пропонуються для роботи при напрузі живлення у діапазоні від 28 до 65 В. Крім того, нещодавно компанія Ampleon випустила GaN-SiC HEMT 3-го покоління. Ці прилади були розроблені з метою забезпечення високої потужності у широкій смузі з неперевершеними показниками лінійної роботи у всьому частотному діапазоні. Компанія Ampleon пропонує вам скористатися її рекомендаціями щодо підбору оптимального приладу для вашої розробки разом з його рекомендованою схемою використання.

**ШИРОКОСМУГОВІ SI LDMOS ТРАНЗИСТОРИ НА 28 В ТА 50 В І ЇХ ПРИКЛАДИ ЗАСТОСУВАННЯ**

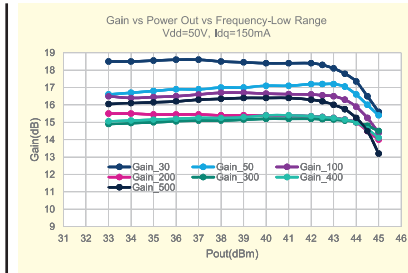
Кремнієві LDMOS транзистори 9-го покоління сфокусовано для використання у широкій смузі частот. Їхні рівні потужності — від 10 до 1 600 Вт, типові частотні діапазони — 2–30 МГц та 30–512 МГц, в той час як новий опорний підсилювач потужності працює у розширеному діапазоні 30 МГц – 1 ГГц. У таблиці 1 показані деякі з прикладів реалізації підсилювача потужності, разом з відповідними графіками їх ефективності та показниками роботи (рис. 2– 6).

**Приклад реалізації підсилювача великої потужності 30 МГц – 1 ГГц на базі транзистора BLP15H9S30**

Дизайн підсилювача використовує 30-ватний кремнієвий LDMOS транзистор BLP15H9S30 у пластиковому



**Рис. 3. Залежність P1 та P2 від частоти**

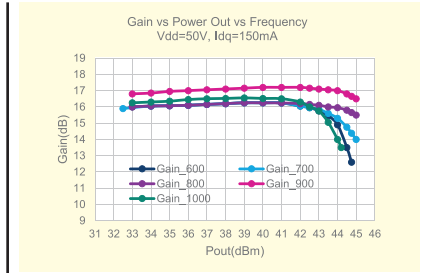


**Рис. 4. Залежність коефіцієнту підсилення та частоти (нижній діапазон)**

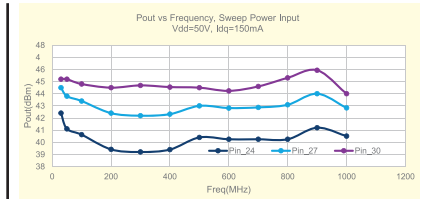
корпусі типу SOT1482-1. Також в конструкції використано трансформатор з 12 Ом на 50 Ом для узгодження на вході та 2 секції елементів узгодження на виході. Миттєва продуктивність у діапазоні частот від 30 МГц до 1 000 МГц показала  $G_p$  понад 15 дБ при потужності 25 Вт і ефективності 35–58% (в залежності від частоти).

**Реалізація підсилювача великої потужності 2–30 МГц на базі ART700FH**

Цей потужний підсилювач використовує 700-ватний кремнієвий LDMOS транзистор, виконаний у керамічному



**Рис. 5. Залежність коефіцієнту підсилення та частоти (верхній діапазон)**

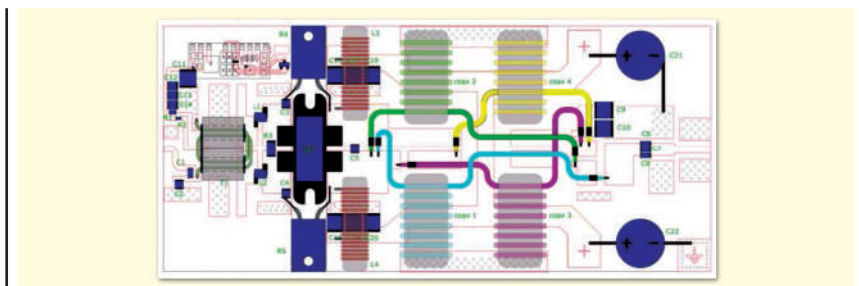


**Рис. 6. Залежність вихідної потужності від частоти**

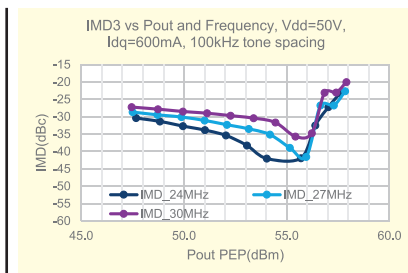
корпусі SOT1214A, який встановлений на еталонну плату з коаксіальним балуном (рис. 7). Така реалізація показує робочу смугу 15:1, досягаючи виняткових показників лінійності — менш ніж –30 дБс при потужності 400 Вт. Для отримання оптимального значення IMD3 можна підбирати оптимальну величину  $I_{dq}$ , в залежності від частоти та потужності (рис. 8–9).

**Подвійний комбінований Push-Pull підсилювач 30–512 МГц на базі BLP15H9S30**

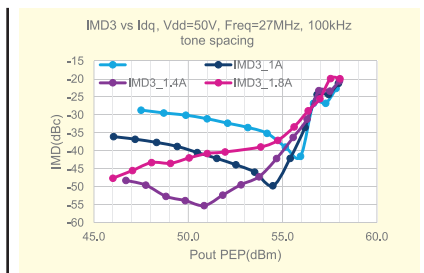
В конструкції даного підсилювача використовується 30-ватний кремніє-



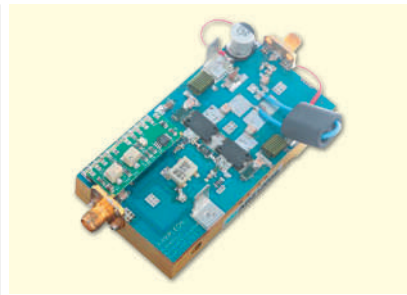
**Рис. 7. Плата підсилювача потужності на ART700FH**



**Рис. 8. Величина IMD3 в залежності від вихідної потужності та частоти**



**Рис. 9. Величина IMD3 в залежності від Idq**



**Рис. 10.** Плата пуш-пульного підсилювача потужності на 2-х BLP15H9S30

вий LDMOS транзистор BLP15H9S30, виконаний у пластиковому корпусі TO-270 (SOT1482-1) (рис. 10). Таких транзисторів встановлено два, в конфігурації «push-pull». На вході використано стандартний SMD-балун, на виході — простий коаксіальний балун. Миттєва продуктивність в діапазоні від 30 до 520 МГц дає  $G_p$  понад 15 дБ при ефективності на потужності 50 Вт в межах 35–45% в залежності від частоти.

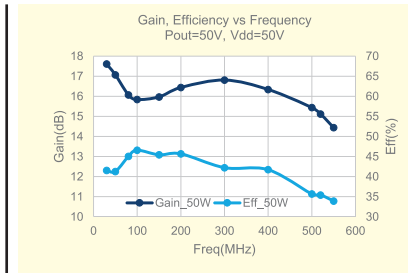
На графіках, що наведені на рисунках 11–14), демонструється продуктивність підсилювача в усьому частотному діапазоні при напрузі живлення 50 В, яка може бути знижена до 28 В в залежності від вимог з терморегуляції при фіксованому рівні вхідної чи вихідної потужності.

### 50-ВОЛЬТНІ GaN-SiC HEMT ШИРОКОСМУГОВІ ТРАНЗИСТОРИ

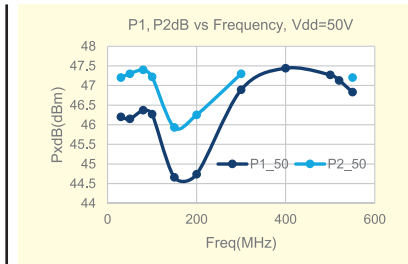
Компанія Ampleon нещодавно анонсувала свої нові широкопasmові GaN-SiC HEMT прилади 3-го покоління з потужністю від 10 до 100 Вт. Наразі ці транзистори є першими в серії 50-вольтових широкопasmових приладів, призначених для лінійного підсилення у широкій смузі частот. Ці компоненти підвищеної надійності виконані у термостійкому корпусі з метою отримання оптимальних теплових характеристик. У таблиці 2 наведені підсумкові характеристики та графіки продуктивності широкопasmових підсилювачів, що демонструють їх виняткові можливості з лінійної роботи у широкій смузі частот.

### Ефективність 50-В 30-Вт GaN-SiC HEMT транзистора CLF3H0060-30 для широкопasmового підсилення

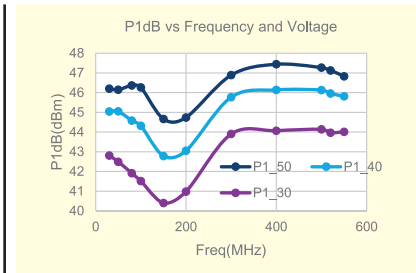
Прикладом застосування 30-ватного GaN-SiC HEMT транзистора CLF3H0060-30 для підсилення у смузі 500–2500 МГц є розподілений узго-



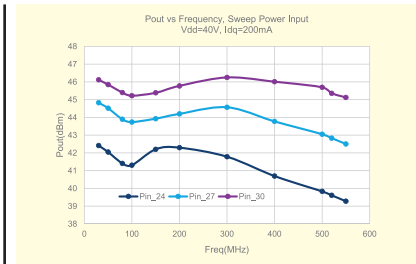
**Рис. 11.** Показники підсилення та ефективності в залежності від частоти



**Рис. 12.** Показники потужності P1, P2 в залежності від частоти



**Рис. 13.** Залежність потужності P1 від частоти та напруги живлення



**Рис. 14.** Вихідна потужність в залежності від частоти

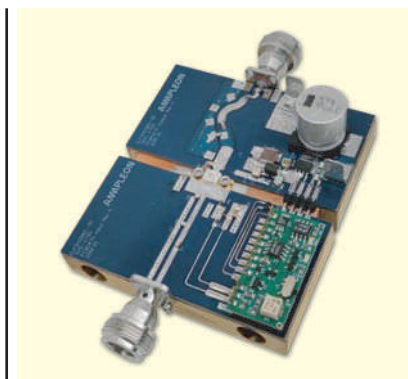
джений підсилювач, налаштований для забезпечення оптимальних показників потужності, ефективності та лінійності у всій робочій смузі частот (рис. 15). У результаті отримані показники лінійності IM3 менш ніж  $-35$  дБс при потужності насичення (рис. 16). Крім того, оптимальні показники лінійності можуть бути досягнуті за допомогою налаштування струму зміщення  $I_{dq}$  в межах від 50 до 100 мА, в залежності від вимог до застосування та рівня потужності (рис. 17–18).

### Ефективне підсилення у діапазоні 0.5–2.5 ГГц з використанням 100-Вт GaN-SiC HEMT транзистора CLF3H0035

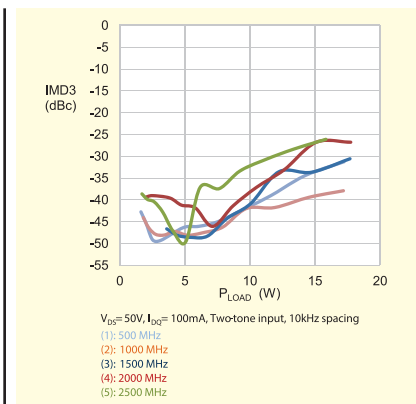
Підсилювач являє собою 100-ватний GaN-SiC HEMT транзистор, що має робочу смугу від 500 МГц до 2500 МГц та працює при напрузі 50 В. Транзистор CLF3H0035-100 встановлено на плату товщиною 20 mil, виготовлену з матеріалу 4350 компанії Rogers, з використанням радіатора (рис. 19). Структура елементів узгодження була оптимізована з метою досягнення кращої

**Таблиця 2.** Огляд 50-вольтових GaN-SiC HEMT транзисторів

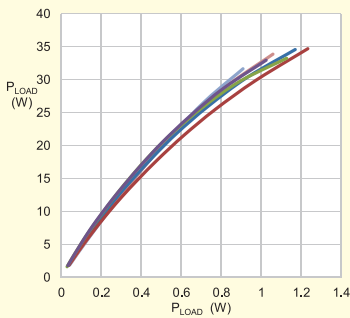
| Тип транзистора | Робоча напруга | Частотний діапазон | Рівень потужності | Тип корпусу | Звіт зі застосування |
|-----------------|----------------|--------------------|-------------------|-------------|----------------------|
| CLF3H0060-10    | 50 В           | 200 МГц–3.2 ГГц    | >10 Вт            | SOT1227A    | AR212149             |
| CLF3H0060-30    | 50 В           | 500 МГц–2.5 ГГц    | >30 Вт            | SOT1227A    | AR202113             |
| CLF3H0035-100   | 50 В           | 500 МГц–2.5 ГГц    | >100 Вт           | SOT467C     | AR202037             |



**Рис. 15.** Плата підсилювача на базі GaN-SiC HEMT транзистора CLF3H0060-30

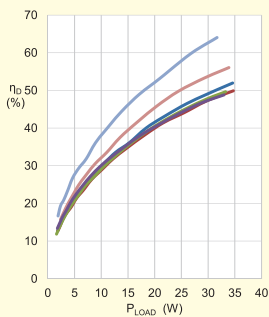


**Рис. 16.** Залежність IMD3 від потужності



$V_{DS} = 50V, I_{DQ} = 100mA$   
 (1): 500 MHz  
 (2): 700 MHz  
 (3): 1000 MHz  
 (4): 1400 MHz  
 (5): 2000 MHz  
 (6): 2500 MHz

**Рис. 17. Залежність вихідної потужності від вхідної потужності на різних частотах**



$V_{DS} = 50V, I_{DQ} = 100mA$   
 (1): 500 MHz  
 (2): 700 MHz  
 (3): 1000 MHz  
 (4): 1400 MHz  
 (5): 2000 MHz  
 (6): 2500 MHz

**Рис. 18. Ефективність в залежності від вихідної потужності та частоти**

ефективності у робочій смузі частоти, досягаючи при цьому високих показників лінійності. Приведені на рисунку 20 графіки продуктивності демонструють показники потужності P3 у робочій смузі частот при рівні потужності на виході 80 та 90 Вт.

Графік на рисунку 21 демонструє показник IM3 того ж підсилювача, знятий для частот починаючи з 500 МГц і закінчуючи 2500 МГц при величині по-



**Рис. 19. Плата підсилювача на базі 100-Вт GaN-SiC HEMT транзистора CLF3H0035**






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



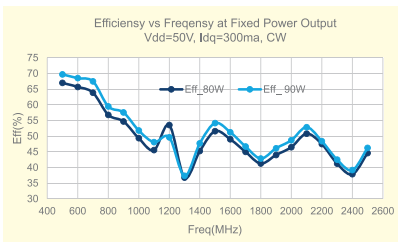
Скористайтесь рішеннями RF  
Power від Ampleon для систем  
мовлення, промисловості,  
науки та медицини,  
аерокосмічної та оборонної  
промисловості, мобільного  
широкопasmового доступу,  
тощо



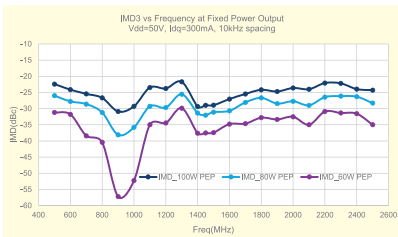
Авторизований дистриб'ютор  
Ampleon в Україні

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

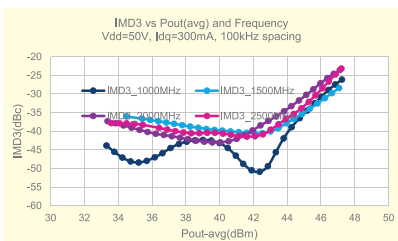
м. Київ, пров. Ю. Матуцака, 3, оф. 307  
 тел. +38 (044) 451-60-80, моб. +38 (067) 919-51-15



**Рис. 20. Ефективність в залежності від частоти при фіксованій потужності на виході**



**Рис. 21. Показники IMD3 від частоти при фіксованій потужності на виході**



**Рис. 22. Величина IMD3 в залежності від потужності на виході та частоти**

тужності (PEP) від 60 до 100 Вт, що свідчить про високу лінійність у всій робочій смузі частот.

Другий графік IM3 (рис. 22) показує величини спотворень IM3 в залежності від потужності на виході на деяких частотах діапазону.

**Продуктивність роботи 10-Вт GaN-SiC HEMT транзистора CLF3H0060-10 у смузі 200 МГц–3.2 ГГц.**

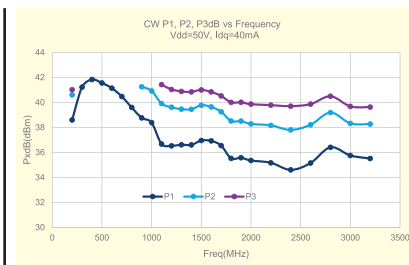
10-ватний прилад, виконаний по GaN-SiC HEMT технології, складає основу підсилювача у смузі 200 МГц — 3200 МГц з такою ж топологією елементів узгодження, як і у 30- та 100-ватного підсилювачів, описаних вище (рис. 23). Результати тестів демонструють відмінний рівень інтермодуляційних спотворень при різних значеннях потужності та частоти — величина IM3 не перевищує -35 dBc при потужності 34 dBm (рис. 24–25). Більш того, графік залежності потужності на виході від частоти показує рівномірність потужності у всій смузі частот.

**Таблиця 3. Моделі для великосигнального моделювання у симуляторах Keysight ADS та Cadence MWO для транзисторів на основі Si LDMOS та GaN-SiC HEMT технологій**

| Номер за каталогом | ADS Модель  |
|--------------------|---|
| CLF3H0035-100      | <a href="https://www.ampleon.com/products/general-purpose-wideband/50-v/CLF3H0035-100.html">https://www.ampleon.com/products/general-purpose-wideband/50-v/CLF3H0035-100.html</a>   |
| CLF3H0035S-100     | <a href="https://www.ampleon.com/products/general-purpose-wideband/50-v/CLF3H0035S-100.html">https://www.ampleon.com/products/general-purpose-wideband/50-v/CLF3H0035S-100.html</a> |
| CLF3H0060-30       | <a href="https://www.ampleon.com/products/general-purpose-wideband/50-v/CLF3H0060-30.html">https://www.ampleon.com/products/general-purpose-wideband/50-v/CLF3H0060-30.html</a>     |
| CLF3H0060S-30      | <a href="https://www.ampleon.com/products/general-purpose-wideband/50-v/CLF3H0060S-30.html">https://www.ampleon.com/products/general-purpose-wideband/50-v/CLF3H0060S-30.html</a>   |



**Рис. 23. Плата підсилювача на транзисторі CLF3H0060-10**



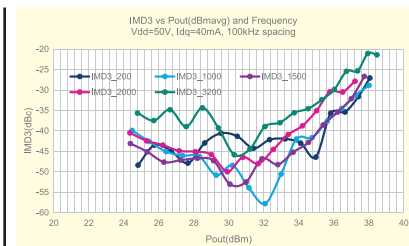
**Рис. 24. Залежність потужності від частоти**

**Терморегулювання**

При розробці широкосмугових підсилювачів питання розподілу тепла є найбільш важливим. Тому вимоги до конструкції мають враховувати терморегулювання, прийнятну температуру корпусу та вимоги до надійності. Часто це є ітераційним процесом знаходження компромісу між режимами роботи транзистора по постійному та ВЧ струму та розподілом його тепловиділення, поки не буде вибрано оптимальне рішення. Це особливо важливо для транзисторів, виконаних за GaN-SiC HEMT технологією, бо ці транзистори працюють близько до своєї температурної межі, а також температурний опір GaN-SiC приладів є більш нелінійним у порівнянні з кремнієвими LDMOS транзисторами в залежності від потужності розсіяння та параметрами відводу тепла. Компанія Ampleon приділяє виняткову увагу до ретельного моделювання своїх приладів з метою отримання точних теплових характеристик транзисторів, виконаних на базі кремнієвої або GaN-SiC технологій. Для GaN-SiC HEMT транзисторів нещодавно було опубліковано рекомендації з використання (AN221012) [1], де було описано методи і пов'язані з ними деталі.

**Великосигнальне моделювання**

Компанія Ampleon пропонує моделі для великосигнального моделювання у симуляторах Keysight ADS та Cadence MWO для транзисторів на основі Si LDMOS та GaN-SiC HEMT технологій. Моделі опубліковані на сайті Ampleon,



**Рис. 25. Величина IMD3 в залежності від потужності на виході та частоти**

посилання на які можна знайти у таблиці 3. Ці моделі є точними і призначені для підтримки ваших дизайнерських проєктів протягом всіх етапів розробки. Ми використовуємо ці ж самі моделі для розрахунків наших демонстраційних підсилювачів і впевнені в їх ефективності з першого разу використання.

**Додаткову інформацію щодо продукції компанії Ampleon можна отримати у офіційного дистриб'ютора в Україні — ТОВ «Мастек Електронікс ЛТД»:**

**03124, м. Київ, пров. Ю. Матушка, 3, оф. 307, тел./факс: (044) 451-60-80, (067) 919-51-15, (098) 451-60-80, office@mastek.com.ua, alexandr@mastek.com.ua, info@mastek.com.ua, www.mastek.com.ua**

*Література:*

- <https://www.ampleon.com/documents/application-note/AN221012.pdf>



# u-blox – LTE Cat 1bis

## Опція для широкосмужових застосувань з низьким енергоспоживанням (LPWA)

**Валеріо Карта (Valerio Carta), старший менеджер з маркетингу продуктів мобільного зв'язку, u-blox**

**В статі мова піде про переваги LTE Cat 1bis і чому цей стандарт є дійсною альтернативою LPWA для забезпечення зв'язку в найближчі кілька років.**

### ЕКОСИСТЕМА ІНТЕРНЕТУ РЕЧЕЙ (ІОТ) СЬОГОДНІ

Екосистема Інтернету речей переживає революційну фазу. Більшість операторів мобільного зв'язку оголосили або навіть здійснили відключення застарілих технологій стільникового зв'язку 2G і 3G, перевівши відповідні частоти в мережі 4G або 5G. Як наслідок, розробники IoT також повинні прийняти новий стандарт стільникового зв'язку. Хоча 5G вже розгортається, його використання стикається з низкою проблем. Окрім проблем з покриттям, нинішні мережі 5G не відповідають більшості вимог IoT: енергоспоживання, вартість і складність конструкції (проблеми, які 5G RC і MMTC будуть вирішувати в майбутньому), якщо згадати деякі з них. Тому 4G LTE є єдиною технологією стільникового зв'язку, що забезпечує глобальне покриття, і буде виконувати цю роль щонайменше протягом наступних п'яти років.

У 2016 році 3GPP Rel 13 визначив нові стандарти стільникового зв'язку 4G для Інтернету речей. Метою було конкурувати з нестільниковими технологіями Low Power Wide Area (LPWA), такими як SigFox або LoRaWAN. Таким чином, новими стандартами стільникового зв'язку, які запустив 3GPP, стали NB-IoT (також відомий як LTE Cat-NB), LTE-M (також відомий як LTE Cat-M) і LTE Cat 1bis (3GPP Rel 8 вже визначив стандарт LTE Cat 1).

Після публікації 3GPP Rel 13 оператори мобільного зв'язку і виробники

чипів зосередилися на NB-IoT і LTE-M, залишивши поза увагою LTE Cat 1bis. Причиною такого рішення стало те, що при порівнянні специфікацій співвідношення «за» і «проти» у Cat 1bis виявилось менш сприятливим, ніж у двох перших.

Інтенсивні дебати виникли навколо нових запропонованих технологій стільникового зв'язку LPWA для IoT. Одна сторона наполягала на використанні NB-IoT, тоді як інша — на LTE-M. У минулому країни домовлялися про розгорнуту технологію, підтримувані діапазони та угоди про роумінг. І за деякими винятками, такими як раннє розгортання IMT-2000 в Японії або початкове розгортання CDMA/EV-DO в Північній Америці до переходу на UMTS/HSPA, світ перебував у стані глобальної конвергенції. Але нещодавно ця конвергенція залишилася на задньому плані. Країни АТР і більшість країн Європи, Близького Сходу і Африки обрали впровадження NB-IoT, тоді як Північна і Південна Америка та Австралія обрали LTE-M.

Розбіжності створили біполярний світ. Китай наполегливо просував NB-IoT; дійсно, Китай — єдина країна, де NB-IoT отримав масове розгортання. Північна Америка, з іншого боку, швидко розгорнула LTE-M. Сьогодні він домінує на більшій частині цього ринку, хоча деякі оператори з роками додали підтримку NB-IoT. Ситуація в регіоні EMEA особлива. Спочатку він зробив вибір на користь NB-IoT. Однак пізніше більшість

операторів у західноєвропейських країнах також додали підтримку LTE-M.

Хоча характеристики LTE-M відповідають більшості вимог IoT, це не так для NB-IoT. Навіть якщо NB-IoT має кращі показники MCL (максимальні втрати при з'єднанні), ніж LTE-M, його швидкість передачі даних обмежена. Крім того, дизайн інфраструктури NB-IoT не підтримує мобільність (хендовер) і передачу голосу.

У поточному сценарії ми бачимо регіони, де додатки IoT отримують вигоду від відмінного покриття LTE-M (наприклад, Північна Америка), в той час як в інших воно частково або повністю відсутнє. В останньому випадку NB-IoT не може задовольнити більшість випадків використання через вищезгадані обмеження.

В Європі багато додатків Інтернету речей все ще підключаються до застарілого 2G (там, де це можливо). Клієнти просять модулі LPWA з підтримкою 2G, оскільки покриття LTE-M ненадійне, а в гіршому випадку взагалі відсутнє. Можливості NB-IoT не задовольняють потреби користувачів.

Донедавна LTE Cat 1 був найдешевшою технологією стільникового зв'язку 4G з глобальним покриттям. Однак недоліком є те, що чипсети для LTE Cat 1 коштують набагато дорожче, ніж для NB-IoT або LTE-M. Крім того, порівняно з LTE-M і NB-IoT, конструкція LTE Cat 1 складніша і вимагає додаткових компонентів, що значно впливає на загальну вартість.

Така ситуація змусила розробників IoT і операторів шукати економічно ефективні альтернативи і, таким чином, гарантувати LPWA-зв'язок, мобільність і роумінг для екосистеми IoT по всьому світу — результатом цього став відновлений інтерес до LTE Cat 1bis (рис. 1).

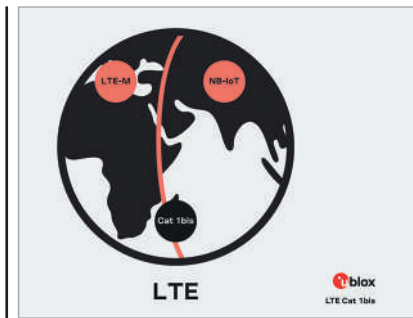


Рис. 1. LTE Cat 1bis

## ЩО ТАКЕ CAT 1BIS?

У двох словах, LTE Cat 1bis — це LTE Cat 1 з однією прийнятною (Rx) антеною. Всі інші характеристики пристрою, такі як швидкість передачі даних по висхідній лінії (UL) / низхідній лінії (DL) і протоколи, залишаються незмінними. Навпаки, стандарт LTE Cat 1 (3GPP Rel 8) підтримує диверсифікацію Rx. Таким чином, він вимагає двох приймальних отворів.

Різноманітність приймальних каналів покращує можливості радіочастотного прийому, особливо на краю стільника. Але для підтримки диверсифікації RX чипсети LTE Cat 1 потребують двох радіочастотних входів зі складним радіочастотним інтерфейсом і спеціальним програмним забезпеченням. Певною мірою саме тому чипсети LTE Cat 1 коштують дорожче, ніж чипсети для LTE-M і NB-IoT. Отже, додатки LTE Cat 1 вимагають складніших і об'ємних друкованих плат, додаткових компонентів і двох антен. Всі ці особливості призводять до збільшення вартості: рішення LTE Cat 1 може коштувати вдвічі дорожче, ніж відповідна версія LTE-M.

З іншого боку, вилучення функції різноманітності приймального сигналу зі стандарту LTE Cat 1bis дозволяє спростити та оптимізувати конструкцію чипсетів з точки зору витрат. Розробники використовують це для створення простіших, менших і дешевших додатків Інтернету речей, ніж вони могли б створити за допомогою стандарту LTE Cat 1.

## ЧОМУ ВАРТО РОЗГЛЯДАТИ LTE CAT 1BIS ЯК ДОДАТКОВУ ОПЦІЮ ДЛЯ LPWA?

Якщо порівнювати LTE-M і LTE Cat 1bis, то LTE-M виділяється за кількома характеристиками, що робить його очевидним вибором для додатків IoT в більшості випадків використання (рис. 2). Ось деякі з них:

- Енергоспоживання. LTE-M підтримує режими з низьким енергоспоживанням, такі як PSM і eDRX. Таким чином, він забезпечує більш тривалий термін служби акумулятора.
  - Бюджет зв'язку. LTE-M має MCL (максимальні втрати зв'язку)  $-154$  дБм проти  $-149$  дБм у LTE Cat 1. LTE Cat 1bis втрачає додаткові 3–4 дБ порівняно з Cat 1 через втрату антени рознесення RX. Це означає, що MCL LTE Cat 1bis на 8–9 дБм гірше, ніж у LTE-M. Вищий MCL LTE-M забезпечує кращу здатність підтримувати активність з'єднання в умовах поганого сигналу, наприклад, в суворих міських умовах, гаражах або на краю стільникової мережі. Крім того, LTE-M є більш надійним для додатків, які перебувають у польових умовах протягом тривалого часу, коли умови роботи мережі можуть змінюватися.
  - Загальна вартість рішення. Додаток LTE-M коштує вдвічі менше, ніж еквівалент на базі LTE Cat 1; LTE Cat 1bis зменшує цей розрив, і насправді в деяких ситуаціях різниця не є суттєвою.
  - Сумісність з 5G. Стандарти LTE-M і NB-IoT вже знаходяться під парасолькою 5G. Мережі 5G будуть підтримувати їх в майбутньому, що робить їх перспективними. Це не стосується LTE Cat 1 і 1bis, оскільки вони зникнуть разом з мережами 4G.
- LTE Cat 1bis перевершує LTE-M за такими характеристиками, як затримка і швидкість передачі даних, але більшості випадків використання не вимагають швидкості в кілька Мбіт/с.
- Таким чином, LTE-M відповідає вимогам більшості сценаріїв використання Інтернету речей, які раніше базувалися на технологіях 2G і 3G: середня пропускна здатність, низьке енергоспоживання і низька вартість, і це лише деякі з них. Він також покращує MCL, забезпечуючи глибоке проникнення в будівлі.

Чому варто розглядати LTE Cat 1bis як альтернативу LPWA зараз? Які рушійні фактори можуть спонукати розробників IoT розглядати LTE Cat 1bis як альтернативу LPWA? Щоб відповісти на ці питання, ми повинні розглянути конкретний випадок використання, цінний розрив і стан розгортання LPWA у світі. При виборі відповідної технології зв'язку необхідно враховувати чотири моменти. Наступний стислий список підсумовує їх, хоча і не є вичерпним:

- обсяг переданих даних і вплив на акумуляторну батарею;
- покриття та доступність мережі;
- термін служби;
- розмір пристрою.

## ОБСЯГ ПЕРЕДАНИХ ДАНИХ І ВПЛИВ НА АКУМУЛЯТОРНУ БАТАРЕЮ

LTE-M ідеально підходить для додатків IoT, що вимагають низьких і середніх швидкостей передачі даних, забезпечуючи швидкість низхідного/висхідного зв'язку 375 кб/1 Мб, спрощену схему модуляції і поліпшений MCL. eDRX і PSM, інноваційні енергоефективні режими, забезпечують тривалий час роботи акумулятора, який не може зрівнятися з LTE Cat 1/1bis.

Проте, ми повинні враховувати, що інші додатки Інтернету речей, такі як відеоспостереження, системи сигналізації з відео або електронна система охорони здоров'я, виробляють значні обсяги даних. Ці випадки використання можуть ефективно використовувати пропускну здатність LTE Cat 1bis.

Завдяки більшій пропускну здатності пристрої передають дані швидше. Це означає, що вони менше часу перебувають у повітрі і, відповідно, менше використовують заряд акумулятора. Залежно від обсягу даних, швидша передача означає менший час перебу-

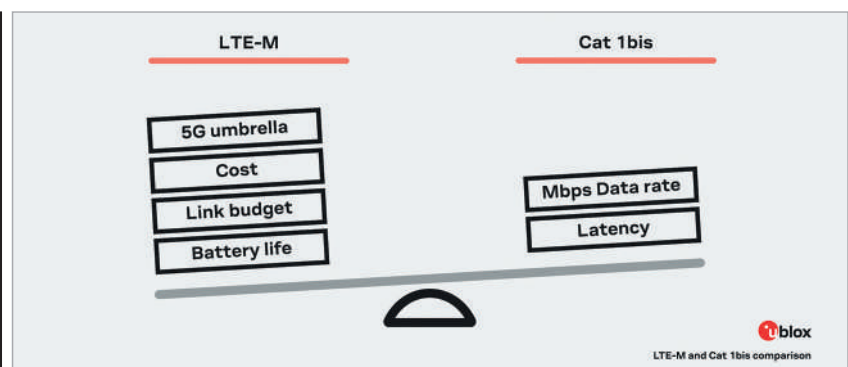


Рис. 2. Порівняння LTE-M і LTE Cat 1bis

вання в повітрі, що призводить до кращої енергоефективності. Але це буде відбуватися тільки в тому випадку, якщо доступна пропускна здатність обмежена порівняно з обсягом даних.

Для додатків, які не залежать від акумулятора або можуть легко/часто підключатися до мережі, більше енергоспоживання LTE Cat 1bis може бути прийнятним. Менша різниця в ціні і вища швидкість передачі даних можуть бути вагомими причинами для вибору LTE Cat 1bis замість LTE-M.

## ПОКРИТТЯ МЕРЕЖІ

Глобальна мобільність, яку забезпечували застарілі технології 2G і 3G, закінчується через відмову від стандартів стільникового зв'язку, що відбувається в кількох країнах. Відсутність координації розгортання LPWA спровокувала своєрідну світову ситуацію. Країни Східної Європи та Азійсько-Тихоокеанського регіону мають лише покриття NB-IoT, тоді як в Америці, Австралії та кількох європейських країнах є і NB-IoT, і LTE-M. Хоча в останньому випадку покриття стикається з низкою перешкод. 4G LTE присутній у більшості африканських країн, де не розгорнуто ні NB-IoT, ні LTE-M. Винятком є Південна Африка, де наразі активно розвивається NB-IoT.

Впровадження двох стандартів, спочатку NB-IoT, а потім LTE-M, робить ситуацію в Західній Європі складною. Розглянемо Італію як приклад, хоча це стосується й інших західноєвропейських країн. Італійські оператори, як і більшість європейських, спочатку розгорнули NB-IoT. Але останнім часом Vodafone Італія додала підтримку LTE-M (2022 рік). Це не обов'язково означає, що LTE-M буде доступний скрізь, особливо враховуючи, що покриття NB-IoT не є повним. Отже, навіть якщо LTE-M буде доступний, на території Італії не буде повного покриття, і немає впевненості в тому, коли це станеться.

Такі приклади можуть підштовхнути розробників IoT до розгляду LTE Cat 1bis як прийнятного варіанту LPWA. Тому що навіть якщо вони можуть покладатися на 2G сьогодні, переважає нечітке зобов'язання підтримувати його функціонування після 2025 року.

## ТЕРМІН СЛУЖБИ

Однією з суттєвих переваг LTE-M над LTE Cat 1 і 1bis є те, що перший на-

лежить до специфікації 5G. Пряма сумісність LTE-M з мережами 5G означає, що деякі додатки Інтернету речей можуть залишатися в польових умовах роками. Вони можуть бути розгорнуті віддалено або в місцях без легкого доступу (наприклад, внутрішні лічильники). Для таких випадків використання LTE-M є єдиним перспективним вибором. Навпаки, підтримка LTE Cat 1bis залишатиметься доти, доки існуватиме мережа 4G (щонайменше до 2030 року).

LTE Cat 1bis є дійсною альтернативою LPWA для забезпечення зв'язку в найближчі кілька років. Розробники IoT повинні розглянути її для додатків з коротким або середнім терміном служби (порівняно із закінченням роботи мережі 4G) і зменшеним розривом у ціні. Але було б розумно стежити за LTE-M для проектування наступного покоління, чекаючи його повного розгортання. LTE Cat 1bis є єдиним вибором для мобільних додатків, які подорожують країнами з різними технологіями розгортання LPWA (наприклад, між Західною та Східною Європою).

## РОЗМІР ПРИСТРОЮ

Розробникам важко вирішити деякі випадки використання, навіть враховуючи поточну мініатюризацію електронних компонентів. Ця проблемна ситуація більше впливає на LTE Cat 1, ніж на LTE-M, завдяки підтримці RX Diversity і необхідності конструкції з двома антенами. Наприклад, LTE Cat 1 добре адаптується до ринку пристроїв, що носяться. LTE Cat 1, по суті, пропонує хороший баланс між достатньою пропускною здатністю, покриттям і енергоспоживанням — саме те, що потрібно цим пристроям.

Той факт, що дизайнери прагнуть до компактних рішень, змушує їх шукати баланс між продуктивністю і розміром. Тому часто вони відмовляються від лінійки RX Diversity і прибирають другу антену з конструкції. Завдяки спрощеній антені, меншій кількості деталей і більшій доступності (порівняно з LTE Cat 1), LTE Cat 1bis також може замінити LTE Cat 1. Це добре підходить для додатків з обмеженими розмірами, які мають кращу собівартість, але при цьому забезпечують аналогічну продуктивність.

## ВИСНОВОК

Усвітлі вже розпочато (або завершено) виведення з експлуатації

мереж 2G і 3G у більшості країн світу, за оцінками експертів, LTE-M має всі шанси стати найбільш придатною технологією стільникового зв'язку LPWA для Інтернету речей.

Через обмеження NB-IoT експерти не здивовані, що в Азійсько-Тихоокеанському регіоні та ЄС спостерігається зростання попиту на LTE Cat 1bis. Але, як це не парадоксально, саме в цих регіонах спочатку було розгорнуто NB-IoT. Пізніше виявилось, що більшість мобільних додатків Інтернету речей продовжували використовувати застарілі 2G/3G, коли це було можливо, щоб забезпечити стабільний зв'язок, мобільність і роумінг. Єдиним винятком був Китай, де міграцію стимулювало законодавство.

Компанія u-blox пропонує широке портфоліо, що включає модулі LTE-M, LTE Cat 4, LTE Cat 1 і LTE Cat 1bis. Завоювавши лідерство на ринку завдяки першій сертифікованій серії модулів LTE-M, SARA-R4, компанія u-blox також розробила свій чипсет LTE-M: UBX-R5. Цей чипсет був використаний як основа сімейства захищених модулів u-blox SARA-R5, в який також вбудовано захищений елемент.

Для LTE Cat 1 u-blox пропонує модулі LARA-R6 з підтримкою повного різноманіття Rx і серію LENA-R8 для LTE Cat 1bis. LENA-R8 також доступний у вигляді комбінованого модуля: LTE Cat 1bis + GNSS варіант. Ядром GNSS є нова GNSS-платформа u-blox M10. LENA-R8 combo (LENA-R8M10) має два джерела живлення, що забезпечує клієнтам відмінну гнучкість управління живленням. І, таким чином, оптимізує загальну продуктивність.

Компанія u-blox розглядає LTE Cat 1bis не як конкурента, а скоріше як доповнення до LTE-M в екосистемі стільникового зв'язку LPWA. Де б регіони не розгорнули мережу LTE-M, вона може виконувати більшість сценаріїв використання Інтернету речей. Однак це не стосується випадків, що вимагають підвищеної пропускної здатності/швидкості, де LTE Cat 1bis або навіть LTE Cat 1/Cat 4 виділяються як краще рішення.

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

тел.: (067) 475-81-86,

Roman.Prokopets@microdis.net,  
www.microdis.net

СН

# Компактні модулі IGBT MiniSKiiP: інструкція із застосування

**Френк Стіглер (Frank Stiegler), Томас Гертген (Thomas Hurtgen)**  
Адаптований переклад українською та технічне редагування:  
**Сергій Поліщук, к.т.н.**  
E-mail: sp.tsdrive@gmail.com

**Компактні модулі сімейства MiniSKiiP надзвичайно популярні на ринку силової електроніки. Сьогодні понад 20 млн таких силових схем працює в частотних перетворювачах провідних європейських виробників: Miller Electric, Schneider Toshiba Group, SEW Eurodrive, Siemens A&D, Silectron, Danfoss, Vacon. Близько 70% цих пристроїв — електропривод, виконавчі механізми промислових роботів, пресів і компресорів потужністю 5–40 кВт. Поява нових напівмостових модулів MiniSKiiP Dual дає змогу розширити діапазон до 100 кВт і більше, тепер вони можуть успішно конкурувати зі стандартними IGBT [1, 2].**

## ЗАГАЛЬНІ ПОЛОЖЕННЯ

У конструкції компонентів сімейства MiniSKiiP використано технологію притискового контакту, що забезпечує надійну роботу в жорстких умовах і високу стійкість до термоцикування. Силкові модулі, орієнтовані на застосування в приводах потужністю понад 100 кВт, можуть містити різні конфігурації схем, включно з CIB (випрямляч, інвертор, гальмівний каскад). Наявність вбудованого термодатчика (терморезистора) дає змогу контролювати температуру підкладки та вимикати силовий каскад у разі перегрівання.

У конструкції MiniSKiiP використана керамічна DCB-підкладка  $Al_2O_3$  (напруга ізоляції 2.5 кВ AC/1 хв), що забезпечує ефективне відведення тепла на радіатор. Завдяки високій густині струму, застосуванню узгоджених за ТКР матеріалів і притискової технології збирання, модулі MiniSKiiP стають оптимальним варіантом для застосування в надійних компактних приводах малої та середньої потужності.

## MiniSKiiP: основні особливості та топології схем

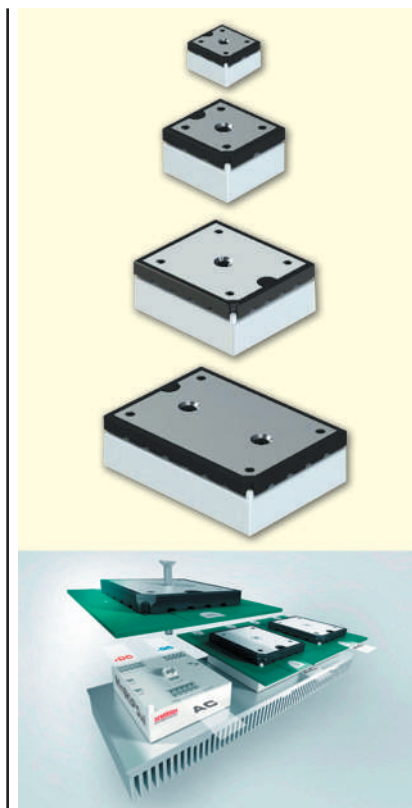
- Чотири типи корпусів (рис. 1);
- номінальний струм: 4–400 А;

- новітні технології IGBT/FWD і випрямних діодів з робочою напругою 600/650, 1200 і 1700 В;
- конфігурації схем: CIB, трифазний інвертор, здвоєний трифазний інвертор, H-міст, напівміст, 3L NPC/TNPC, некеровані та напівкеровані мости з гальмівним чопером;
- пружинні контакти для сигнальних і силових підключень;
- з'єднання з радіатором і платою керування за одну технологічну операцію одним або двома гвинтами;
- безбазові модулі з технологією притискового контакту;
- вбудований PTC- або NTC-термодатчик.

Конфігурації схем, представлені на рисунку 2, дають змогу використовувати компоненти серії MiniSKiiP у широкому класі електроприводів потужністю від одиниць до десятків кВт. Усі топології схем і модулі MiniSKiiP включені в базу програми теплового розрахунку SEMISEL V5 [8].

## MiniSKiiP: кваліфікаційні тести, умови експлуатації

У таблиці 1 перераховано види тестів на надійність і відповідні стандарти, що підтверджують готовність продук-



**Рис. 1. Типи корпусів модулів MiniSKiiP, модуль трифазного інвертора на базі MiniSKiiP Dual**

ції до серійного виробництва. Подібним випробуванням піддаються всі нові та/або доопрацьовані модулі, їхній обсяг може бути розширено для конкретних видів компонентів залежно від умов застосування.

Компоненти сімейства MiniSKiiP кваліфікуються відповідно до IEC/TR 60721-4-1, їхнє зберігання здійснюється в оригінальному пакуванні (без попереднього нанесеного шару TIM) протягом двох років в умовах кліматичного класу 1K21 (IEC 60721-3-1):

- температура зберігання: +5...+40 °С;
- відносна вологість: 5–85 %;
- абсолютна вологість: < 25 г/м³.

**MINISKIIP: ОСОБЛИВОСТІ КОНСТРУКЦІЇ**

**Контактна система**

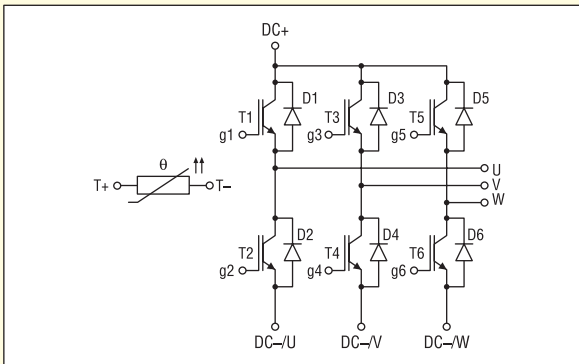
Унікальність компонентів сімейства MiniSKiiP полягає у використанні пружинних виводів для силових і сигнальних підключень. Характеристики такого з'єднання (контактний опір) за різних струмів визначаються комбінацією властивостей матеріалів покриття пружин і

майданчиків друкованої плати (PCB). Для відповідності екологічним директивам RoHS рекомендується використовувати такі технології покриття PCB:

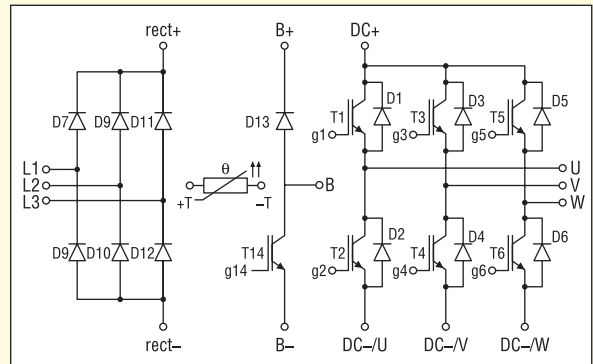
- сплав нікель-золото (NiAu);
- олово з вирівнюванням гарячим повітрям (HAL Sn);
- хімічне олово (Chem. Sn).

Під час виготовлення друкованих плат для MiniSKiiP не слід використовувати органічну OSP пасивацію (Organic Solderability Preservatives). Така технологія не здатна забезпечити тривалий захист від корозії, шар OSP майже повністю зникає після пайки або 6-місячного зберігання.

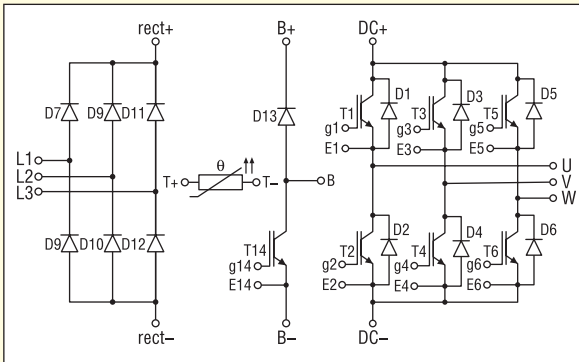
До товщини олова не висувається жодних особливих вимог, підходять будь-які стандартні безсвинцеві технології, такі як HAL і Chem Sn. Через відхилення в процесі виробництва друкованих плат і використання декількох циклів оплавлення може трапитися, що шар олова буде сточений завдяки зростанню інтерметалічної фази під час монтажу модуля. При цьому для функціонування пружинної контактної системи MiniSKiiP в межах специфікації нанесення додаткового шару олова не потрібне. Інтерметалічна фаза також забезпечує довготривалий захист мідних трас на PCB від окислення.



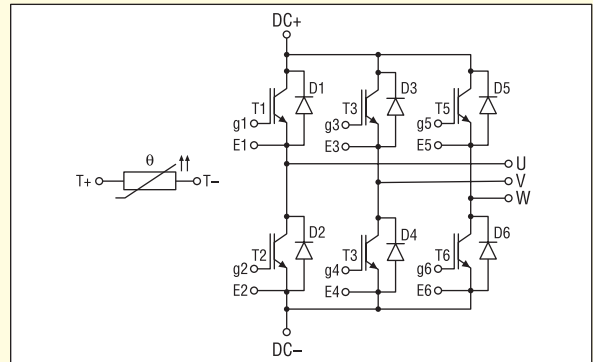
Трифазний інвертор з відкритими емітерами (AC)



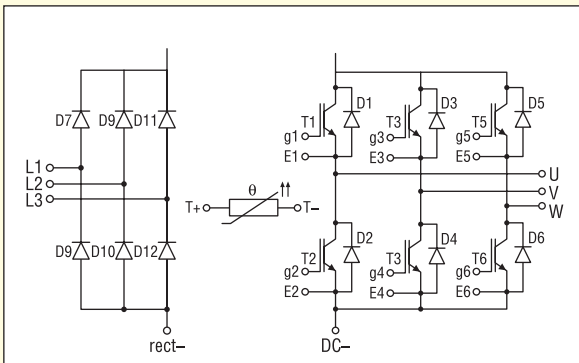
СІВ з відкритими емітерами (NAB)



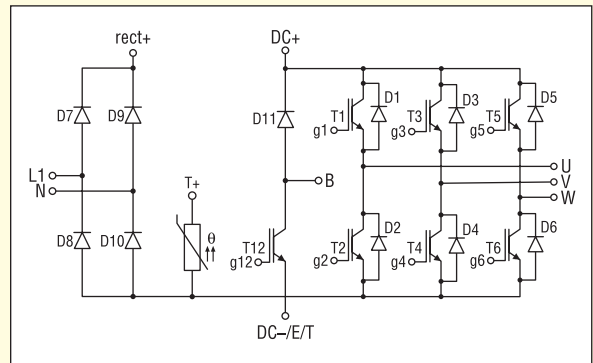
СІВ зі спільним емітером (NAB)



Трифазний інвертор зі спільним емітером (AC)



Трифазний випрямний міст і трифазний інвертор (NAC)



Однофазний випрямний міст, гальвінний чоपर і трифазний інвертор (NEB)

**Рис. 2.** Топології схем MiniSKiiP

| Таблиця 1. Тести на надійність SEMIKRON, умови проведення та стандарти  |  |
|---|--|
| Вид випробувань, стандарт   | Умови тестування   |
| Зворотний зсув за високої температури (HTRB)<br>IEC 60747-9:2007  | 1 000 год  |
|   | 95% $V_{CE\_max}$  |
|   | $T_1 = +150\text{ }^\circ\text{C}$ для старих поколінь чипів<br>$T_1 = +175\text{ }^\circ\text{C}$ для старих поколінь чипів |
| Зворотний зсув за високої температури (HTRB)*<br>IEC 60747-2:2016   | 1 000 год  |
|   | 66% $V_{RRM}$<br>$T_s = T_{L\_max} - 20\text{K}$   |
| Зміщення затвора за високої температури (HTGS)<br>IEC 60747-9:2007  | 1 000 год  |
|   | $\pm V_{GES\_max}$<br>$T_{L\_max}$   |
| Зворотний зсув (високовольтний) за високої температури та високої вологості (HV-H3TRB)** IEC 60749-5:2018   | 1 000 год  |
|   | $T_a = +85\text{ }^\circ\text{C}$ , RH = 85%<br>80% $V_{CE\_max}$  |
| Зберігання за високої температури (HTS) EN 60068-2-2:2008<br>IEC 60749-6:2002; зберігання за низької температури (LTS)<br>EN 60068-2-1:1993 + A1:1993 + A2:1994 | 1 000 год  |
|   | $T_{stg\_max} / T_{stg\_min}$  |
| Пасивне Термоциклування (TC) EN 60068-2-14:2010   | 100 циклів   |
|   | $T_{stg\_max} - T_{stg\_min}$  |
| Активне Термоциклування (PC) EN 60749-34:2010   | > 70 тис. циклів за $\Delta T = 70\text{K}$  |
| Вібрації IEC 60068-2-6:2008   | 20...500 Гц, синусоїдальні   |
|   | 5g, 2 год по кожній осі (x, y, z)  |
| Удари   | Напівсинусоїдальні імпульси 18 мс  |
| IEC 60068-2-27:2010   | 30g, 3 рази по кожній осі ( $\pm x, \pm y, \pm z$ )  |
| <b>Примітка:</b> * для стандартних тиристорів і випрямних діодів зі скляною пасивацією чипів;<br>** для покоління IGBT T7 або вище.                             |  |

Найкращими контактними властивостями володіють пружини зі срібним покриттям, при цьому оптимальним матеріалом покриття майданчиків PCB вважається сплав NiAu. Для забезпечення функціональності дифузійного бар'єра Ni товщина нікелевого покриття має бути не менше 5 мкм.

### Дизайн друкованої плати

Відповідальність за проектування друкованих плат лежить на замовнику, який зобов'язаний дотримуватися відповідних правил. Зокрема, дизайн DC-шин повинен забезпечувати мінімальну розподілену індуктивність, тому траси -DC/+DC слід виконувати плоско-паралельними з максимальною можливою площею міді. Сигнальні кола затвора та емітера також потрібно прокладати паралельно і близько один до одного. Стандартна притискна

кришка MiniSKiiP має певні порожнини, що дозволяють встановлювати під нею SMD-компоненти з максимальною висотою 3.4 мм. При цьому слід переконаватися, що вони не конфліктують з контактними точками кришки MiniSKiiP. Як матеріал PCB може бути використаний FR 4, товщина мідних шарів — за стандартом IEC 326-3.

Компоненти встановлюються на друковану плату за допомогою пайки хвилею, оплавлення або селективної пайки. Посадкові майданчики для пружинних контактів мають бути вільні від будь-яких забруднень, як-то припій, флюс, пил, жир або інші речовини. Під час паяння хвилею компонентів, розташованих на нижньому боці PCB, контактні майданчики потрібно захищати від бризок припою за допомогою металевого трафарету. У разі використання клейкої стрічки для маскування

посадкових майданчиків виключається можливість потрапляння клею, що погіршує якість контакту. На контактних майданчиках не повинно бути наскрізних отворів із покриттям (перехідних отворів), наявність яких погіршує властивості притискного з'єднання.

### Пружинні контакти

- Матеріал: сплав K88;
- покриття: срібло (Ag), товщина 1–5 мкм; контактний майданчик (верхній і нижній шар), товщина 3–5 мкм;
- захист поверхні: металева пасивація, товщина < 0.1 мкм.

Базовий матеріал K88 — це високоякісний сплав, розроблений фірмами Wieland Werke і Olin Brass для застосування в конекторах. Він володіє великою межею плинності (550 МПа), дуже гарною формівністю, що допускає різкий вигин, високою електропровідністю (80% в питомих одиницях IACS), а також відмінним опором релаксації для довготривалого стабільного пружинного зусилля в діапазоні робочих температур. Протягом усього терміну служби в пружинних контактах MiniSKiiP не спостерігається втомлювальних ефектів.

Для запобігання зношування тонкої срібної поверхні, її покривають металевою пасивувальною плівкою. Такий захист пружинних контактів MiniSKiiP від потьмяніння має лише косметичну мету, він виключає сульфуріацію і потьмяніння срібла протягом приблизно пів року. Приблизно через пів року після виготовлення, залежно від товщини шару пасивації, починається знебарвлення пружин, ступінь якого може відрізнитися (рис. 3).

Знебарвлення викликане тонкими шарами сульфїду, які з часом утворюються на покріблених поверхнях. Вони дуже тонкі та крихкі, легко руйнуються під час монтажу і не погіршують електричний контакт. Таким чином, модулі MiniSKiiP зі знебарвленими пружинами можуть використовуватися без будь-яких обмежень.

Для забезпечення належного електричного з'єднання пружинний контакт має виступати над корпусом щонайменше на 0.9 мм (вимірюється від поверхні

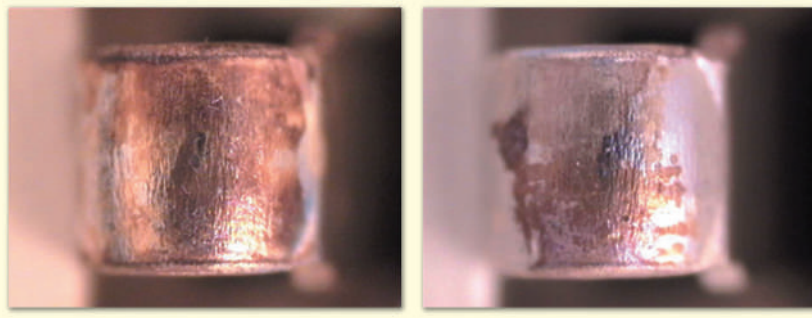


Рис. 3. Приклади знебарвлення поверхні пружин

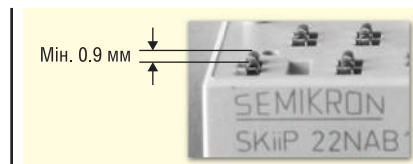


Рис. 4. Виступ пружинних контактів

корпусу до голівки пружини, рис. 4). Слід запобігти забрудненню контактів мастилом, жиром або іншими речовинами, тому не можна торкатися пружин голими руками.

**Електроміграція та утворення ниткоподібних формацій**

Для того, щоб унеможливити ризик електроміграції, SEMIKRON проводить випробування контактної системи в агресивному середовищі з високою концентрацією H<sub>2</sub>S (10 ppm), умови яких наведено в таблицях 2 і 3.

Ниткоподібні формації являють собою електропровідні кристалічні утворення, що ростуть на поверхні металу через стисну напругу, яка присутня в металевій структурі. Цей процес прискорюється при впливі агресивної атмосфери. Після тестування спостерігалось зростання ниток на краях пружин в областях з мінімальною товщиною покриття, що ніяк не впливає на ізоляційні властивості MiniSKiiP. Корпус модуля і напрямні пружин непровідні та виготовлені з пластику, тому там не може виникнути жодних проблем. Ріст ниток на голівці пружини також не є небезпечним, навпаки, їхня наявність покращує якість з'єднання пружинного контакту та майданчика PCB.

**ОБЛАСТІ БЕЗПЕЧНОЇ РОБОТИ (ОБР, SOA) IGBT**

Графіки ОБР не включають до технічних специфікацій напівпровідникових приладів, їх можна знайти в інструкціях із застосування у вигляді стандартизованих кривих, які стосуються параметрів V<sub>CES</sub> та I<sub>CRM</sub> або I<sub>Cnom</sub> (для трьох класів напруги 600, 1200 і 1700 В). На рисунку 5 показано приклад області безпечної роботи IGBT, що обмежує максимальний струм колектора (горизонтальна лінія) і напругу «колектор-емітер» (вертикальна лінія). Граничні номінальні значення струму передбачають, що чипи IGBT не нагріваються вище максимально допустимої температури (T<sub>i</sub> = +150 або +175 °C).

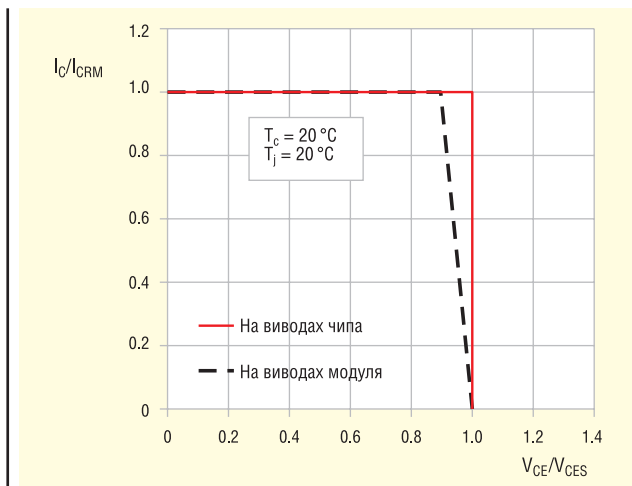
Модулі IGBT можуть працювати тільки в режимі перемикання, лінійний режим не допускається, також виключено

**Таблиця 2. Параметри тестів на електроміграцію та утворення ниткоподібних формацій**

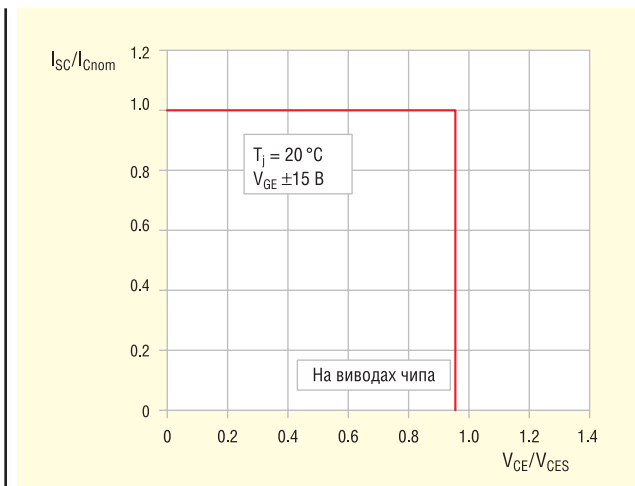
| Вид випробувань              | Умови проведення                                       |
|------------------------------|--|
| Попередня підготовка         | 48 год, +25 °C, 75% RH, 0 В                            |
| Вплив агресивного середовища | 240 год, +25 °C, 75% RH, 80 В, 10 ppm H <sub>2</sub> S |
| Критерій відмови             | Струм витoku (стікання) > 10 мА                        |

**Таблиця 3. Кваліфікаційні випробування на надійність пружинних контактів MiniSKiiP**

| Попередній тест PCB  |  |   |  |
|--|--|---|--|
|  | Вид тесту                              | Умови   | Оцінка   |
| 1  | Умови постачання                       | –   | Аналіз складу матеріалів: поверхня та поперечний переріз EDX/SEM |
| 2  | Після прискореного старіння            | Зберігання за високої вологості та температури  | Аналіз складу матеріалів: поверхня і поперечний переріз EDX/SEM  |
| 3  | Після прискореного старіння            | Зберігання за високої температури   | Аналіз складу матеріалів: поверхня і поперечний переріз EDX/SEM  |
| Тест повного складання: модуль з PCB, встановлений на радіатор |  |   |  |
| 4  |  | Зберігання за високої температури   | Вимірювання контактної опору до і після тесту                    |
| 5  |  | Зберігання за високої вологості та температури  | Вимірювання контактної опору до і після тесту                    |
| 6  |  | Термоцикування під струмом  | Постійний моніторинг контактної опору за I = 100 мА              |
| 7  | Промислова атмосфера за IEC 60068-2-60 | H <sub>2</sub> S – 0.4ppm<br>SO <sub>2</sub> – 0.4 ppm<br>NO <sub>2</sub> – 0.5 ppm<br>Cl <sub>2</sub> – 0.5 ppm<br>21 день | Вимірювання контактної опору до і після тесту                    |
| 8  | Вібрації                               | Син., 5g по 3 осям, 2 ч/ось   | Постійний моніторинг контактної опору                            |
| 9  | Удари                                  | Напівсін., 30g по 3 осям, 2 год/вісь  | Постійний моніторинг контактної опору                            |



**Рис. 5. ОБР для режиму ввімкнення (SOA), ОБР для режиму блокування (RBSOA)**



**Рис. 6. ОБР для режиму короткого замикання (SCSOA)**

перевищення максимального значення  $V_{CES}$ . Через внутрішню паразитну індуктивність  $L_S$ , під час комутації індукується сплеск напруги, тому її максимальне значення на силових терміналах  $V_{CEmax,T}$  має бути меншим, ніж  $V_{CEmax}$  (пунктирна лінія на рис. 5).

За певних умов IGBT здатні активно переривати стан короткого замикання (КЗ). При цьому чипи, що діють в активній робочій зоні, генерують великі втрати потужності, що призводить до підйому температури набагато вище пікового значення  $T_{j,max}$ . Однак завдяки позитивному ТКН, тобто температурному коефіцієнту напруги «колектор-емітер», струм КЗ стабілізується на рівні  $(4-6) \times I_{Cnom}$ .

Для безпечної вимкнення режиму перевантаження необхідно витримати такі граничні умови:

- допустима тривалість короткого замикання  $t_{sc}$  визначена в технічних специфікаціях (максимальна напруга на DC-шині зменшується до 360 В для IGBT 600 В і до 800 В для IGBT 1200 В);
- кількість циклів КЗ не має перевищувати 1000 протягом усього терміну служби IGBT;
- час між двома циклами КЗ має бути не менше ніж 1 с.

На рисунку 6 наведено приклад ОБР для режиму КЗ (SCSOA) за заданої швидкості вимкнення  $di/dt$ . Слід врахувати, що напруга на чипах перевищує рівень сигналу на силових виводах модуля на  $L_S \times di/dt$ , тому максимальну величину VCE необхідно скоригувати відповідним чином.

## MINISKiIP: ТЕПЛОВІ ХАРАКТЕРИСТИКИ $R_{th}$ І $Z_{th}$

Величина статичного теплового опору, що наводиться в технічних специфікаціях, заснована на результатах вимірювань:

$$R_{th(1-2)} = \Delta T / P_v = (T_1 - T_2) / P_v$$

Як видно з наведеного рівняння, різниця температур  $\Delta T$  істотно впливає на величину  $R_{th}$ , тому положення контрольних точок і метод вимірювання дуже важливі.

Оскільки модулі MiniSKiIP не мають базової плати, SEMIKRON нормує для них тепловий опір  $R_{th(j-s)}$  між кристалами і теплостоком. Цей параметр багато в чому залежить від властивостей термопасты і конструкції радіатора. Для вимірювання теплових параметрів MiniSKiIP використовуються контрольні точки, показані на рисунку 7:

- $T_j$  — так звана «віртуальна температура чипів» — середнє значення температури по поверхні кристала;
- $T_s$  — температура радіатора, вимірюється в отворі за 2 мм нижче від модуля, безпосередньо під чипом.

Детальнішу інформацію про нормування теплових опорів наведено в посібнику AN-1404 [3]. Наведені в документації значення  $R_{th}$  можуть бути використані для визначення стаціонарних теплових режимів. Для детальніших і точніших розрахунків з урахуванням перехідних процесів важливо створити динамічну теплову модель радіатора, що враховує низку чинників, зокрема положення чипів.

Під час увімкнення «холодного» модуля величина  $R_{th}$  виявляється меншою за статичне значення, зазначене в технічній специфікації, що пов'язано з наявністю внутрішніх теплових ємностей модуля. У перший момент вони є «незарядженими», а їхній «заряд» відбувається за рахунок теплової енергії, що виникає через генерацію втрат під час роботи напівпровідникового приладу. При цьому значення  $R_{th}$  зростає, тому для визначення динаміки процесу вводиться поняття динамічного

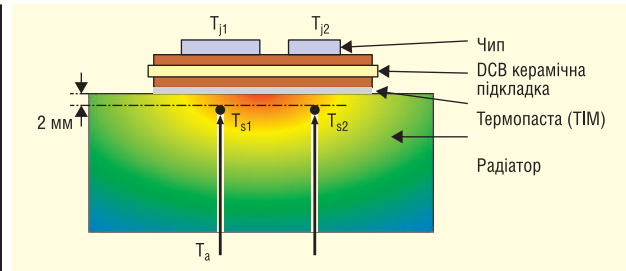


Рис. 7. Контрольні точки для вимірювання теплових опорів

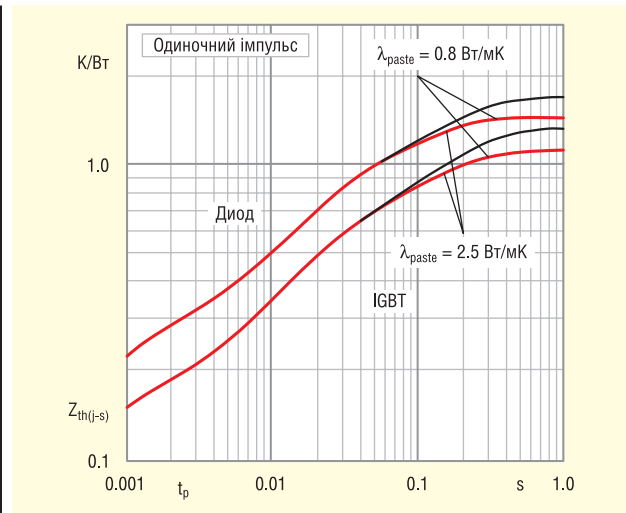


Рис. 8.  $Z_{th}$  — динамічний тепловий імпеданс (з термопастою Wacker P12 і HPTP)

теплого імпедансу  $Z_{th}$ . Коли всі теплоємності заряджені, енергія втрат має бути виділена в навколишнє середовище. У цей момент імпеданс  $Z_{th}$  досягне статичного значення  $R_{th}$ , визначеного в специфікації (рис. 8).

Перехідні теплові характеристики модулів SEMIKRON вимірюються в процесі їх проектування. На основі цих вимірювань створюють математичну модель Фостера (Foster model), що описується таким рівнянням:

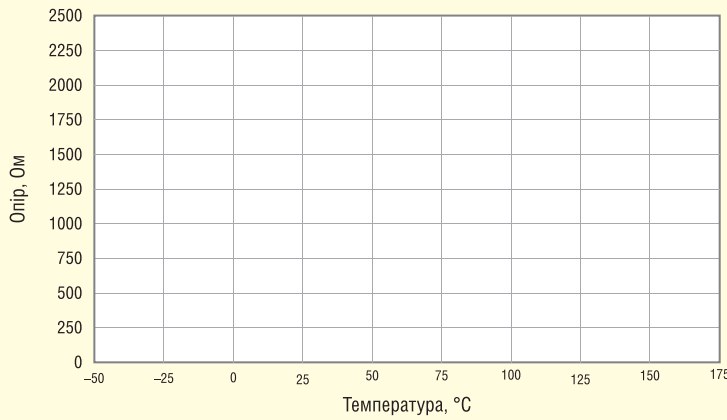
$$Z_{th}(t) = R_1 \left( 1 - e^{-\frac{t}{\tau_1}} \right) + R_2 \left( 1 - e^{-\frac{t}{\tau_2}} \right) + R_3 \left( 1 - e^{-\frac{t}{\tau_3}} \right)$$

Значення елементів моделі Фостера для конкретних модулів доступні за запитом.

## Вбудований датчик температури

Модулі MiniSKiIP мають у своєму складі датчик температури з NTC- або PTC-характеристикою, конкретні дані вказані в технічній специфікації. Сенсор зазвичай розміщується на краю DCB-підкладки поблизу чипа IGBT, що пов'язано з вимогами ізоляції, з одного боку, і обмеженням простором, з іншого. Тепловий зв'язок у цьому випадку недостатньо ефективний для контролю нагріву кристалів, тому датчик використовується як індикатор температури теплостоку. Рекомендований поріг вимкнення силових транзисторів становить приблизно  $+115^\circ\text{C}$  у разі використання стандартних радіаторів повітряного охолодження. Температуру датчика в найгірших умовах експлуатації можна визначити шляхом моделювання методом кінцевих елементів з урахуванням системи охолодження. Зазначимо, що в разі використання рідинного охолодження тепловий зв'язок сенсора і чипів ще менший.



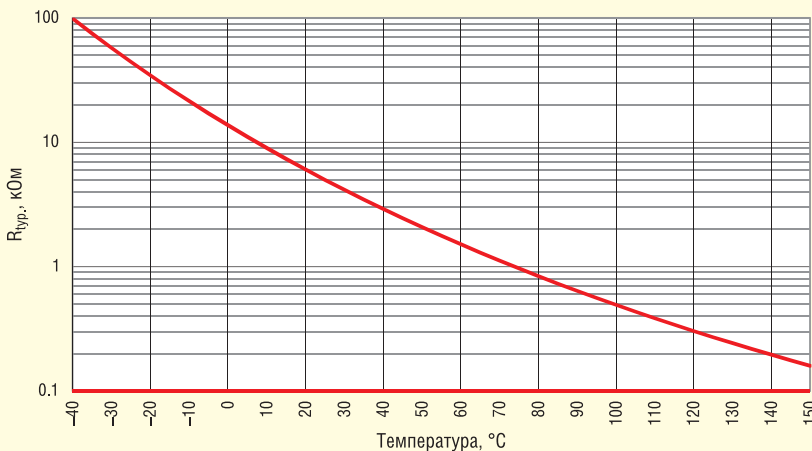


**Рис. 9. Залежність опору датчика SKCS2 Temp 100 від температури**

**Таблиця 4. Вираз для розрахунку температури та параметри PTC-датчика**

$$R_T = 1000 \text{ Ом} \times [1 + A(T - 25^\circ\text{C}) + B(T - 25^\circ\text{C})^2]$$

| Символ           | Допуск | Мінімальний | Типовий                  | Максимальний | Одиниці вимірювання |
|------------------|--------|-------------|--------------------------|--------------|---------------------|
| R <sub>25</sub>  | ±3%    | 970         | 1000                     | 1030         | Ом                  |
| R <sub>100</sub> | ±2%    | 1637        | 1670                     | 1703         |                     |
| A                |        |             | 7.635 × 10 <sup>-3</sup> |              | 1/°C                |
| B                |        |             | 1.735 × 10 <sup>-5</sup> |              | 1/°C <sup>2</sup>   |



**Рис. 10. Залежність опору датчика KG3B-35-5 від температури**

**Таблиця 5. Вираз для розрахунку температури та параметри NTC-датчика**

$$R_2 = R_1 \times e^{\left[ B_{NTC} \left( \frac{1}{T_2} - \frac{1}{T_1} \right) \right]}$$

R<sub>2</sub> — опір за абсолютної температури T<sub>2</sub>, К  
R<sub>1</sub> — опір за абсолютної температури T<sub>1</sub>, К

| Символ                 | Допуск | Мінімальний | Типовий | Максимальний | Одиниці вимірювання |
|------------------------|--------|-------------|---------|--------------|---------------------|
| R <sub>25</sub>        | ±5%    | 4.75        | 5.0     | 5.25         | кОм                 |
| R <sub>100</sub>       |        | 468         | 493     | 518          | Ом                  |
| B <sub>(25/50)</sub>   |        |             | 3375    |              | К                   |
| B <sub>(25/85)</sub>   |        |             | 3420    |              |                     |
| B <sub>(100/125)</sub> |        |             |         |              |                     |

Характеристику PTC-датчика SKCS2 Temp 100 наведено на рисунку 9, а його параметри та вираз для розрахунку опору — у таблиці 4.

Номинальний опір PTC-сенсора — 1 кОм ±3% за +25 °C (±2% за +10 °C),

типовий ТКС — 0.76 %/K, рекомендоване значення вимірювального струму 1–3 мА.

Номинальний опір NTC-сенсора KG3B-35-5 — 25 кОм ±5% за +25 °C (±2% за +100 °C), типовий ТКС —

0.76 %/K, рекомендоване значення вимірювального струму 1–3 мА. Характеристична крива наведена на рисунку 10, параметри і вираз для розрахунку опору — у таблиці 5.

**ЕЛЕКТРИЧНА ІЗОЛЯЦІЯ**

Як було зазначено, датчик температури MiniSKiiP встановлений поруч із чипами IGBT і FWD на одній і тій самій ізолювальній підкладці (рис. 11), що забезпечує так звану функціональну ізоляцію між сенсором та іншими колами, якщо інше не зазначено в технічному описі. Параметри ізоляції тестують у процесі виробництва.

Електричне перевантаження, спричинене коротким замиканням, здатне призвести до оплавлення чипа і розриву його з'єднувальних проводів, що призведе до виникнення високоенергетичного плазмового розряду та електричної дуги (рис. 12). Шлях поширення плазми непередбачуваний — дуга може досягти термодатчика, який опиниться під високою напругою. Рівень безпечного захисту відповідно до EN 61800-5-1 досягається за допомогою різних додаткових заходів, детально описаних у стандарті.

Пластикова притискна кришка MiniSKiiP має металеву вставку, з нею електрично з'єднується гвинт, що фіксує модуль на радіаторі. Оскільки ці елементи опиняються під однаковим електричним потенціалом, необхідно враховувати шляхи струмів витоку та ізоляційні зазори.

Відстань між металевою вставкою і друкованою платою (1 на рис. 13) становить понад 8.6 мм для стандартної кришки і 5.8 мм для тонкої кришки (рис. 14). Внутрішня відстань між гвинтом і платою (2 на рис. 13) перевищує 6.1 мм за товщини PCB 1 мм, як показано на рисунку 15. Якщо друкована плата товща за 1 мм, то зазор відповідно зменшується (наприклад, для PCB = 1.5 мм довжина витоку становитиме 6.1 – 0.5 = 5.6 мм).

Модулі MiniSKiiP заливаються силіконовим гелем із діелектричною міцністю 23 кВ/мм, який забезпечує електричну ізоляцію від DBC підкладки до радіатора (3 на рис. 13), а також від підкладки до кріпильного гвинта (4 на рис. 13).

**Порівняльний трекінг-індекс (СТІ)**

Параметр СТІ характеризує здатність матеріалу ізолятора перешкодити трекінгу — виникненню струмопродівних шляхів витоку поверхнею корпусу ізолятора в умовах забруднення.

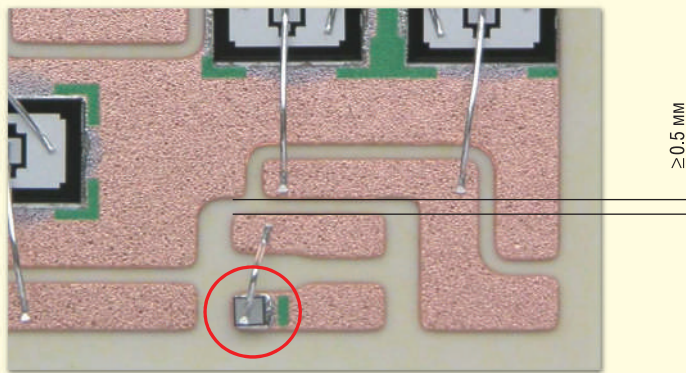


Рис. 11. Положення термодатчика на DBC-підкладці

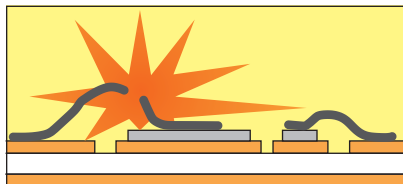


Рис. 12. Високоенергетичний плазмовий розряд, спричинений плавленням проводячого виводу чипа

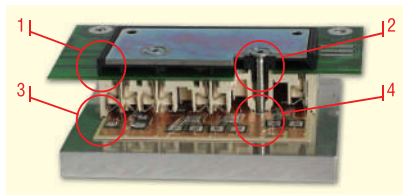


Рис. 13. Поперечний переріз складання «PCB—MiniSKiiP—радіатор», зони визначення шляхів струмів витоку

Типорозмір MiniSKiiP 1-3: ізоляційний матеріал, група I (СТІ  $\geq 600$ ).

Типорозмір MiniSKiiP 0: ізоляційний матеріал, група IIIa ( $400 > \text{СТІ} \geq 175$ ).

Стандартна кришка 0-3: ізоляційний матеріал, група IIIa ( $400 > \text{СТІ} \geq 175$ ).

Тонка кришка 0-3: ізоляційний матеріал, група IIIa ( $400 > \text{СТІ} \geq 175$ ).

## ТЕПЛОВІ ХАРАКТЕРИСТИКИ МАТЕРІАЛІВ

Для теплового моделювання необхідно знати властивості матеріалів, що використовуються під час виготовлення MiniSKiiP, — товщину шарів, питому теплоємність і провідність. Структура силового модуля показана на рисунку 16, характеристики матеріалів наведено в таблиці 6. Особливо сильно від температури залежить теплопровідність кремнію, вона знижується приблизно на  $0.5 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})$  на  $1 \text{ К}$  приблизно до  $100 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})$  за  $+125 \text{ }^\circ\text{C}$ .

## ВИСНОВОК

Застосування пружинних контактів для під'єднання виводів керування та силових кіл, а також проста, економічна конструкція, яка не потребує паяння та дає змогу збирати модуль, інтерфейсну плату й тепловідвід за допомогою одного гвинта, — такі основні переваги сімейства модулів MiniSKiiP.

Можливість з'єднання всіх електричних кіл MiniSKiiP за одну технологічну операцію дає змогу скоротити витрати на розробку і виробництво порівняно з традиційними конструкціями приблизно на 15%. Використання пружинних контактів робить процес складання (збирання, збірки) простим і гнучким: замість наскрізних отворів на друкованій платі (PCB) потрібні тільки контактні майданчики. Важливо відзначити, що PCB виконує також функцію ланки постійного струму, оскільки розводка кіл живлення проводиться друкованими лініями. Притисний спосіб з'єднання і-

>8.6 мм стандартна кришка  
>5.8 мм тонка кришка

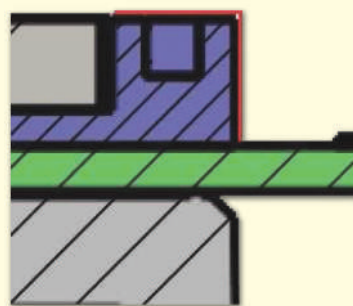


Рис. 14. Поперечний переріз зі шляхами струмів витоку від «тонкої» притисної кришки до PCB

>6.1 мм стандартна та тонка кришка

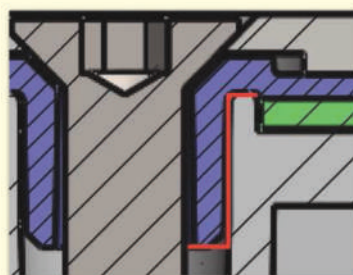


Рис. 15. Поперечний переріз зі шляхами струмів витоку від кріпильного гвинта до PCB

тотно підвищує надійність роботи модулів в умовах теплових і механічних впливів, що зробило компоненти сімейства MiniSKiiP промисловим стандартом для виробництва приводів потужністю до 40 кВт [1].

Зазвичай для виготовлення силових перетворювачів у діапазоні потужнос-

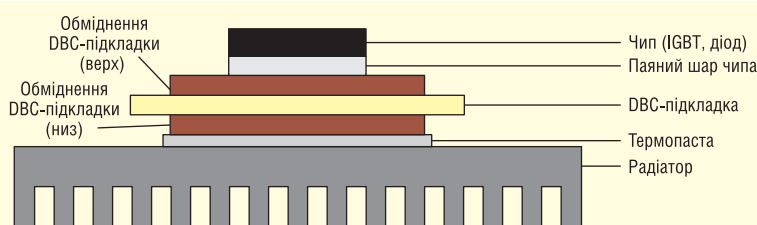


Рис. 16. Конструктивні шари збірки силового модуля

Таблиця 6. Характеристики матеріалів для теплового моделювання

| Шар               | Матеріал                       | Товщина, мкм | Питома теплопровідність @25 °С, Вт/(м·К) | Питома теплоємність @25 °С, Дж/(кг·К) | Густина @25 °С, кг/м³ |
|-------------------|--------------------------------|--------------|--|---------------------------------------|-----------------------|
| 1200-В IGBT T7    | Si                             | 112          | 148                                      | 700–750                               | 2330                  |
| 1200-В діод CAL4F |                                | 261          |  |                                       |                       |
| 1600-В діод PEP   |                                | 310          |  |                                       |                       |
| Паяний шар чипа   | SnAg                           | ≈ 100        | 57                                       | 214                                   | 7800                  |
| Обміднення DBC    | Cu                             | 300          | 394                                      | 385                                   | 8960                  |
| DBC-кераміка      | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 380          | 24                                       | 830                                   | 3780                  |
| TiM               |                                | 20–40        | 1–2.5                                    | 700                                   | 2500                  |

ті 40–90 кВт застосовують стандартні модулі 34 і 62 мм із базовою платою і гвинтовими терміналами. Безбазові компоненти сімейства MiniSKiiP, що мають найпростіший притисковий спосіб підключення, стають хорошою альтернативою стандартним IGBT. Лінійка модулів MiniSKiiP також доповнилася напівмостовими ключами MiniSKiiP Dual (конфігурація GB) на струми 150–300 А (650 В), 150–300 А (1200 В) і 100–200 А (1700 В), які можна використовувати для розробки перетворювачів потужністю до 90 кВт. У них реалізовано нову конструктивну концепцію, що забезпечує їх максимально просте включення до складу трифазної схеми. При використанні цих компонентів одночасно вирішуються обидва поставлені завдання — зниження вартості комплектуючих і зменшення виробничих витрат.

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

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

Література:

1. *Technical Explanation. MiniSKiiP Gen. II. SEMIKRON INTERNATIONAL, GmbH, 2021.*
2. Демут Фолькер. *MiniSKiiP Dual — альтернатива IGBT 62 мм // Силовая электроника. 2014. № 3.*
3. AN1404 «Thermal resistance of IGBT Modules — specification and modeling». SEMIKRON INTERNATIONAL, GmbH, 2014.
4. Langenbucher A. *Taking Power density to a New Level // Bodo's Power Systems. 2011. September.*
5. Giessmann A., Langenbucher A. *A Look into the Future: Savings Potential in Inverter Design // Bodo's Power Systems. 2011. December.*
6. Scheuermann U., Beckedahl P. *The Road to the Next Generation Power Module — 100% Solder Free Design. Proc. CIPS 2008. Nuremberg, 2008.*
7. Колпаков А. *Надежность прижимных соединений силовых модулей в условиях агрессивных сред // Силовая электроника. 2006. № 4.*
8. [www.semikron-danfoss.com](http://www.semikron-danfoss.com)

CN

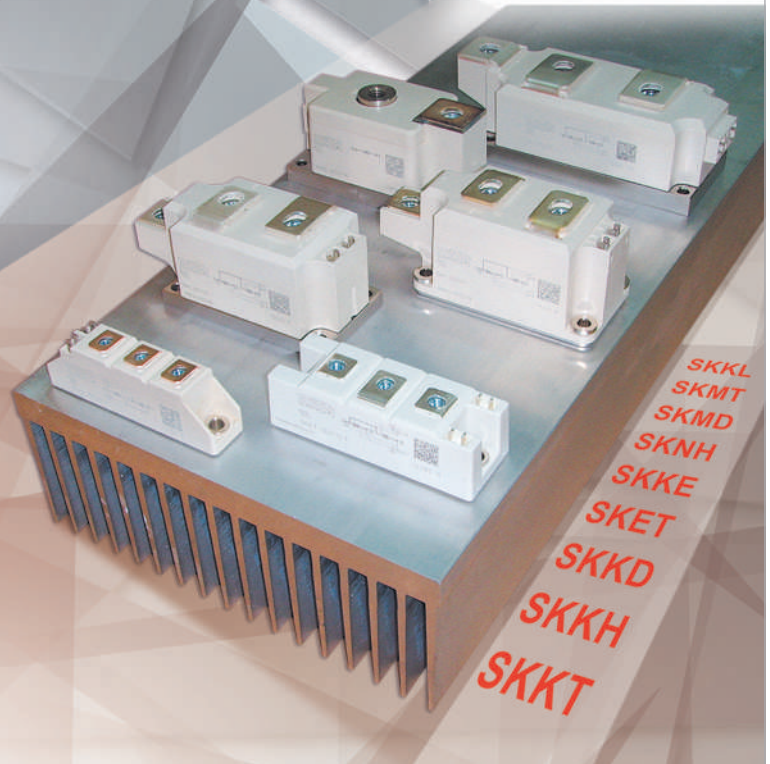
## НВП "ТЕХНОСЕРВІСПРИВІД"

Офіційний представник Semikron Danfoss в Україні

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



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



03057, Київ-57, пр-т Берестейський, 56, оф. 335,  
тел./факс: (044) 458 47 66  
E-mail: [sp.tsdrive@gmail.com](mailto:sp.tsdrive@gmail.com)  
[www.tsdrive.com.ua](http://www.tsdrive.com.ua)

# Паралельне ввімкнення GaN-транзисторів

Ялцин Хаксоз (Yalcin Haksoz), Infineon Technologies

Адаптований переклад українською та технічне редагування:

Віталій Шевченко, Rainbow Technologies, технічний спеціаліст

E-mail: svl@rainbow.com.ua

**Кремнієві MOSFET вже багато років використовують у перетворювачах потужності в паралельних конфігураціях, тоді як силові транзистори на основі GaN все ще залишаються новинкою для багатьох інженерів.**

## ВСТУП

Напівпровідники з широкою забороненою зоною (WBG) все частіше стають альтернативою традиційним кремнієвим MOSFET у силових перетворювачах. У тих сегментах ринку, де підвищення ефективності або густини потужності на один-два відсотки дає вирішальну перевагу, перехід на транзистори з нітриду галію (GaN) цілком виправданий. Як і у кремнієвих пристроях, у виробництві GaN-транзисторів є обмеження на максимальний розмір кристала і, отже, максимальне значення допустимого навантаження за струмом. Для збільшення вихідної потужності використовується паралельне ввімкнення комутаційних пристроїв. Однак при цьому виникає безліч проблем, пов'язаних із конструкцією ключів.

## ПРОБЛЕМИ ПАРАЛЕЛЬНОГО ВИКОРИСТАННЯ КОМУТАЦІЙНИХ ПРИСТРОЇВ

Під час паралельної роботи комутаційних пристроїв насамперед слід

враховувати величину опору відкритого каналу  $R_{DS(ON)}$ . В ідеальному випадку обрані пристрої мають бути узгоджені так, щоб статичний струм, що протікає, рівномірно розподілявся між паралельно встановленими ключами. Друга проблема пов'язана з динамічним перемиканням. Через відмінності параметрів затворів кожного ключа виникає не тільки дисбаланс у розподілі струму між ключами — протікання струму в поєднанні з паразитними ефектами схеми призводить до небажаних високочастотних коливань. У результаті не дотримуються вимоги до електромагнітної сумісності (ЕМС), і ключі навіть можуть пошкодитися.

Хоча паралельна робота кремнієвих MOSFET добре зрозуміла, багато розробників досі погано знайомі з принципами керування окремими GaN HEMT-пристроями. З урахуванням їхньої винятково високої комутаційної швидкості це означає, що слід досить добре розуміти основи керування цими силовими транзисторами, перш ніж вирішувати проблеми, зумовлені паралельним ввімкненням пристроїв.

## «ПРАВИЛЬНЕ» КЕРУВАННЯ

У 600-В пристроях CoolGaN HEMT від Infineon використовується р-легована підзатворна область GaN. Унаслідок цього порогова напруга пристрою зміщується в бік позитивного значення, хоча зазвичай вона доволі низька і перебуває в діапазоні 1.0–1.5 В. У затворі формується р-n-діод із прямою напругою близько 3.0 В і опором величиною в кілька Ом. Таким чином, схема драйвера затвора великою мірою відрізняється від тієї, яка використовується з класичним MOSFET. Вхід затвора транзистора CoolGaN можна уявити як діод із прямою напругою  $V_F \approx 3.5$  В, який встановлений паралельно ємності затвора  $C_G$ . Саме цей діод ускладнює керування пристроями, оскільки після виходу на плато Міллера напруга на вузлі затвора фіксується на значенні, близькому до  $V_F$ . Це означає, що для вимкнення транзистора при використанні жорсткої комутації потрібна негативна напруга. Крім того, керування в статичному ввімкненому стані та під час перехідних процесів під час комутації здійснюється по-різному.

Цю проблему вирішують за допомогою схеми, показаної на рисунку 1. Малий опір відкритого каналу забезпечує швидкий низькоомний шлях для змінного струму для заряджання ємностей  $C_{ON}$  і  $C_{GS}$ . Для цього пікове значення керуючої напруги  $V_S$  має більш ніж удвічі перевищувати  $V_F$  (як правило, в діапазоні 8–10 В).

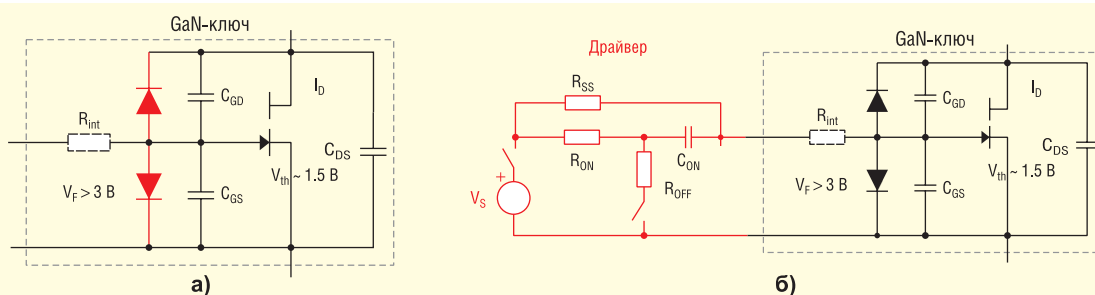
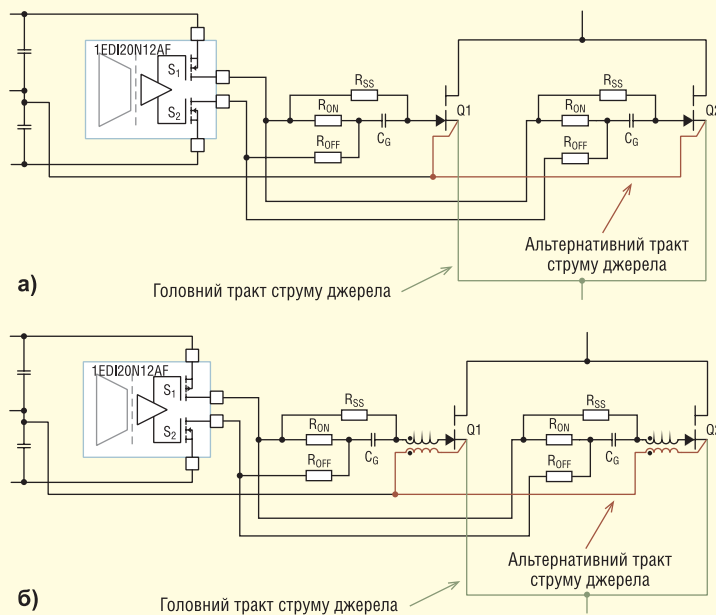
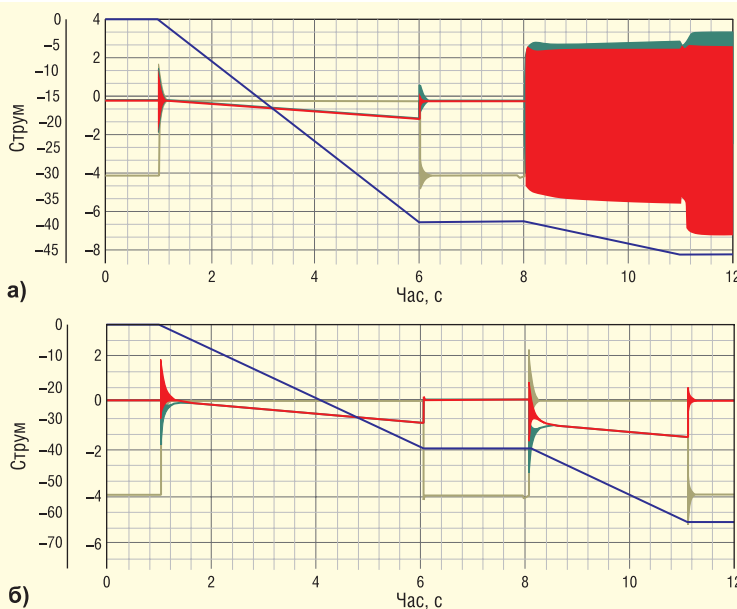


Рис. 1. Еквівалентна схема GaN HEMT в Е-режимі (а); пропонується схема керування (б)



**Рис. 2.** При паралельній роботі транзисторів CoolGaN високий імпеданс у схемі Кельвіна запобігає сильним коливанням напруги в перехідному процесі



**Рис. 3.** Моделювання показує, як впливає перемикання 40 А: без синфазних дроселів (а); із синфазними дроселями (б)

Далі формується паралельний шлях постійного струму через  $R_{SS}$ . Таким чином, за правильного вимірювання перехідний струм визначається опором відкритого каналу, а  $R_{SS}$  визначає сталий струм діода.

Під час вимкнення затвора відбувається перерозподіл зарядів між  $C_{GS}$  і  $C_{ON}$ . При цьому необхідно переконатися, що  $C_{ON}$  більший за  $C_{GS}$ , оскільки внаслідок різниці між зарядами напруга на затворі  $V_G$  стає негативною, і транзистор вимикається при всіх застосуваннях.

У разі паралельної роботи CoolGaN HEMT це саме RC-коло керування можна

використовувати із затвором кожного транзистора в поєднанні зі стандартними драйверами затвора для застосувань на кремнієвих MOSFET. Потрібен один драйвер затвора, наприклад ізолюваний EiceDRIVER 1EDI20N12AF, що використовує виходи витoku (OUT+) і стоку (OUT-) для роздільного ввімкнення і вимкнення транзисторів. Під час використання 12-В ізолюваного джерела живлення (ДЖ) для драйвера затвора вихідна напруга ДЖ ділиться на позитивну та негативну; негативна напруга встановлюється на рівні  $-2.5$  В. Завдяки

цьому порогова напруга затвора транзистора не перевищується, і мінімізуються втрати зворотної провідності. Крім того, підтримується чітко визначена напруга затвора навіть за малих значень коефіцієнта заповнення, що запобігає зменшенню напруги RC-ланки до нуля.

## ВПЛИВ ТРАКТІВ ЗМІННОГО СТРУМУ

Навіть за наявності окремої керуючої RC-ланки у кожного транзистора є спільний струмовий шлях, який заважає роботі ланок драйвера затвора (див. рис. 2). В ідеальному випадку весь струм має проходити заданим шляхом від стоку до витoku, але неминує деяка частина його протікає через шлях виводу Кельвіна. Якщо імпеданси і трасування цих шляхів не ідентичні, напруги  $V_{GS}$  в колах затворів CoolGaN HEMT стають різними. Різниця в кілька мілівольт на затворі може призвести до незбалансованого розподілу струму з різницею в кілька ампер, а також до сильних коливань під час перемикань між двома транзисторами.

Введення в тракт виводу Кельвіна синфазного тракту з високим імпедансом вирішує цю проблему. Синфазні дроселі, встановлені між затворами і відповідним зворотним шляхом схеми Кельвіна спільно з резистором величиною 1 Ом, дають змогу колу керування затвором «бачити» тільки невелику індуктивність розсіювання. З боку спільного кола струму тепер видно повну диференціальну синфазну індуктивність обох дроселів. Дроселів потрібно ретельно підібрати, щоб уникнути погіршення характеристики драйвера затвора. Вплив синфазних дроселів показано на рисунку 3, отриманому шляхом симуляції з використанням засобу SIMetrix.

## КОРЕКТНЕ ПРОЄКТУВАННЯ ДРУКОВАНОЇ ПЛАТИ

Іншою поширеною проблемою під час паралельної роботи ключів є вплив паразитних індуктивностей і ємностей на друкованій платі (схема, доріжки, розташування шпів) поряд із паразитними складовими компонентами, що використовуються. Основною проблемою в такому разі при застосуванні HEMT CoolGaN є вплив діапазону порогових значень  $V_{GS}$  і відмінностей між величинами  $R_{DS(ON)}$  транзисторів. Цю обставину дало змогу встановити моделювання, виконане засобом SIMetrix з використанням поро-

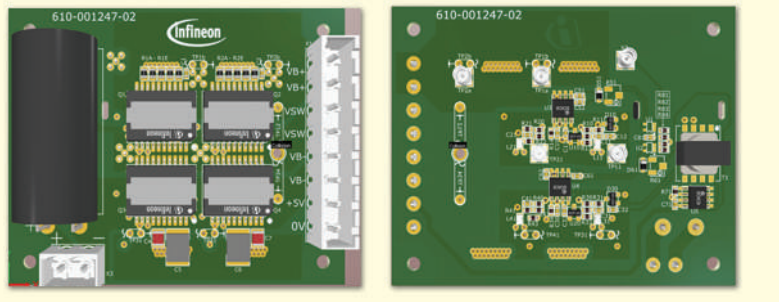


Рис. 4. Оцінювальна платформа CoolGaN з паралельним напівмостом

гових напруг 0.9–1.6 В і значень  $R_{DS(ON)}$  у діапазоні 55–70 мОм. Крім того, було змодельовано вплив індуктивностей провідників і ємностей шарів.

Результати цього аналізу показали, що статичний дисбаланс під час розподілу струму пов'язаний винятково з відмінностями в значеннях  $R_{DS(ON)}$  транзисторів. За необхідності він усувається шляхом узгодження пристроїв. Як згадувалося, руйнівні стійкі коливання виключаються за допомогою синфазного дроселя. Однак ключовим фактором у цьому випадку є продумана топологія. Силкові кола і кола керування затвором мають бути невеликими і симетричними, а паразитна ємність комутаційного вузла — мінімальною.

## СПОСОБИ ВИРІШЕННЯ

Оптимальний спосіб визначити проблеми і знайти способи їх вирішення полягає в проведенні лабораторних експериментів. З цією метою компанія Infineon розробила оцінювальну плату з паралельним напівмостом, у якому використовують чотири 70-мОм силових GaN-транзистори IGOT60R070D1 (див. рис. 4). Плату було розроблено з урахуванням обговорюваних у цій статті рекомендацій, і вона стала чудовою відправною точкою для оцінки схеми та проектування. Плата має безліч контрольних точок для здійснення повноцінного аналізу. Особлива увага приділяється широкосмуговим ізольованим диференціальним пробникам для деяких точок вимірювання, а також компенсації для забезпечення точної синхронізації каналів перед їх використанням.

У поєднанні із зовнішнім дроселем плату можна застосовувати для тестування в понижаючих або підвищуючих топологіях, у двоімпульсних режимах і для роботи з ШІМ-сигналами. Вона також підходить для режимів із жорсткою і м'якою комутацією за рівнів потужності в кілька кВт і частот до 1 МГц. З'ємна

клемна колодка спрощує реконфігурацію випробувальної установки, а додатковий роз'єм дає змогу додати ємність до згладжувального конденсатора 100 мкФ/450 В. Цей компонент разом із двома додатковими високочастотними шунтувальними конденсаторами задає граничне значення вихідної напруги або напруги шини 450 В. Плата може працювати за безперервного струму до 28 А і пікового струму 70 А в режимах жорсткої або м'якої комутації за умови використання відповідного радіатора, теплового контакту і повітряного обдування. Потенціометри в ланцюзі формування мертвого часу дають змогу реалізувати відкладене ввімкнення за допомогою RC-ланки та миттєвого вимкнення через діод.

## ВИСНОВКИ

Розглянутий спосіб керування затворами GaN-транзисторів є першим кроком на шляху освоєння цих пристроїв. Паралельна конфігурація є відносно простим способом їх використання, який, однак, не можна недооцінювати. Балансування струмів між пристроями в статичних режимах і дотримання передових методів розроблення топології друкованих плат вимагають усвідомленої уваги на етапі проектування. Нарешті, застосування синфазних дроселів з правильно підібраними розмірами в трактах затвора схеми Кельвіна є тим фактором, який дасть змогу тримати під контролем напругу коливань руйнівної сили.

**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**

CN

## Н7-ВЕРСІЯ ДИСКРЕТНИХ 650-В TRENCHSTOP™ IGBT GEN7 ДЛЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНИХ СИЛОВИХ ЗАСТОСУВАНЬ

Компанія **Infineon Technologies AG** розширила сімейство TRENCHSTOP™ IGBT 7-го покоління дискретним 650-В IGBT7 H7 варіантом. Пристрої оснащені передовим діодом EC7 з подвійним пакуванням і вдосконаленою конструкцією з керуванням емітером у поєднанні з високошвидкісною технологією для задоволення зростаючої потреби в екологічно чистих і високоефективних рішеннях для електроживлення. Завдяки використанню новітньої технології мікротраншей TRENCHSTOP IGBT7 H7 забезпечує відмінний контроль і продуктивність, що призводить до значного зменшення втрат, підвищення ефективності та збільшення питомої потужності. Завдяки цьому пристрій ідеально підходить для різних застосувань, таких як стрінгові інвертори, системи зберігання енергії (ESS), зарядні пристрої для електромобілів, а також для традиційних застосувань.

У дискретному корпусі 650-В TRENCHSTOP IGBT7 H7 може видавати до 150 А. Асортимент включає варіанти від 40 до 150 А, пропонувані в чотирьох різних типах корпусів: TO-247-3 HCC, TO-247-4, TO-247-3 Plus і TO-247-4 Plus. Варіант TO-247-3 HCC TRENCHSTOP IGBT7 H7 має велику відстань між выводами і малі парзитні струми. Для підвищення продуктивності особливо добре підходять 4-контактні корпуси TO-247 (стандарт: IKZA, Plus: IKY), оскільки вони не тільки зменшують втрати на перемикання, але й пропонують додаткові переваги, такі як менший викид напруги, мінімізовані втрати на провідність і найнижчі втрати на зворотний струм. Завдяки цим характеристикам TRENCHSTOP IGBT7 H7 спрощує конструкцію і зводить до мінімуму необхідність паралельного з'єднання пристроїв.

650-В TRENCHSTOP IGBT7 H7 має високу вологостійкість для надійної роботи в суворих умовах експлуатації. Пристрій кваліфіковано для промислового використання згідно з відповідними тестами JEDEC47/20/22, особливо HV-H3TRB, що робить його придатним для зовнішнього застосування. TRENCHSTOP IGBT7 H7 є ідеальним доповненням до топології NPC1, яка часто використовується в таких застосуваннях, як сонячна енергетика та ESS.

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

# Підвищення ефективності гри

## Нова система керування будівлею для стадіону Schüco Arena

**Торстен Зенк (Thorsten Sienk)**, спеціалізований редактор,  
Phoenix Contact GmbH & Co. KG  
E-mail: ua-office@phoenixcontact.com

**Футбол об'єднує людей. Такий зв'язок існує і між футбольною командою Arminia Bielefeld, що грає у вищому дивізіоні Німеччини, та Phoenix Contact. Спільною метою цього технологічного партнерства є повна модернізація застарілого стадіону Schüco Arena.**

Повна модернізація застарілого стадіону Schüco Arena має статус маякового проекту для фахівців з автоматизації з Blomberg. Один із викликів полягає в тому, як можна поетапно обладнати існуючий футбольний стадіон новітніми технологіями, не припиняючи при цьому проведення матчів. Наразі було відремонтовано комутаційні пристрої в зоні роздягалень, а також інтегровано систему автоматизації будівлі в інші зони стадіону. Ця робота заклала основу для нових структур і можливостей керування. Армінійці налаштовані оптимістично і хочуть експлуатувати традиційний стадіон — перша гра відбулася тут 1 травня 1926 року — в центрі Білефельда у значно більш сталий спосіб. Сталлий розвиток також є одним з головних питань для майбутнього Німецького футбольного союзу, тому його враховують, коли клуби першого-третього дивізіонів ліги подають заявки на отримання ліцензії (рис. 1).

### СТИСНЕННЯ ДАНИХ ЗАРАДИ ПЕРЕТВОРЕННЯ ЇХ НА КОРИСНУ ІНФОРМАЦІЮ

Підвищення зручності, розширення можливостей, підвищення ефективності — ось три основні цілі, яких можна досягти шляхом оцифрування існуючих будівель. Зробити футбольний стадіон,

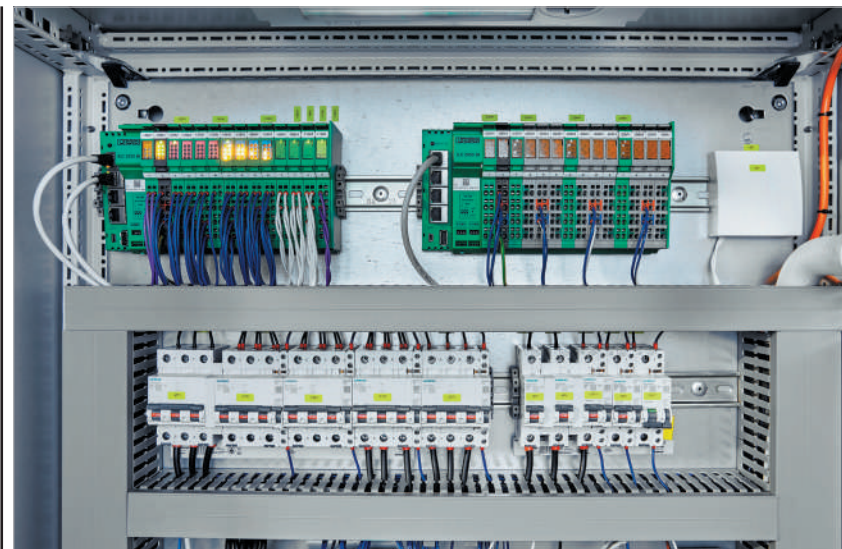
такий як Schüco Arena, більш інтелектуальним — це набагато більше, ніж просто мета. Навпаки, слід відкрити шлях до збору якомога повніших операційних даних, щоб потім перетворити їх на корисну інформацію. Це пов'язано з тим, що ці дані можуть бути використані для покращення операційних процесів і кращого контролю над ними відповідно до конкретних потреб — аж до підключення систем бронювання, розкладу ігор і даних про погоду.

В одному з перших проектів учасники проектною команди Phoenix Contact

встановили нову розподільну шафу в роздягальні. Інтегроване в нього рішення для автоматизації будівлі дозволить в майбутньому точно контролювати температуру в приміщенні та забезпечувати її енергооптимізацію. «Ми повинні забезпечити певний рівень температури — хоча б для того, щоб гравці не застудилися взимку», — пояснює розробник проекту і рішення Даніель Клостер з Phoenix Contact. Автоматизація системи опалення та вентиляції поєднується з керованими насосами, які забезпечують роздягальні достатньою кількістю гарячої води із зони опалення. Тут подається лише стільки гарячої води, скільки потрібно в кожний конкретний момент часу. «Це гарантує, що система опалення не перегріється ні в напрямку подачі, ні в зворотньому напрямку. Таким чином, регулювання продуктивності насосів на основі потреб допомагає заощаджувати



**Рис. 1.** На першому етапі було модернізовано комутаційні пристрої



**Рис. 2.** Керування насосами здійснюється, наприклад, за допомогою відкритого будівельного контролера ILC 2050 BI

енергію», — підсумовує Фредерік Буссе, менеджер проектів Phoenix Contact. Однак такі можливості керування доступні лише завдяки тому, що насоси пов'язані з системою автоматизації будівлі за допомогою протоколу Ethernet. Основним елементом є система управління будівлею Emalytics від Phoenix Contact на основі Інтернету речей з відкритим контролером ILC 2050 BI (рис. 2).

### ГНУЧКЕ ПОЄДНАННЯ РІЗНИХ ОБЛАСТЕЙ

Emalytics пропонує набагато більше, ніж те, що люди розуміють під класичною автоматизацією будівель або комплексною системою керування будівлею (BMS). Завдяки цій системі керування Phoenix Contact розробила рішення, яке гнучко поєднує в собі такі області, як автоматизація будівель, виробництво електроенергії, електромобільність і бронювання номерів. Завдяки використанню Emalytics робота Schüco Arena в майбутньому буде контролюватися цілісно, завдяки чому взаємодія буде розпізнаватися, а операції можуть бути більш ефективними. Відкритість системи створює основу для подальшої інтеграції додаткових функцій, таких як керування зарядними станціями для електромобілів та автоматизоване розподілення даних про споживання на окремих стендах кейтерингу.

Одне із завдань Emalytics полягає в гармонізації всіх функцій будівлі, що виходять за рамки HVAC (опалення, вентиляція та кондиціонування), з точки зору технологій передачі даних. Для

цього наявні дані повинні бути приведені до стандартизованого формату. Для цього система керування будівлею не використовує жодних апаратних інтерфейсів. Замість цього вона використовує програмні драйвери функцій. Це означає, що система займає менше місця в розподільній шафі. Крім того, це зменшує зусилля з електромонтажу, що значно полегшує модернізацію інвентарю будівлі. «Зважаючи на високі цілі, які ставлять перед собою багато операторів, однією з наших послуг є надання клієнтам консультацій щодо такого великого проекту на ранній стадії», — пояснює Даніель Клостер. Робота в рамках так званого «розумного проектування будівель» базується на трьох цілях: підвищення зручності, підвищення енерго-

ефективності та підвищення безпеки з точки зору IT-безпеки.

### ТОЧНИЙ РОЗРАХУНОК ДАНИХ ПРО СПОЖИВАННЯ

Розумна система автоматизації будівлі без обмежень щодо подальшого використання: Для Arminia Bielefeld відкриваються нові можливості для прибуткової експлуатації Schüco Arena поза межами спорту. У цьому контексті Phoenix Contact модернізувала так звану штрафну зону в рамках другого підпроєкту. Це не додатковий штрафний майданчик на ігровому полі. Це скоріше багатофункціональне приміщення з гарним видом на ігрову зону. За межами футбольних змагань штрафний майданчик може бути орендований компаніями або приватними групами для проведення заходів.

Для цього необхідна система керування, яка збирає дані вимірювань і перетворює їх на необхідну інформацію, наприклад, у вигляді споживання води та електроенергії, щоб забезпечити відповідний рівень комфорту в приміщеннях і, перш за все, мати можливість точно виставляти рахунки за додаткові витрати. «Збір даних вимірювань енергоспоживання — наприклад, за допомогою приладів серії EMpro — має важливе значення», — підкреслює Даніель Клостер. Для користувачів Schüco Arena, а також для власних будівельних техніків компанії з фасіліті менеджменту, інтеграція окремих зон в систему керування будівлею Emalytics означає зменшення їх щоденного навантаження та більшу прозорість у питаннях моніторингу.



**Рис. 3.** Вимірювальні пристрої серії продуктів EMpro фіксують всі дані про енергію





**Рис. 4.** Технічні дані будівлі можуть бути відображені в будь-якому місці на розумних пристроях

Наприклад, більше нікому не потрібно перевіряти на місці, чи дійсно вимкнули світло в роздягальнях і на штрафному майданчику (рис. 3).

### МОНІТОРИНГ НА ОСНОВІ БРАУЗЕРА ЗА ДОПОМОГОЮ СМАРТ-ПРИСТРОЮ

На нинішньому етапі реалізації проекту централізований доступ до будівельних технологій зі стандартизованою системою візуалізації в Emalytics також можна назвати фундаментальною роботою. «Тепер ми можемо контролювати і моніторити інтегровані в систему управління кондиціонери та

освітлення з будь-якого місця через браузер за допомогою смарт-пристроїв», — радіє Крістіан Венгхаус. «Під час гри або інших заходів наша команда тримає все в полі зору і може реагувати навіть на незначні аномалії без необхідності спочатку обходити весь стадіон», — продовжує керівник відділу експлуатації стадіонів (рис. 4).

Такі амбітні проекти, як модернізація старих футбольних стадіонів, можуть бути реалізовані лише за умов тісної інженерної співпраці. Те, що має значення на ігровому полі, стосується і масштабних модернізацій: необхідна співпраця та командна робота. «Тут свій внесок роблять усі члени команди», — каже керівник проекту Фредерік Буссе з Phoenix

### СТАЛИЙ РОЗВИТОК ЯК КОРПОРАТИВНА МЕТА

«Сталий розвиток та зміна клімату — це глобальні виклики нашого часу. Phoenix Contact хоче зробити свій внесок, впроваджуючи інновації та технологічні рішення, які допомагають формувати майбутнє, гідне життя», — говорить Франк Штюренберг, генеральний директор Phoenix Contact. Тому сталий розвиток живе і дихає всередині компанії. Необхідність зберігати ресурси, захищати навколишнє середовище та зменшувати наш вплив на клімат враховується при розробці нових продуктів, при виробництві та при розгляді витрат. Те саме стосується і спортивного клубу Arminia Bielefeld. Завдяки використанню системи управління будівлею Emalytics на основі IoT, ресурси заощаджуються завдяки підвищенню енергоефективності.

Contact. Його колега Даніель Клостер також вважає дивовижним те, «як багато задоволення отримують співробітники проекту в Arminia Bielefeld від сучасних будівельних технологій». Заплановано, що роботи з модернізації триватимуть близько чотирьох років. Реалізація проекту розпочалася з першого проекту на рівні розподільної шафи. Наразі встановлюється сенсорна технологія для вимірювання споживання в Schüco Arena. «Ці пристрої нададуть нам інформацію, необхідну для подальшого підвищення ефективності та виставлення рахунків користувачам за межами Arminia на основі споживання», — підсумовує Крістіан Венгхаус (рис. 5).

### ПІДСУМКИ

Описані заходи є першими кроками на шляху модернізації до «розумного» стадіону з багатими традиціями. Всі роботи, що проводяться, спрямовані на те, щоб зробити експлуатацію максимально ресурсозберігаючою та економічною. Для цього потрібні відкриті системи та професійна співпраця. Зрештою, важливим є те, що стосується і спорту на полі: успіхів можна досягти лише разом.

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

**<https://www.phoenixcontact.com/uk-ua/haluzi/avtomatyzatsiya-budivel>**

СН

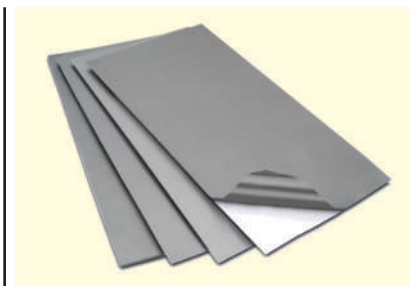


**Рис. 5.** Команда управління проектом з Arminia Bielefeld Крістіан Венгхаус, Майк Лохмайєр та Даніель Мюллер (зліва направо) вражені новою будівельною технологією

# Методи визначення характеристик гнучких поглинальних пластин WE-FAS

**Хорхе-Вікторія Авір (Jorge Victoria Ahuir),** компанія Würth Electronics  
E-mail: info@symmetron.ua

**Електромагнітні завади (ЕМЗ) стали серйозною проблемою в електронних колах. Наслідки їхнього впливу непередбачувані та руйнівні. За останні роки вплив ЕМЗ зріс завдяки низці чинників, зокрема підвищенню робочої частоти пристроїв, високому ступеню інтеграції електронних систем, більшій густині потужності, а також зменшенню товщини друкованих плат та їхніх розмірів. У статті розглядаються гнучкі поглинальні пластини WE-FAS, що дають змогу успішно боротися з ЕМЗ.**



**Рис. 1.** Гнучкі поглинальні пластини серії WE-FAS

До найпоширеніших засобів вирішення проблем з ЕМЗ є екранування систем провідними матеріалами — наприклад, захисним корпусом, фольговою стрічкою або провідними прокладками. Однак багато частин великої кількості електронних пристроїв працюють на високій частоті, і проблеми з ЕМЗ не вирішуються за допомогою провідних екранів.

У таких випадках для придушення небажаних високочастотних електромагнітних завад застосовують гнучкі поглинальні пластини серії WE-FAS із полімеру, заповненого порошковим феритом (див. рис. 1).

Поведінка цих параметрів залежить від їхнього складу і частоти. Знаючи, в якому частотному діапазоні рівні завад перевищують максимально допустимі значення, можна встановити баланс між втратами на відбиття і магнітними втратами залежно від застосування і виду електромагнітного шуму. На рисунку 2 показано різні частотні залежності комплексної магнітної проникності кількох гнучких поглинальних пластин серії WE FAS.

Оскільки магнітна проникність залежить від частоти, слід коректно обирати

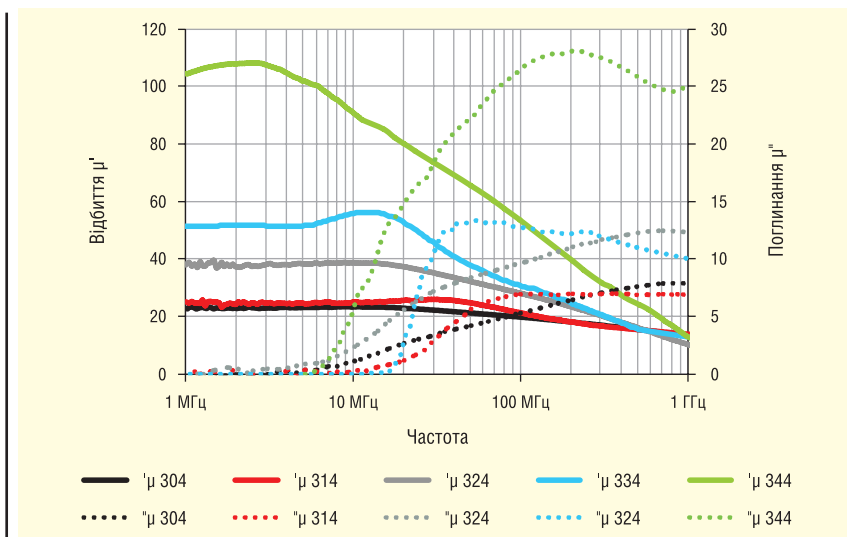
матеріал виходячи з того частотного діапазону, в якому потрібно придушити завади. Стандартні специфікації не надають такої інформації — у них подано тільки загальні параметри, а не складові поглинання і відбиття. У таблиці 1 наведено основні параметри пластин серії WE-FAS.

Буває важко оцінити ефективність поглинального матеріалу, оскільки вона є результатом взаємодії безлічі змінних параметрів, крім магнітної проникності поглинального матеріалу. До цих

## ВЛАСТИВОСТІ ПОГЛИНАЛЬНИХ ПЛАСТИН

Одним із найважливіших параметрів, що описують здатність матеріалів поглинати прямі та розсіяні ЕМЗ, є  $\mu''$  — комплексна магнітна проникність  $\mu$  матеріалу, що характеризує зсув фаз між індукцією і напруженістю магнітного поля за синусоїдального впливу. Величина цієї магнітної проникності визначається складом і структурою матеріалу. Дійсна частина характеризує накопичену енергію або індуктивну складову, а уявна — поглинену енергію:

$$\mu = \mu' - j\mu'' \quad (1)$$



**Рис. 2.** Магнітна проникність матеріалів гнучких поглинальних пластин

змінних належать товщина пластини, її розміри і форма, а також відстань між джерелом шуму і поглинальним матеріалом. Таким чином, найчастіше неможливо оцінити рівень придушення шуму, яке забезпечується конкретним матеріалом. Щоб вивчити цей ефект у складніших системах, слід скористатися дійсними результатами, отриманими за допомогою експериментальних методів визначення характеристик.

Виміряти поглинальну здатність можна за допомогою експериментальної установки, яка дає змогу оцінити різні характеристики матеріалів пластин. Ми розглянемо кілька експериментальних тестів і опишемо їх використання для визначення характеристик поглинальних матеріалів.

## МЕТОД МІКРОСМУЖКОВИХ ЛІНІЙ

Цей метод дає змогу оцінити характеристики гнучких поглинальних пластин у системах із лініями передавання даних через експериментальну процедуру, що дає змогу протестувати кілька пластин із різним складом або товщиною, які забезпечують максимальне загасання потужності в лініях передавання конкретних застосунків.

У високочастотних шинах даних у мегагерцовому або гігагерцовому діапазоні можуть з'явитися кондуктивні завади під час комутації цифрових сигналів. Для придушення цих завад поглинальну пластину встановлюють на шину даних, як показано на рисунку 3. Пластина працює як низькочастотний фільтр, що поглинає або послаблює кондуктивний шум.

Для оцінки загасання кондуктивного шуму на друкованій платі або шумового тракту зі встановленою пластиною у випробувальній установці застосовується мікросмужкова лінія. З цією метою в електронній схемі моделюється сигнал шуму, що дає змогу визначити здатність зразка до поглинання.

Мікросмужкова лінія в випробуванні, що розглядається, складається з плати з друкованим смужковим провідником і двох роз'ємів під поверхневий монтаж, встановлених на краях плати. До складу мікросмужкової лінії входить діелектрик ПТФЕ (довжина: 100 мм; ширина: 50 мм; товщина: 1.6 мм), мідний смужковий провідник (довжина: 54.4 мм; ширина: 4.4 мм; товщина: 0.018 мм) та мідна земляна шина на основі плати (довжина: 100 мм; ширина: 50 мм; товщина: 0.018 мм). Роз'єми, які знаходяться на протилежному боці мікросмужко-

Таблиця 1. Параметри пластин серії WE-FAS

| Номер компонента | Товщина, мм | $\mu'$ (тип.) при 1 МГц | Розміри, мм |
|------------------|-------------|-------------------------|-------------|
| 304 03S          | 0.3         | 23                      | 330×210     |
| 304 05S          | 0.5         | 23                      | 330×210     |
| 304 10S          | 1.0         | 23                      | 330×210     |
| 314 01           | 0.1         | 25                      | 297×210     |
| 314 02           | 0.2         | 25                      | 297×210     |
| 314 03           | 0.3         | 25                      | 297×210     |
| 324 01S          | 0.1         | 39                      | 297×210     |
| 324 02S          | 0.2         | 39                      | 297×210     |
| 324 03S          | 0.3         | 39                      | 297×210     |
| 324 05S          | 0.5         | 39                      | 297×210     |
| 324 075S         | 0.75        | 39                      | 297×210     |
| 324 10S          | 1.0         | 39                      | 297×210     |
| 334 01           | 0.1         | 55                      | 297×210     |
| 334 02           | 0.2         | 55                      | 297×210     |
| 334 03           | 0.3         | 55                      | 297×210     |
| 344 01           | 0.1         | 100                     | 297×210     |
| 344 02           | 0.2         | 100                     | 297×210     |
| 344 03           | 0.3         | 100                     | 297×210     |

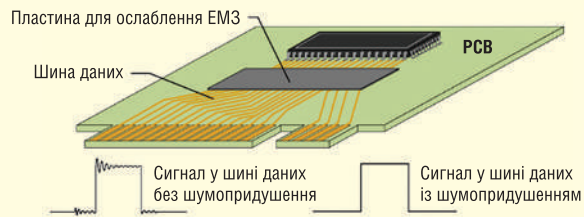


Рис. 3. Застосування з лінією передачі

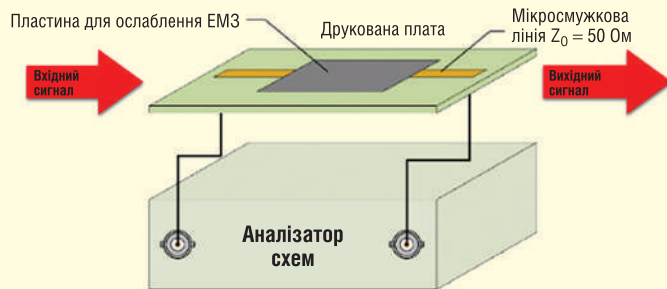


Рис. 4. Застосування з лінією передачі

вої лінії, підключаються до її кінців через два наскрізні отвори.

Величину коефіцієнта поглинання можна отримати, порівнюючи відношення потужностей у лінії передавання до і після встановлення поглинальної пластини у випробувальне обладнання. Для проведення вимірювань кожен кінець коаксіального кабелю аналізатора схем під'єднується до кожного порту випробувальної схеми (див. рис. 4). Аналізатор схем налаштовується як джерело і приймач сигналів для вимірювання параметрів S21.

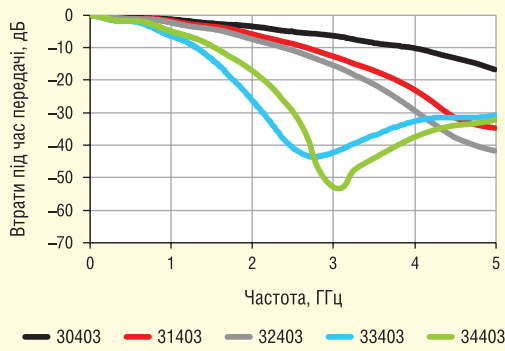
На рисунку 5 представлено результати вимірювання загасання різних матеріалів товщиною 0.3 мм. У цьому випадку у випробувальній установці використовувалася мікросмужкова лінія.

На рисунках 6–7 для порівняння показано результати вимірювання загасання в інших матеріалах WE-FAS різної товщини.

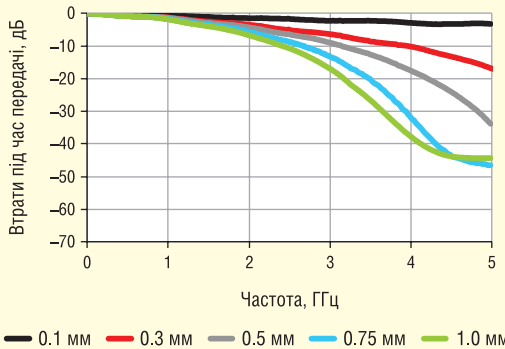
## МЕТОД КОАКСІАЛЬНОЇ ЛІНІЇ

Експериментальний метод з використанням коаксіальної лінії дає змогу вивчити загасання шуму в матеріалах, що застосовуються для придушення ЕМЗ у резонаторах. Як відомо, перешкоди кіл викликають резонанс у замкнутому просторі корпусу, що може призвести до серйозних проблем і навіть порушити нормальну роботу системи.

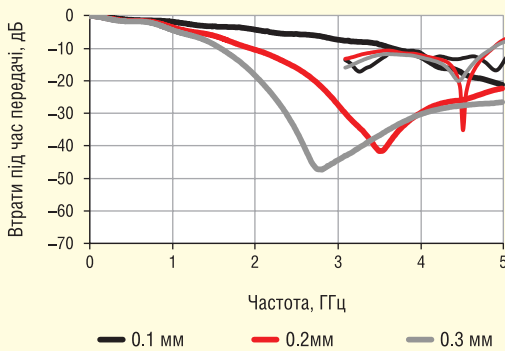
Таким чином, після оцінки декількох поглинальних матеріалів з різними



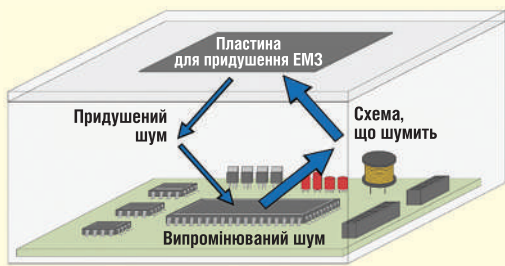
**Рис. 5.** Значення коефіцієнта передачі різних матеріалів серії WE-FAS товщиною 0.3 мм



**Рис. 6.** Результати вимірювання загасання в матеріалі WE-FAS 304 різної товщини



**Рис. 7.** Результати вимірювання загасання в матеріалі WE-FAS 344 різної товщини

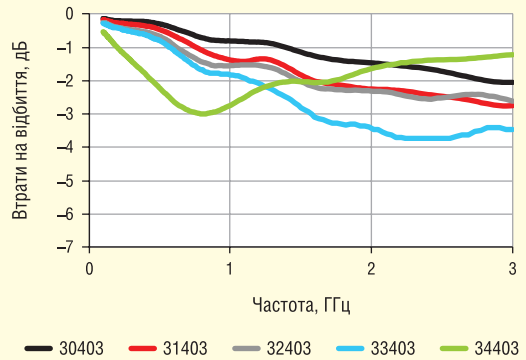


**Рис. 8.** Вимірювання шуму за допомогою коаксіальної лінії

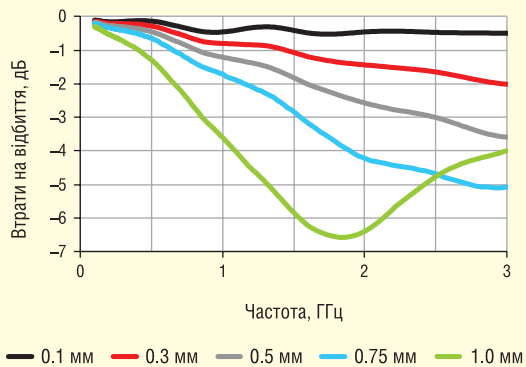
складами і товщиною можна підібрати пластину з найкращими характеристиками для фільтрації сигналу на резонансній частоті. У такому застосуванні пластину поміщається під металевий корпус так, як показано на рисунку 8. Для придушення шуму в таких випадках її встановлюють усередину



**Рис. 9.** Схема вимірювання загасання за допомогою коаксіальної лінії



**Рис. 10.** Результати вимірювання загасання матеріалів серії WE-FAS товщиною 0.3 мм



**Рис. 11.** Результати вимірювання загасання матеріалу WE-FAS 304 різної товщини

корпусу, щоб послабити ефект резонансу завдяки зменшенню внутрішніх відображень. Для визначення характеристики цього матеріалу в розглянутому випадку використовується експериментальна вимірювальна система на основі коаксіальної лінії. Один її кінець закорочується на металеву поверхню, і відбита енергія вимірюється за допомогою аналізатора схем (див. рис. 9).

Для порівняння характеристик поглинальної здатності матеріалів з різними складами і різної товщини слід повторити процедуру, замінивши поглинальний матеріал і порівнявши отримані результати. Визначення характеристик поглинальних матеріалів у розглянутому експерименті здійснюється шляхом порівняння коефіцієнта відбиття S11 з вихідною величиною, коли коаксіальна лінія була без поглинача.

Далі зразок поміщається між пластинами відбивального матеріалу. Порівнюючи вихідну величину з вимірними даними, можна визначити характеристику кожної пластини. На рисунку 10 показано результати вимірювання загасання електромагнітного поля в матеріалах WE-FAS товщиною 0.3 мм за допомогою коаксіальної лінії, а на рисунку 11 — загасання в матеріалі WE-FAS 304 різної товщини.

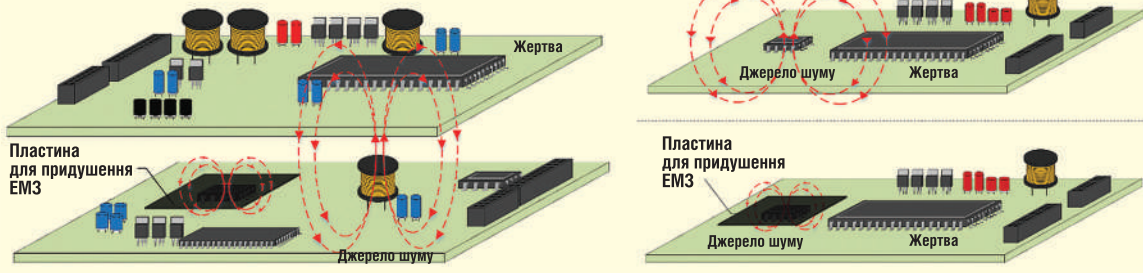


Рис. 12 Застосування пластин для придушення ЕМЗ

## МЕТОД МАГНІТНОЇ РОЗВ'ЯЗКИ

Магнітний зв'язок — відома проблема під час використання електронних систем. Він впливає на роботу друкованої плати або пристроїв з високою щільністю компонентів і схем. Електромагнітні завади такого роду часто спостерігаються, коли джерела шуму на платі створюють завади елементам і компонентам, що розташовані поруч. Для придушення ненавмисних наведень цього виду поглинальну пластину розміщують на джерелі шуму або на елементі, що захищається, як показано на рисунку 12.

Розглянутий метод дає змогу аналізувати поглинальну здатність пластин, що придушують або зменшують наведення. З цією метою застосовується випробувальне обладнання з мікросмужковою лінією, яке генерує ЕМЗ і вимірює їх за допомогою зонда ближнього поля. Таким чином, ця установка моделює систему з джерелом шуму і його приймачем. Ефект поглинання визначається шляхом під'єднання одного порту аналізатора схем до одного виводу мікросмужкової лінії та узгодження роз'єму з використанням навантаження 50 Ом. Зонд ближнього поля поміщається перпендикулярно провіднику і з'єднується з другим портом аналізатора схем, як показано на рисунку 13. Аналізатор налаштовується як джерело і приймач сигналів, а параметри S21 порівнюються до і після встановлення поглиначача на мікросмужову лінію. Вимірні дані віднімаються від вихідних.

Дані, отримані методом розв'язки магнітного зв'язку, представлено на рисунку 14. На графіку показано результати вимірювання матеріалів WE-FAS однакової товщини 0.3 мм, а на рисунку 15 — криві магнітної розв'язки для різних матеріалів WE-FAS 324 різної товщини.

## ВИСНОВКИ

Гнучкі поглинальні пластини WE-FAS дають змогу розв'язати багато проблем ЕМП у різних застосуваннях. Були отримані та розглянуті характеристики матеріалів, які використовують для поглинання кондуктивних завод у системах із шинами даних, для запобігання збоїв у роботі електронних схем усередині корпусу через порожнинний резонанс, а також для придушення ЕМЗ між компонентами схеми.

Поглинали пластини мають кілька переваг у контролюванні рівня ЕМЗ. Цей висновок підтверджують експерименти, які показали, що коефіцієнт ослаблення залежить від типу проблеми, яку вирішують. Найкращий результат досягається з урахуванням конкретного завдання. В експериментах, в яких використовували різні матеріали різної товщини, дали змогу отримати характеристики виробів залежно від займаного ними простору. Ці матеріали забезпечують інноваційні

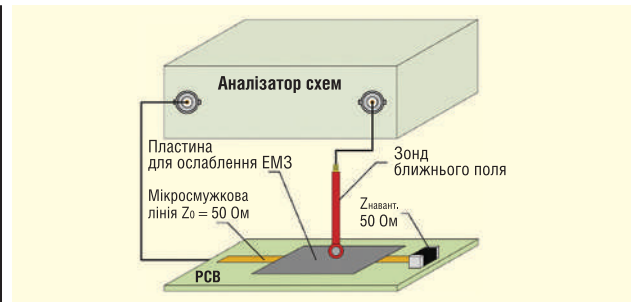


Рис. 13. Експериментальна установка для вимірювання магнітної розв'язки

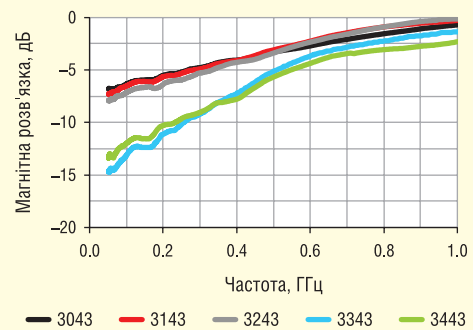


Рис. 14. Криві магнітної розв'язки для різних матеріалів WE-FAS однакової товщини 0.3 мм

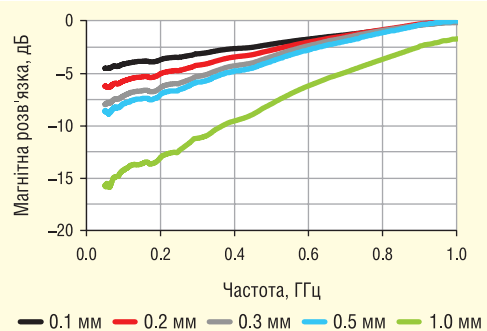


Рис. 15. Криві магнітної розв'язки матеріалу WE-FAS 324 різної товщини

ефективні рішення, які не потребують модифікації та переробки електронних схем або виробів.

**Більш детальну інформацію можна отримати в компанії «Симметрон-ЕК»:**  
**тел.: (044) 239-20-65,**  
**e-mail: info@symmetron.ua,**  
**www.symmetron.ua**

# Вимірювання широкосмужових сигналів РЛС і супутникових систем зв'язку

## Нотатки щодо застосування

**В статті йде мова про використання широкосмужових осцилографів для безпосереднього вимірювання та аналізу сигналів передавачів РЛС і супутникових систем зв'язку X-, Ku- і Ka-діапазонів до 32 ГГц.**

### Огляд

Тенденцією, що зростає, в системах супутникового зв'язку та радіолокації на ринку аерокосмічної та оборонної промисловості є потреба в розширенні смуги частот сигналів і аналізу та збільшенні коефіцієнта розширення спектра сигналів. Розвиток систем супутникового зв'язку зумовлений вимогами збільшення швидкості передавання даних, тоді як сучасні радіолокаційні системи (РЛС) потребують більшого коефіцієнта розширення спектра, щоб покращити роздільну здатність за дальністю, що, в результаті, призводить до ширших смуг частот модуляції. Сучасні РЛС також використовують складніші формати модуляції сигналів, щоб поліпшити роздільну здатність за дальністю і зменшити ймовірність перехоплення і створення (постановки) завад. Багато РЛС і систем супутникового зв'язку працюють на надвисоких частотах (наприклад, в X-, Ku- або Ka-діапазоні), що сприяє підтримці ширших смуг частот модуляції, збільшенню роздільної здатності, а також отриманню вигоди від використання антен меншого розміру.

У деяких випадках вимоги до ширини смуги частот перевищують значення смуг ПЧ наявних на ринку РЧ-аналізаторів спектра і векторних аналізаторів сигналів. У поєднанні з вищими робочими частотами це створює серйозний набір проблем для інженерів, що займаються випробуванням передавачів РЛС і супутникових систем зв'язку.

### ПРОБЛЕМА

Швидке, точне й ефективне з точки зору витрат вимірювання харак-

теристик передавачів РЧ/НВЧ діапазону сучасних РЛС і супутникових систем зв'язку є дуже складним завданням. В деяких випадках (наприклад, при вимірюванні модуля вектора помилки (EVM) передавача систем супутникового зв'язку) вихід передавача не завжди можна виміряти безпосередньо. Інженери часто повинні сподіватися на виготовлений на замовлення перетворювач зі зниженням частоти для перенесення сигналів РЧ/НВЧ-діапазону на частоту ПЧ з метою подальшого вимірювання за допомогою наявного у продажу обладнання.

На жаль, разові витрати на інженерні роботи, пов'язані з розробленням, виготовленням і випробуванням перетворювача, можуть виявитися непродуктивними. Апаратура перетворювача зі зниженням частоти також додає свої власні РЧ-спотворення, які можуть маскувати реальні характеристики передавача сигналів РЧ/НВЧ діапазону, який випробовується. Більш того, може виникнути спотворення, що вносить додатковий внесок у сумарне значення вимірюваного EVM. В результаті складно зрозуміти, яка частина значення EVM отримана з реального виходу передавача. За відсутності інших доступних варіантів інженери залишаються з цією невизначеністю у визначенні похибки вимірювання, яка виникає від цього далеко не ідеального підходу.

### РІШЕННЯ

Розв'язання цієї проблеми полягає в знаходженні рішення, яке дасть змогу безпосередньо вимірювати й аналізувати сигнали на виході передавачів РЧ/НВЧ-діапазону без використання

замовленого перетворювача зі зниженням частоти. Ідеальним рішенням для цього завдання є широкосмужовий осцилограф, який може безпосередньо вимірювати й аналізувати сигнали X-, Ku- і Ka-діапазонів (до 32 ГГц) передавачів сучасних РЛС і систем супутникового зв'язку. Використання такого осцилографа не тільки запобігає витратам часу та коштів через використання замовленого перетворювача зі зниженням частоти, а й звільняє від вирішення інших проблем, таких як калібрування апаратних засобів і корекція системних спотворень і похибок у результатах вимірювань.

Інші аспекти вимірювання широкосмужових сигналів РЛС і систем супутникового зв'язку, які зазвичай становлять певні труднощі для інженерів, такі:

- Створення спеціалізованих/прикладних широкосмужових сигналів. Традиційно створювати такі сигнали для випробування передавачів було складно, оскільки часто вони не підтримувалися наявним у продажу обладнанням. У результаті інженери були змушені розробляти спеціалізоване випробувальне обладнання, витрачаючи на це багато часу і коштів.
- Аналіз спеціалізованих/прикладних широкосмужових сигналів. Сигнали РЛС і систем супутникового зв'язку можуть мати спеціалізовані або прикладні формати, і можуть вимагати певною мірою спеціалізований аналіз сигналів.

Знаходження технічного рішення для випробувань на основі обладнання, наявного в продажу, за допомогою якого можна створювати й аналізувати спеціалізовані/прикладні сигнали з використанням вбудованих програмних засобів, тому є першочерговим завданням.

Одне таке технічне рішення, пропонує компанія Keysight, включає високопродуктивний осцилограф серії 90000X сімейства Infiniium, векторний генератор сигналів серії PSG, генератор сигналів довільної форми (ДФФ) M8190A і програмне забезпечення век-

торного аналізу сигналів (VSA). У такому поєднанні ця комбінація апаратних і програмних засобів забезпечує інженерів можливостями та гнучкістю, які їм необхідні для проведення вимірювань широкосмугових сигналів РЛС і систем супутникового зв'язку.

Широкосмуговий осцилограф серії 90000X дає змогу безпосередньо вимірювати й аналізувати широкосмугові сигнали на виходах передавачів РЛС і систем супутникового зв'язку. З істинною аналоговою смугою пропускання 32 ГГц він забезпечує точність вимірювання в реальному часі для безпосереднього вимірювання сигналів на виходах передавачів, не вимагаючи використання зовнішнього перетворювача зі зниженням частоти. Аналіз у часовій області може використовуватися для вимірювання характеристик передавача в імпульсних режимах (наприклад, фронту/зрізу, тривалості імпульсу).

M8190A — це модульний вимірювальний прилад, скомпонований у базовому блоці шини AXIe. Він використовується для генерації широкосмугових сигналів під час випробувань нових РЛС і систем супутникового зв'язку. Як прецизійний 1- або 2-канальний генератор СДФ (сигналів довільної форми) з роздільною здатністю ЦАП, що дорівнює 14 біт за частот дискретизації до 8 Гвиб/с і 12 біт — до 12 Гвиб/с (від 2 до 4 біт більше, як порівняти з тим, що доступне наразі), він забезпечує чудові характеристики сигналів. M8190A також має пам'ять сигналів до 2 Гвиб/канал (у 30 разів більше, ніж у наявних генераторів СДФ), що дає змогу інженерам створювати довгі реалістичні сценарії, як-от імітація сигналів РЛС. Вихідний тракт із шириною смуги частот 5 ГГц (на рівні -3 дБ) дає змогу використовувати його як і генератор модульованих I/Q сигналів, і генератор сигналів ПЧ.

Генератор сигналів серії PSG забезпечує високу якість сигналів. Широкосмугові I/Q входи спрощують його використання під час вимірювань сигналів РЛС і систем супутникового зв'язку. При з'єднанні генератора сигналів серії PSG і M8190A забезпечується гнучкість, необхідна для створення спеціалізованих/прикладних сигналів РЛС і широкосмугових модульованих сигналів (наприклад, QPSK і 16QAM) для систем супутникового зв'язку. Ці сигнали можуть використовуватися для випробувань обладнання в лабораторіях, не вимагаючи застосування дорогого спеціалізованого випробувального обладнання.

Під час випробування компонентів випробуваного пристрою (ВП) M8190A

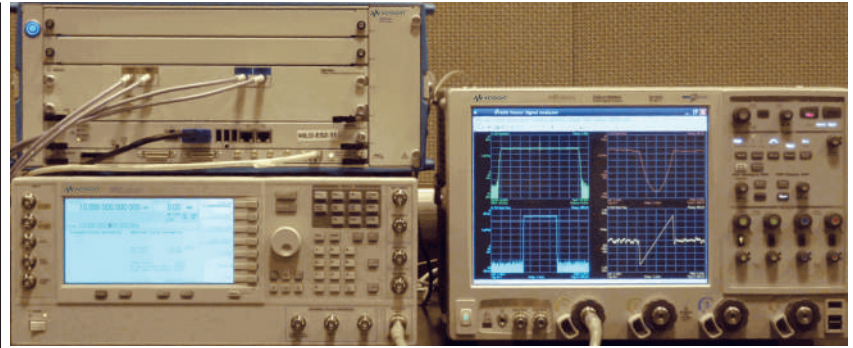


Рис. 1. Типова випробувальна установка, яка використовується для створення й аналізу широкосмугових сигналів РЛС і систем супутникового зв'язку

генерує широкосмугові I/Q сигнали, які надходять на I/Q входи генератора серії PSG. Генератор серії PSG генерує потім НВЧ-сигнал, який буде використовуватися для ВП як сигнал стимулу. Потім вихід ВП під'єднують до осцилографа 90000X, де і проводять вимірювання сигналів. На рисунку 1 показано типову випробувальну установку, яка використовується для створення й аналізу широкосмугових сигналів РЛС і систем супутникового зв'язку: широкосмуговий генератор сигналів довільної форми (зліва вгорі), генератор сигналів серії PSG із широкосмуговими I/Q входами (зліва внизу), широкосмуговий осцилограф серії 90000X із програмним забезпеченням векторного аналізу сигналів (праворуч). Під час вимірювання сигналів функціонально закінченого передавача потрібно просто під'єднати осцилограф до його виходу.

### СПЕЦІАЛІЗОВАНІ/ПРИКЛАДНІ ВИМІРЮВАННЯ

Створення спеціалізованих/прикладних сигналів і проведення спеціалізованих/прикладних вимірювань сигна-

лів РЛС і систем супутникового зв'язку можна значно спростити, використовуючи MATLAB під час генерації сигналів з метою створення модельованих форм сигналів, які потім завантажуються в генератор СДФM8190A. Тут вони синтезуються в диференціальні I/Q сигнали, які надходять на зовнішні I/Q входи генератора сигналів PSG. Після цього генеруються модульовані РЧ/НВЧ-випробувальні сигнали.

Спеціалізовані функції MATLAB, що визначаються користувачем, також можна використовувати всередині осцилографа 90000X і застосувати до сигналу, що відображається (наприклад, для обчислення оригінальної імпульсного РЧ-сигналу). Завдяки цьому оригінальну імпульсного РЧ-сигналу можна виміряти і відобразити. Попередньо налаштовані вимірювання осцилографа 90000X можна використовувати для вимірювання фронту, зрізу, тривалості імпульсу і викиду на фронті імпульсних РЧ-сигналів РЛС (рис. 2). У цьому випадку глибока пам'ять збору даних осцилографа 90000X (2 Гвиб) відіграє важливу роль у забезпеченні здатності захоплювати й аналізувати велику кількість імпульсів РЛС.

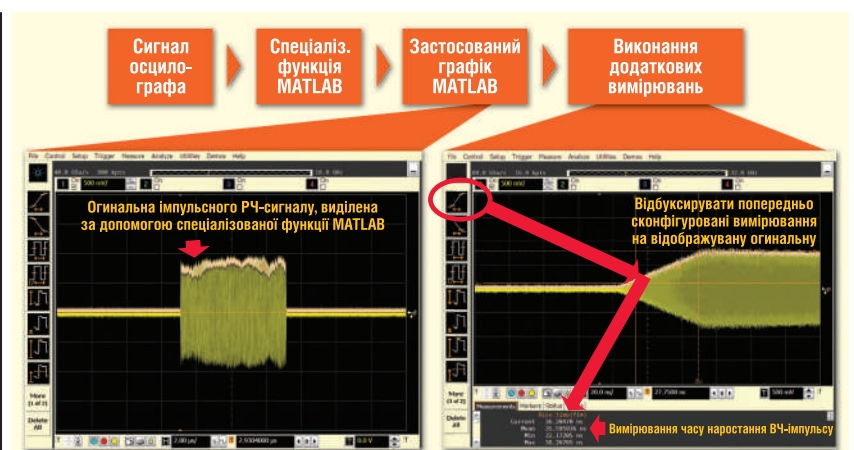


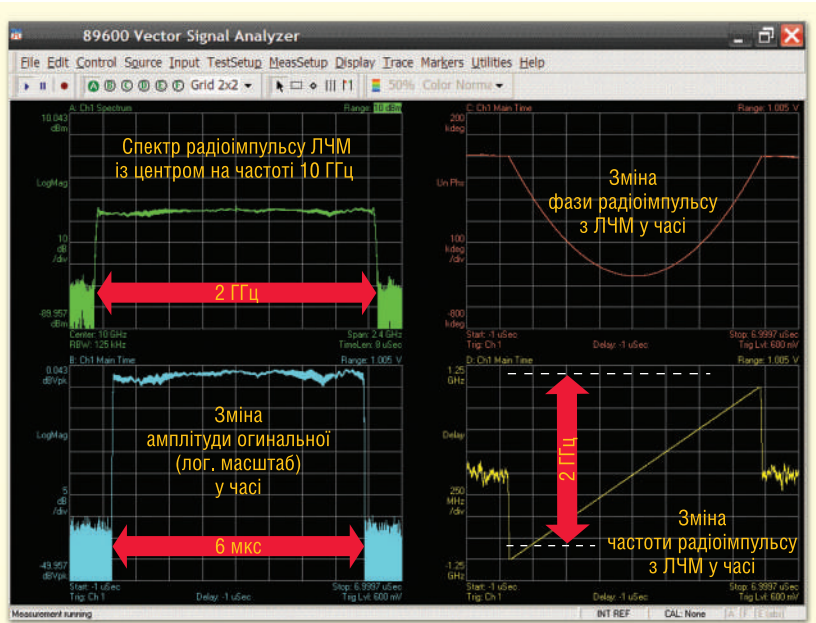
Рис. 2. Оригінальна імпульсного РЧ сигналу та вимірювання тривалості фронту на оригінальній

Сегментована пам'ять оптимізує кількість імпульсів РЛС, яку можна захопити і проаналізувати, з огляду на об'єм доступної пам'яті осцилографа. Фактично, це дозволяє користувачеві збільшувати масштаб імпульсу і фіксувати лише час «увімкнення» імпульсу (коли імпульс існує), ігноруючи час «вимкнення» імпульсу (коли імпульс не існує). Зауважимо, що поки сегментована пам'ять може використовуватися функціями MATLAB, що визначаються користувачем, така можливість недоступна для програми векторного аналізу.

### ЛЕГКИЙ ПЕРЕХІД ДО ВИМІРЮВАННЯ З ДОПОМОГОЮ ОСЦИЛОГРАФА

Хоча для випробування РЧ-пристроїв традиційно використовувалися аналізатори спектра і векторні аналізатори сигналів, проблеми, пов'язані з проведенням вимірювань сигналів сучасних РЛС і систем супутникового зв'язку, стали катализатором переходу інженерів до широкосмугових осцилографів. На щастя, програмне забезпечення векторного аналізу (VSA) компанії Keysight працює всередині осцилографа 90000X і здатне спростити цей процес переходу, надаючи інженерам найкраще з обох сфер: функціональність та інтерфейс користувача векторного аналізатора сигналів і доступ до широкосмугових можливостей осцилографа, який забезпечує проведення вимірювань на частотах до 32 ГГц для широкосмугових вимірювань сигналів РЛС і систем супутникового зв'язку. За допомогою знайомого інтерфейсу користувача VSA дозволяє інженерам задавати традиційні параметри РЧ-сигналів (наприклад, смугу огляду і смугу пропускання) в осцилографі. Потім VSA обробляє дані, зібрані осцилографом, і виводить оцифровані результати на екран, використовуючи відображення амплітуди і фази векторного аналізатора сигналів. Програмне забезпечення VSA також здатне проводити аналіз у частотній і тимчасовій сферах для вимірювання спектра РЧ/НВЧ-сигналів, частотних і фазових характеристик (наприклад, частотних і фазових характеристик радіоімпульсу з ЛЧМ (лінійною частотною модуляцією) або характеристик стрибкоподібного перебудовання частоти, що відображаються на спектрограмі РЧ-сигналу) та EVM (рис. 3).

Крім того, програмне забезпечення VSA підтримує багато видів стандартів



**Рис. 3. Приклад вимірювання характеристик широкосмугового радіоімпульсу з ЛЧМ РЛС з використанням програмного забезпечення векторного аналізу сигналів в осцилографі 90000X**

сигналів і форматів модуляції з метою демодуляції таких форматів сигналів, як QPSK, 16QAM і 64 QAM, які використовуються в системах супутникового зв'язку та інших додатках. Такий аналіз дає інженерам більше засобів вивчення характеристик апаратних засобів передавачів РЛС і систем супутникового зв'язку.

### ПРИКЛАД: ШИРОКОСМУГОВИЙ СИГНАЛ З МОДУЛЯЦІЄЮ 16QAM

Крім вимірювання сигналів РЛС, те саме вимірювальне обладнання, наявне в продажу, можна використовувати для широкого кола інших застосувань, включно із системами супутникового зв'язку. Розглянемо, наприклад, широкосмуговий сигнал (ширина смуги частот 1.76 ГГц) з модуляцією 16QAM. Він створюється й аналізується з використанням тієї ж самої випробувальної установки, створеної на базі обладнання, наявного в продажу, як показано на рисунку 1. MATLAB використовується для створення сигналу з модуляцією 16QAM, який завантажується в генератор СДФ M8190A. Як показано на рисунку 4, програмне забезпечення VSA, що працює в осцилографі, використовується для демодуляції сигналу з модуляцією 16QAM. У чотирьох квадрантах дисплея програми векторного аналізу сигналів (VSA) показано: діаграму констеляції (сузір'я) (зліва вгорі), спектр сигналу Х-діапазону (10 ГГц (зліва внизу)), залежність EVM від часу (праворуч

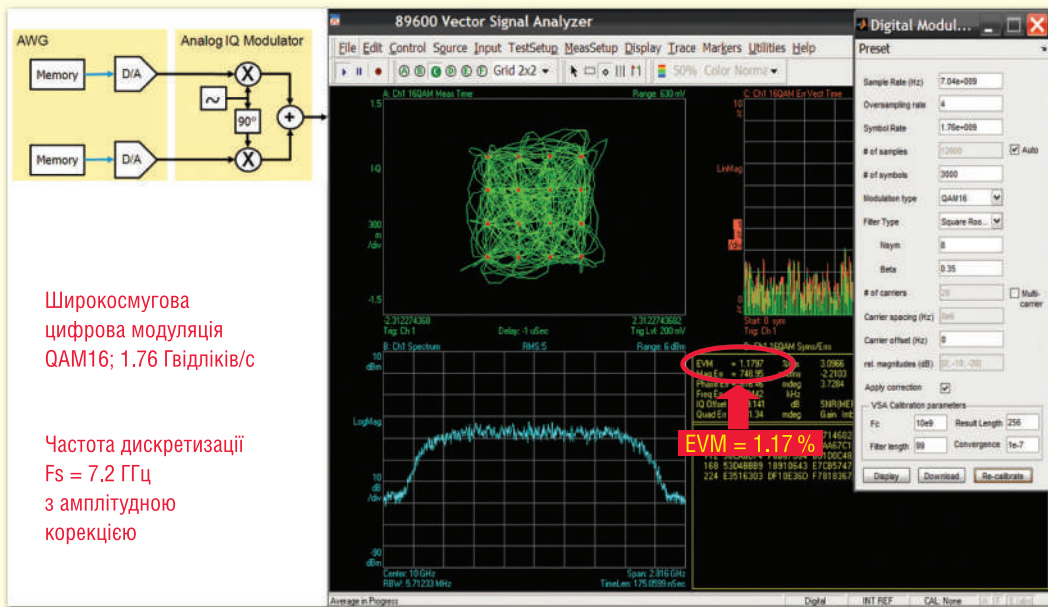
вгорі) та підсумкове значення EVM (праворуч внизу). У цьому прикладі залишкове значення EVM отримано в результаті об'єднання генератора СДФ, генератора сигналів серії PSG з широкосмуговими I/Q входами і цифрового осцилографа зі смугою пропускання 32 ГГц.

Нагадаємо, що EVM є індикатором амплітудних і фазових спотворень сигналів із цифровою модуляцією. У цьому випадку залишкове значення EVM приблизно дорівнює 1.17%, що дуже добре для модульованого сигналу з шириною смуги частот 1.76 ГГц в Х-діапазоні (10 ГГц). Якщо порівнювати з наявним обладнанням, то значення EVM, яке може бути досягнуте за такої швидкості передавання даних, становить зазвичай від 2 до 3%, що є результатом значно більших значень похибки та невизначеності вимірювання.

### КОРОТКИЙ ВИКЛАД РЕЗУЛЬТАТІВ

Використання зовнішніх перетворювачів зі зниженням частоти для вимірювання характеристик сигналів широкосмугових передавачів РЛС і систем супутникового зв'язку може зажадати великих витрат часу і коштів. Цей підхід може виявитися неоптимальним для поліпшення можливостей дослідження справжніх характеристик передавачів РЧ/НВЧ-діапазону. Осцилограф 90000X компанії Keysight надає практичну альтернативу: засіб безпосеред-





Широкопasmова  
цифрова модуляція  
QAM16; 1.76 Гвідків/с

Частота дискретизації  
 $F_s = 7.2$  ГГц  
з амплітудною  
корекцією

**Рис. 4.** Використання програмного забезпечення VSA, що працює в осцилографі, для демодуляції сигналу з модуляцією 16QAM

ного вимірювання та аналізу характеристик передавачів РЧ/НВЧ-діапазону для РЛС і систем супутникового зв'язку.

Осцилограф можна об'єднати з генератором СДФ М8190А і генератором сигналів серії PSG. Разом вони дають змогу створювати й аналізувати випробувальні сигнали на фізичному рівні. Спеціалізовані/прикладні форми сигналів можна згенерувати за допомогою MATLAB і потім завантажити в генератор СДФ М8190А, об'єднаний з генератором сигналів серії PSG, для створення випробувального сигналу. За допомогою осцилографа 90000X сигнали на виходах передавачів можна виміряти, використовуючи програмне забезпечення VSA компанії Keysight, функції MATLAB, що визначаються користувачем, або вбудовані можливості аналізу в тимчасовій ділянці осцилографа. Для сучасних РЛС і систем супутникового зв'язку, що використовують ширші смуги частот і вищі робочі частоти, безпосереднє і точне вимірювання сигналів на виході передавачів з використанням осцилографа 90000X стає основним засобом поліпшення можливостей дослідження істинних характеристик передавачів, що дає змогу заощадити час і допомогти скоротити кількість дорогих циклів розроблення.

Радимо також звернути увагу на супутні додатки та продукти компанії Keysight.

Супутні додатки:

- вимірювання сигналів систем MIMO, аналіз і тестування модуляції фізичного рівня.

Супутні вироби компанії Keysight:

- цифровий осцилограф DSOX93204A зі смугою пропускання 32 ГГц і опціями:
  - 02G, глибина пам'яті 2 Гвб/канал;
  - 062, MATLAB (базовий пакет);
  - 010, функція, що визначається користувачем;
- генератор сигналів довільної форми М8190А;
- програмне забезпечення векторного аналізу сигналів 89601В/ВN (VSA) з опціями:
  - 200, базовий векторний аналіз сигналів;
  - 300, підключення апаратних засобів;
  - АYA, гнучкий аналіз модуляції;
- векторний генератор сигналів E8267D з опціями:
  - 520 або 532, діапазон частот від 250 кГц до 20 ГГц або 31.8 ГГц;
  - 016, широкопasmові диференціальні зовнішні диференціальні входи I/Q;
  - Н18, широкопasmова модуляція в смузі не більше ніж 3.2 ГГц.

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

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

СN

## ПРИЛАД ДЛЯ ВИМІРЮВАННЯ ДЖЕРЕЛ ВИСОКОЇ ЩІЛЬНОСТІ

Компанія **Keysight Technologies, Inc.** представила багатоканальний високочастотний вимірювач щільності джерел (SMU) серії PZ2100 — нове рішення SMU, що надає інженерам-розробникам цифрових технологій 20 прецизійних каналів SMU в стійці висотою 1U для прискорення визначення характеристик інтегральних схем (IC).

Інженери-розробники цифрових пристроїв повинні підключати і тестувати кілька портів на одному пристрої, що тестується, протягом усього циклу проектування, щоб усунути несправності і визначити продуктивність IC. Без високопродуктивних автоматизованих рішень для визначення характеристик інженери ризикують зривати терміни виконання замовлень, оскільки їм доводиться перевіряти складні багатопортівні конструкції, використовуючи складні тестові установки з низькою щільністю.

SMU серії PZ2100 усуває цей ризик, надаючи інженерам-конструкторам рішення для SMU високої щільності, яке можна масштабувати до 20 каналів SMU в компактній стійці висотою 1U. Воно також прискорює час виходу на ринок завдяки гнучким опціям програмного забезпечення, спрощеній системній інтеграції та синхронізації, а також можливостям вимірювання для конкретних застосувань. Це дозволяє зосередити більше часу на визначенні характеристик і менше — на синхронізації.

**www.keysight.com**

# Мікроконтролери R7FS1JA платформи Renesas Synergy

Сергій Надєждін

У статті коротко розглядаються деякі особливості сімейства мікроконтролерів R7FS1JA платформи Renesas Synergy. До їхнього складу входять багато модулів, властивих іншим мікроконтролерам цієї компанії.

## ВСТУП

Оскільки останній час компанія Renesas досить упевнено тримає першість за кількістю новинок у сегменті мікроконтролерів (МК), ця стаття присвячена МК групи S1JA платформи Renesas Synergy. Renesas стала однією з перших компаній з використання нового ядра ARM Cortex M23, зовсім ненабагато відставши від Microchip, яка випустила на ринок МК SAM L10. Але МК R7FS1JA, про які й піде мова в нашій статті, — перші МК з цим ядром серед усіх мікроконтролерів компанії. Але про все по черзі. Спочатку кілька слів про платформу Renesas Synergy. Вона складається з таких п'яти компонентів:

1. Пакет програмного забезпечення (ПЗ).
2. Мікроконтролери.
3. Програмні та апаратні засоби розробки та налагодження.
4. Приклади проєктів, реалізованих на платформі.
5. Галерея. Через неї здійснюється реєстрація користувача та доступ до всієї документації.

Мікроконтролери розбиті на чотири сімейства:

1. S1 — початковий рівень з мінімальним енергоспоживанням і об'ємом флеш-пам'яті до 256 Кбайт.
2. S3 — сімейство зі збільшеним об'ємом флеш-пам'яті до 1 Мбайт.
3. S5 — обсяг флеш-пам'яті зріс до 2 Мбайт, а тактова частота — до 120 МГц.
4. S7 — об'єм флеш-пам'яті збільшено до 4 Мбайт, а тактова частота — до 240 МГц.

## СЛОВНИК

*ACMPLP* — аналоговий компаратор із малим енергоспоживанням

*ACMPHS* — високошвидкісний аналоговий компаратор

*AGT* — асинхронний таймер загального призначення

*AHB* — розширена високопродуктивна шина

*AHB-AP* — порт доступу до розширеної високопродуктивної шини

*APB* — розширена периферійна шина

*ATB* — розширений налагоджувальний буфер

*CAC* — схема контролю частот тактування

*DOC* — схема обробки даних

*DTC* — контролер переміщення даних

*ELC* — контролер подій

*ETB* — вбудований буфер для налагодження

*IWDT* — незалежний сторожовий таймер

*KINT* — основні переривання

*KRM* — регістр основних переривань

*MPU* — модуль захисту пам'яті

*MSM* — показчик основного стека

*NVIC* — контролер переривань

*PSP* — показчик стека процесів

*SDADC 2* — 24-біт сигма-дельта АЦП

*WDT* — сторожовий таймер

До появи R7FS1JA всі описані вище МК базувалися на ядрі ARM Cortex M4. У статті розглядаються основні модулі нового МК. Структурна схема R7FS1JA наведена на рисунку 1. У таблиці 1 показано основні відмінності між МК, що входять до складу сімейства R7FS1JA. У статті коротко описано основні особливості МК R7FS1JA, а модулі, характерні для інших МК компанії Renesas, ми торкатися не будемо, тому що вони досить повно описані в попередніх статтях. Наприклад, опис контролера передачі даних DTC і контролера подій ELC див. у [1].

Таблиця 1. Основні відмінності МК сімейства R7FS1JA

| Параметр   | R7FS1JA783A01CFM | R7FS1JA783A01CNE | R7FS1JA783A01CNF | R7FS1JA782A01CBT | R7FS1JA783A01CFJ |
|--|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
| Число виводів корпусу                                      | 64               | 48               | 40               | 36               | 32               |
| Корпус   | LQFP             | QFN              | QFN              | BGA              | LQFP             |
| Число основних переривань KINT                             | 8                | 6                | 4                | 4                | 3                |
| Число таймерів GPT16                                       | 6                | 6                | 43               | 3                | 4                |
| Число модулів інтерфейсів SPI                              | 2                | 2                | 2                | 1                | 2                |
| Число каналів модуля ADC16 (число диференціальних каналів) | 17 (4)           | 12 (3)           | 8 (1)            | 5 (1)            | 5 (1)            |
| Число операційних підсилювачів                             | 3                | 2                | 1                | 1                | 1                |
| Повношвидкісний USB  |                  |                  | Є                |                  | НЕМАЄ            |



Рис. 1. Структурна схема R7FS1JA

## ПРОЦЕСОРНЕ ЯДРО ARM CORTEX M23 І ПАМ'ЯТЬ

ARM Cortex M23 — перше процесорне ядро з архітектурою ARMv8-M і розширеними функціями безпеки. Можна стверджувати, що Cortex M23 відмінно замінить Cortex M0+ в Інтернеті речей і в тих відносно простих застосуваннях, де потрібен захист даних і безпека. Структурна схема ядра показана на рисунку 2. Перелічимо деякі основні параметри ядра, що використовується в МК R7FS1JA (зауважимо, що в нашому випадку використовується ядро не в максимально можливій конфігурації):

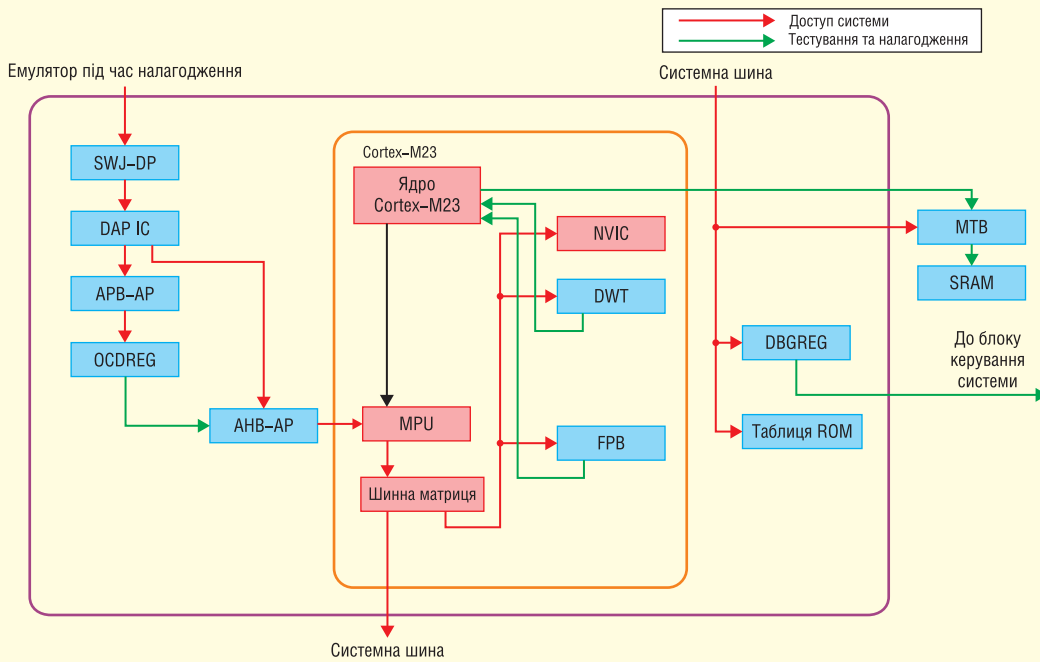
- двокаскадний конвеєр;
- апаратне множення за один цикл;

- апаратне ділення за 17 циклів;
- захист восьми областей пам'яті;
- частота (макс.): 48 МГц;
- 32 переривання;
- підтримуються режими з малим енергоспоживанням;
- системний таймер ядра SysTick підтримує 24 лічильники, його тактова частота вибирається користувачем.

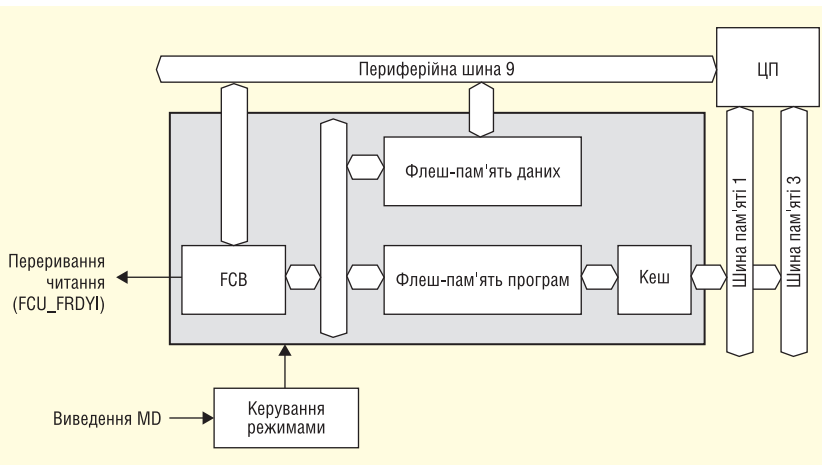
До складу пам'яті входить ОЗП об'ємом до 32 Кбайт і флеш-пам'ять об'ємом до 256 Кбайт. ОЗП розділена на два сегменти по 16 Кбайт. У першому з них, SRAM0, використовується контроль даних за допомогою коду виявлення помилок (ECC). У другому сегменті, SRAM1, для виявлення помилки застосовується контроль парності. Область

SRAM0 використовується і для зберігання програмних кодів, але в цьому випадку пам'ять слід попередньо ініціалізувати, інакше можлива помилка зчитування даних. Для прискорення обміну даними між ЦП і ОЗП застосовується буфер і, якщо потрібно виконати інструкцію за однією і тією ж адресою, то повторне зчитування виконується з буфера.

Обсяг флеш-пам'яті програм становить 256 Кбайт. Ще 8 Кбайт флеш-пам'яті використовуються для зберігання даних. Якнайкраще організацію флеш-пам'яті ілюструє рисунок 3. Обираючи частоту тактування змінюється в межах 32–48 МГц. Передбачено захист від несанкціонованого доступу до пам'яті. Пам'ять програм програмується



**Рис. 2.** Структурна схема ядра



**Рис. 3.** Схема організації флеш-пам'яті

64-біт модулями, а стирання здійснюється 2-Кбайт модулями. У пам'яті даних ці операції виконуються за допомогою 8-біт і 1-Кбайт модулів, відповідно.

Як і у випадку з ОЗП, для прискорення операцій обміну даними у флеш-пам'яті передбачено кеш і буфер FLPE для попередньої вибірки команд. Передбачено два кеші та буфер:

- FCACHE1 — 2-канальний асоціативний кеш об'ємом 128 байт для обміну даними з ЦПУ;
- FCACHE2 — повністю асоціативний кеш об'ємом 8 байт для обміну даними з контролером переміщення даних DTC;
- FLPE — буфер об'ємом 16 байт.

Серйозний підхід до безпеки підтверджується наявністю у складі мікро-

контролера двох моніторів показчика стека ЦП і чотирьох модулів захисту пам'яті (MPU):

- показчик основного стека MSM;
- показчик стека процесів PSP;
- ARM MPU — захист пам'яті для ЦП, захищає вісім областей;
- модуль провідних пристроїв шини захищає чотири області;
- MPU для захисту кожного веденого модуля шини;
- MPU для безпечної області (Security) захищає чотири області: флеш-пам'ять програм, ОЗП і дві області.

Оскільки в ЦП є два стеки — головний стек і стек процесів, то відповідно контролюється стан двох показчиків стека. У разі переповнення будь-якого зі стеків генерується немасковане переривання.

### ТАКТУВАННЯ І СКИДАННЯ

УМК вбудовано кілька джерел частоти. Щоб забезпечити головну частоту синхронізації, можна також використовувати зовнішній осцилятор. Для отримання «годинникової» частоти 32.768 кГц застосовується зовнішній кристал осцилятора. У МК використовуються такі тактові частоти:

- системна частота ICLK: 48 МГц;
- периферійна частота PCLKB — до 32 МГц;
- периферійна частота PCLKD — до 64 МГц;
- тактування флеш-пам'яті FCLK — 1–32 МГц;
- тактування USB (UCLK) — 48 МГц;
- тактування CAN (CANMCLK) — 1–20 МГц;
- тактування таймера AGT становить 32.768 КГц;
- тактування годинника реального часу RTCCLK становить 32.768 КГц;
- тактування системного таймера SYSTICCLK становить 32.768 КГц;
- тактування сигма-дельта АЦП SDADCCLK становить 4–20 МГц.

Модуль для вимірювання тактової частоти (CAC) вимірює одну з тактових частот, порівнюючи її з опорною частотою. Вимірювання здійснюються шляхом підрахунку імпульсів вимірюваної частоти за заданий проміжок часу. Останній фіксується за допомогою опорної тактової частоти. Якщо кількість підрахованих імпульсів виходить

за межі заданого діапазону, формується переривання. У МК передбачено 13 джерел скидання:

- подання сигналу на зовнішній вивід RES;
- скидання під час подавання живлення;
- скидання за сигналом незалежного сторожового таймера (IWDT);
- скидання за сигналом сторожового таймера (WDT);
- три скидання за сигналом моніторів живлення: 0, 1 і 2;
- помилка парності або коду ECC в ОЗП;
- помилка ведучого або веденого шини MPU;
- помилка показчика стека ЦП;
- програмне скидання.

Залежно від джерела скидання модулі мікроконтролера приймають різний стан. Таблицю з описом станів модулів МК за різних джерел скидання див. у [2].

## ШИНИ

Конфігурацію шин мікроконтролера показано на рисунку 4. У таблиці 2 перераховані шини МК і вказані їхні призначення. Головна шина з'єднує ЦП із флеш-пам'яттю програм і даних, з ОЗП 0 і периферійними шинами. При запиті різних провідних пристроїв до різних ведених пристроїв запити обробляються паралельно. Наприклад, ЦП може одночасно звертатися із запитом до флеш-пам'яті команд і ОЗП. Аналогічно, контролер передавання даних DTC може одночасно звертатися до шини DMA для обміну даними з периферійними пристроями, до флеш-пам'яті та ОЗП.

Монітор шин дає змогу виявити помилки такого виду:

- звернення за неприпустимою адресою;
- помилка модуля MPU провідного пристрою;
- помилка модуля MPU веденого пристрою;
- перевищено час очікування відповіді під час звернення.

У разі виявлення помилки не гарантується коректне завершення операції.

## ІНТЕРФЕЙСИ

Оскільки до складу МК входять стандартні комунікаційні інтерфейси, ми не будемо заглиблюватися в їхні описи, а лише перерахуємо, вказавши необхідні параметри:

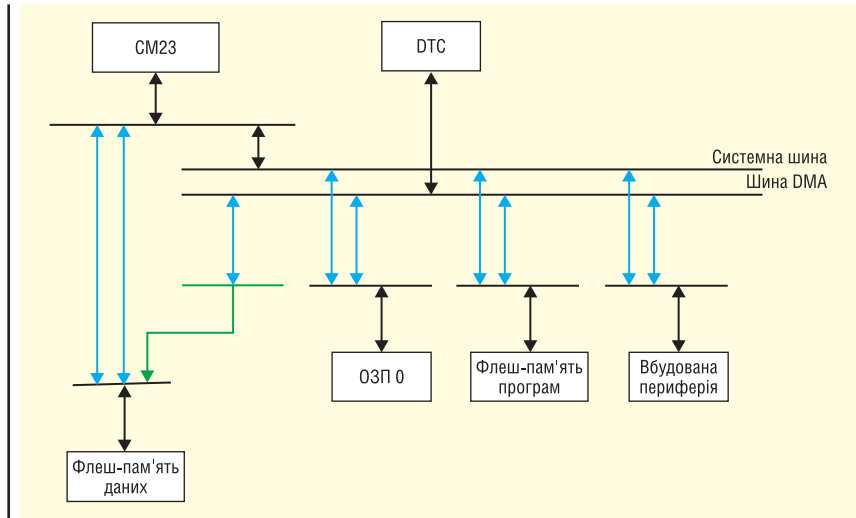


Рис. 4. Конфігурація шин

Таблиця 2. Шини МК сімейства R7F51JA

| Найменування групи шин | Найменування шини                                       | Призначення  |
|------------------------|---|--|
| Головні шини           | Системна шина   | З'єднання ЦП; З'єднання вбудованої пам'яті з периферійними шинами  |
|                        | Шина DMA  | З'єднання з контролером DTC; З'єднання вбудованої пам'яті з периферійними шинами   |
| Ведені шини            | Шина пам'яті 1  | З'єднання з флеш-пам'яттю  |
|                        | Шина пам'яті 3  | З'єднання шини DMA з флеш-пам'яттю   |
|                        | Шина пам'яті 4  | З'єднання з ОЗП 0  |
|                        | Периферійна шина 1                                      | З'єднання периферійних модулів із системою керування   |
|                        | Периферійна шина 3                                      | З'єднання периферійних модулів CAC, ELC, виводами I/O, P0EG, RTC, WDT, IWDT, IIC, CAN, ADC16, DAC12, DOC, GPT, SCI, SPI, CRC |
|                        | Периферійна шина 5                                      | З'єднання периферійних модулів (KINT, AGT, USBFS, DAC8, OPAMP, ACMPLP, SDADC24, CTSU)  |
|                        | Периферійна шина 7                                      | З'єднання захищених модулів  |
| Периферійна шина 9     | З'єднання з флеш-пам'яттю (P/E) і флеш-пам'яттю програм |  |

- послідовний комунікаційний інтерфейс SCI конфігурується як п'ять синхронних і один асинхронний інтерфейс. Швидкість передачі даних по кожному каналу встановлюється незалежно. Можливі такі конфігурації:
  - 8-біт синхронний інтерфейс;
  - I2C (тільки майстер);
  - SPI;
  - інтерфейс смарт-карт;
- I2C: максимальна швидкість передачі даних становить 400 Кбіт/с;
- SPI: можливі 4- і 3-провідний режими передавання даних;
- CAN: відповідає вимогам стандарту ISO11898-1. Швидкість передачі даних: до 1 Мбіт/с.
- USB 2.0: підтримує повношвидкісний режим передачі 12 Мбіт/с і низькошвидкісний 1.5 Мбіт/с.

## АНАЛОГОВІ МОДУЛІ

Оскільки в багатьох випадках пристроями в Інтернеті речей є датчи-

ки, у т. ч. аналогові, немає нічого дивного в тому, що в такого відносно скромного за складом МК є доволі широкий набір аналогових периферійних модулів, до складу яких входять:

- 16-біт АЦП;
- 24-біт АЦП;
- 12-біт ЦАП;
- 8-біт ЦАП;
- датчик температури;
- високошвидкісний аналоговий компаратор ACMPLP;
- аналоговий компаратор з малим енергоспоживанням ACMPLP;
- операційні підсилювачі.

Почнемо їхній опис із 16-біт АЦП послідовного наближення. До АЦП можна підключити 17 несиметричних каналів. Вісім із них можна перетворити на чотири диференціальні канали. Наведемо деякі основні параметри АЦП:

- продуктивність АЦП (макс.) становить 1.2 Мвиб/с;
- струм споживання в режимі перетворення (макс.): 1.2 мА;
- інтегральна нелінійність:  $\pm 4$  МЗР;

- диференціальна нелінійність становить  $-1...2$  МЗР;
- похибка коефіцієнта посилення вбудованого підсилювача —  $\pm 0.1\%$ ;
- сумарні спотворення SINAD становить  $75-92$  дБ залежно від режиму роботи.

Частота перетворення модуля SDADC 24-біт сигма-дельта АЦП становить  $1$  МГц. У режимі зниженого енергоспоживання ця частота зменшується до  $125$  кГц. Загалом модуль SDADC має  $10$  несиметричних вхідних каналів, з них вісім від зовнішніх джерел і два — від вбудованих операційних підсилювачів. З двох несиметричних вхідних каналів можна скласти один диференціальний канал. Таким чином, з  $10$  несиметричних вхідних каналів можна отримати п'ять диференціальних. Помилка посилення програмованого підсилювача модуля SDADC становить  $\pm 0.5\%$ .

З метою зменшення завад двоканальний 8-біт ЦАП синхронізується з 16-біт АЦП так, щоб не допустити одночасного перетворення ЦАП і вибірки АЦП. Один із виходів ЦАП може отримувати живлення від зарядового насоса\*. Час перетворення 8-біт ЦАП становить  $3$  мкс при напрузі живлення вище  $2.7$  В; при цьому похибка перетворення становить  $\pm 3$  МЗР і  $6$  мкс при напрузі живлення  $1.7-2.7$  В з похибкою перетворення  $\pm 3.5$  МЗР.

Щоб зменшити завади, одноканальний 12-біт ЦАП синхронізовано з 16-біт АЦП. Крім того, на його вихід можна подати живлення від зарядового насоса. Наведемо його основні параметри:

- час перетворення:  $1.0$  мкс;
- час виходу з режиму сну:  $1.0$  мкс;
- диференціальна нелінійність становить  $\pm 1.0$  МЗР;
- інтегральна нелінійність:  $\pm 7.0$  МЗР.

Загалом, до складу МК входять три операційні підсилювачі. Їхні входи можна під'єднати до двох зовнішніх виводів, а один із виходів — до одного зовнішнього виводу. Крім того, підсилювачі можна підключати до модуля SDADC 24-біт сигма-дельта АЦП і аналогових компараторів. Перелічимо деякі їхні параметри:

- напруга зміщення:  $\pm 3$  мВ;
- дрейф напруги зміщення становить  $\pm 30$  або  $\pm 70$  мкВ/°С залежно від режиму роботи;

- коефіцієнт посилення:  $130$  дБ;
- смуга пропускання в режимі зниженого енергоспоживання:  $80$  кГц;
- смуга пропускання у високошвидкісному режимі енергоспоживання:  $4.8$  МГц;
- шуми на частоті  $10$  Гц:  $860$  нВ/ $\sqrt{\text{Гц}}$ ;
- шуми на частоті  $1$  кГц:  $260$  нВ/ $\sqrt{\text{Гц}}$ ;
- КОСС:  $90$  дБ.

У МК R7FS1JA входить один високошвидкісний компаратор АСМРНС і два компаратори АСМРЛР з малим енергоспоживанням. Гадаємо, нашим читачам немає потреби роз'яснювати, для чого використовуються компаратори, і тому ми наведемо лише деякі основні параметри.

Компаратор АСМРНС:

- вхідний зсув:  $\pm 5$  мВ;
  - внутрішня опорна напруга:  $1.43$  В;
  - затримка вихідного сигналу:  $50$  нс.
- Компаратор АСМРЛР:
- вхідний зсув становить  $\pm 40-60$  мВ залежно від режиму роботи;
  - затримка вихідного сигналу становить  $1.2-5.0$  мкс.

## ВИСНОВКИ

Викладений матеріал дає змогу зробити висновок, що МК нового сімейства цілком підходять для використання в Інтернеті речей і схожих застосуваннях, де потрібна підвищена безпека. Її забезпечує використання процесорного ядра ARM Cortex M23, наявність чотирьох модулів захисту пам'яті, а також дуже широкий для такого класу МК набір аналогових периферійних модулів.

Однак не слід очікувати від цих мікроконтролерів високої продуктивності та обчислювальної потужності. Ці прості та економічні МК призначені для забезпечення безпеки та підключення первинних датчиків у сенсорних мережах Інтернету речей.

Література:

1. Сергій Надєждін. Мікроконтролери RX66 від Renesas. CHIP NEWS. № 1. 2023.
2. <https://www.renesas.com/eu/en/products/microcontrollers-microprocessors/renesas-synergy-platform-mcus/s1ja-48-mhz-arm-cortex-m23-cpu> **CN**

## ПЕРШИЙ 22-НМ МІКРОКОНТРОЛЕР

Компанія **Renesas Electronics Corporation** оголосила про випуск свого першого мікроконтролера (MCU) на основі передового 22-нм технологічного процесу. Використовуючи найсучаснішу технологію, компанія Renesas може запропонувати клієнтам чудову продуктивність при меншому енергоспоживанні завдяки зниженню напруги на ядрі мікроконтролера. Удосконалений технологічний процес також пропонує можливість інтеграції багатого набору функцій, включаючи такі функції, як радіочастотна передача. Крім того, вдосконалений технологічний вузол використовує меншу площу матриці для тієї ж функціональності, що призводить до менших розмірів мікросхем з більшою інтеграцією периферійних пристроїв та пам'яті.

Перша мікросхема, виготовлена за новим 22-нм технологічним процесом, є продовженням популярного сімейства RA 32-розрядних мікроконтролерів Arm® Cortex®-M від Renesas. Цей новий бездротовий мікроконтролер підтримує Bluetooth® 5.3 Low Energy (LE) з інтеграцією програмно-визначеного радіо (SDR). Він пропонує перспективне рішення, які створюють продукти з тривалим терміном служби. Як під час розробки, так і після розгортання, пристрої можуть бути оновлені новим прикладним програмним забезпеченням або новими можливостями Bluetooth, щоб забезпечити відповідність останнім версіям специфікацій.

Виробники кінцевих продуктів можуть використовувати повний набір функцій попередніх версій специфікації Bluetooth LE. Незалежно від того, чи розробляють вони пристрої для пеленгації з використанням функцій Bluetooth 5.1 Angle of Arrival (AoA)/Angle of Departure (AoD), чи додають малопотужну передачу стереозвуку в продукти за допомогою ізохронних каналів Bluetooth 5.2, розробникам тепер потрібен лише один пристрій для підтримки всіх цих функцій.

Компанія Renesas об'єднає нові 22-нм мікроконтролери з численними сумісними пристроями зі свого портфоліо, щоб запропонувати широкий спектр вигравшних комбінацій. Ці вигравні комбінації — технічно перевірені системні архітектури на основі взаємно сумісних пристроїв, які безперешкодно працюють разом, створюючи оптимізовану конструкцію з низьким рівнем ризику для швидшого виходу на ринок.

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

\* Зарядовий насос (англ. charge pump) — схеми з накачуванням заряду, що належать до одного з видів перетворювачів постійної напруги в постійну (DC-DC converters). Цей вид перетворювачів використовує конденсатори як накопичувачі заряду, який переноситься від одного конденсатора до іншого за допомогою системи перемикачів. Назва «зарядовий насос» зовнішньої ознакою малопотужний підвищувальний перетворювач, у якому конденсатори під'єднані до джерела тактових імпульсів, а роль перемикачів виконують діоди (примітка редакції).

# MORNSUN®



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

IGBT Driver · LED Driver · EMC Auxiliary Device

## MORNSUN®

MORE THAN RELIABILITY

Офіційні поставки в Україні від компанії «НВП ЄВРОКОМ КОМПОНЕНТС»



**EUROCOM  
COMPONENTS**

[www.eurocom-c.com](http://www.eurocom-c.com)  
[sales@eic.com.ua](mailto:sales@eic.com.ua)  
+38 044 33 44 575

# Оптимізація шини FieldBus допоможе вдосконалювати інтелектуальні системи

Неіл Квінн (Neil Quinn), Річард Анслоу (Richard Anslow)

**Експертні організації в промисловій галузі, такі як PROCENTEC, стимулюють стрімке поширення технології шини FieldBus на основі RS-485 (PROFIBUS) і промислового Ethernet (PROFINET). В усьому світі встановлено вже більше 65 млн вузлів польової шини PROFIBUS, завдяки якій ступінь автоматизації процесів щорічно збільшується на 7%. Крім того, у світі діє більше 30-ти млн вузлів PROFINET і щороку їх встановлюється близько 5.1 млн пристроїв.**

## ВВЕДЕННЯ

З огляду на поширення промислової шини RS-485, яке постійно розширюється, і прискорення реалізації концепцій «Індустрії 4.0» для створення інтелектуальних фабрик із всеосяжним мережевим зв'язком, можна зробити висновок, що оптимізація технологій шини FieldBus дасть змогу створювати такі інтелектуальні системи. Вдосконалені промислові шини мають бути стійкими до сильних електромагнітних завод і

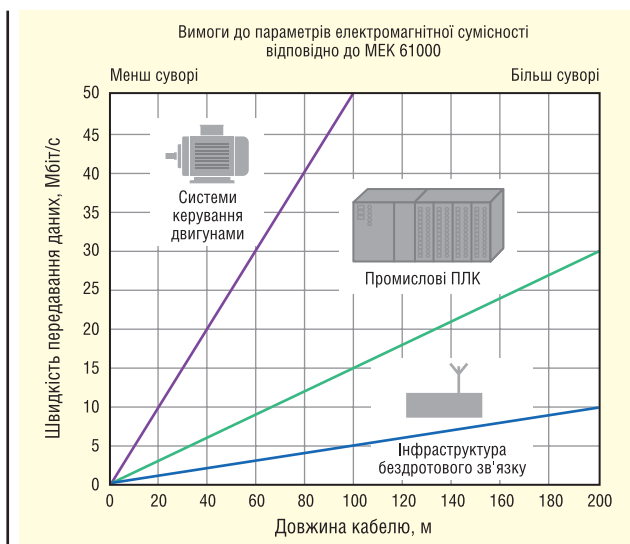
характеризуватися надійною передачею даних, інакше може погіршитися якість роботи всієї системи.

У системах керування рухом механізмів польові шини зазвичай призначені для керування положенням однофазних або багатопольових електродвигунів зі зворотним зв'язком. У таких системах передавання даних здійснюється на високих швидкостях довгими кабелями, як показано на рисунку 1. Якщо система управління положенням нестабільна, то знижується не тільки якість роботи самого промислового механізму, а й продуктивність підприємства. У системах бездротової інфраструктури польова шина зазвичай використовується для управління нахилом/положенням антени, оскільки важливо підтримувати високу точність передачі даних. Як у системах керування рухом механізмів, так і в системах інфраструктури бездротового зв'язку потрібні різні рівні захисту від електромагнітних завод (рис. 1). Системи керування рухом механізмів зазвичай працюють в електрично зашумленому середовищі, через що можуть виникати помилки передавання даних. При цьому слід оберегти бездротову інфраструктуру від непрямих ударів блискавки в незахищеному середовищі.

Для реалізації таких систем із високими вимогами до надійності необхідно ретельно вивчити часові характеристики приймачів-передавачів RS-485 під час надсилання сигналів довгими кабелями, що дасть змогу гарантувати надійність системи та відповідний рівень електромагнітної сумісності. У статті представлено деякі ключові концепції визначення часових характеристик системи та принципи передавання даних довгими кабелями, наведено основні показники, що впливають на робочі характеристики системи, зокрема параметри розподілу тактових сигналів і даних та параметри узгодження передавання даних кабелем, також показано переваги приймачів-передавачів RS-485 нового покоління ADM3065E/ADM3066E у промислових системах.

## ЧАСОВІ ХАРАКТЕРИСТИКИ

Під час розгляду питання про організацію надійного передавання даних на високих швидкостях довгими кабелями важливими є й такі часові характеристики, як джиттер (тремтіння фази) та зсув сигналу в часі; ці параметри є не менш важливими і під час передавання даних за інтерфейсом LVDS. У випадку з шиною RS-485 необхідно враховувати джиттер і зміщення сигналу в часі, що вносяться приймачем-передавачем RS-485 і кабелем системи.



**Рис. 1. Електромагнітна сумісність, швидкість передавання даних і довжина кабелю в системах із шиною RS-485**



## ДЖИТТЕР І ЗМІЩЕННЯ СИГНАЛУ В ЧАСІ

Джиттер можна кількісно визначити як помилку часового інтервалу, тобто як різницю між очікуваним часом переходу сигналу з одного стану в інший і часом фактичного здійснення такого переходу. У каналі зв'язку є різні чинники, що впливають на джиттер. Кожен із них може бути в загальних рисах охарактеризований за своєю природою як випадковий або детермінований. Випадковий джиттер визначається за його гауссівським розподілом, і він виникає, зокрема, через тепловий шум і широкосмуговий дробовий шум у мікросхемі. На детермінований джиттер впливають джерела в системі зв'язку — наприклад, спотворення коефіцієнта заповнення, перехресні завади, періодичні зовнішні джерела шуму або міжсимвольні завади. У системах зв'язку з шиною стандарту RS-485 швидкості передавання даних нижчі за 100 МГц, тому детерміновані чинники, що впливають на джиттер, переважають над випадковими чинниками.

Розмах джиттера є корисним параметром для вимірювання сумарного джиттера системи, що виникає внаслідок впливу детермінованих джерел. Розмах джиттера можна визначити в часовій ділянці, наклавши велику кількість переходів сигналу на одну й ту саму діаграму («вічкоподібну» діаграму). Таке накладення можна реалізувати на дисплеї осцилографа з використанням функції нескінченного післясвітіння або за допомогою вбудованого в осцилограф програмного забезпечення для розкладання джиттера, як показано на рисунку 2.

Ширина накладених переходів і є розмахом джиттера, а відкрита область між ними називається вічком. Це вічко представляє область, доступну для зчитування приймальним вузлом на дальньому кінці довгого кабелю RS-485. Що більша ширина вічка, то ширше вікно зчитування для приймального вузла, що зменшить ризик неправильного приймання біта. Ширина вічка насамперед залежить від детермінованих чинників, що впливають на джиттер, які можуть створювати драйвер і приймач на шині RS-485, а також з'єднувальний кабель.

На рисунку 3 представлено різні джерела джиттера в мережі зв'язку. У системах зв'язку з шиною RS-485 є два ключові чинники, що впливають на часові характеристики, — це зсув у часі імпульсів приймача-передавача та міжсимвольні завади. Зміщення імпульсів, відоме також як спотворення ширини імпульсу або спотворення коефіцієнта заповнення, є формою детермінованого джиттера, який вносять приймачі-передавачі в передавальних і приймальних вузлах. Зсув імпульсу в часі визначається як різниця в затримці поширення між переднім і заднім фронтами сигналу. У диференціальній лінії зв'язку подібний зсув призводить до виникнення асиметричної точки перетину і невідповідності між тривалістю переданих нулів і одиниць. У системі розподілу тактових імпульсів надмірний зсув імпульсів у часі проявляється як спотворення коефіцієнта заповнення переданих тактових імпульсів. У системі розподілу даних така асиметрія збільшує розмах джиттера, що спостерігається на вічкоподібній діаграмі. В обох випадках надмірний зсув імпульсів у часі погіршує якість передавання сигналів по шині RS-485, зменшує доступне вікно зчитування і знижує робочі характеристики всієї системи.

Міжсимвольні завади виникають, коли на час появи фронту сигналу впливає послідовність даних, що пройшли через цей фронт. Вплив міжсимвольних завад стає помітним у системах із довгими кабелями, через що міжсимвольні завади стають важливим чинником, що визначає якість передавання даних у мережах на основі шини RS-485. У довгих кабельних проводах формується постійна часу RC-кола, тому що в таких

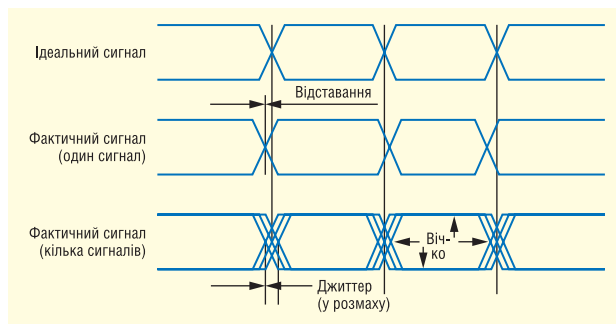


Рис. 2. Помилка часового інтервалу, джиттер і вічко

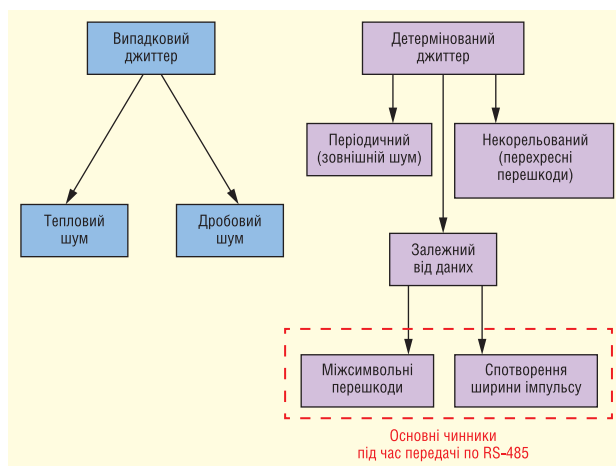


Рис. 3. Основні фактори, що впливають на джиттер у мережах зв'язку RS-485

випадках ємність кабелю не повністю досягає повного заряду до кінця одного бітового періоду. У системах, у яких дані, що передаються, складаються тільки з тактових імпульсів, ця форма міжсимвольних завад відсутня. Міжсимвольні завади можуть бути спричинені і невідповідністю імпедансу кабельної лінії передачі, внаслідок впливу шлейфів лінії або неправильного використання кінцевих резисторів. Приймачі-передавачі RS-485 з високою вихідною потужністю можуть мінімізувати вплив міжсимвольних завад, оскільки їм потрібно менше часу для зарядки ємності навантаження кабелю RS-485.

Відсоток допустимого розмаху джиттера істотно залежить від застосування, і, як правило, величина 10% є допустимою під час випробувань комбінації приймача-передавача RS-485 і характеристик кабелю. Поєднання великого джиттера і зсуву імпульсів у часі значно скорочує можливості правильного зчитування даних приймачем-передавачем RS-485 і призводить до збільшення ймовірності виникнення помилок передачі даних. У правильно узгоджених мережах передавання даних використання приймача-передавача, що оптимізований для мінімізації зсуву імпульсів у часі та міжсимвольних завад, підвищує надійність каналу зв'язку.

## ПРИЙМАЧ-ПЕРЕДАВАЧ RS-485 І ВПЛИВ КАБЕЛЮ

У стандарті TIA-485-A/EIA-485-A шини RS-485 наведені допустимі робочі характеристики передавачів і приймачів RS-485, зокрема диференціальна вихідна напруга, характеристики під час короткого замикання, синфазне навантаження, а також пороги та діапазони вхідної напруги. Тимчасові характеристики шини RS-485, зокрема зсув імпульсів у часі

та джиттер, не вказані в стандарті TIA-485-A/EIA-485-A, їх оптимізують виробники мікросхем з урахуванням технічних характеристик продукту.

В інших стандартах, таких як, наприклад, телекомунікаційний стандарт для кабелів із крученою парою TIA-568-B.2/EIA-568-B.2, зазначено основу для визначення впливу змінних і постійних сигналів, які поширюються в кабелі, на якість сигналу шини RS-485. У цьому стандарті наведено рекомендації та процедури випробувань, необхідних для вимірювання джиттера, зміщення імпульсів у часі та інших часових характеристик зі встановленими межами. Так, максимальний допустимий зсув імпульсів за часом у кабелі категорії 5е становить 45 нс на 100 м. У рекомендації щодо застосування AN 1399 компанії Analog Devices більш детально розглядається стандарт TIA-568-B.2/EIA-568-B.2 і наслідки використання неідеальних кабелів на робочі характеристики системи.

Хоча доступні стандарти і технічна документація на компоненти слугують хорошими джерелами корисної інформації, для отримання актуальних часових характеристик системи потрібно провести вимірювання параметрів приймача-передавача RS-485 під час його роботи в мережі з довгим кабелем.

### ОРГАНІЗАЦІЯ ШВИДШОГО ПЕРЕДАВАННЯ ДАНИХ НА ДАЛЬШІ ВІДСТАНІ ЗА ДОПОМОГОЮ RS-485

Приймач-передавач ADM3065E вирізняється надмалим зсувом імпульсів у часі під час приймання та передавання, що робить цей пристрій ідеальним варіантом для прецизійного передавання тактових сигналів, які здебільшого використовують у протоколах кодування даних датчиків положення електродвигунів, зокрема EnDat 2.2. Рівень детермінованого джиттера приймача-передавача ADM3065E становить менше ніж 5% під час передавання даних у системі керування двигунами зі стандартною довжиною кабелю (рис. 4, 5). Завдяки широкому діапазону живлення, ADM3065E з такими чудовими часовими характеристиками може використовуватися в системах із шинами живлення 3.3 або 5 В.

Крім якісного передавання тактових імпульсів, тимчасові характеристики ADM3065E забезпечують надійне передавання даних із високою швидкістю та мінімальним джиттером. На рисунку 6 показано, що під час використання ADM3065E вимоги до часових характеристик, які, як правило, висувають до обладнання мереж передавання даних на основі RS-485, значно пом'якшуються. Стандартні приймачі-передавачі RS-485 зазвичай розраховані на роботу з джиттером 10% або менше. ADM3065E може працювати зі швидкістю понад 20 Мбіт/с у мережах із довжиною кабелю до 100 м і водночас підтримувати рівень джиттера 10% на приймальному вузлі. Завдяки такому низькому рівню джиттера скорочується ризик неправильного зчитування даних приймальним вузлом і істотно підвищується надійність передавання, що раніше було недосяжно під час використання стандартних приймачів-передавачів RS-485. У системах, у яких приймальний вузол може працювати з рівнями джиттера до 20%, цей приймач-передавач здатний діяти зі швидкостями передавання даних до 35 Мбіт/с на 100-метрових ділянках кабелю.

З урахуванням таких часових характеристик приймач-передавач ADM3065E можна вважати оптимальним варіантом для застосування як інтерфейсного засобу для зв'язку з енокодерами в системах керування двигунами. У межах кожного пакета, що передається з використанням протоколу EnDat 2.2,

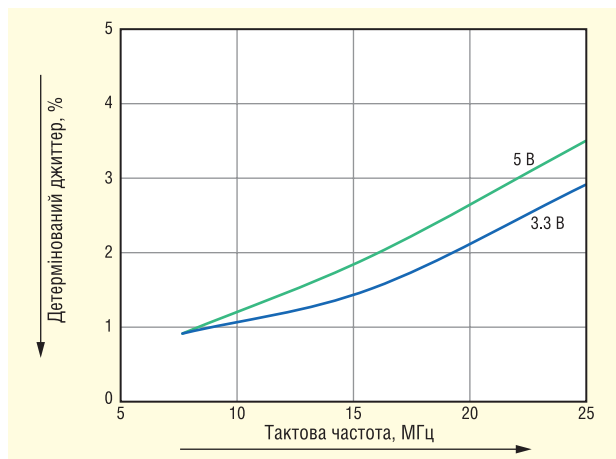


Рис. 4. Джиттер ADM3065E під час передавання тактових імпульсів

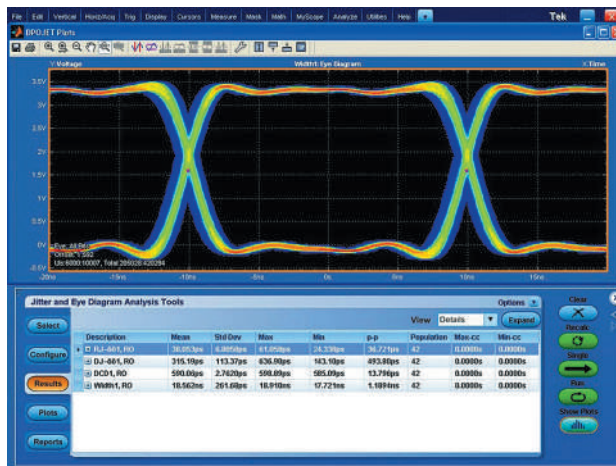


Рис. 5. Вічкоподібна діаграма ADM3065E під час приймання: тактові імпульси з частотою 25 МГц, передані кабелем завдовжки 100 м

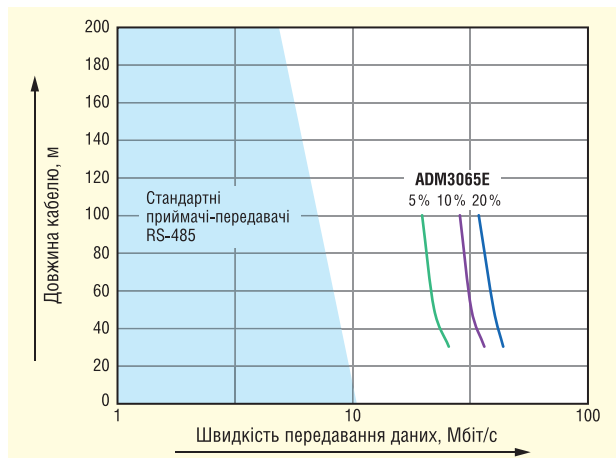
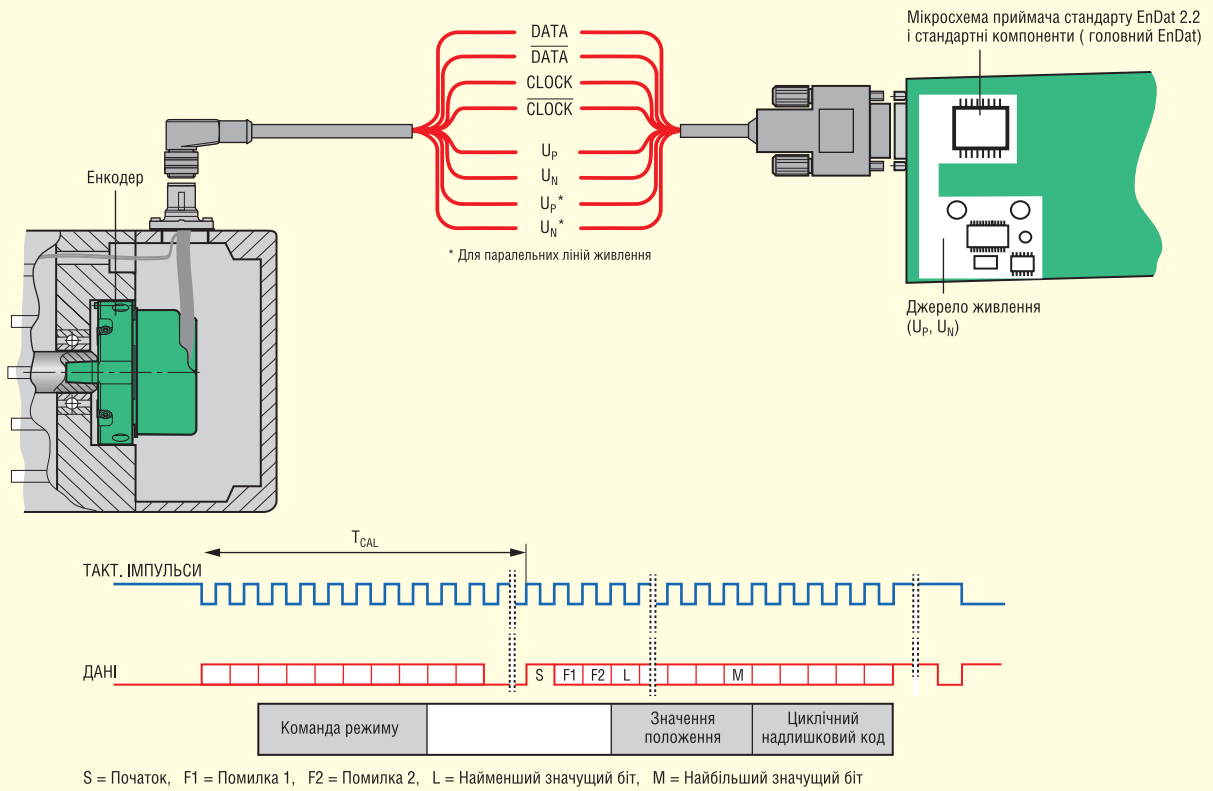


Рис. 6. Рівні джиттера приймального вузла приймача-передавача ADM3065E

дані передаються синхронно зі спадами тактових імпульсів. На рисунку 7 показано, що стартовий біт (або біти) починає передачу даних від енокодера назад у головний контролер після початкового обчислення абсолютного положення (TCAL). Наступні біти помилок (F1, F2) встановлюються, коли несправність енокодера може призвести до отримання неправильних



**Рис. 7. Фізичний рівень і протокол EnDat 2.2 із синхронізацією тактових імпульсів/даних (адаптовані схеми з документації на стандарт EnDat 2.2)**

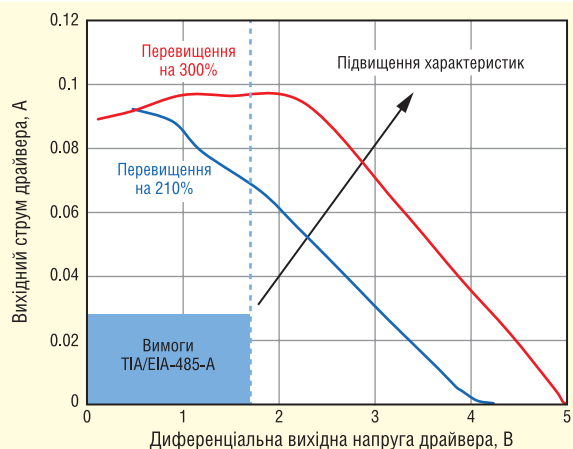
значень положення. У підсумку енкодер передає значення абсолютного положення в поле даних, що починається з біта LS, після якого йдуть дані. Цілісність тактових сигналів і сигналів даних має вирішальне значення для успішного передавання інформації про положення і про помилки довгими кабелями, водночас рівень джиттера має становити 10% і менше, як визначено в стандарті EnDat 2.2. В EnDat 2.2 наводяться максимальні робочі характеристики під час передавання даних із тактовою частотою 16 МГц кабелем завдовжки 20 м. На рисунку 4 показано, що ADM3065E може працювати при зазначених характеристиках з рівнем джиттера, що становить лише 5%, а на рисунку 6 видно, що ADM3065E відповідає вимогам до джиттера в умовах передавання даних, за яких стандартні приймачі-передавачі RS-485 не задовольняють цих вимог.

### ВИСОКА НАДІЙНІСТЬ ПЕРЕДАВАННЯ ДАНИХ ДОВГИМИ КАБЕЛЯМИ

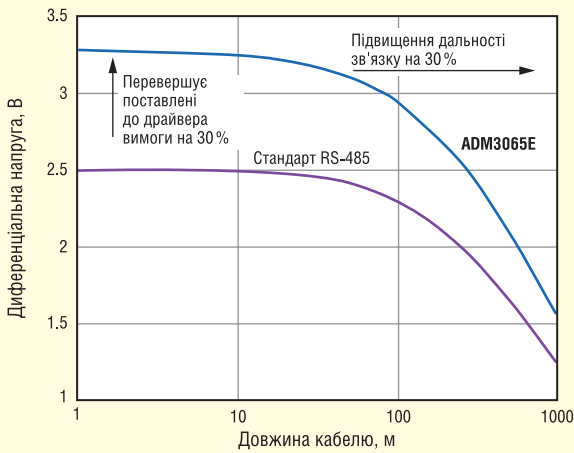
У стандарті TIA-485-A/EIA-485-A наведено вимогу щодо використання відповідних драйверів шини RS-485 для генерації диференціальної напруги VOD з амплітудою не менше ніж 1.5 В у повністю завантаженій мережі. Така амплітуда напруги VOD забезпечує запас на падіння напруги на 1.3 В під час передавання даних довгими кабелями, водночас приймачі RS-485 розраховані на роботу із входною диференціальною напругою не менше ніж 200 мВ. Приймач-передавач ADM3065E може забезпечувати амплітуду VOD щонайменше 2.1 В за живлення від 5 В, що перевищує вимоги стандарту RS-485.

Повністю заповнена мережа RS-485 еквівалентна диференціальному навантаженню опором 54 Ом, що імітує

шину з подвійним кінцевим навантаженням із двох резисторів опором 120 Ом, а ще 750 Ом представляють 32 під'єднані пристрої з одиничним навантаженням або 12 кОм. ADM3065E має унікальну архітектуру вихідного каналу, що забезпечує максимальне збільшення амплітуди VOD під час роботи з діапазоном синфазної напруги, що перевершує вимоги TIA-485-A/EIA-485-A. На рисунку 8 показано, що ADM3065E перевищує вимоги, що висуваються до драйвера шини RS-485, на більш ніж 210% під час живлення від шини 3.3 В, або на більш ніж 300% під час живлення від шини 5 В. Це дає змогу пристроям сімейства ADM3065E обмінюватися даними в мережах із великою кількістю віддалених вузлів на



**Рис. 8. Характеристики ADM3065E перевищують вимоги, що висуваються до драйвера шини RS-485, під час роботи в широкому діапазоні напруги живлення**



**Рис. 9. ADM3065E забезпечує високоякісний диференціальний сигнал під час передавання даних на наддовгих відстанях**

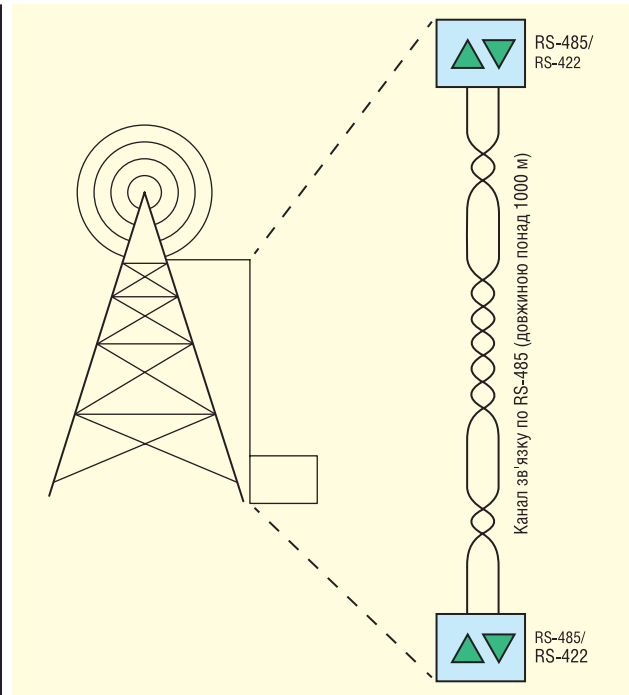
дальші відстані та з більшим запасом за шумом, ніж у стандартних приймачів-передавачів RS-485.

На рисунку 9 також продемонстровано цю перевагу приймача-передавача ADM3065E під час його роботи в мережі з довжиною кабелю понад 1000 м. Під час обміну даними стандартним кабелем AWG 24 приймач-передавач ADM3065E працює на 30% краще, ніж стандартний приймач-передавач RS-485, оскільки має на 30% більший запас за шумом на приймальному вузлі, інакше кажучи, він може працювати в мережі зі збільшеною на 30% довжиною кабелю за низьких швидкостей передавання даних. Завдяки таким характеристикам цей приймач-передавач може застосовуватися в обладнанні інфраструктури бездротового зв'язку, де довжина кабелю RS-485 перевищує кілька сотень метрів.

### ЗАХИСТ ВІД ЕМЗ І ЗАВАДОСТІЙКІСТЬ

Передавання сигналів по шині RS-485 є збалансованим, диференціальним і за своєю природою несприйнятливим до завад. Системний шум однаково накладається на сигнал кожного дроту крученої пари RS-485. Завдяки структурі кабелю з крученою парою наведені шумові струми течуть у протилежних напрямках, а електромагнітні поля, що наводяться на шину RS-485, нейтралізують одне одного. Завдяки цьому знижується електромагнітна сприйнятливість системи. Крім того, завдяки підвищеній амплітуді диференціальної напруги 2.1 В приймач-передавач ADM3065E забезпечує більш високе відношення сигнал/шум при обміні даними. Під час передавання даних на далекі відстані, наприклад на сотні метрів (рис. 10) між рівнем землі й антеною на базовій станції бездротового зв'язку, високе співвідношення сигнал/шум, а також високий рівень цілісності сигналу забезпечують точне та надійне керування нахилом/положенням антени.

Як показано на рисунку 1, для приймачів-передавачів RS-485, які здійснюють обмін даними із зовнішніми пристроями безпосередньо через роз'єми та кабелі, потрібен надійний захист від електромагнітних завад. Наприклад, дуже часто на незахищених роз'ємах RS-485 і кабелях, прокладених від енкадера до електропривода, виникає електростатичний розряд. У стандарті MEK 61800-3, що регламентує стійкість до електромагнітних завад для систем електроприводу з регульованою швидкістю, наведено вимо-

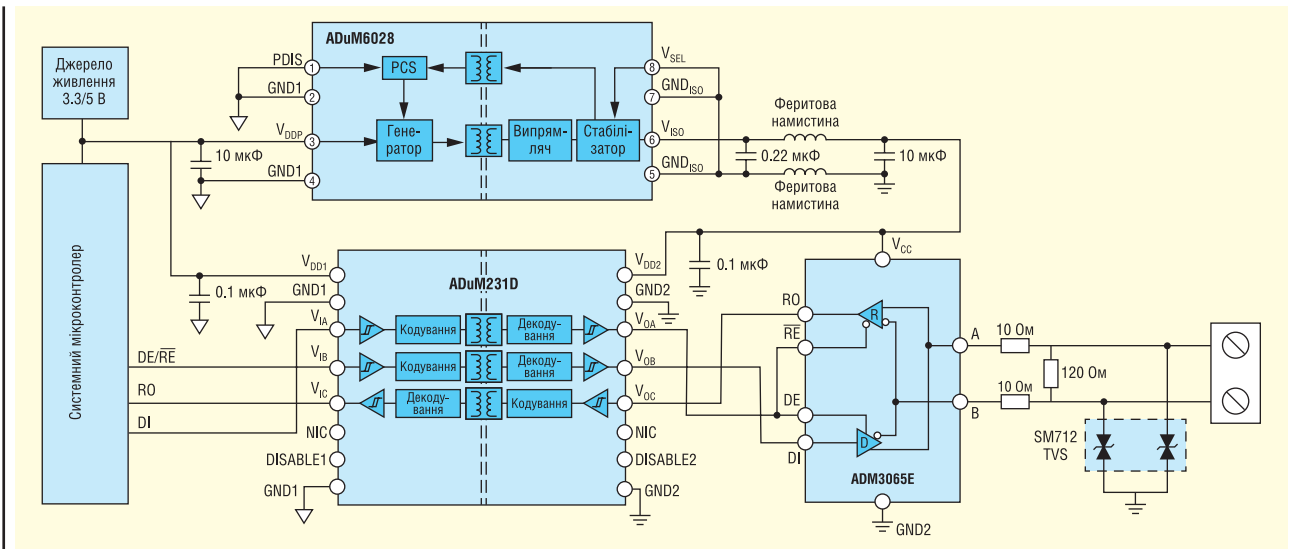


**Рис. 10. Довжина кабелю, що застосовується в інфраструктурі бездротового зв'язку, може досягати сотень метрів**

гу щодо забезпечення мінімального захисту від електростатичного розряду  $\pm 4$  кВ під час контактного розряду і  $\pm 8$  кВ під час розряду через повітряний проміжок відповідно до MEK 61000-4-2. Приймач-передавач ADM3065E перевершує ці вимоги, оскільки витримує  $\pm 12$  кВ під час контактного розряду і  $\pm 12$  кВ під час розряду через повітряний зазор відповідно до MEK 61000-4-2

Під час використання приймача-передавача в системах інфраструктури бездротового зв'язку потрібен посилений захист від електромагнітних завад для забезпечення його захисту від руйнівних грозових перенапруг. Завдяки застосуванню на входах ADM3065E TVS-діода SM712 і двох узгоджувальних резисторів опором 10 Ом можна підвищити рівень захисту від електромагнітних завад, а саме рівень захисту від електростатичного розряду зростає до  $\pm 30$  кВ згідно з MEK 61000-4-2, а рівень захисту від перенапруг становитиме  $\pm 1$  кВ згідно з MEK 61000-4-5.

Для підвищення завадостійкості під час застосування приймача-передавача в жорстких умовах систем керування двигунами, автоматизації процесів та інфраструктури бездротового зв'язку можна додати гальванічну розв'язку (рис. 11). Таку розв'язку для ADM3065E з посиленою ізоляцією і витримуваною перехідною напругою 5 кВ с.к.з. можна організувати з використанням компонентів на основі технологій iCoupler і isoPower компанії Analog Devices. Зокрема, ізолятор ADuM231D має три необхідних канали з гальванічною розв'язкою сигнальних ліній, які витримують 5 кВ с.к.з., і підтримує точні часові характеристики, що дають змогу цьому приймачу-передавачу надійно працювати на швидкостях до 25 Мбіт/с. Ізольований DC/DC-перетворювач ADuM6028 забезпечує гальванічну розв'язку шини живлення, що витримує напругу 5 кВ с.к.з. Дві феритові намистини використовують для відповідності вимогам стандартів електромагнітної сумісності, як-от EN 55022 класу B/CISPR 22, унаслідок чого виходить компактний ізольований DC/DC-перетворювач розміром  $6 \times 7.5$  мм.




**Рис. 11.** Закінчений приймач-передавач RS-485 із гальванічною розв'язкою каналів передавання сигналів і напруги живлення та захистом від електростатичних розрядів, швидких перехідних процесів і перенапруг

## ВИСНОВОК

Приймач ADM3065E компанії Analog Devices перевершує вимоги галузевих стандартів, забезпечуючи водночас швидше передавання даних на більші відстані порівняно зі стандартними приймачами RS-485. За рівня джиттера 10%, який регламентується в стандарті EnDat 2.2, ADM3065E дає змогу передавати дані з тактовою частотою 16 МГц кабе-

лем завдовжки до 20 м. Приймач ADM3065E перевершує вимоги, що висувуються до драйвера шини RS-485, на 300%, забезпечуючи кращу надійність і більший запас за шумом під час передавання даних довгими кабелями. Завадостійкість приймача-передавача можна покращити, якщо використовувати спільно з ним ізолятори на основі технології iCoupler, як-от ізолятор сигнальних ліній ADuM231D і найкомпактніший у галузі ізований DC/DC-перетворювач ADuM6028. **СН**




# SLD-150


## Нові тонкі лінійні драйвери потужністю 150 Вт

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

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



ИННОВАЦІЇ 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

# Екранування електромагнітних заваг: основні принципи

**Кріс Буркет (Chris Burket)**, провідний інженер з маркетингу, TDK Corporation of America  
**Адаптований переклад українською та технічне редагування:**  
**Олег Бевза**, ст. викладач, кафедра ЕПС, ФЕЛ, КПІ ім. Ігоря Сікорського

**В умовах сучасного ринку існує великий вибір різноманітних магнітних матеріалів, тому в кожному окремому випадку необхідно визначити, за яких значень частоти і рівні шуму починають виникати проблеми з електромагнітними завадами (ЕМЗ) та розуміти, як безпомилково обрати такі параметри матеріалів, що дають змогу придушити шум відповідно до чинних стандартів. У статті розглядаються основні питання екранування ЕМЗ.**

## ВСТУП

Можливо, читачам доводилося чути про тонкі гнучкі пластини, що являють собою магнітні екрани для придушення ЕМЗ. Можливо, ви бачили їх у лабораторії, вони як правило, чорного або сірого кольору, але іноді бувають екзотичного сріблястого кольору, що нібито зняті з таємничого літака, що розбився в Розвелі, штат Нью-Мексико, в 1947 році. Можливо, ви торкалися їх, чи навіть використовували. Але чи знаєте ви, як вони працюють, і чи використовувалися при цьому найбільш підходящі матеріали?

Все починається з магнітних матеріалів. Ці тонкі та гнучкі магнітні пластини використовуються в різних сферах:

- для придушення небажаних ЕМЗ (як таких, що випромінюються, так і наведених);
- для формування і спрямування магнітного поля (H) в технологіях NFC і RFID;
- для забезпечення екранування і оптимізації котушок в системах бездротового живлення на основі магнітної індукції і магнітного резонансу;
- для зменшення втрат від вихрових струмів в інших резонансних системах;
- для захисту від електростатичних розрядів тощо.

Без глибоких знань у матеріалознавстві або досвіду правильний ви-

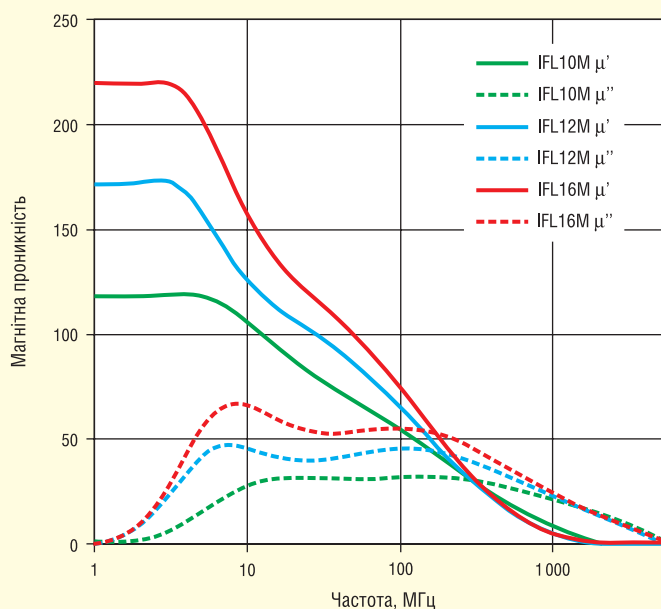
бір матеріалу може стати проблемою. У кожного застосування — свій набір ключових параметрів, наприклад, які частоти потрібно послабити або які частоти повинні мати найменші втрати.

Магнітні пластини виготовляються на основі металевих порошків, феритів, полімерів і металізованих матеріалів, причому матеріал кожного постачальника є унікальним. Кожен постачальник також може по-різному представляти дані про

міцність своїх матеріалів і цільове застосування, що часом залишає у потенційного користувача багато запитань.

Магнітні пластини розглядаються багатьма як «пластир» для придушення ЕМЗ, тобто вони використовуються лише, можливо, тимчасово, як швидке вирішення проблеми, коли всі інші рішення вичерпані. Справа в тому, що бувають випадки, коли традиційні рішення не працюють або їх реалізація займає занадто багато часу, і тоді «пластир» може бути найбільш економічно ефективним рішенням. Існують також випадки, коли необхідно використовувати магнітні пластини.

Ця стаття має на меті допомогти читачеві отримати необхідні для цього знання і зробити процес вибору магнітних пластин для придушення електромагнітних завад (через обмежений простір) простішим і ефективнішим.



**Рис. 1.** Графіки ілюструють криві  $\mu'$ ,  $\mu''$  для різних матеріалів

## ПРИНЦИПИ РОБОТИ

Для розуміння механізму придушення ЕМЗ (тобто послаблення небажаних сигналів, порівняно з технологіями NFC/RFID, де оптимізація потрібних сигналів і частот є ключовою) можна скористатися наступним рівнянням:

$$\mu = \mu' - j\mu'' \quad (1),$$

де  $\mu'$  — магнітна проникність матеріалу (пов'язана з його індуктивністю), а  $\mu''$  описує втрати в матеріалі (його опір) і є результатом зсуву фази, що виникає через зернисту структуру матеріалу. Обидва ці параметри змінюються залежно від частоти, а характер цих змін визначається типом матеріалу.

В тому випадку, коли потрібно придушити ЕМЗ, слід виходити з того, що велике значення  $\mu'$  призводить до більш ефективного екранування за рахунок обмеження або поглинання магнітного поля (H). При збільшенні  $\mu''$  вище придушення (або ослаблення) шуму завдяки втратам у матеріалі екрана.

Магнітна проникність визначає здатність матеріалу формувати всередині себе магнітне поле і утримувати магнітний потік. Таким чином, утримання більшого магнітного потоку дозволяє матеріалу з вищим значенням  $\mu'$  утримувати більшу частину небажаного випромінюваного магнітного поля всередині магнітного матеріалу та подалі від чутливих ділянок. Чим більше значення  $\mu''$ , тим більший опір відчуває зовнішнє магнітне поле. Його енергія трансформується в тепло і розсіюється всередині матеріалу екрана. На обидва ці параметри впливає склад матеріалу, густина, розмір зерен структури і форма.

Добротність (Q) матеріалу, показник, що описує здатність накопичення енергії відносно втрат в матеріалі і пов'язаний як з  $\mu'$ , так і з  $\mu''$  і задається формулою:

$$Q = \mu' / \mu'' \quad (2)$$

Для придушення ЕМЗ зазвичай вибирають матеріал з низькою добротністю, який має втрати на проблемних частотах і, таким чином, збільшує загасання на цих частотах. Це контрастує з NFC/RFID та іншими подібними резонансними малопотужними системами зв'язку, де акцент робиться на збільшенні добротності. Тому дуже важливо отримати криві  $\mu'$ ,  $\mu''$  для вибору найкращого матеріалу. Приклади кривих залежності магнітної проникності матеріалів від частоти показані на рисунку 1.

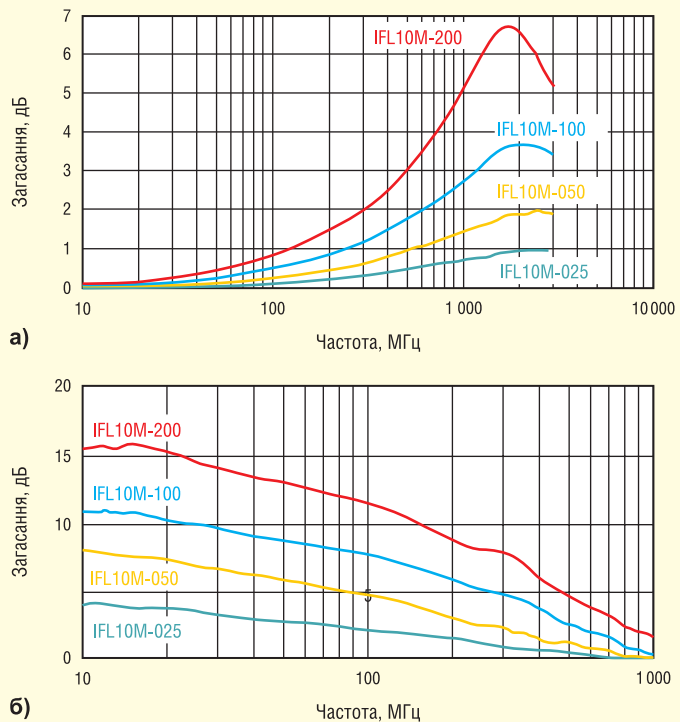


Рис. 2. Показані криві затухання при передачі (а) і при проходженні (б)

Як видно з рисунку 1, властивості матеріалів змінюються від низьких втрат і високої добротності при 1 МГц і до високих втрат ( $\mu''$ ) та низької добротності (отже, високого загасання), починаючи з 2–4 МГц і продовжуючи до 2–3 ГГц. Зазвичай такий широкий спектр загасання не потрібен, тому користувач може зосередитися на виборі найкращого матеріалу для кожної окремої проблемної частоти.

## ЕЛЕКТРИЧНІ ТА МАГНІТНІ ПОЛЯ

Іншим ключовим фактором є вплив напруженості магнітного (H) та електричного (E) полів. Напруженість магнітного поля для котушки індуктивності (звичайного генератора ЕМЗ в імпульсних джерелах живлення) задається як:

$$H = N \cdot I, \quad (3)$$

де N — число витків котушки; I — струм через котушку, А.

Зазвичай постачальники не вказують кількість витків у котушці індуктивності, як це зазвичай робиться для трансформаторів. Таким чином, користувач не завжди знає справжню напруженість магнітного поля. Для джерел живлення, які використовують більші струми, це створює як сильніші прогнозовані магнітні поля, так і більші, потенційно паразитні магнітні поля. У свою чергу,

це створює більший магнітний потік (густина, позначена як «В» на типовій кривій В-H), що впливає на магнітний екран.

Чим сильніше магнітне поле, тим кращим має бути екранування. Цього можна досягти або збільшенням  $\mu'$  у рівнянні (1) для утримання більшого магнітного потоку, або збільшенням фактичної товщини магнітного екрана. Ця залежність показана в наступній добротності:

$$Q = \mu' \cdot t, \quad (4)$$

де  $\mu'$  — магнітна проникність; t — товщина магнітної пластини.

На рисунку 1 крива червоного кольору, позначена як IFL16, що має найвище загасання, також має найвищу проникність ( $\mu' = 220$ ). Це дозволяє матеріалу краще утримувати енергію потоку. Вплив товщини екрана на ефективність екранування показано на рисунку 2.

На рисунку 2 числа 200, 100, 050 і 025 позначають товщину матеріалу в мікронах (мкм): наприклад, число 100 відповідає товщині 100 мкм. Збільшення товщини також означає, що збільшується маса магнітного матеріалу і він може підтримувати вищі рівні магнітного потоку. У певних випадках придушення ЕМЗ необхідно звертати увагу на значення густини магнітного потоку (Bs) матеріалу. Необхідно переконатися, що магнітний матеріал не насичується і не втрачає свою екрануючу ефективність

через зниження характеристик ослаблення і, таким чином, пропускає певний рівень енергії шуму.

Напруженість електричного поля визначається таким чином:

$$E = F/Q = kQ/D^2 = V/D, \quad (5)$$

де  $E$  — напруженість поля (N/C);  $F$  — кулонівська сила, Н;  $Q$  — величина заряду, Кл;  $k$  — електростатична постійна, що дорівнює  $8.99 \cdot 10^9 \text{ Н} \cdot \text{м}^2/\text{Кл}^2$ ;  $D$  — відстань між джерелом заряду і початком координат, м;  $V$  — напруга, В, на відстані  $D$ .

Очевидно, що чим вища напруга, тим сильніша напруженість електричного поля. Одне з ключових застосувань пластин для придушення ЕМЗ — це зменшення напруги, що індукуюється на інших компонентах, розташованих поблизу джерела напруги.

Чому на рисунку 2 показано два набори характеристик? У випадках, коли потрібно придушити електромагнітні завади, що генеруються провідниками друкованих плат, з'єднувальними кабелями або іншими сигнальними трактами, магнітні екрани накладають безпосередньо поверх цих провідних ліній.

На рисунку 2а представлено результати вимірювання імпедансу  $Z$  лінії передачі. Оскільки додавання магнітного екрана підвищує індуктивність  $L$ , індуктивний опір ( $X_L = 2\pi fL$ ) зростає з частотою, і його внесок в імпеданс збільшується. Отже, придушення зростає доти, доки частота не стане резонансною. Як видно з рисунка 2, у випадку з червоною кривою IFL10M-200 це значення перебуває в діапазоні 1–2 ГГц. Якщо замість магнітного екрана в сигнальний тракт встановити дросель, феритову кульку або мережевий фільтр, то змінна складова зменшиться, але збільшиться опір за постійним струмом, що не завжди бажано.

Характеристики на рисунку 2б належать до випадку екранування зовнішнього середовища від джерела завад. Магнітні пластини блокують або поглинають небажані ЕМЗ, забезпечуючи захист від небажаних завад. У цьому разі нема потреби встановлювати екран у безпосередній близькості до ділянки, що захищається.

## ПОГЛИНАННЯ ЧИ ВІДДЗЕРКАЛЕННЯ

З наявності фізичних обмежень на товщину екрана, що використовується для придушення ЕМЗ, варто ви-

рішити, чи варто пожертвувати ефективністю екранування (завдяки меншій товщині екрана), вибрати інші матеріали з кращими характеристиками або скористатися іншим способом екранування (наприклад, металевим корпусом). Тонший екран придушує завади меншою мірою, пропускаючи небажаний шум. Вибір такого рішення залежить від частоти та рівня шуму.

Як зазначалося вище, використання тоншого екрану дасть менше загасання і призведе до підвищення рівня небажаних електромагнітних завад, що проходять через нього. Чи є це проблемою? Це залежить від частоти та рівня енергії шуму. Ослаблення на кілька дБ може бути різницею між дотриманням і недотриманням нормативних вимог.

Інша проблема, що пов'язана з проходженням більшої кількості шуму, полягає в тому, що з іншого боку магнітного екрану є метал і цей шум може спричинити втрати на вихрові струми на поверхні металу і викликати проблеми з нагріванням. Це особливо актуально для імпульсних джерел живлення. Це відбувається не тільки на основних частотах перемикачів і гармоніках, але і на частотах на порядки вище через брязкіт увімкнення/вимкнення МОП-ключів.

У сучасних силових перемикачах, що застосовуються при набагато вищих частотах і напругах (і електричних полях) (наприклад, GaN і SiC), потенційний брязкіт знаходиться на набагато вищому рівні і протягом більш тривалого періоду часу. Якщо проблема насичення екрана не виникає, то для придушення завад обирають матеріал із вищим значенням параметра  $\mu''$ , що характеризує втрати, а не з більшим  $\mu'$ .

Частота — основна характеристика матеріалу, що визначає спосіб його застосування. Усі матеріали, характеристики яких представлено на рисунку 2б, повністю втрачають здатність придушувати ЕМЗ на частоті близько 1 ГГц. Для деякого придушення шуму на вищих частотах можна скористатися гібридним або спеціалізованим матеріалом. Для частот нижче 1 ГГц розробнику потрібно звернути увагу на дані (або щось подібне), що наведені на рисунках 1 і 2.

При виборі матеріалу також враховується вартість рішення. Очевидно, що у матеріалу більшої товщини або кращої якості вартість вища. Ціна матеріалів високого класу, «екзотичних» і гібридних матеріалів завжди вища за ціни на стандартні матеріали. Іноді розробник не має іншого вибору, окрім як використовувати матеріал з найкращими експлуатаційними характеристиками, і тоді вартість стає не такою значною проблемою.

## МЕТАЛЕВІ «БАНКИ» ТА ГІБРИДИ

В арсеналі розробників є альтернативні способи реалізації екранування. Металеві «банки» — відомий спосіб придушення шуму. Вони встановлюються над критичними областями плати, компонентами з високою чутливістю до ЕМЗ або над джерелами шуму. Хоча частина небажаного шуму поглинається металом, великий відсоток фактично відбивається; куди він потрапляє далі, вимагає більш ретельного аналізу (і місця в статті), щоб повністю зрозуміти.

Однією з головних переваг магнітних пластин є їхня здатність поглинати

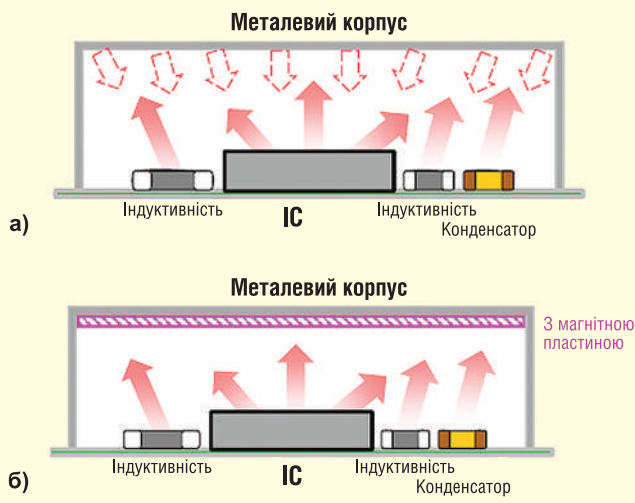


Рис. 3. Відсутність магнітного екрану дозволяє відбитій хвилі бути адитивною (а); магнітний екран поглинає відбиту хвилю (б)



енергію шуму і перетворювати її на тепло. Цією властивістю вони відрізняються від металевих банок. Таким чином, якщо на внутрішню поверхню металевих банок, розміщених над джерелами шуму, встановити магнітні пластини, можна ще більшою мірою придушити шум, що випромінюється.

Буває, що товщина магнітного екрана недостатньо велика для ослаблення електромагнітних завад до необхідного рівня. У такому разі рекомендується вибирати гібридні матеріали — магнітні пластини з металізованим шаром на зворотному боці. За такого способу екранування шум двічі проходить через магнітний шар (сигнал падає металеву підкладку, а потім відбивається від неї). Шум не тільки піддається подвійному ослабленню, а й укладається в клітку Фарадея, утворену металевим шаром, яка також забезпечує загасання сигналів. На рисунку 3 схематично показана металева банка з феритовим шаром.

У типових імпульсних джерелах живлення шум генерують не тільки дроселі та ключі, а й мікросхеми, конденсатори та інші компоненти схеми. У разі використання металевого корпусу (банки) завади відбиваються від металевої поверхні та знову надходять у схему, повертаючись до вихідного джерела шуму. Додавання магнітного екрана дає змогу кращою мірою придушити ЕМЗ. У цьому разі слід розраховувати значення  $\mu'$  і  $\mu''$  з урахуванням товщини магнітного екрана.

Існують випадки, коли необхідно знати величини  $\mu'$  і  $\mu''$  матеріалу з низькою добротністю. Одним з прикладів є бездротові магнітно-резонансні системи, де потрібне придушення ЕМЗ, а стабільна індуктивність є критично важливою. Якщо для досягнення кращої ефективності екранування використовується матеріал з високим значенням  $\mu'$  і знаходиться близько до силової котушки, магнітний зв'язок між нею та матеріалом може збільшити значення індуктивності резонансної котушки. У результаті, це може змістити резонансну частоту і знизити ефективність. У цьому випадку бажано мати низьке значення  $\mu'$ , але набагато вище  $\mu''$ .

Іншим подібним застосуванням резонансної енергії є використання металевого корпусу для запобігання випромінюванню електромагнітних хвиль. Якщо магнітне поле (потік) потрапляє в метал, це призводить до зменшення кількості ліній магнітного потоку в цьому полі і зменшення індуктивності, що в кінцевому підсумку змістить резо-

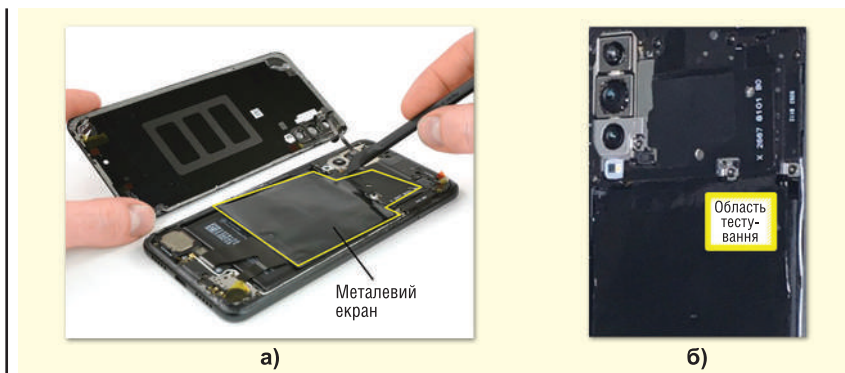


Рис. 4. Випробування смартфона (а); позначена тестована ділянка визначає розмір і розташування металевого екрана (б)

нансну частоту вище. У цьому випадку користувач повинен вибрати матеріал з більшою  $\mu'$ , щоб обмежити вплив на бажане магнітне поле, а не послаблювати це поле за допомогою високого значення  $\mu''$ .

#### ПРАКТИЧНЕ ЗАСТОСУВАННЯ

Для тестування було взято телефон Huawei P20 Pro. Цей телефон має

металевий екран, який захищає адресну шину та шину даних, що керують дисплеєм телефону (рис. 4а). Обведена жовтим кольором область показує розмір і розташування наявного металевого екрану.

Була обрана тестова ділянка (рис. 4б), і після демонтажу існуючого рішення було встановлено базову лінію за допомогою тестера електромагнітної сумісності ближнього поля. Потім вона була порівняна з:

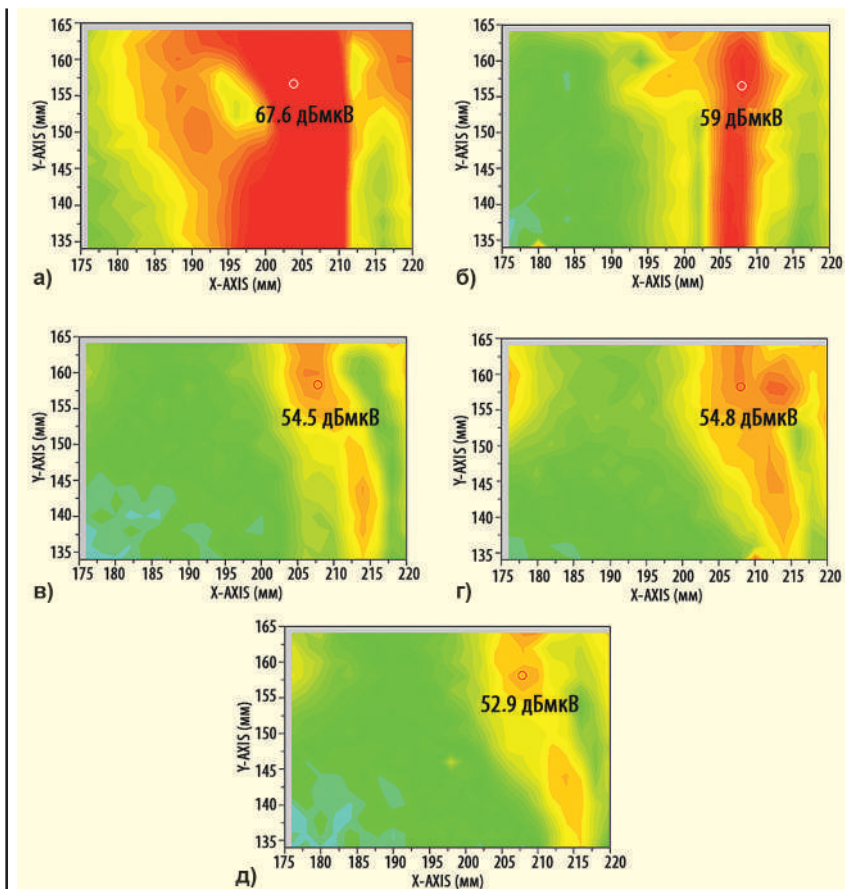
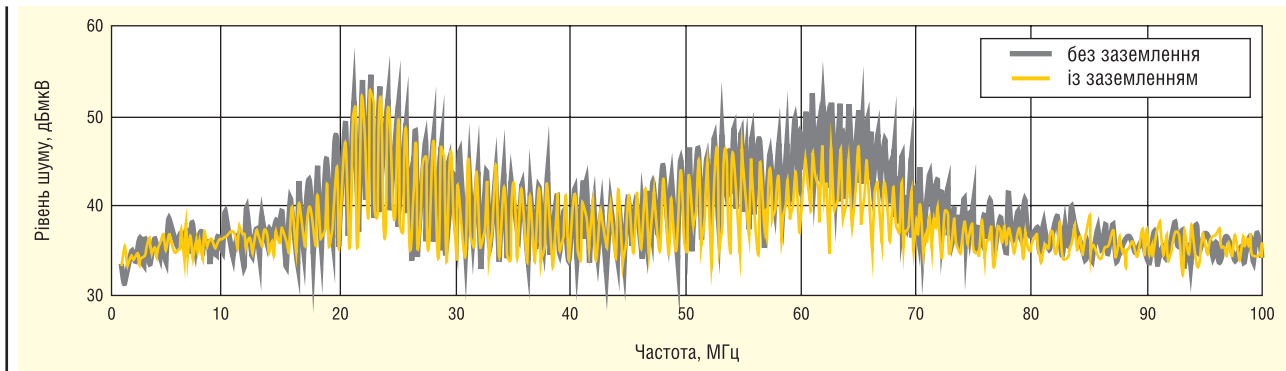


Рис. 5. Результати вимірювань рівня електричного поля наведені для рішень: без екрана (а); з використанням екрана (б); фериту і міді (в); пермалю без заземлення (г) і пермалю із заземленням (д)



**Рис. 6.** Результати придушення шуму наведені для пермалою із заземленням і без нього

- існуючим рішенням;
- гібридним рішенням ферит + мідь;
- рішенням без покриття з пермалою;
- рішенням з використанням заземленого пермалою.

На рисунках 5а–д показані результати вимірювань рівня електричного поля (дБмкВ).

Завдяки цим даним стають очевидними такі основні висновки. По-перше, магнітний матеріал дійсно впливає на вимірювану величину електричного поля і, таким чином, на рівень заганяння. По-друге, металевий шар дійсно дає змогу придушити ЕМЗ за допомогою матеріалу з фериту або пермалою. Нарешті, заземлення екрана підвищує ефективність екранування.

Пермалойні екрани, що використовувались у випадках наведених на рисунках 5г і 5д, були значно тоншими, в межах 20 мкм, ніж всі інші варіанти, які були в діапазоні від 50 до 100 мкм. Крім того, ці дані наведено для статичної частоти.

Якщо розглянути затухання по частоті, то стає ще більш очевидним, що на придушення електромагнітного шуму впливають багато факторів. Тому вибір магнітного матеріалу повинен бути оптимізований для кожного унікального застосування. Цей висновок ілюструється результатами, отриманими для двох рішень з використанням пермалою (див. рис. 6).

У цьому конкретному випадку придушення шуму значно покращується в діапазоні від 55 до 80 МГц. Просте заземлення магнітного екрану дозволяє зменшити рівень шуму в цьому діапазоні приблизно на 5 дБмкВ. На піковій частоті шуму, близько 22 МГц, спостерігається покращення на 2 дБмкВ. Необхідно вжити додаткових заходів для покращення цього показника, якщо стандарт відповідності вимагає додаткового ослаблення шуму. Таким чином значення без екрану і з наявним екраном на рисунках 5а–б мають піки шуму

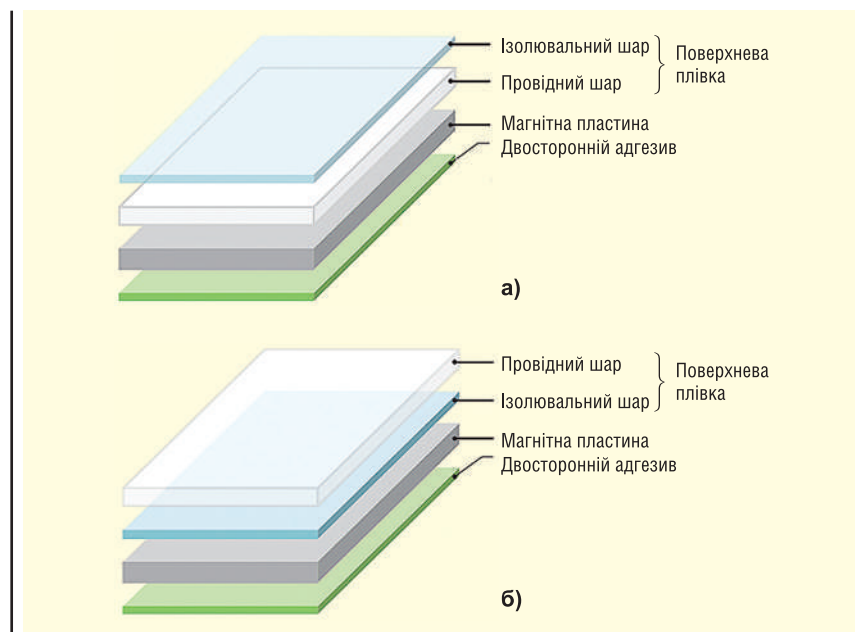
67.6 дБмкВ і 59.0 дБмкВ, відповідно, на частоті 22 МГц, які були зменшені до 52.9 дБмкВ за допомогою заземленого екрану з пермалою.

### ВПЛИВ ТЕМПЕРАТУРИ

При підвищенні температури поведінка магнітного матеріалу може змінюватися. Для автомобільних, промислових та інших подібних високотемпературних систем необхідно приділяти особливу увагу властивостям магнітного екрану. Три важливих фактори — це  $\mu'$ , густина магнітного потоку ( $B_s$ ), і температура Кюрі ( $T_c$ ). Величина  $\mu'$  повільно зростає зі збільшенням температури, а густина магнітного потоку зменшується. Це впливає на те, скільки магнітного потоку можна утримати в магнітному матеріалі. Якщо значення  $B_s$  суттєво зменшиться, то ефективність придушення ЕМЗ зміниться.

Температура Кюрі стає критичним фактором під час використання магнітних екранів за високої температури навколишнього середовища. Сукупна температура екрана визначається сумою температури довкілля та власної температури, що зросла внаслідок поглинання шуму під час його придушення. Перевищення температури Кюрі призводить до втрати матеріалом магнітних властивостей, що істотно позначається на ефективності екранування.

Оскільки в кожного матеріалу — своя температурна залежність, розробнику слід знати характеристики всіх магнітних пластин, що претендують на використання в системі, що проектується з урахуванням фактичних умов експлуатації. Крім того, робоча температура матеріалу не повинна наближатися до температури Кюрі.



**Рис. 7.** Для захисту поверхні, що проводить струм, часто використовується непровідний полімерний шар або альтернативний шар магнітного екрану: ізолювана поверхня (а); провідна поверхня (б)

## ІНШІ ФАКТОРИ

Часто розробники вважають за краще розміщувати захисні елементи безпосередньо на певній ділянці схеми або прикріплювати їх до неї. Це було «нормою» для магнітних пластин, оскільки вони, як правило, виготовлені з непровідних матеріалів (наприклад, фериту) або мають непровідну поверхню. Що стосується металевих банок, то завжди існує вимога чітко розуміння «вільної» зони та вимог до висоти.

Водночас під час використання спеціалізованих гібридних або металізованих магнітних пластин необхідно уникати можливості короткого замикання внаслідок небажаного контакту провідної поверхні з компонентами. З цією метою на ринку пропонуються пластини з непровідним полімерним шаром або багатшарові магнітні екрани з ізолююваною провідною поверхнею (рис. 7а і 7б).

У розробників є можливість забезпечити електричний контакт з екраном, особливо в конфігураціях із заземленням. У тих випадках, коли екран потрібно встановити безпосередньо над компонентами або на нижньому боці металевого корпусу, а проміжок дуже

малий для розміщення розглянутого додаткового екрана, використовують захисний ізолювальний шар.

## ВИСНОВКИ

У кожному окремому випадку потрібне своє рішення щодо придушення ЕМЗ. Як правило, раніше знайдені рішення не працюють наступного разу. Оскільки на сучасному ринку представлено чимало різних магнітних матеріалів, розробник має добре знати, на яких частотах і за яких рівнів шуму починають переважати проблеми з ЕМЗ, а також розбиратися, які параметри матеріалів впливають на придушення шуму, щоб забезпечити відповідність вимогам чинних стандартів.

Ще раз хочемо звернути вашу увагу на основні теми, які були розглянуті:

- Рекомендації щодо вибору матеріалу з втратами, а не матеріалу з високим коефіцієнтом добротності, який зазвичай використовується для пристроїв NFC/RFID.
- Значення  $\mu'$  і  $\mu''$  матеріалу можуть бути ключовим фактором у виборі правильного матеріалу.

- Вплив матеріалу екранування, його товщини та додавання шарів металізації.
- На прикладі було показано, що використання гібридного матеріалу ферит + металевий шар покращує загасання, а ще більше покращення можна досягти, зоземливши екран.
- Загалом, наявність металізованого шару забезпечує певний рівень покращення загасання, і це стає більш ефективним, коли частоти наближаються до діапазону ГГц.

Через постійні магніти може відбутися попереднє насичення екрана і, відповідно, знизитися його ефективність. Щоб уникнути цього, постійні магніти рекомендується встановлювати на деякій безпечній відстані від екранів. Діелектрична проникність, що є важливим параметром магнітного матеріалу і впливає на ефективність екранування ЕМЗ, в даній статті не розглядалася, оскільки вона є більш важливою для ефективності антени. Автор сподівається, що, як мінімум, тепер читач буде краще розуміти поведінку магнітних матеріалів і буде мати кращу відповідну точку в боротьбі з проблемами, пов'язаними з ЕМЗ.

CN



**Офіційний дистриб'ютор**

**BETTERFUSE**

You build electronics, We safeguard them!





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



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



**Захист від високої температури**  
(серія запобіжників та серія термостатів)



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



**Захист від перенапруги**  
(супресори обмежувачі електростатичного заряду та напруги)

**Тел. 044-3-922-911**  
E-mail: [sales.int@altwaygroup.com](mailto:sales.int@altwaygroup.com)

**Altway Electronics, Inc.**  
5970 Unity Drive Suite E,  
Norcross, GA 30071, USA  
[www.altwaygroup.com](http://www.altwaygroup.com)

# Параметри керування електрохімічними процесами у виробництві друкованих плат

**Аркадій Медведєв, д.т.н., професор**  
**Аркадій Сержантов, к.т.н.**  
**Катерина Шкундіна**

**Технічна революція «Індустрія 4.0», що наближається, змушує по-новому підходити до організації виробництва, зокрема до цифровізації виготовлення друкованих плат і хімічних процесів, що використовуються при цьому, які, однак, насилу піддаються впровадженню цифрових технологій у зв'язку з великою кількістю чинників керування, їхньою різноманітністю і тісною взаємозалежністю. Проте в технології випуску друкованих плат понад 70% припадає на частку саме хімічних процесів. Ось чому розмова про їхню цифровізацію актуальна, і автори мають намір обговорити насамперед ті параметри, якими потрібно керувати, щоб прийти до цифровізації електрохімічних процесів.**

## ЗОВНІШНІ ТА ВНУТРІШНІ ПАРАМЕТРИ КЕРУВАННЯ

Розглядаючи процеси керування, ми спираємося насамперед на сформовану практику керування гальванічними процесами, що поділяються на внутрішні та зовнішні. Внутрішні — ті, що є основою керування самим процесом. Наприклад, такими як склад ванни, густина струму, час осадження, температура, активація приелектродних просторів. Зовнішні параметри, зокрема пластичність і сучільність осадів, по суті не є параметрами керування, а лише ознаками успішності процесів, що змушують реагувати на ті чи інші властивості електрохімічних осадів.

## ОСНОВИ ЕЛЕКТРОХІМІЧНИХ ПРОЦЕСІВ ОСАДЖЕННЯ МЕТАЛІВ

### Густина струму

Електрохімічне (гальванічне) покриття — це результат відновлення металу електричним струмом з електроліту, що містить іони цього металу. Маса гальванічного осадку залежить від струму і часу і виражається законом Фарадея:

$$M = It/nF,$$

де  $M$  — маса металу, г;  $I$  — струм, А;  $t$  — час, с;  $A$  — атомна вага металу;  $n$  — число електронів, задіяних у відновленні іонів металу;  $F$  — постійна Фарадея (96 485 г/моль).

Осадження відбувається на катоді (негативному електроді). Відповідно, товщина осадження визначається часом і струмом, спрямованим до поверхні, на якій відбувається осадження металу, а використовуючи наведену формулу, можна легко розрахувати масу осадженого металу, розподілену на поверхні, що осаджується. Масу можна перерахувати в товщину покриття на відомій площі. Виходячи із закону Фарадея, розраховують швидкість осадження найпоширеніших металів (табл. 1).

За цими розрахунками для осадження осаду міді завтовшки 25 мкм знадобиться 1.88 А на  $\text{дм}^2$  протягом 1 год (60 хв). Однак разом із металом на катоді осідає і водень, як результат гідролізу води. Це явище у хіміків називається «вихід за струмом». Він ніколи не буває рівно 100%. Крім густини струму, а краще сказати напруги на електродах, вихід за струмом залежить від електрохімічного потенціалу металу, що осаджується, і складу електроліту. У таблиці 2 для прикладу показана ця залежність.

Технологам відомо, що чим менша густина струму, тим краща розсіювальна здатність. Але таке співвідношення не безмежне, осадження починається за певних значень струму, що забезпечує певні умови осадження, пов'язані з електрохімічним потенціалом металу, що осідає. Зменшення густини струму потрібне для поліпшення розсіювальної здатності

**Таблиця 1. Швидкість осадження найпоширеніших металів, виражена в грамах**

| Метал   | Маса, г за один А·ч | А·ч на $\text{дм}^2$ для осадження 25 мкм |
|---------|---------------------|---|
| Мідь    | 1.186               | 1.88                                      |
| Олово   | 2.214               | 0.82                                      |
| Свинець | 3.865               | 0.73                                      |
| Нікель  | 1.095               | 2   |
| Золото  | 7.348               | 0.65                                      |

**Таблиця 2. Електрохімічні еквіваленти і вихід за струмом за густини струму 2 А/дм<sup>2</sup>**

| Метал  | Електроліт            | Електрохімічний еквівалент, $E_e$ | Вихід за струмом, % |
|--------|-----------------------|-----------------------------------|---------------------|
| Нікель | Кислий                | 1.95                              | 95                  |
| Мідь   | Кислий, сірчанокислый | 1.186                             | 100                 |
| Золото | Ціаністий             | 7.357                             | 65                  |
| Золото | Залізоцинкостий       | 2.452                             | 99                  |
| Олово  | Станатний             |                                   | 80                  |
| Олово  | Станатний             |                                   | 95                  |
| Срібло | Роданісто-цинкостий   |                                   | 98                  |

електроліту і запобігання підгорянню міді. У технологіях друкованих плат із глибокими отворами практикою встановлено густину струму 2 А/дм<sup>2</sup>.

## ЗАГАЛЬНІ ПИТАННЯ МІДНОГО ГАЛЬВАНОПОКРИТТЯ ДЛЯ ДРУКОВАНИХ ПЛАТ

У структурі друкованих плат найширше використовується мідь. За низької вартості вона має високу електропровідність, міцність і пластичність. Легко осідає з простих розчинів і легко піддається травленню. Стандарти встановлюють, що гальванічно осаджена мідь повинна мати чистоту не менше 99.5%, товщину 25 мкм і пластичність 8%. У міру забруднення електроліту, що використовується, пластичність неминуче падає, але для металізації глибоких отворів вона не повинна бути меншою за 6%. Вимоги щодо забезпечення гарної пайки також вказують на необхідність товщини шару міді 25 мкм і гладких стінок отворів.

Процес гальванічної металізації зазвичай розглядається як етап, що визначає продуктивність процесу виготовлення друкованих плат. Гальванічне покриття міддю швидко стало обмежувальним фактором у забезпеченні обсягів виробництва. Металізація глибоких отворів за високого характеристичного відношення, відтворення провідників і зазорів шириною в 75 мкм, формування мікропереходів лазером, а також переходи на внутрішніх шарах змушують технологів шукати нові підходи до традиційних методів металізації.

Серед вимог до гальванічного осаду, окрім товщини, необхідно контролювати фізичні властивості обложеної міді, особливо міцність на розтягнення та подовження — так, щоб без руйнування плати могли витримувати нагрівання, що використовуються під час монтажу електронних збірок і надалі в процесі експлуатації. Ефективна система міднення повинна забезпечити осадження міді з міцністю на розтягнення в діапазоні 220–270 МПа і відносно подовження в діапазоні 10–25%.

### Активізація електроліту

Перемішування розчину є невіддільною частиною успішної металізації отворів. Перемішування погойдкуванням вважається найпоширенішим методом обміну розчину в прикатодному просторі та в отворах. Однак великий вміст в електроліті сірчаної кислоти робить його в'язким, що не сприяє продавленню електроліту в тонкі отвори. Тому додатково використовуються високопродуктивні циркуляційні ежекторні системи, які інтенсивно перемішують електроліт і активують обмін електроліту у внутрішній частині отворів.

### Різноманітність складів електролітів

У міру збільшення щільності між'єднань у конструкціях багат шарових друкованих плат використовуються глухі (не наскрізні) металізовані отвори як переходи з шару на шар. Склади електролітів ванн для заповнення переходів зазвичай містять високі концентрації міді (до 50 г/л металу) і низький вміст кислоти (приблизно 100 г/л). Такі процеси зазвичай застосовуються окремо тільки для заповнення мікропереходів. Для цього різновиду процесу характерне переважне осадження міді в отвори відносно міді, що осаджується на поверхню. Подібна різноманітність електролітів ускладнює виробництво, робить його погано керованим. Сьогодні патентовані складі електролітів з добавками є неодмінною умовою для заповнення отворів різного діаметру і глибини.

Типові системи містять спеціальні базові електроліти з вирівнювальними і блискоутворювальними добавками. Розроблені останнім часом процеси здатні одночасно металізувати наскрізні отвори і заповнювати переходи, хоча занадто велике характеристичне відношення обмежує ці можливості.

### Панельна металізація порівняно з металізацією за рисунком схеми

Панельна металізація (тентинг-процес) не передбачає формування рисунка, тому має однорідну геометрію поверхні; при добре відпрацьованому процесі металізації можна досягти менш ніж 10%-вої варіації товщини в межах поверхні заготовки і від однієї заготовки до іншої. Проблема полягає в тому, щоб домогтися гарної розсіювальної здатності й уникнути надмірної товщини міді на поверхні під час покриття стінок отвору завтовшки 25 мкм. Надмірна металізація поверхні обмежує відтворення тонких ліній і зазорів під час подальшого травлення рисунка.

Металізація за рисунком (комбінований позитивний метод), як і передбачається за назвою, відбувається після перенесення рисунка і, відповідно, є реальною проблемою для рівномірності процесу металізації. У цьому випадку геометрія провідної поверхні неоднорідна і може мати випадати у вигляді поодиноких трас і контактних майданчиків, з одного боку, а також суцільних областей ланцюгів живлення — з іншого. Це викликає велику диспропорцію в первинному розподілі струму, що може призвести до різномірності в два і навіть у чотири рази товщини мідного покриття на ізольованих ділянках порівняно з областями ланцюгів живлення.

Важкопереборна проблема, що постала перед гальванізацією друкованих плат із кислих електролітів, пов'язана з розподілом товщини покриття на поверхні заготовки (або в тентинг-процесі, або під час металізації за рисунком) і розподілом товщини покриття стінок отворів або переходів, вона зводиться до низької розсіювальної здатності цього методу. Якщо розсіювальна здатність електроліту становить 100%, тоді металізація стінок отвору шаром товщиною 25 мкм призведе до формування додаткового шару 25 мкм на поверхні. Розсіювальна здатність у 50% при досягненні покриття стінок шаром у 25 мкм призведе до 50-мкм товщини на поверхні, що обмежить здатності травлення рисунка під час тентинг-процесу та збільшить варіацію товщини покриття під час металізації за рисунком схеми.

Застосування мікропереходів, отворів маленького діаметра і вузьких ліній ускладнює процес металізації.

Добавки, що використовуються для отримання блискучого шару покриття міді з кислого електроліту, поділяються

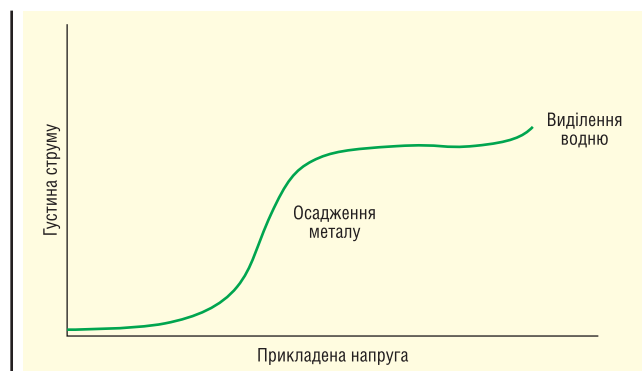
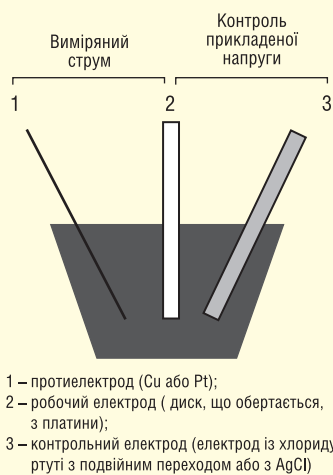


Рис. 1. Осадження міді з кислого електроліту: крива поляризації катода



1 – протиелектрод (Cu або Pt);  
2 – робочий електрод (диск, що обертається, з платини);  
3 – контрольний електрод (електрод із хлориду ртуті з подвійним переходом або з AgCl)

**Рис. 2. Осадження міді з кислого електроліту: метод отримання поляризаційної кривої — триелектродний елемент**

на три категорії: утворювачі кристалів, блискучий перетворювач і вирівнювальна добавка. Кожен компонент відіграє певну роль у регулюванні якості осаду. Криві поляризації, що показують сумарний струм під час збільшення напруги, використовуються для вивчення впливу різних компонентів на систему металізації та їхнього впливу на осадження металу.

На рисунку 1 зображено криву поляризації, на якій струм представлений залежно від напруги. Ці дані можна отримати від регулятора напруги, показаного на рисунку 2. У представленому випадку використовуються три електроди в розчині електроліту. Перший є протиелектродом і зазвичай виготовляється з міді або платини; другий слугує робочим електродом і являє собою обертовий платиновий диск; а третій електрод — контрольний (як, наприклад, електрод — із хлориду ртуті з подвійним

переходом). Напругу прикладають між робочим і контрольним електродами, а сумарний струм вимірюють між робочим електродом і протиелектродом. Це основа для циклічної вольтамперометрії. Обладнання для неї зазвичай використовується для аналізу дії добавок.

Уважний розгляд поляризаційної кривої виявить чотири окремі області (див. рис. 1):

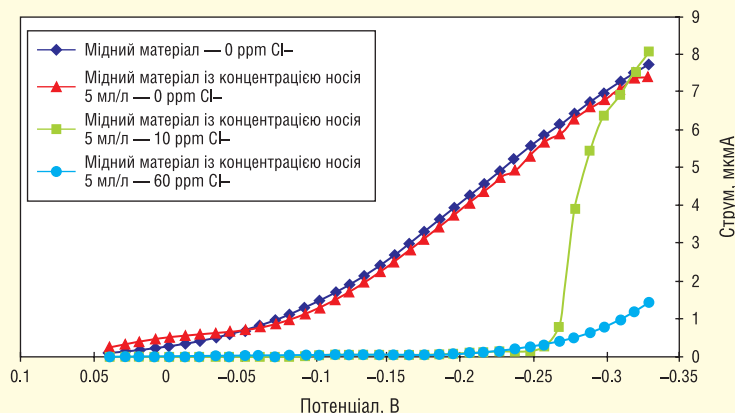
- Область низького струму. Тут спостерігається незначне збільшення струму при зростанні напруги.
- Область осадження металу. Це область, де спостерігається істотне збільшення струму при прикладеній напрузі.
- Область стабілізації густини струму. Ця область — горизонтальна ділянка кривої, на якій не спостерігається зростання струму при продовженні зростання прикладеної напруги.
- Область кривої «виділення водню». Ця область — остання.

Областю найбільшого інтересу, звичайно ж, є область осадження металу. Нахил цієї частини кривої поляризації може бути змінений (сповільнений або прискорений) за рахунок органічних і неорганічних добавок в електроліт.

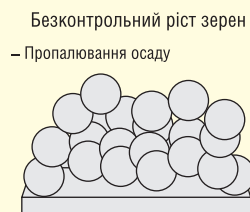
**Добавки-кристалоутворювачі**

Кристалоутворювачі являють собою склади з молекул поліоксидів з великою молекулярною вагою. На рисунку 3 показано результат їхньої дії на криву поляризації. Додавання тільки одного кристалоутворювача не змінює криву поляризації; однак, коли це здійснюється в поєднанні з 10 ppm іонів хлору, то спочатку спостерігається помітне гальмування процесу осадження, яке зникає при подальшому підвищенні напруги.

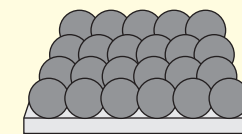
За 60 ppm іонів хлору сповільнення затягується; в результаті для отримання



**Рис. 3. Вплив концентрації іонів хлору на поляризаційну характеристику електроліту міднення з добавкою-кристалоутворювачем (носієм)**



**Безконтрольний ріст зерен**  
– Пропалювання осаду



**Кристалоутворювач**  
– Поглинання поверхню  
– Зміщує потенціал розкладання в більш негативний бік  
– Забезпечує впорядкований ріст

**Рис. 4. Вплив добавки-кристалоутворювача (носія) на кристалічну структуру осажденої міді**

необхідної сили струму потрібно докласти більше напруги.

Сповільнення є результатом дії кристалоутворювача на дифузійний шар, який також називають подвійним шаром Гельмгольца. Добавка сорбується поверхнею катода, що викликає збільшення товщини дифузійного шару. Результатом стає поліпшена кристалічна структура.

Це призводить до осадження металу з більш компактною структурою зерна (рис. 4). Змінений добавкою дифузійний шар також покращує розподіл товщини металізації та розсіювальну здатність, не пропалюючи при цьому осаду.

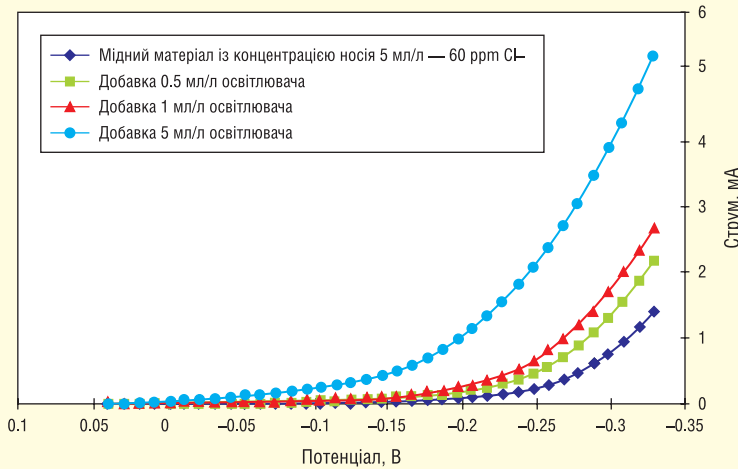
**Добавки-блискоутворювачі**

Для блискоутворення зазвичай застосовують склади з молекул дисульфідів з низькою молекулярною вагою, що мають загальну структуру R-S-S-R. Групи R є органічними молекулярними групами і змінюються від однієї системи блискоутворювача до іншої. На рисунку 5 показано вплив блискоутворювача на криву сповільненого зростання поляризації. Здебільшого блискоутворювальні добавки збільшують силу струму та зменшують сповільнення зростання поляризації.

Блискоутворювач відіграє ключову роль у визначенні фізичних властивостей осажденного металу. Він є очищувачем зерен і в цій якості має прямий вплив на фізичні властивості осажденного металу, такі як міцність на розтягнення і питоме подовження.

**Вирівнювальні добавки**

Вирівнювальні добавки використовуються для зменшення градієнта струму



**Рис. 5. Вплив концентрації блискоутворювача (освітлювача) в електроліті міднення на криву поляризації**

високої густини, який є неминучим на високих точках або гострих краях поверхні, що металізується. Прикладом може слугувати ефект «собачої кістки», що спостерігається на мікрошліфах отворів.

Вирівнювальні добавки належать до класу складів, зазвичай ароматичних, які поглинаються переважно на високих точках текстури шару, що осаджується, завдяки збільшеному масопереносу на ці місця.

Поглинання вирівнювальних добавок в таких областях створює локалізоване сповільнення осадження, дозволяючи металізації в областях з низькою густиною струму піднятися над рівнем з високою густиною, тим самим виробляючи ефект вирівнювання.

### Металізація струмом низької густини

Один з простих способів отримати гарний розподіл полягає у використанні системи міднення з кислот електролітів з низькою густиною струму, яка спеціально призначена для виготовлення осадженого шару металу з необхідними фізичними властивостями. Деякі виробництва нині металізують плати за густини струму 0.6–0.8 А/дм<sup>2</sup> за період часу 4–6 год. Це забезпечує хороший розподіл металізації.

Електроліти для металізації струмом низької густини відрізняються зниженою концентрацією міді та підвищеною концентрацією сірчаної кислоти (табл. 3). Комплект добавок-кристалотворювачів і блискоутворювачів спеціально підбирають для роботи за низької густини струму.

Цей спосіб, однак, значно зменшує продуктивність технологічної лінії металізації і збільшує витрати на кожну заготовку. Але в міру зростання частки

плат із тонкими глибокими отворами потреба в цьому варіанті металізації стає очевидною.

### Імпульсна металізація (нестационарний процес)

У цій системі металізації використовується напрямок струму, що періо-

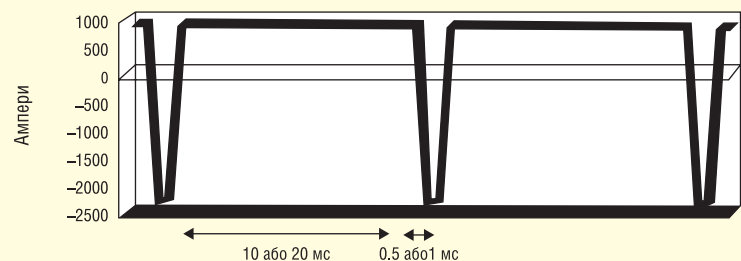
дично змінюється з прямого на протилежний. Випрямляч створює імпульс із прямим катодним струмом, який чергується з короткими анодними імпульсами. Прямий струм (наприклад, 3 А/дм<sup>2</sup>) підтримується протягом 10 мс, а потім змінюється на протилежний (наприклад, 9 А/дм<sup>2</sup>), скажімо, на час 0.5 мс. Робочий цикл може змінюватися (зокрема, 20 мс у прямому та 1 мс у зворотному напрямку).

Залишається ще можливість оптимізації відношення часу протікання прямого струму до часу протікання зворотного струму; 1:3 є лише одним із прикладів. Також велике значення має форма хвилі. Квадратна хвиля з мінімальним часом наростання імпульсу забезпечує найкращі результати (рис. 6).

Постачальники хімічних реагентів розробили спеціальні комплекти добавок, які забезпечують максимальний відгук на імпульсне живлення ванни. Під час зворотного циклу добавка переважно сорбується на ділянці з високою густиною струму. Це призводить до меншої швидкості металізації на місцях зосередження вирівнювальної добав-

**Таблиця 3. Особливості процесів металізації з різними густинами струму**

| Робочі параметри металізації      | Металізація струмом низької густини    | Металізація з традиційними густинами струму | Високошвидкісна металізація |
|-----------------------------------|--|---|-----------------------------|
| Мідь                              | 7.5–15 г/л                             | 15–20 г/л                                   | 50–60 г/л                   |
| Сульфат міді                      | 30–60 г/л                              | 60–90 г/л                                   | 200–250 г/л                 |
| Сірчана кислота                   | 180–240 г/л                            | 160–210 г/л                                 | 40–60 г/л                   |
| Хлорид                            | 40–80 ppm                              | 40–80 ppm                                   | 40–80 ppm                   |
| Добавки                           | За необхідності                        | За необхідності                             | За необхідності             |
| Температура                       | +24...+30 °С                           | +20...+30 °С                                | +24...+37 °С                |
| Катодна CD                        | 0.5–1.5 А/дм <sup>2</sup>              | 2–4 А/дм <sup>2</sup>                       | 4–15 А/дм <sup>2</sup>      |
| <b>Аноди:</b>                     |  |   |                             |
| Тип                               | Пластини або кошики                    |   |                             |
| Склад                             | Розкислена фосфором мідь 0.04–0.06 % Р |   |                             |
| Мішки                             | Пропілен                               |   |                             |
| Гачки                             | Титан                                  |   |                             |
| Довжина                           | На 50 мм заглиблені в електроліт       |   |                             |
| Анодна густина струму             | 25–50% к катодної                      |   |                             |
| <b>Властивості мідного осадку</b> |  |   |                             |
| Склад                             | 99.8% (99.5% min)                      |   |                             |
| Подовження                        | 10–25% (6% min)                        |   |                             |
| Міцність на розтяг                | 270–340 МПа                            |   |                             |



**Рис. 6. Епіюра імпульсного струму живлення гальванічної ванни**

ки. Оскільки області з низькою густиною прямого струму отримують нижчий імпульс зворотного струму, то швидкість осадження тут знижується меншою мірою, ніж в областях з високою густиною струму. Це призводить до значного поліпшення розподілу товщини металізації.

Найчастіше відмінність товщини осадженого шару металу ізольованих поверхонь і шарів живлення може досягати понад 13 мкм. Цей ефект настільки потужний, що звичайним явищем стала розсіювальна здатність, що перевищує 100%.

Реверсивна імпульсна металізація забезпечує дивовижне поліпшення в розподілі товщини шару міді, що осідає, далеко за межами можливостей, які зумовлюються дією вирівнювальних добавок. Безсумнівно, це прорив у майбутнє, оскільки плати з високою щільністю міжз'єднань стають дедалі складнішими. Однак ця технологія передбачає капіталовкладення для імпульсного випрямляча, який може коштувати в п'ять-шість разів дорожче, ніж еквівалентний йому випрямляч постійного струму. Вона також передбачає накопичення інженерно-технічного досвіду для узгодження нових параметрів (відношення прямого і зворотного струму, робочого циклу, густиною струму, а також форми імпульсу), щоб відповідати очікуваним технічним вимогам до металізації складних плат.

### Ключові фактори, що визначають рівномірність металізації

Для того, щоб отримувати пластичні, міцні шари міді рівномірної товщини, необхідно керувати процесом таким чином:

- Забезпечувати функціонування обладнання, використовуючи у ваннах рівномірний барботаж або (краще) ежекторні системи, рівну відстань між анодом і катодом, з'єднання з випрямлячем на обох кінцях штанг і якомога нижчий контактний опір між джерелом струму й катодами.
- Підтримувати у вузькому інтервалі концентрацію всіх хімічних складових, включно з органічними мінеральними добавками.
- Проводити періодичну обробку електроліту активованим вугіллям.
- Підтримувати температуру в діапазоні +21...+30 °С.
- Підтримувати чистоту електроліту: видаляти забруднення з розчину від попередніх очищувачів, травильного розчину і неочищених хімічних реактивів.

Розподіл товщини шару металізації для використовуваного процесу металізації та електроліту можна оцінити таким чином. Застосовується нефольгований або оголений склоепоксидний діелектрик, насамперед на нього наносять тонкий шар хімміді. Потім заготовку занурюють у випробувану гальванічну ванну і металізують за досліджуваного режиму шаром 0.2–0.3 мкм (зазвичай протягом 1/100 тривалості всього циклу металізації). Заготовки поміщують у травильний розчин, поки 60–80% міді не буде витравлено. Потім заготовки витягують і перевіряють. Мідь залишатиметься там, де є струм високої густини. Цей метод корисний для оптимізації геометрії ванни, особливо місця розташування анода і заготовки (катада) на підвісці, а також у проектуванні рамок і екранування для найкращого розподілу товщини осадження.

Розподіл товщини осадженої міді для конкретного рисунка схеми може бути вивчено аналогічним способом. Після нанесення хімічної міді формується рисунок із фоторезисту. Метал осідає протягом обмеженого часу до отримання тов-

щини 0.2–0.3 мкм. Резист знімають із заготовки, а заготовку поміщують у травильний розчин, доки 80% усієї міді не буде видалено. Мідь залишатиметься там, де має місце струм високої густини.

## КИСЛІ СІРЧАНОКИСЛІ ЕЛЕКТРОЛІТИ МІДНЕННЯ І ПАРАМЕТРИ КЕРУВАННЯ

Найчастіше в технологічних процесах виготовлення друкованих плат використовують розчини сульфату міді в сірчаній кислоті, що додатково містять іони хлору та органічні добавки.

### Приготування розчину за густиною струму

Застосування належних добавок дає змогу отримувати дрібнозернистий шар міді з межею міцності на розрив у 340 МПа, мінімальною пластичністю в 10% і відношенням товщини шару на поверхні до товщини шару на стінках отворів, що дорівнює 1.2 (табл. 2).

### Експлуатація та контроль

- Перемішування. Повітря, що надходить із магістралі, не повинне містити мастила і мати температуру +20...+25 °С. Або (переважно) для перемішування застосовуються ежектори.
- Фільтрація. Здійснюється в безперервному режимі через фільтр з осередком 3–10 мкм з контролем прозорості розчину і однорідності осаду.
- Обробка активованим вугіллям. Нові ванни з гарантовано чистих реагентів не потребують очищення активованим вугіллям. Циркуляція через фільтр із вугільним набиванням рекомендується для видалення органічних забруднень. На необхідність повної обробки активованим вугіллям усієї ванни вказують розтріскування в кутах після пайки оплавленням, тьмяні, рожеваті опади, а також димка, гало або накиди навколо отвору. Обробку активованим вугіллям слід проводити через кожні 300 А·ч з розрахунку на 1 л електроліту. Далі наводиться опис процедури обробки активованим вугіллям:
  - відкачати електроліт у бак для зберігання;
  - очистити поверхні і дно гальванічної ванни від нашарувань і осаду;
  - промити й очистити ванну;
  - промити 10%-вим розчином  $H_2SO_4$ ;
  - відрегулювати мішалки;
  - очистити аноди;
  - нагріти електроліт до +50 °С;
  - приготувати 0.5–1 л перекису водню (35%) на 100 л розчину. Додати в електроліт;
  - перемішати за допомогою повітря або просто перемішувати протягом 1 год;
  - підтримувати температуру +50...+60 °С;
  - додати 0.5 або 1 кг порошкового або гранульованого вугілля на 100 л розчину. Перемішувати 1–2 год;
  - профільтрувати і закачати очищений електроліт у робочу ванну відразу або поступово протягом 4 год;
  - проаналізувати і відрегулювати склад електроліту;
  - виконати фіктивну металізацію при 1 А/дм<sup>2</sup> протягом 6 год. Заготовки повинні вийти матовими і тьмяними. Приєднати до електроліту добавки;
- дотримуватися інструкцій постачальника компонентів електроліту і почати робочий процес.



- Забруднювачі. У загальному випадку мідний реактив і кислоти допускають наявність у них органічних і мінеральних забруднень. Органічні залишки можуть з'явитися від матеріалів для чищення, резисту і певних сірчанних складів. Вміст металів не повинен перевищувати таких значень: хрому — 25 ppm; олова — 300 ppm; сурми — 25 ppm. Нікель, свинець і миш'як також можуть викликати шорсткість та інші проблеми.

### Засоби керування технологічним процесом

- Склад розчину ванни:
  - Сульфат міді є джерелом металу. Низький вміст міді призведе до пропалювання осаду; високий — до утворення шорсткості та зниження відношення товщини шару міді, що осаджується на стінках отвору, до товщини шару на поверхні плати або розсіювальної здатності.
  - Сірчана кислота збільшує провідність розчину, надаючи можливість застосування вищої сили струму за низьких напруг.
  - Однак надлишок сірчаної кислоти знижує швидкість металізації, тоді як низький вміст кислоти зменшує відношення товщини покриття стінок отвору до товщини покриття поверхні плати (розсіювальної здатності).
  - Вміст іонів хлору (Cl<sup>-</sup>) слід підтримувати на рівні 60–80 ppm. Нижче 30 ppm шар, що осідає, буде тьмяним, борознистим, грубим і східчастим. Понад 120 ppm осаджуваний шар буде грубозернистим і тьмяним. Аноди виявляються поляризованими, що призведе до припинення металізації. Надлишки хлору зменшують розведенням розчину у ванні.
  - Для забезпечення стійкої якості плат дуже важливим є аналіз додаткових компонентів і контроль їхнього вмісту. Первинним засобом аналізу є поляризаційна крива, а елемент Хулла залишається корисним допоміжним інструментом. Надлишок або нестача добавок може спричинити пропалювання металу, що осаджується, і розтріскування металізації на кутах отворів. Це можна оцінити шляхом металографічного поперечного зрізу (шліфа) і його підтривлення для виявлення кристалічної структури і тонких розривів. Осаджений метал оптимальної якості має дрібнозернисту та ізотропну структуру (непрямовану), а також не проявляє шаруватих або стовпчастих структур.
  - Що стосується якості води, використання деіонізованої води та реагентів без забруднень і з низьким вмістом хлору та заліза забезпечить можливість додаткового поліпшення якості металізації.
  - Температура. Оптимальна розсіювальна здатність досягається за кімнатної температури (тобто за +20...+25 °C). Нижча температура викликає крихкість, пропалювання і тонкий шар осаджуваного металу. Вища температура призводить до димчастості в областях з низькою щільністю струму і зменшення розсіювальної здатності. Спекотним літом або при важких навантаженнях може знадобитися охолоджувальний змійовик.
  - Швидкість осадження. Шар міді завтовшки 25 мкм осідає за 54 хв при 2 А/дм<sup>2</sup> і за 21 хв при 5 А/дм<sup>2</sup>.
  - Елемент Хулла. Робота за 2 А виявить наявність органічних забруднень, забруднення хлором і загальний стан ванни. Однак оптимальним чином металізована панель в елементі Хулла дає лише слабе відображення того, в якому саме експлуатаційному стані перебуває ванна,

оскільки результати випробувань не завжди пов'язані з виробничими проблемами.

### Результати аналізу за мікрошліфами: усунення неполадок

Виготовлення мікрошліфів дає хорошу інформацію про стан міді, яка демонструє якість металізації наскрізних отворів, в термінах технологічних факторів. Крім уявлення про загальну якість, поперечні зрізи надають відомості про товщину і можливі проблеми, як-от розтріскування, каверни, каверни, які виникають під час свердління, та розмазування по стінках отворів сполучного матеріалу. Осадження міді з колончатою або пластинчатою структурою вказує на низьку якість мідного шару. Поперечні перерізи оптимального осадження міді демонструють дрібнозернисту структуру та ізотропність (непрямовану) кристалічної структури, що виявляється під час підтривлення шліфа.

### Осадження міді низької якості

Це може бути викликано такими обставинами:

- Недостатні або надлишковими добавками.
- Вмістом хлору поза допустимими межами (тобто занадто високий або занадто низький).
- Органічне, металеве або сірчане (гіосечовинне) забруднення.
- Надмірні пульсації випрямляча прямого струму (понад 10%).
- Низький вміст міді через незбалансованість складу ванни.
- Шорсткість під час свердління, утворення порожнин або інші проблеми, які були внесені на більш ранніх етапах обробки.

### Розриви металізації та пластичність

Стійкість до розривів перевіряється таким чином:

- Розплав припою. Пайка хвилею припою і подальший металографічний аналіз є дуже інформативними методами оцінки пластичності осаджень.
- Подовження. Мідна фольга товщиною 50 мкм повинна мати здатність до подовження більш ніж на 10%. Мідь, одержувана з кислих електролітів, повинна мати здатність до подовження на 10–25%. Періодичний контроль надає можливість підтримувати процес на належному рівні.
- Випробування на плаву в розплавленому припої. Це випробування включає попередню термообробку і флюс за допомогою 5–20-с плавання на поверхні розплавленого припою (Sn:Pb = 60:40) за температури +270 °C, після чого роблять металографічний аналіз.
- Випробування мідної репліки на розрив. У цьому тесті вимірюється межа міцності на розтягнення, виконується продавлюванням мідної репліки під дією високого тиску.
- Пульсації постійного струму. Високі значення пульсації випрямляча (8–12%) можуть призвести до осадження міді низької якості та поганого розподілу товщини поверхневого покриття.

### Зовнішній вигляд

Під час електролізу мідь має напівматовий вигляд за всіх щільностей струму. Нерівність поверхні, димчастість або тьмянний осаджений шар, розтріскування, гало навколо отворів і області з низькою щільністю струму вказують на наявність органічного забруднення. Якщо це триватиме, слід провести обробку активованим вугіллям. Пропалені, тьмянні осаджені шари за струмів високої густини вказують на низький вміст до-

бавок, забруднення, незбалансованість розчину або низьку температуру ванни. Якщо за високої густини струму виходять тьмяні, грубозернисті осадки міді, це означає незбалансованість іонів хлору.

Коли вміст хлору високий або надто низька температура ванни, це може призвести до надмірного окислення анодів і їх поляризації (зниження струму). Зменшена розсіювальна здатність (відношення товщини покриття стінок отворів до товщини покриття поверхні плати), зменшена провідність ванни або металізація низької якості також можуть вказувати на наявність забруднення та усуваються наступним чином:

- Підтримка балансу розчину і вмісту хлору в діапазоні 60–80 ppm.
- Безперервне пропускання розчину через фільтр, періодичне пропускання через картридж з активованим вугіллям або дозована обробка активованим вугіллям.
- Аналіз органічних добавок за допомогою поляризаційної кривої або елемента Хулла.
- Перевірка забруднення металом раз на три місяці.
- Підтримка температури в діапазоні +20...+25 °С.
- Щоденна перевірка анодів і заміна мішків і фільтрів (промивка гарячою водою) раз на три-чотири тижні.

**Проблеми**

У таблиці 4 перераховані проблеми, які з'являються після електролітичного осадження міді. Показано дві групи, при цьому перша група легко корелює з процесом міднення. Тонкий, грубий шар

міді в наскрізних отворах також може бути представлений дегазацією і кавернами під час пайки хвилею припою.

**ЛАБОРАТОРНЕ КЕРУВАННЯ ПРОЦЕСОМ**

До лабораторних досліджень, що застосовуються для керування гальванічними покриттями, належать традиційний хімічний аналіз, сучасні інструментальні методи, металографічні шліфи та елемент Хулла.

**Традиційний хімічний аналіз**

Традиційні методи хімічного аналізу металевих і неметалевих складових гальванічних розчинів можна отримати у постачальників і знайти в літературі. Ці методи застосовують рН-метри, іонні електроди, спектрофотометри та флуоресцентний рентгенівський аналіз.

**Сучасні інструментальні методи**

Для контролю органічних добавок під час гальванічного покриття мідю були створені нові методи аналізу. Безперервно тривають розробки в галузі вимірювань таких добавок у розчинах нікелю, золота й олова. Серед застосовуваних методів можна відзначити рідку хроматографію, спектрофотометрію, іонну хроматографію, персульфатне окислення і полярографію. За допомогою цих методів вдається виявити забруднення в різних технологічних процесах, і вони можуть вказати на необхідність проведення обробки активованим вугіллям. У таблиці 5 пе-

| Метод                                      | Склад                       |
|--|-----------------------------|
| Циклічна інверсійна вольтамперметрія       | Органіка та неорганіка      |
| Рідинна хроматографія в УФ-видимій ділянці | Органіка та неорганіка      |
| Іонна хроматографія                        | Іонні сполуки               |
| Полярографія                               | Органіка та неорганіка      |
| Іонобірковий електрод                      | Іони металів, неметали      |
| Флуоресцентний аналіз                      | Метали, неметали            |
| УФ-окислення                               | Загальний вміст вуглеводнів |

релічено методики, які мають великий вплив на можливість виконання гальванічного покриття.

**Металографічний аналіз**

Метод дослідження поперечних перерізів друкованих плат полягає в наступному:

- Вирізання купона. Видалить частину плати або збірки, що піддається обробці, шляхом вирізання або випилювання (фрезерування).
- Прецизійне різання купона. Виконайте повільне розрізання купона за допомогою алмазної пилки вертикальних перерізів розміром приблизно 25–30 мм по лінії отворів.
- Монтаж. Встановіть вирізаний зразок вертикально в спеціальну форму і залийте розчином, що твердне (епоксидною смолою або акрилатом).
- Тонке шліфування. Ручне шліфування із застосуванням послідовно 240, 320, 400 і 600 зернистості наждачного паперу на основі карбиду кремнію.
- Промивання. Промивайте зразок між шліфуваннями.
- Полірування. Алмазне полірування (6 мкм) на нейлоновій тканині та алюмінієве полірування (0.3 мкм) на ворсистій тканині на обертовому диску. Для полірування зразка помістіть його на обертовий диск полірувального верстата і повільно переміщайте по диску. Полірування виконується протягом 4 хв при використанні 6-мкм алмазної крихти на нейлоні і 1 хв з 0.3-мкм алюмінієвою пастою на ворсистій тканині. Між двома полірувальними складами зразок слід очищати і висушувати.
- Травлення. Накладіть на 2–5 с ватні аплікатори, змочені в розчині, що складається з рівних частин нашатирного спирту і 3%-ного перекису водню. Промийте у воді та ретельно висушіть.
- Документування. Огляньте і сфотографуйте зразок за допомогою мікроскопа при збільшенні 30–150х.

| Дефекти формування шару міді          | Причина   |
|---------------------------------------|---|
| Розтріскування кутів                  | Надлишок добавок, органічне забруднення розчину   |
| Глобули                               | Наявність у розчині зважених частинок, що утворилися під час свердління і видалення задирок |
| Розподіл товщини                      | Інформацію подано в розділі «Ключові фактори, що визначають рівномірність металізації»      |
| Тьмяність                             | Розбалансованість розчину, органічні забруднення  |
| Неоднакова товщина металізації        | Забруднення органічною сіркою (тіосечовиною)  |
| Утворення раковин                     | Неправильна добавка, неправильний електроліз або попередня обробка                          |
| Стовпчастий осад                      | Низький вміст добавки, несправність випрямляча  |
| Східчаста металізація, вузли          | Надлишок добавки або неякісна добавка   |
| Дефект, загальний процес виробництва  | Причина   |
| Порожнини під час травлення           | Несправності на етапах електролізу міді, а також попереднього очищення                      |
| Розмазування смоли на стінках отворів | Виникають під час свердління і через невідале видалення розмазаності                        |
| Шорсткість                            | Виникає при свердлінні або при видаленні залишків смоли від свердління                      |
| Відшарування від стінки отвору        | Невідале видалення розмазаності або порушення на одному з етапів електролізу міді           |
| Відшарування міді від міді            | Залишки на поверхні від електролізу та/або перенесення рисунка                              |
| Каверни під час поаяння               | Шорсткість під час свердління, порожнини і тонка металізація                                |

### Елемент Хулла

Хоча сучасні методики, описані раніше, забезпечують прецизійний контроль електролітів, елемент Хулла все ще широко застосовується у виробництві. Його перевагами є низька ціна, простота використання і фактична кореляція з гальванічним покриттям. Його основний недолік полягає в тому, що дефекти гальванічного покриття міддю часто не виявляються цим методом. Наприклад, випробування елементом Хулла не допоможе у виявленні тьмяного покриття, шорсткості або утворення ямок. Тестування починається з підготовки латунної панелі в такому порядку:

- Зніміть полімерну плівку.
- Обробіть лужним очищувачем катодів.
- Занурте в 10%-ву сірчану кислоту.
- Промийте.
- Повторіть ці кроки, поки панель не буде містити крапель води.

Продовжуйте з елементом Хулла таким чином:

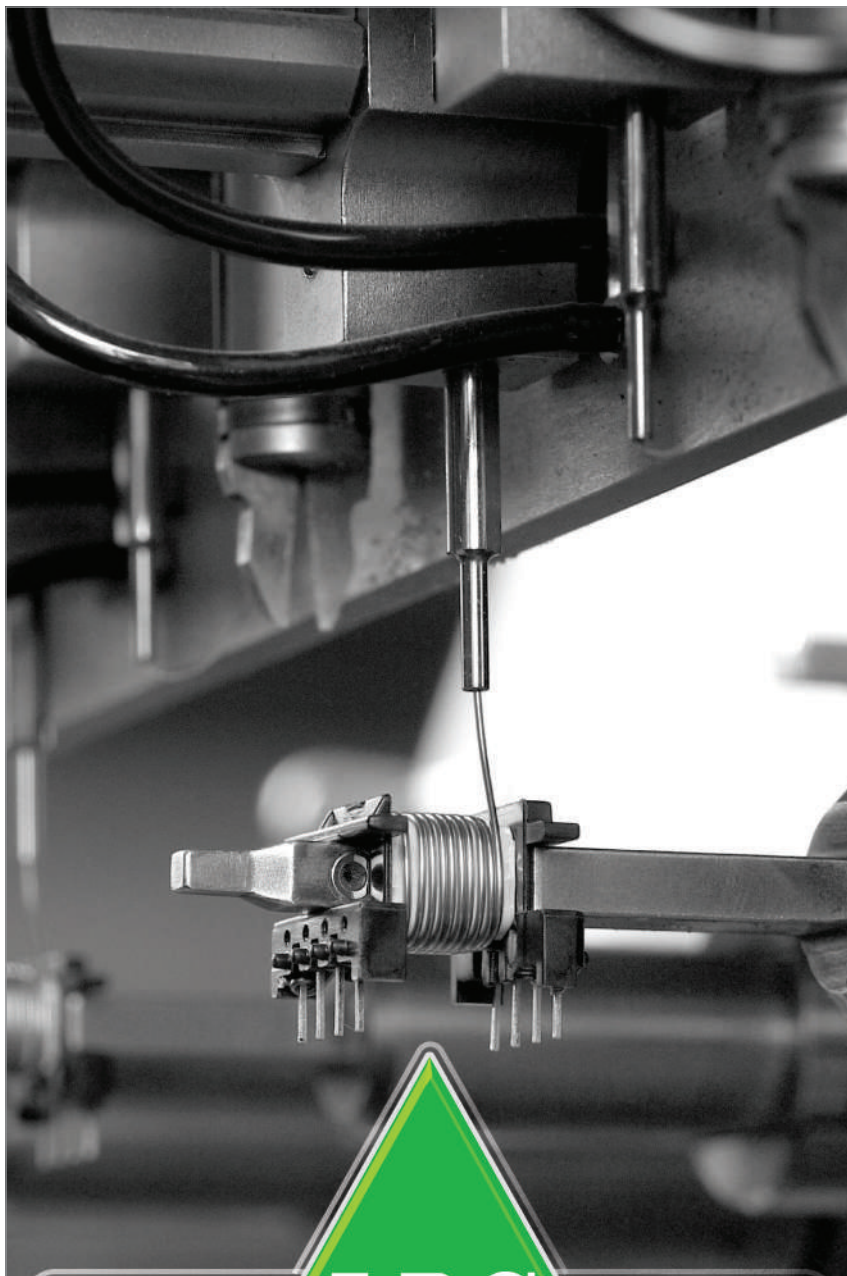
- Промийте випробуванням розчином.
- Заповніть до позначки.
- Відрегулюйте температуру і перемішування.
- Прикріпіть панель до негативного виводу.
- Виконайте металізацію.

Перемішування має бути аналогічним використовуваному у ванні, тобто енергійному барботуванню. Металізуйте міддю при струмі 2 А.

Результати налаштування ванни, обробки активованим вугіллям, тьмяний гальванічний шар тощо легко переносяться з елемента Хулла на фактичну роботу ванни.

### ВИСНОВОК

Процес електрохімічної металізації пов'язаний з великою кількістю факторів, що впливають на кінцевий результат. Тому керування цим процесом пов'язане з подоланням чималих труднощів, які є наслідком взаємопов'язаності чинників керування, що вимагає солідного обсягу досліджень. Щоб розробити й освоїти керування для цифровізації електрохімічних процесів, потрібно виконати тривалий цикл експериментів, перш ніж почне щось виходити. Це пов'язано з серйозними витратами на початку роботи, яких потрібно уникати, оскільки електрохімічна металізація — процес дуже складний, що вимагає накопичення великого досвіду для успішної роботи. **CN**



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

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

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

# Захист високошвидкісних портів

Тодд Філліпс (Todd Phillips)

**Нині існує безліч схем і протоколів комунікації для різних сфер застосування. Оскільки схеми передавача і приймача даних знаходяться не в одному пристрої, то ці вузли стають уразливи-ми для зовнішнього впливу. До таких, потенційно небезпечних впливів відносять перевантаження за струмом, сплеск напруги від блискавки, швидкі перехідні процеси (EFT) і електростатичний розряд (ESD).**

Захист схеми від зовнішнього впливу має не тільки захистити електронну схему, а й не порушити протокол обміну, зберегти цілісність переданих даних. У разі спрацювання схеми захисту комунікаційний порт має бути здатний передавати неушкоджені дані, а схема приймача — коректно і точно їх декодувати, потім повністю відновлювати передані дані.

У статті ми розглянемо чотири високошвидкісні інтерфейси:

- USB (Universal Serial Bus) від стандартного до високошвидкісних;
- HDMI (High Definition Multimedia Interface);
- DisplayPort;
- eSATA (External Serial Advanced Technology Attachment).

Призначення цих стандартів та їхня максимальна смуга пропускання наведені в таблиці 1.

## ІНТЕРФЕЙСИ USB

Порти USB широко використовуються в персональних комп'ютерах, периферії, в електронному тестовому і вимірювальному обладнанні та в багатьох інших продуктах. Інтерфейс USB дає змогу швидко і просто під'єднати комп'ютер або «розумний» пристрій до периферії. Перший стандарт USB з'явився 1996 року і відтоді кілька разів оновлювався, збільшуючи свою пропускну здатність і передану потужність для заряджання мобільних пристроїв з акумулятором.

\* Перша стаття серії «Захист портів PoE/PoE++» була опублікована у CHIP NEWS, 2022, № 2.

Організація USB-IF (USB Implementers Forum) виділяє чотири основні версії стандарту. Проводовий інтерфейс USB почався зі стандарту 1.0 і далі оновлювався до 2.0, 3.x, аж до новітньої версії USB4.

У таблиці 2 показано версії USB і те, як змінювалися їхні основні параметри.

Різні швидкості передачі дають змогу під'єднувати через USB найрізноманітнішу периферію — від повільних клавіатур до швидких пристроїв обробки відео. При використанні USB розробники отримують універсальне рішення, в якому лінії передачі даних не прив'язані до специфічних функцій пристрою. Крім цього, розробникам доступні мала затримка передавання для критичних до часу функцій або за потреби можливість передавати великі обсяги даних у фоновому режимі.

Додатково стандарт визначає потужність переданої енергії (Power Delivery, PD) відповідно до версій стандарту 1–3. Рівень переданої потужності PD дає змогу заряджати мобільні пристрої через USB. Передана потужність USB збільшилася з 2.5 (5 В при 0.5 А) до 100 Вт (20 В, 5 А).

Роз'єми USB також зазнали змін для збільшення пропускної здатності та переданої потужності. На рисунку 1 представлено конфігурацію роз'ємів USB і їхні розміри для кожної з версій стандарту. У таблиці 3 вказано максимальну пропускну здатність кожного з наведених роз'ємів.

## ЗАХИСТ ІНТЕРФЕЙСУ USB 2.0

Інтерфейс USB 2.0 складається з ліній VBUS і двох ліній даних, показаних на рисунку 2а. Лінія VBUS, яка отримує живлення від мережі змінного струму, може зазнавати перевантажень за струмом і сплесків напруги, що надходять з боку мережі. Необхідна наявність самовідновлювального запобіжника в колі VBUS для захисту від перевантажень і подальшого відновлення кола після завершення перевантаження.

Таблиця 1. Високошвидкісні інтерфейси та їхні характеристики

| Стандарт                               | Повне найменування   | Функції  | Максимальна смуга пропускання, Гбіт/с |
|--|----------------------|--|---------------------------------------|
| USB 2.0, USB 3.2, USB 4.0 і USB Type-C | Universal Serial Bus | Обмін даними між комп'ютером і периферією  | 40                                    |
| HDMI                                   | –                    | Передача нестисненого відео та аудіо на пристрої   | 48                                    |
| DisplayPort                            | –                    | З'єднання джерела відео з пристроєм відображення з використанням пакетної передачі даних | 20                                    |
| eSATA                                  | –                    | Протокол передачі даних для зовнішніх пристроїв і дисків зберігання даних (HDD, SSD)     | 6                                     |

Таблиця 2. Активні версії USB-інтерфейсу та їхні характеристики

| Найменування    | Загальноприйнята назва    | Швидкість  | Коментарі               |
|-----------------|---------------------------|------------|-------------------------|
| USB 2.0         | USB Hi-Speed              | 480 Мбіт/с | –                       |
| USB 3.2 Gen 1   | USB Super Speed           | 5 Гбіт/с   | USB 3.0, USB 3.1, Gen 1 |
| USB 3.2 Gen 2   | USB Super Speed 10 Гбіт/с | 10 Гбіт/с  | –                       |
| USB 3.2 Gen 2x2 | USB Super Speed 20 Гбіт/с | 20 Гбіт/с  | –                       |
| USB 4 Gen. 3.2  | USB4                      | 40 Гбіт/с  | –                       |

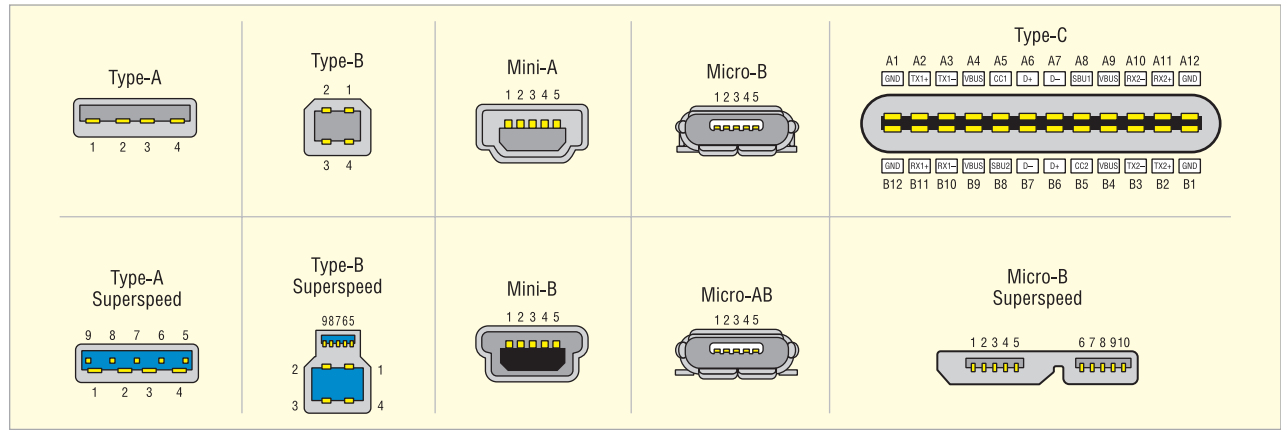


Рис. 1. Роз'єми USB, розроблені для різних версій стандарту

**Таблиця 3. Максимальна швидкість передачі даних для різних роз'ємів USB**

| Тип роз'єму        | Швидкість передавання даних |          |           |           |           |
|--------------------|-----------------------------|----------|-----------|-----------|-----------|
|                    | 480 Мбіт/с                  | 5 Гбіт/с | 10 Гбіт/с | 20 Гбіт/с | 40 Гбіт/с |
| Type A             | X                           | X        | X         |           |           |
| Type B             | X                           | X        | X         |           |           |
| Mini B             | X                           |          |           |           |           |
| Micro B            | X                           |          |           |           |           |
| Micro B Superspeed | X                           | X        |           |           |           |
| Type C             | X                           | X        | X         | X         | X         |

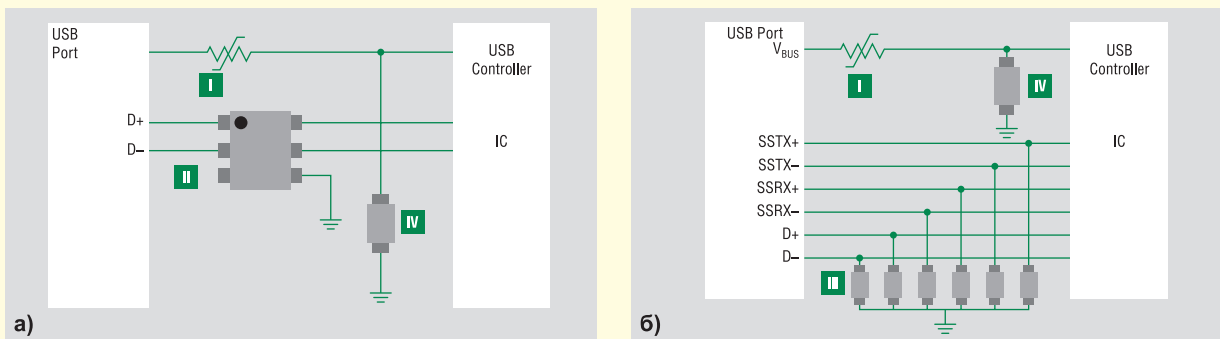
Полімерні самовідновлювальні запобіжники з позитивним температурним коефіцієнтом (PPTC) здатні істотно збільшувати свій опір у разі виникнення перевантаження. Внутрішня структура PPTC-запобіжника змінюється за великого струму і призводить до зростання його опору. Під час охолодження запобіжник відновлює свій низькоомний стан. Такі запобіжники

використовують для низьковольтних схем, там де максимальна напруга не перевищує 24 В.

Інші особливості PPTC-запобіжників:

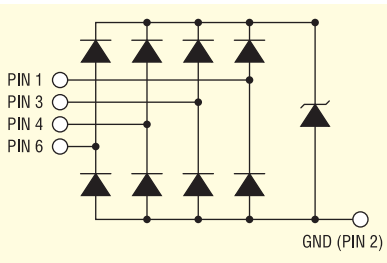
- наднизький опір від міліом до 2 Ом у холодному стані;
- широкий діапазон струмів: 100 мА — 9 А;
- малі корпуси SMD-виконання: 0402–2920;

- швидкий час спрацювання;
  - відповідність стандартам UL і TUV.
- Для захисту схем, що живляться від лінії VBUS, де можуть виникати індуковані сплески напруги та електростатичні розряди (ESD), використовують TVS діодні збірки. Версії таких збірок забезпечують:
- здатність поглинання до 40 А перехідного процесу і до 5 А розряду блискавки;
  - здатність витримувати ±30 кВ розряду електростатики в повітрі та при контакті;
  - максимальний струм витікання не повинен перевищувати 0.5 мкА у схемі 5 В;
  - мініатюрний SMD-корпус 0201.
- Для того щоб захистити лінії даних від сплесків напруги внаслідок пере-



|  | Технологія захисту                  | Функції   | Серія                      | Переваги  | Особливості   |
|--|-------------------------------------|---|----------------------------|---|---|
|  | Самовідновлювальні запобіжники PPTC | Захист лінії живлення 5 В від перевантаження за струмом і від високої температури | LoRho                      | Швидка реакція, компактне виконання                                 | Наднизький опір, висока потужність у SMD-корпусі                      |
|  | TVS діодні збірки                   | Захист ліній даних від статичного розряду   | SP3019-04HTG, SP3400-02UTG | Обмеження сплесків напруги на безпечному рівні, компактне виконання | Низька ємність 0.3 пФ і малий струм витікання 0.01 мкА в корпусі uDFN |
|  | 6-канальні TVS діодні збірки        | Захист ліній даних від статичного розряду   | SP3213-01UTG               | Низька ємність, компактний розмір                                   | Наднизька ємність 0.09 пФ, корпус uDFN                                |
|  | TVS діодні збірки                   | Захист лінії живлення від статичного розряду                                      | SP1006-01UTG               | Захист від статички без впливу на продуктивність                    | Низький струм витікання 100 нА, компактний корпус                     |

Рис. 2. Рекомендовані компоненти для захисту інтерфейсів: USB 2.0 (480 Mbps) (а); USB 3.2 Gen 1×1 (5 Gbps) (б)



**Рис. 3. 4-канальна TVS діодна збірка з діодом Зенера для захисту від сплесків напруги**

хідних процесів і не допустити втрати даних, рекомендується застосовувати 4-канальні TVS діодні збірки. Діодні збірки такої конфігурації наведено на рисунку 3. Їхні основні характеристики:

- безпечно поглинання електростатичного розряду +22 кВ у повітрі та під час контакту, а також -10 кВ у повітрі та під час контакту;
- мінімальний вплив на канал передавання даних, за ємності близько 0.3 пФ лінія-«земля»;
- низький струм витікання 10 нА, що має мінімальний вплив на споживання схеми.

Таким чином, для захисту USB 2.0 достатньо всього трьох компонентів.

### ЗАХИСТ ІНТЕРФЕЙСУ USB 3.2

Як показано на рисунку 26, інтерфейс USB 3.2 складається з лінії

VBUS і шести ліній даних. Рекомендується застосовувати той самий тип компонентів захисту від перевантажень за струмом і сплесків напруги, що і для інтерфейсу USB 2.0. Для захисту шести ліній даних бажано застосовувати шість дискретних TVS діодних збірок. Такі TVS діодні збірки повинні мати такі характеристики:

- безпечно поглинати до 40 А пікового струму під час перехідних процесів;
- захист від статичного розряду ±18 кВ у повітрі і ±12 кВ при контакті;
- струм витоку: не більше 20 нА;
- мала ємність не вище 0.09 пФ між лініями для мінімальних спотворень сигналу.

Застосування роздільних TVS діодних збірок забезпечує кращий захист USB з меншою ємністю для мінімального впливу на передані сигнали.

### ЗАХИСТ ВИСОКОШВИДКІСНОГО USB 3.2 І USB 4.0 З ПЕРЕДАВАННЯМ ЖИВЛЕННЯ

Стандарти USB Gen 2x1 і вище вимагають застосування роз'єму Type C. Конектор Type C має щільне компонування з високою питомою потужністю. Унаслідок цього у Type C виникає високий ризик забруднення пилом, що призводить до резистивного замикання між лініями. У разі переданої потужності до 100 Вт у таких випадках існує високий

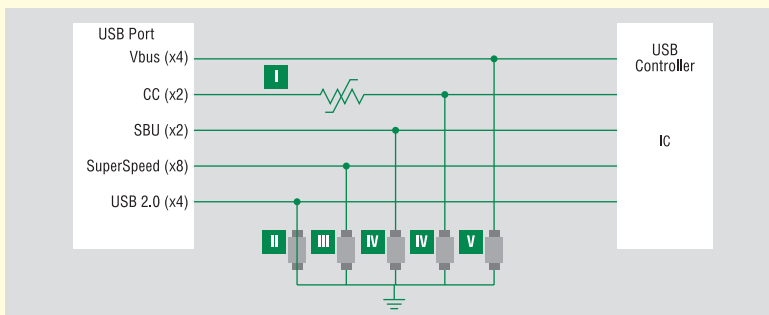
ризик пошкодження роз'єму і схеми, що під'єднується. Захист роз'єму Type C від перегрівання, пов'язаного з резистивним замиканням, із застосуванням температурного індикатора на лінії конфігурації (CC, Configuration Cannel), наведено на рисунку 4.

З цифровим температурним індикатором на лінії CC забезпечується захист під час передавання потужності в усьому діапазоні 5–100 Вт (стандарт USB Type C для додаткової інформації про застосування теплового захисту). Для захисту від сплесків напруги під час перехідних процесів рекомендується застосовувати різні версії TVS діодних збірок. Слід вибирати TVS діодні збірки з мінімальною ємністю для захисту високошвидкісних ліній. Для захисту лінії VBUS переважно застосовувати TVS діодні збірки з мінімальним струмом витікання.

У тому разі, якщо продукція орієнтована на автомобільний ринок, необхідно вибрати TVS діодну збірку, що відповідає AEC-Q101.

### ЗАХИСТ ІНТЕРФЕЙСІВ HDMI, DISPLAYPORT І ESATA

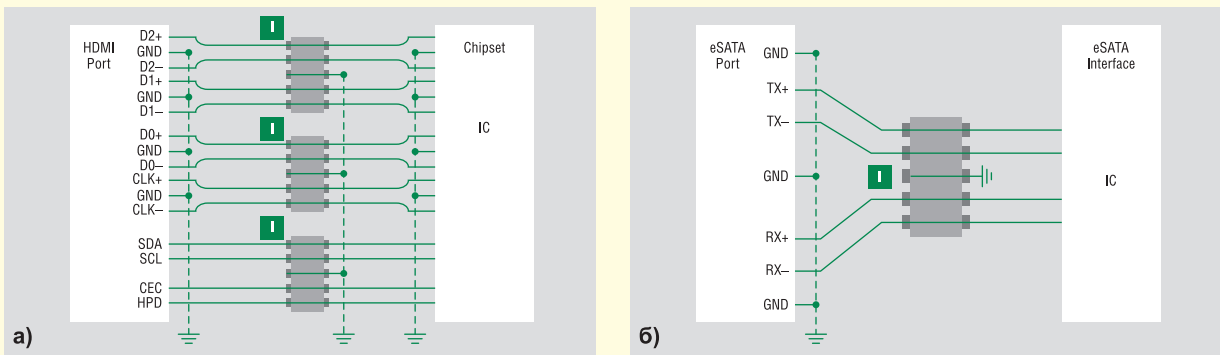
Схеми захисту інтерфейсів HDMI, DisplayPort і eSATA практично не відрізняються одна від одної, тому будуть розглянуті одночасно. Інтерфейс HDMI має дві складові: відеоінтерфейс



- CC - канал конфігурації, виводи A5, B5
- ESD - електростатичний розряд
- SBU - бічна смуга (Sideband use), виводи A8, B8
- Super Speed - виводи A2, A3, A10, A11, B11, B10, B3, B2
- USB - Universal Serial Bus
- USB 2.0 - виводи A6, A7, B7, B6
- Vbus - лінія живлення, виводи A4, A9, B4, B9

| Технологія                     | Функції                                   | Серія        | Переваги  | Особливості                          |
|--------------------------------|---|--------------|---|--------------------------------------|
| Цифровий індикатор температури | Захист кабелю та роз'єму від перегрівання | setP         | Надійний захист від перегріву незалежно від переданої потужності                      | Повністю сумісна з роз'ємом Type C   |
| TVS діодна збірка              | Захист від статички на швидкостях USB 2.0 | SP3530-01UTG | Компактне виконання, надійний ESD-захист  | Корпус 0201, наднизький опір         |
| TVS діодна збірка              | Захист від статички на високих швидкостях | SP3213-01UTG | Інтеграція сервісного сигналу в лінію передавання даних, надійний захист від статички | Низька ємність                       |
| TVS діодна збірка              | Захист від статички                       | SP1006-UTG   | Компактне виконання   | Сертифіковане AEC-Q101, малий корпус |
| TVS діодна збірка              | Захист лінії живлення від статички        | SPHV24-01ETG | Надійний захист контролера заряду   | Сертифіковано AEC-Q101, малий корпус |

**Рис. 4. Рекомендовані компоненти захисту для USB 3.2 і USB 4.0 Type C інтерфейсів**



|  | Технологія        | Функції                         | Серія             | Переваги   | Особливості   |
|--|-------------------|---------------------------------|-------------------|--|---|
|  | TVS діодна збірка | Захист ліній даних від статички | SP1004U-JLC-04UTG | Низька ємність, ідеально для високошвидкісних інтерфейсів, компактне виконання | Ємність 0,2 пФ, мала напруга обмеження 9,2 В при IPP = 2 А (tr = 8/20 мкс) корпус DFN |

**Рис. 5. Рекомендований захист для інтерфейсів: HDMI і DisplayPort (а); eSATA (б)**

для передачі відео високої чіткості та аудіоінтерфейс для передачі цифрового аудіо. Нині HDMI є де-факто стандартом для телевізорів високої чіткості. Уперше інтерфейс HDMI з'явився в пристроях 2004 року. Поточна версія HDMI-стандарту — 2.1, яка підтримує швидкість передачі даних до 48 Гбіт/с.

DisplayPort був розроблений для передачі відео від джерела до приймача, якими найчастіше є монітори персональних комп'ютерів. Цей інтерфейс здатний передавати одночасно аудіо та відео, і покликаний замінити стандарт VGA. Уперше DisplayPort був представлений у 2006 році. Новітня версія стандарту 2.0 здатна підтримувати швидкість передачі даних до 77 Гбіт/с. Інтерфейс DisplayPort сумісний з HDMI.

Інтерфейс SATA був розроблений компанією IBM для IBM AT PC, нині він є галузевим стандартом для дисків накопичувачів. Версію eSATA (external SATA) розробили 2004 року для підтримки зовнішніх жорстких дисків.

Захист трьох описаних інтерфейсів наведено на рисунку 5. Для захисту цих інтерфейсів застосовується чоти-

риканальна TVS діодна збірка, показана на рисунку 6. Характеристики TVS діодної збірки:

- наднизька ємність 0,2 пФ, що чинить мінімальний вплив на переданий сигнал;
- малий струм споживання: 25 нА;
- захист від статичного розряду: ±20 кВ у повітрі і при контакті;
- корпус SOD 883 з мінімальними розмірами.

**ВИСНОВОК**

Захист портів передавання даних починається з вибору компонентів, основною вимогою до яких є мінімальне спотворення переданого сигналу. На щастя, для побудови ефективної схеми захисту потрібно небагато таких компонентів. Вибираючи компоненти захисту відомого виробника, ви спираєтеся на наявний у нього досвід і скорочуєте час розробки. При цьому виробник здатний допомогти у виборі найбільш ефективного рішення за оптимальною ціною. Захист від сплесків напруги під час перехідних процесів і від перевантажень за струмом підвищує надійність обладнання, а також покращує репутацію на ринку і скорочує витрати на сервісне обслуговування.

Література:

1. <https://www.allaboutcircuits.com/industry-articles/protect-your-ports-design-tips-communications-connected-part-2-protecting-high-speed-interfaces/>
2. Тодд Філлінс (Todd Phillips). Захист портів PoE/PoE++ // CHIP NEWS. 2022. № 2.

**МОДУЛІ СЕРІЇ TSOP**

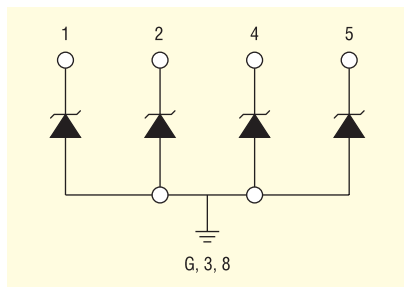
Компанія Vishay модернізувала свої модулі ІЧ-приймача серій TSOP2xxx, TSOP4xxx, TSOP57xxx, TSOP6xxx та TSOP77xxx для пультів дистанційного керування новою мікросхемою Cyllene 2.

Розроблена власними силами для забезпечення довгострокової доступності продукту та скорочення часу розробки, нова ІС дозволяє досягти більш високої продуктивності за значного зниження енергоспоживання у ширшому діапазоні напруги живлення. Ці покращені функції продовжують термін служби батареї в мобільних пристроях, таких як роботи-пилососи.

Нові пристрої також краще протистоять електростатичним розрядам та перешкодам від прямих сонячних променів. Несприйнятливість до сонячного світла забезпечує кращу продуктивність при використанні на відкритому повітрі, наприклад, як світлові бар'єри гаражних воріт. Нові приймачі також несприйнятливі до перешкод від таких джерел, як ІЧ-випромінювання компактних люмінесцентних ламп та ВЧ-випромінювання антен Wi-Fi.

Модулі серії TSOP поєднують фотодетектор, схему підсилювача та ІЧ-фільтр в одному корпусі. Нові приймачі можуть використовуватися як заміна більш ранніх модулів за принципом plug-and-play. Різні варіанти модулів дають розробнику можливість гнучко інтегрувати сам модуль у макет плати програми. Приймачі доступні у версіях з різними параметрами автоматичного регулювання посилення для довгих або коротких кодів.

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



**Рис. 6. TVS діодна збірка для захисту високошвидкісних ліній від сплесків напруги**

## ЕЛЕКТРОННІ КОМПОНЕНТИ

від провідних виробників світу,  
зі складу та під замовлення

Гнучкі ціни



ТОВ "АДС ТІМ"

Україна, 03680, м. Київ  
пров. Радищева, буд. 3+38 (044) 361-46-78, 206-22-52  
+38 (067) 249-77-58, (050) 464-22-52

zapros@adcgr.com www.adcgr.com

## ТОВ Аіронікс КОМПОНЕНТС

тел.: +38 044 384-17-55  
+38 044 501-07-29  
+38 044 501-80-09  
info.aironics@gmail.com

- електронні компоненти
- друковані плати
- виготовлення дослідних зразків приладів
- контрактне виробництво
- перетворювачі частоти до 11 кВт (Україна) до 220 кВт (Китай)

м. Київ, вул. О. Довженка, 3  
www.aironics.com.ua  
www.aironics.prom.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

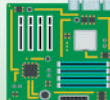
SONION Amplified LTV TE DARKCO OSRAM SAMSUNG MORNSUN

- Електронні компоненти
- Світлодіодне освітлення
- Друковані плати
- Контрактне виробництво

bis\_electronics @BISelectronic bis@bis-el.kiev.ua | bis-el.com  
+38 (044) 490-35-99

## ВЕРІКОМ КОМПОНЕНТС

- Виробництво друкованих плат від 1 шт
- Контрактне виробництво
- Власний склад електронних компонентів
- Покриття плат лаком і компаундами
- Відповідаємо вимогам стандарту ISO 9001:2015

Україна, м. Київ  
вул. Марії Калніст, 2а, оф. 114  
URL: www.verikom.kiev.uaтел./факс: (+380) 44-501-9335  
(+380) 67-508-0229  
E-mail: sales@temys.kiev.ua

## ДП «Гальванотехніка» ПАТ «Київський завод "Радар"»

ТОВ «НВЦ друкованих плат»

## Виготовлення друкованих плат:

- одно-, дво- та багатопровідних 3<sup>го</sup>-5<sup>го</sup> класів складності;
- жорсткогнучких друкованих плат, гнучких кабелів;
- друкованих плат на металі (алюміній, мідь).

Швидке виготовлення (від 3-х днів).

Висока якість. Оптиміальне співвідношення ціна/якість.

## Послуги по монтажу плат.

03680, м. Київ, вул. Предславинська, 35  
тел.: (044) 592-5467, 528-2068, 528-3656http://plata.com.ua  
order@plata.com.ua

ТОВ «НВП АСТЕРА»

директор ТЕРЕЙКОВСЬКИЙ  
Артем Семенович

Ферритові осердя,  
аксесуари, індуктивні елементи

61072, Україна, Харків, вул. Тобольська 42 оф. 222  
тел.: 057-757-2859, факс: 057-728-1808  
050-323-3763, 067-575-4440, 068-616-7777  
http://www.ferrite.com.ua E-mail: ferrite@ukr.net

## VD MAIS

ДИСТРИБ'ЮЩА +  
КОНТРАКТНЕ  
ВИРОБНИЦТВО03061, Київ,  
вул. Михайла Донця, 6  
тел.: +380 (44) 201 02 02  
info@vdmajs.ua  
www.vdmajs.ua

- електронні компоненти
- електромеханічні компоненти
- промислова автоматизація
- вимірювальні прилади
- обладнання та матеріали для виробництва електроніки
- друковані плати
- контрактне виробництво

WINTEX (044) 5036112  
Професійний ремонт (067) 2983455  
(050) 2665517

- Електронні компоненти
- Модулі та датчики для розробників електроніки
- Модулі для ремонту ТВ, комп'ютерів, планшетів, комп'ютерів
- Роз'єми та конектори
- Розробка елементів альтернативної енергетики
- Ремонт усіх видів електроніки та побутової техніки

03150, Київ, вул. Велика Васильківська, 80

www.wintex.com.ua

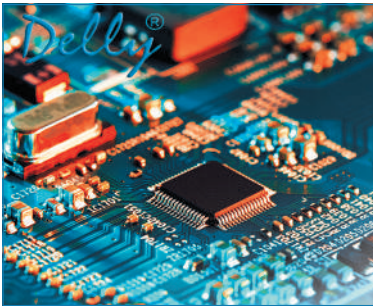


Прямі поставки від виробника

Комплексні поставки  
електронних комплектуючих38 (044) 239-96-06  
38 (044) 498-01-68www.grandelectronic.com  
office@grandelectronic.comБульвар Вацлава Гавела, 8  
м. Київ, 03124

- Автоматика
- Датчики
- Джерела живлення
- Компоненти і модулі СВЧ
- Мікросхеми
- Рознімачі
- Реле
- Системи бездротового зв'язку
- Системи відображення інформації
- Хімічні джерела струму





**ТОВ "ДЕЛЛІ"**  
МОНТАЖ SMT ТА SHT  
ЕЛЕКТРОННИХ  
КОМПОНЕНТІВ

79060, м. Львів,  
вул. Наукова, 5-А, корп. Е  
Тел.: +38 (032) 245-75-72  
+38 (067) 672-27-40  
E-mail: basarab@delly.info



**ДРУКОВАНІ ПЛАТИ**  
Виробництво одно-, дво-, багатшарових  
друкованих плат, плат на алюмінієвій основі  
з технологічними показниками відповідно  
до вимог міжнародного стандарту IPC-A-600

**Мембранні клавіатури**  
– мембранні клавіатурні панелі  
– лицеві і накладні панелі

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

ТОВ «PCB-ЕТАЛ»  
28000, Кіровоградська обл.,  
м. Олександрія, вул. Заводська, 1

Для замовлення:  
Тел.: +38 (066) 872-60-65  
e-mail: [pcb@etal.ua](mailto:pcb@etal.ua)

**Ціни знижено**

**ВЧ- та НВЧ-КОМПЛЕКТУЮЧІ І КОМПОНЕНТИ**

мікросхеми • транзистори • коаксіальні фільтри  
коаксіальні з'єднувачі • коаксіальні кабелі  
матеріал для ВЧ-лат • теплорозподільчі матеріали



**ЄВРОКОНТАКТ**  
[www.eurocontact.kiev.ua](http://www.eurocontact.kiev.ua)  
т/ф +380 44 500 7991  
[info@eurocontact.kiev.ua](mailto:info@eurocontact.kiev.ua)



**IMRAD**  
Електронні компоненти

Електронні компоненти  
провідних світових виробників  
зі складу в Києві та на замовлення

Інформаційна та технічна підтримка

- 03113, Україна, м. Київ  
вул. Шутова 9, офіс 211
- Тел. (044) 495-21-09, 490-91-59  
факс: (044) 495-21-10  
E-mail: [imrad@imrad.kiev.ua](mailto:imrad@imrad.kiev.ua)  
[www.imrad.com.ua](http://www.imrad.com.ua)

**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



Незалежний постачальник  
електронних компонентів



• Швидкі терміни поставок (до 7 днів)  
• Безкоштовна доставка по Україні  
• Більш ніж 6 млн. товарів в каталозі

[www.evocom.ua](http://www.evocom.ua)

email: [info@evocom.ua](mailto:info@evocom.ua)  
тел. (044) 520-19-13




дистрибуція електронних компонентів  
контрактне виробництво

08298, смт. Коцюбинське  
вул. Пономарьова, 7

Тел. +38 044 33 44 575

[www.eurocom-c.com](http://www.eurocom-c.com)

E-mail: [info@eurocom-c.com](mailto:info@eurocom-c.com)



**Інтегральні Комплексні Системи**  
Контрактне виробництво електроніки

☎ +38 (050) 469-12-07 ✉ [info@incos.kiev.ua](mailto:info@incos.kiev.ua) 🌐 [www.incos.kiev.ua](http://www.incos.kiev.ua)

📍 Київ, вул. Бориспільська, 9, корпус 111

Радіодеталі зі складу – 35 000 найменувань!



Усе для розробки,  
ремонтів та виробництва  
електроніки!

Від резистора до мікропроцесора, радіомонтажний  
інструмент та вимірювальні прилади, підбір аналогів  
та консультації.

[www.ims.kh.ua](http://www.ims.kh.ua) тел.: (073) 757 25 22 (23), (098) 028 89 17  
e-mail: [imskharkov@gmail.com](mailto:imskharkov@gmail.com) (057) 732 04 50, 732 01 76



**ТОВ "КОМПАНІЯ ОЛЬВІЯ"**  
Корпуса пластикові. Клавіатура плівкова.  
Кабельно-провідникова продукція.

☎ [044].599.7550 📞 [044].503.3323 ✉ [KORPUS.KIEV@GMAIL.COM](mailto:KORPUS.KIEV@GMAIL.COM)  
ICQ#: 266-782-777

📍 03113, м. Київ, вул. Дружківська, 12 А 🌐 [korporus.kiev.ua](http://korporus.kiev.ua)

**КОМПАНІЯ СК-ТЕХНО**  
контрактне виробництво

- контрактне виробництво
- друковані плати
- монтаж
- комплектація

http://spcb.com.ua  
e-mail: info@spcb.com.ua  
тел./факс: (044) 369-53-27



http://melsys.com.ua

- контрактне виробництво електроніки
- монтаж і виготовлення друкованих плат
- виготовлення трафаретів

**ТОВ "Мелсис"**  
Київ, вул. Новозабарська, 2/6, оф. 204  
info@melsys.com.ua

+38 044 578 18 15  
+38 096 926 70 69  
+38 063 435 68 10



**Партнерство в електроніці**

**МІКРО ПРИБАД**

a value Touch XCC PARTEX MARKING SYSTEMS mecatronik WAGO LINEAR TECHNOLOGY TEXAS INSTRUMENTS AZ NAGANO SensorTechnik

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 одна- та двошарових друкованих плат

**За 24 години виготовимо Ваше замовлення**

Власне виробництво у м. Львів

**ТОВ «Крейтив Лоджикс»**  
www.pcb24.com.ua  
info@pcb24.com.ua  
pcbprint24@gmail.com  
068 614 38 28



**PCBTUT**

Зручний онлайн PCB-калькулятор мінімальне замовлення - 5 шт.

Постачання:  
- друковані плати FR-4;  
- алюмінієві друковані плати;  
- трафарети для паяльної пасти;  
- паяльна паста;  
- припій.

Сайт: pcbtut.com  
e-mail: pcbtut@pcbtut.com  
+38 (067) 674 99 14



**MASTEK**

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

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

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



Microdis Electronics GmbH  
Rheinauer Straße 1  
68766 Hockenheim  
Germany

**MICRODIS**

Дистриб'ютор електронних компонентів

Роман Прокопець  
Менеджер з продажу

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

www.microdis.net



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

ФОП Сапів Р.Б.



КОНТРАКТНИЙ ВИРОБНИК ЕЛЕКТРОНІКИ ПІД ЗАМОВЛЕННЯ

**PCBA**

+38 044 338 97 73  
info@pcba.com.ua  
pcba.com.ua




вбудовані процесорні плати

COMexpress  
Qseven  
PC-104  
ETX

**ПРОКСИС**

промислові комп'ютери та системи

www.proxis.ua  
+380(44)4675977  
+380(44)5995977




**RADIODETAILI**

- Паяльне обладнання
- Резистори
- Вентилятори
- Светлодіодне обладнання
- Трансформатори
- Акумулятори
- Реле
- Блоки живлення
- Конденсатори
- Мобільні аксесуари

**КУПУЙ ВИГІДНО**

[radiodetali.com.ua](http://radiodetali.com.ua)



**РАДІОМАГ**  
МЕРЕЖА МАГАЗИНІВ РАДІОДЕТАЛЕЙ

Львів Київ Харків  
Одеса Дніпро

[www.rcscomponents.kiev.ua](http://www.rcscomponents.kiev.ua)  
+38(044)299-77-55 [sales@radiomag.com.ua](mailto:sales@radiomag.com.ua)

- мікросхеми
- транзистори
- діоди і діодні містки
- GSM, GPS, GPRS
- паяльне обладнання
- вимірвальне обладнання
- блоки живлення
- рознімачі
- інструмент
- пасивні компоненти
- батарейки та акумулятори та багато іншого

Ра  
СМ

**RAINBOW TECHNOLOGIES**  
[www.rainbow.com.ua](http://www.rainbow.com.ua)

Rainbow Technologies – офіційний дистриб'ютор і постачальник в Україні:

**MICROCHIP, MAXIM, INFINEON, WINBOND, ALTERA, SAMSUNG (LED), LEDIL, VISHAY, ANALOG DEVICES, TEXAS INSTRUMENTS**

04112, Україна, м. Київ, вул. Дегтярівська, 62, оф. 46  
Тел./факс: +38 (044) 290-41-69, 290-41-82  
e-mail: cov@rainbow.com.ua

**МП "РЕМІКС"**  
[www.remix.com.ua](http://www.remix.com.ua)  
Офіційний дистриб'ютор в Україні

**FineTek, Venanzetti Vibrazioni, Nivelko**

Пропонує датчики рівня рідин та сипучих матеріалів, датчики тиску, різноманітні регулятори, панельні метри, пневмо та електровібратори

Тел/факс +38 04563 99-760, 99-926, 99-775

**Rich El**  
electronic components

**ТОВ "РИЧЕЛ"**

Поставки електронних компонентів  
Асортимент зі складу та технічна підтримка

вул. Семена Скляренка, 9, оф. 201  
04073, м. Київ  
[info@rekkon.kiev.ua](mailto:info@rekkon.kiev.ua)  
<http://rekkon.kiev.ua>

тел.: +38 (044) 490-92-50  
факс: +38 (044) 494-27-08

Промислові та ІТ-шафи, щити, електронні системи, системи контролю мікроклімату, струморозподільче обладнання, всепогодні шафи та комплексні рішення для ЦОД, ПЗ EPLAN

Ріттал ТОВ · вул. Київська, 6В, 08132, Вишневе, Київська обл.  
Тел.: +380 (44) 536 99 44 · E-mail: [office@rittal.com.ua](mailto:office@rittal.com.ua)  
[www.rittal.com.ua](http://www.rittal.com.ua)

ENCLERGES POWER DISTRIBUTION CLIMATE CONTROL IT INFRASTRUCTURE SOFTWARE & SERVICES

**RIITAL**  
FRIEDHELM LOH GROUP

**SEA** ІННОВАЦІЇ ТА ЕФЕКТИВНІСТЬ

м. Київ, вул. Краківська, 13-Б  
тел.: +38 (044) 330-00-88  
[sea.com.ua](http://sea.com.ua), [info@sea.com.ua](mailto:info@sea.com.ua)

**Постачання:** Електронні компоненти • Джерела живлення • Светлодіодна продукція та оптоелектроніка  
Індикатори, дисплеї • Обладнання для енергетики • Електротехнічна продукція • Кабельно-провідникова продукція • Обладнання для промислової автоматизації • Бездротові компоненти Вимірвальні прилади  
Паяльне обладнання і матеріали для пайки • Сонячна енергетика

**Виробництво:** Светлофори та технічні засоби управління дорожнім рухом • Автоматизована система обліку та контролю енергоресурсів • Паркувальне обладнання і системи • WIM - системи динамічного зважування транспорту • Светлодіодні екрани та медіафасади SEA • Система керування міським освітленням  
Комплексна система диспетчеризації ліфтів • Джерело безперебійного живлення

**Послуги:** Великовузлове складання обладнання • Проскитування 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: [kharkiv@sea.com.ua](mailto:kharkiv@sea.com.ua) Дніпро: [dniipro@sea.com.ua](mailto:dniipro@sea.com.ua) Львів: [lviv@sea.com.ua](mailto:lviv@sea.com.ua)



**Semisvit**  
Create with us

ТОВ "СЕМІСВІТ"  
вул. Б. Хмельницького, 16-22, оф. 504-Г  
01601, м. Київ, Україна  
тел./факс: +380 44 586-2580  
[www.semisvit.com.ua](http://www.semisvit.com.ua)  
[info@semisvit.com.ua](mailto:info@semisvit.com.ua)

Електронні компоненти зі всього світу.  
Створюйте з нами!

**Симметрон**  
Україна

Україна, Київ  
вул. Є. Сверстюка, 13, оф. 903  
тел. 044 239 20 65 багатокан.  
e-mail: [kiev@symmetron.ua](mailto:kiev@symmetron.ua)  
[www.symmetron.ua](http://www.symmetron.ua)

Електронні компоненти зі складу  
Пряма офіційна дистриб'юція

ЕЛЕКТРОННІ КОМПОНЕНТИ  
ТА  
КОНТРАКТНЕ ВИРОБНИЦТВО

**SMD UKRAINE**

03057, м. Київ, вул. Желябова, 2-А,  
корп. 7, кім. 303

тел.: (044) 223-12-42  
(073) 705-70-05  
(096) 705-70-05

[info@smdua.in.ua](mailto:info@smdua.in.ua) [www.smdua.in.ua](http://www.smdua.in.ua)

Te  
Юс

**НВП ТЕХНОСЕРВІСПРИВІД**  
**ВСЕ ДЛЯ СИЛОВОЇ ЕЛЕКТРОНИКИ ТА ЕЛЕКТРОТЕХНІКИ**

Діоди та містки, діодні, тиристорні, IGBT модулі, силові напівпровідники (**SEMİKRON**), конденсатори косинусні, імпульсні, моторні (**ELECTRONICON**)  
 Продаж, ремонт перетворювачів частоти, пристроїв плавного пуску (**DANFOSS**)

Для пошти: 04211, Київ-211, а/с 141  
 Тел./факс: (044) 458-47-66, 456-19-57  
 E-mail: tsdrive@ukr.net, Web: www.tsdrive.com.ua

Електронні компоненти Рознімачі З'єднувачі

**ТЕХПРОГРЕСС**  
 www.tpss.com.ua

ТОВ «КП «Техпрогрес»  
 04070, м. Київ,  
 вул. Ігорівська, 8/10-А, оф. 38  
 (044) 461-91-00

**ELFA DISTRELEC**  
 ПОСТАВКИ ЕЛЕКТРОННИХ КОМПОНЕНТІВ ЗІ СКЛАДУ У ЄВРОПІ.

**ТОК ЕЛЕКТРОНІКС**  
 Офіційний дистриб'ютор в Україні

04080, м. Київ  
 вул. Вікентія Хвойки, 18/14  
 склад 10/8

www.distrelec.biz  
 e-mail: ula@tok-el.com  
 oksana@tok-el.com

Тел. +38 066 781 66 11  
 +38 093 896 40 88

**PHOENIX CONTACT**

phoenixcontact.ua

**КОНТРОЛЬНО-ВИМІРЮВАЛЬНІ 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 дистриб'ютор

**ТЕХНО ТРЕЙДІНГ**

тел./факс: (044) 587-65-33 (34)  
 +38 (098) 477-85-58  
 +38 (050) 477-85-58

**Контрактне виробництво  
 Друковані плати  
 Виготовлення, монтаж, комплектація**

www.t-t.kiev.ua e-mail: info@t-t.kiev.ua

**TMS PROJECT**

Контрактне виробництво  
 Сертифіковано ISO9001  
 Постачання електронних компонентів

Україна, Київ  
 вул. Марії Капніст, 2а, оф. 114  
 тел/факс: (044) 501-9335  
 URL: www.tmsproject.com.ua  
 E-mail: sales@temys.kiev.ua

**Trafaret**

Полімерні трафарети для SMD монтажу

www.trafaret.net.ua  
 e-mail: order@trafaret.net.ua  
 тел. 063-851-12-76, 098-871-58-76

**ФІЛУР ЕЛЕКТРИК**

Електронні компоненти  
 Електротехнічна продукція  
 Технологічне обладнання, інструмент, матеріали

1-й пов., вул. Попудренка, 22/14, м. Київ  
 тел. 044 495 75 75, моб. 068 496 75 75

www.filur.net  
 office@filur.net

**ЮСТАС**

Електронні компоненти провідних світових виробників:  
 конденсатори всіх типів, транзистори, теристори,  
 мікросхеми, діоди, діодні мости, кварци,  
 індикаторна продукція всіх типів, вентилятори,  
 механічні елементи, кабельна продукція

justas@ipm.lviv.ua  
 justas\_k@ukr.net

Магазин "Електронних компонентів"  
 79018, м. Львів, вул. Героїв УПА, 40,  
 п/ф (032) 237-31-82, (032) 238-94-41  
 понеділок - субота з 10.00 до 18.00

http://justas-electronics.com.ua  
 +38 (093) 020-40-51

4-5 ЖОВТНЯ 2023

Місце  
проведення

**ACC**  
International  
since 1992



# SECURITY 2.0

SECURITY 2.0 — це 27 років досвіду проведення основної галузевої виставки «БЕЗПЕКА», поєднаного із сучасним форматом демонстрації досягнень у сфері безпеки.

## ЧОМУ ТУТ ВАРТО БУТИ

Security.2.0 — це місце, де збираються представники влади, керівники державних та приватних підприємств, міжнародні компанії, асоціації та фонди, це унікальна можливість встановити необхідні зв'язки для розширення бізнесу та укласти вигідні контракти.

## ФОРУМ

**1** БЕЗПЕЧНА ГРОМАДА.  
ОБЛАДНАННЯ, СПОРУДИ  
Й СИСТЕМИ ЗАХИСТУ  
ЖИТТЯ

**2** РОЗМІНУВАННЯ  
ТЕРИТОРІЙ УКРАЇНИ.  
СУЧАСНІ ТЕХНОЛОГІЇ  
ТА ОБЛАДНАННЯ

## З ПИТАНЬ УЧАСТІ:

Валентина Михайлова  
моб. +380 (67) 504-0149,  
+380 (66) 353-1902  
mikhailova@eindex.kiev.ua

Організатор



Співорганізатори



## ТЕМАТИКА ВИСТАВКИ:

**БЕЗПЕКА ІНФРАСТРУКТУРИ**

СУЧАСНІ  
**БЕЗПЕКОВІ ТЕХНОЛОГІЇ**

**КІБЕРБЕЗПЕКА**

ГУМАНІТАРНЕ **РОЗМІНУВАННЯ**

**ЗАХИСНІ СПОРУДИ**  
ЦИВІЛЬНОГО ЗАХИСТУ

**ЗАСОБИ**  
ІНДИВІДУАЛЬНОГО ЗАХИСТУ

[bezpeka.ua](http://bezpeka.ua)

[facebook.com/bezpeka.euroindex](https://facebook.com/bezpeka.euroindex)

Реєстрація:

[securityexpo2023.ticketforevent.com](https://securityexpo2023.ticketforevent.com)



V Міжнародна спеціалізована виставка  
низьковольтної електротехніки  
та електроніки

# ELECTRO INSTALL 2023

**Жовтень 17–19**



**МІЖНАРОДНИЙ  
ВИСТАВКОВИЙ ЦЕНТР**

Україна, м. Київ, Броварський пр-т, 15

тел.: +38 (095) 268-05-84

e-mail: [lyudmila@iec-expo.com.ua](mailto:lyudmila@iec-expo.com.ua)

[www.iec-expo.com.ua](http://www.iec-expo.com.ua)



**НАБЛИЖАЄМО ЕНЕРГЕТИКУ  
МАЙБУТНЬОГО СЬОГОДНІ**

**XV МІЖНАРОДНА  
СПЕЦІАЛІЗОВАНА ВИСТАВКА  
ВІДНОВЛЮВАНОЇ ЕНЕРГЕТИКИ, ЕКОЛОГІЇ,  
ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ**



**EcoEnergy  
Expo'2023**

**17–19  
ЖОВТНЯ**



**МІЖНАРОДНИЙ  
ВИСТАВКОВИЙ ЦЕНТР**  
м. Київ, Броварський пр-т, 15  
станція метро «Лівобережна»



+38 (095) 268-05-84



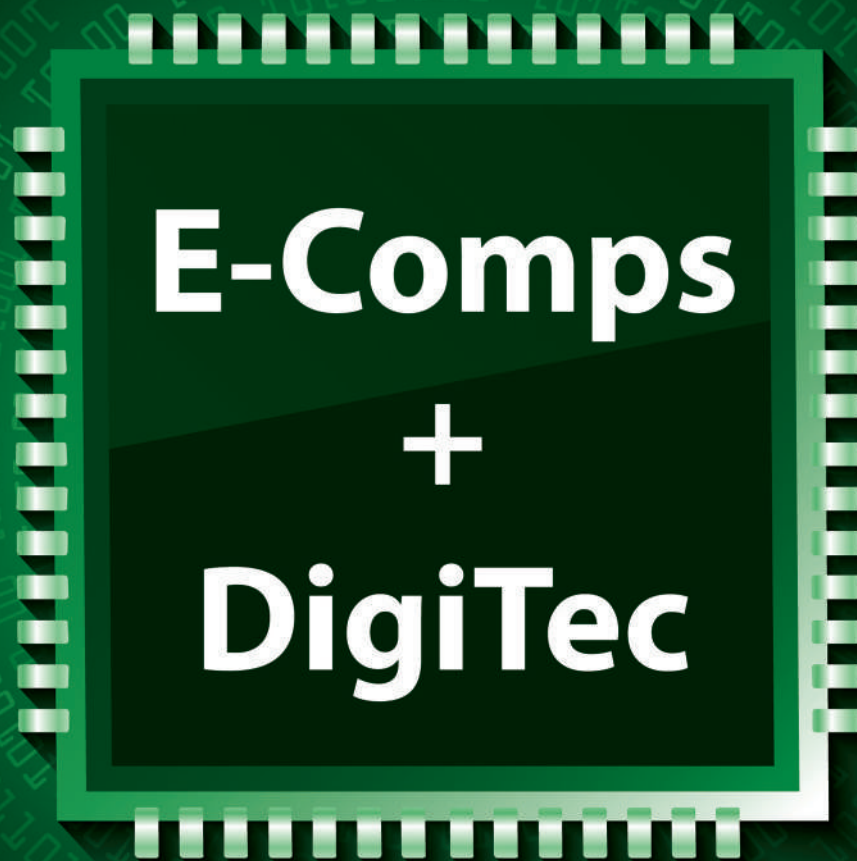
lyudmila@iec-expo.com.ua



www.iec-expo.com.ua



II МІЖНАРОДНА  
СПЕЦІАЛІЗОВАНА ВИСТАВКА



**17–19 жовтня 2023**



МІЖНАРОДНИЙ  
ВИСТАВКОВИЙ ЦЕНТР  
м. Київ, Броварський пр-т, 15  
станція метро «Лівобережна»



+38 (095) 268-05-84



lyudmila@iec-expo.com.ua



www.iec-expo.com.ua





XX МІЖНАРОДНА СПЕЦІАЛІЗОВАНА ВИСТАВКА

# ЕНЕРГЕТИКА В ПРОМИСЛОВОСТІ '2023



**17–19  
ЖОВТНЯ**



МІЖНАРОДНИЙ  
ВИСТАВКОВИЙ ЦЕНТР

м. Київ, Броварський пр-т, 15  
станція метро «Лівобережна»



+38 (095) 268-05-84



lyudmila@iec-expo.com.ua



www.iec-expo.com.ua



## ВИСТАВКИ 2023

| Назва                             | Сайт   | Організатор | Місто | Дата проведення* |
|-----------------------------------|--|-------------|-------|------------------|
| SECURITY 2.0 (виставка «Безпека») | <a href="http://www.bezpeka.ua">www.bezpeka.ua</a>           | Євроіндекс  | Київ  | 04.10–05.10.2023 |
| Electro Install                   | <a href="http://www.iec-expo.com.ua">www.iec-expo.com.ua</a> | МВЦ         | Київ  | 17.10–19.10.2023 |
| EcoEnergy Expo                    | <a href="http://www.iec-expo.com.ua">www.iec-expo.com.ua</a> | МВЦ         | Київ  | 17.10–19.10.2023 |
| E-Comps + DigiTec                 | <a href="http://www.iec-expo.com.ua">www.iec-expo.com.ua</a> | МВЦ         | Київ  | 17.10–19.10.2023 |
| Енергетика в промисловості        | <a href="http://www.iec-expo.com.ua">www.iec-expo.com.ua</a> | МВЦ         | Київ  | 17.10–19.10.2023 |

\* Інформація отримана від організаторів виставок. Можливі зміни в залежності від ситуації.

## РОЗМІРИ РЕКЛАМНИХ БЛОКІВ

1 сторінка (200×270 мм)\*  
 2/3 сторінки (112×240 мм)  
 1/2 сторінки (170×120/83.5×240 мм)  
 1/3 сторінки (54×240/112×120/170×80 мм)  
 1/4 сторінки (112×100 мм)  
 1/6 сторінки (54×120/112×60/127×55 мм)  
 «Візитка» (80×40 мм)

\* Для усунення неточностей при обрізанні, розмір реклами, яка подається, повинен бути 210×280 мм (дообрізний формат з урахуванням «вильотів» по 5 мм з кожного боку, які краще заповнити основним фоном реклами). Значимі символи (текст, логотип та інші елементи оформлення, які гарантовано не повинні потрапити під обрізку) не повинні підходити до краю сторінки менш ніж на 10 мм (післяобрізний формат сторінки 200×270 мм).

Редакція журналу «CHIP NEWS» приймає до розміщення тільки повнокольорові рекламні блоки, розміри яких повинні в точності відповідати розмірам, наведеним у таблиці.

Текст реклами повинен бути виключно українською мовою.

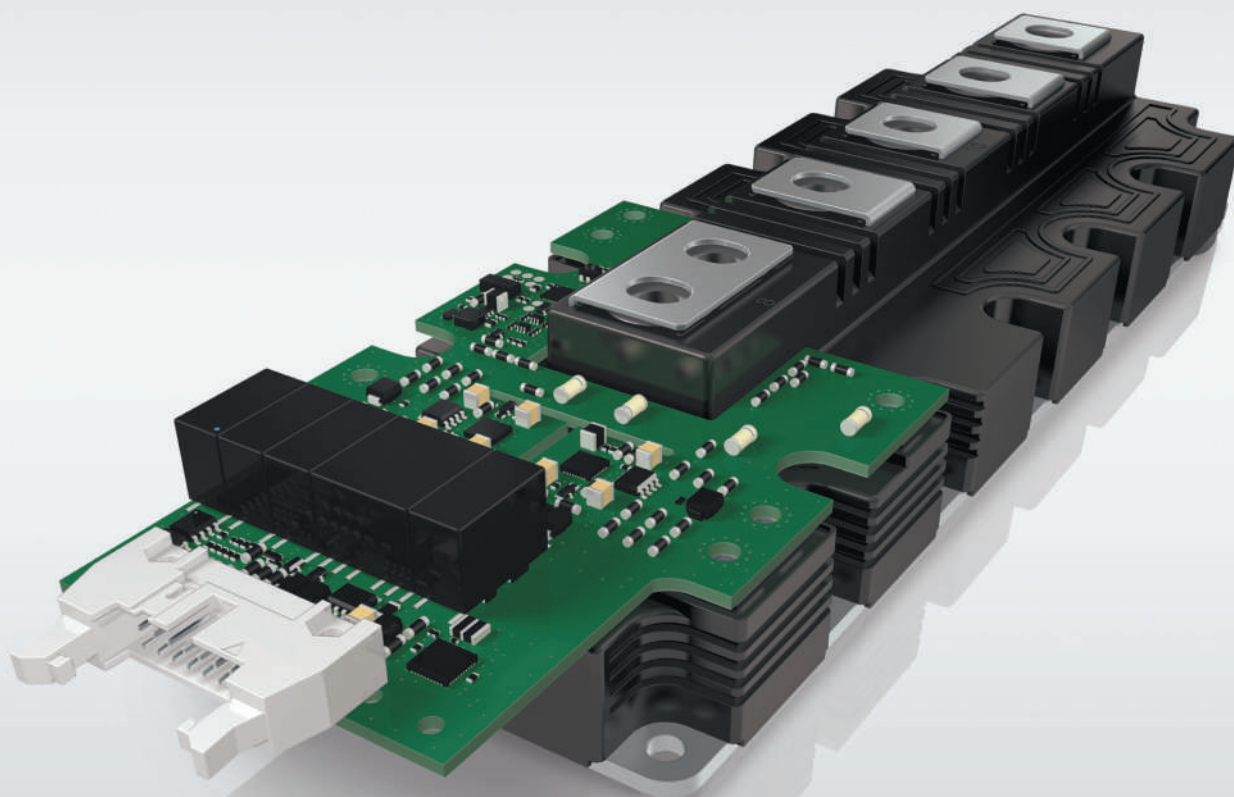
## ВИМОГИ ДО РЕКЛАМНИХ І АВТОРСЬКИХ МАТЕРІАЛІВ

**Рекламні матеріали** приймаються **тільки українською мовою в форматах «.eps» або «.tif» (300 dpi)**. Кольорова модель — **СМЮК**. 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 СМЮК. **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 — **СМЮК** і надані окремими файлами. Кожний рисунок повинен мати підписувачий підпис і посилання на нього в статті. Якщо в статті є таблиці, то кожна таблиця повинна мати назву, посилання на неї в статті і надаватись в форматах «\*.doc» або «\*.xls».



## Нове покоління модулів SEMITRANS 10 і цифрових драйверів SKYPER PRIME



### Діапазон потужностей 500 кВт–1,5 МВт

Модулі IGBT в стандартному промисловому корпусі

Висока стійкість до термоциклювання

Цифровий драйвер із наднизьким рівнем джиттеру та вихідним струмом 50 А

Два ізольованих канали передачі сигналів сенсорів з ШІМ-модуляцією

Волоконно-оптичний інтерфейс (опціонально)



Моторні  
приводи



Альтернативні  
джерела енергії



Перетворювачі  
потужності



Електротранспорт

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



**WeEn Semiconductors** є глобальною компанією — це спільне підприємство, створене в 2016 році компаніями NXP Semiconductor N.V. та Beijing JianGuang Asset Management Co. Ltd з Китаю. Головний офіс компанії розташований у Шанхаї, Китай. Елементи, вироблені компанією WeEn Semiconductors, створюються завдяки участі досвідченого колективу, який до 2016 року був частиною голландського виробника напівпровідників — компанії NXP (раніше Philips).

WeEn займається біполярною технологією, розробляє та виробляє широку гаму тиристорів, симісторів, діодів (у тому числі силових), високовольних транзисторів, компонентів на базі SiC та інших елементів, що широко використовуються в промисловості, автомобілебудуванні, телекомунікації, освітленні, побутовій електроніці тощо. Ця продукція народжується безпосередньо у NXP.

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



**MASTEK**

м. Київ, пров. Ю. Матуцака, 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)