

CHIP NEWS

**Нові блоки живлення
потужністю 120-600 Вт
з функцією ДБЖ **СЕРІЇ LAD****



SEA

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

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

- Мультикіловатні ДЖ ... [стор. 10](#)
- 8-бітні МК для IoT ... [стор. 16](#)
- Матеріали для захисту ... [стор. 20](#)
- Осердя з МПМ ... [стор. 22](#)
- Покриття з'єднувачів ... [стор. 28](#)
- LDMOS-технологія ... [стор. 68](#)



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

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



№ 04 (229), 2024 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.,
Першин М. О., Поліщук С. Й.,
Рентюк В. К., Стецюк Л. В.,
Файер О. М., Шевченко В. Л.**Адреса редакції:**03061, Київ,
просп. Відрадний, 10E-mail: info@chipnews.com.ua
<https://www.chipnews.com.ua>

© «CHIP NEWS».

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

ЗМІСТ

НОВИНИ

Новини світу електронних компонентів. 4

ДЖЕРЕЛА ЖИВЛЕННЯ

Мультикіловатні керовані джерела живлення MEAN WELL: унікальні рішення для сучасних промислових установок. 10

МІКРОКОНТРОЛЕРИ

Мікроконтролери, що підвищують продуктивність та кібербезпеку для IoT та вбудованих додатків 14*Джошуа Боуен (Joshua Bowen)**Переклад та редагування: Ірина Приходько***Керування IoT за допомогою 8-розрядних мікроконтролерів 16**

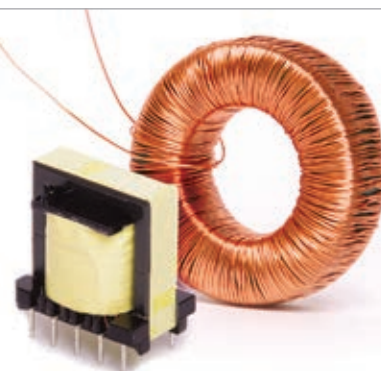
ВИРОБНИЦТВО ЕЛЕКТРОНІКИ: МАТЕРІАЛИ

*Андрій Григорєвський***Зміцнюючі матеріали для аерокосмічної та військової електроніки. 20**

НА ДОПОМОГУ РОЗРОБНИКУ

*Артем Терейковський***Осердя з порошкових матеріалів 22**

ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНІ КОМПОНЕНТИ

*Кива Джурінський***Покриття радіочастотних з'єднувачів 28****Клеми WAGO Green Range 221.****З турботою про майбутнє 34**www.adcgr.com**ВЛАСНЕ ВИРОБНИЦТВО
В УКРАЇНІ МОТОЧНИХ ВИРОБІВ
ЗГІДНО ДОКУМЕНТАЦІЇ
АБО ЗА ТЕХНІЧНИМ
ЗАВДАННЯМ**ТОВ «АДС ТІМ»
Україна, м. Київ
пров. Ю. Матушка, 3, оф. 126тел. +38 044 206 22 52
моб. +38 067 249 77 58
+38 050 464 22 52

ВБУДОВАНІ СИСТЕМИ

Ральф Бісмайєр (Ralf Bißmeier)

Підходи до рішень для одноплатних комп'ютерів з високими вимогами 36

ІННОВАЦІЇ

МІС-733-АО — система для значного прискорення розробки генеративного ШІ 40

*Бернд Хайдтманн (Bernd Heidtmann),
Набіл Хан (Nabeel Khan)*

Швидка і проста розробка точки доступу Wi-Fi 6E з GNSS-приймачем u-blox M10 42

ПРОЄКТУВАННЯ ДРУКОВАНИХ ПЛАТ

Закарайа Петерсон (Zachariah Peterson)

Посібник для початківців з цілісності живлення друкованих плат: від плати до корпусу 46

ВИМІРЮВАЛЬНА ТЕХНІКА

*Переклад та редагування:
Віктор Бутирін*

Прискорення тестування електромагнітної інтерференції з використанням сканування в режимі реального часу 50

СИЛОВА ЕЛЕКТРОНІКА

*Переклад та редагування:
Володимир Павловський*

Силова електроніка для джерел живлення 56

Джордж Уорд (George Ward)

*Переклад та редагування:
Євген Тетерев, Віталій Шевченко*

Карбід-кремнієві компоненти компанії Microchip для промисловості, авіації та оборонної сфери 62

*С. Й. К. Х. Теувен (S. J. C. H. Theeuwes),
Дж. Х. Куреші (J. H. Qureshi)*

*Переклад та редагування:
Роман Горелков*

LDMOS-технологія для радіочастотних підсилювачів потужності 68

ВІЗИТКИ 76

ВИСТАВКИ 81

ІНФОРМАЦІЙНА СТОРІНКА 84



Захисні покриття для електроніки

Холодний цинкувальний спрей ZINC Bright 63 ECS, 400 мл



Спрей ZINC Bright – це суміш із високим вмістом цинку для холодного гальванічного цинкування, призначена для захисту від корозії та іржі. ZINC Bright формує міцну та еластичну плівку, яка з'єднується з будь-яким металом основи. Плівка містить 99,5% чистих цинкових пігментів та з'єднується з чистим металом електрохімічним способом. Покриття забезпечує активний захист гальванічними анодами та зупиняє утворення іржі навіть при подряпинах та стиранні. Покриття швидко сохне, має відмінну адгезію та утворює сірий шар. Спрей ZINC Bright відповідає стандартам DIN 50976 та Mil. Specs.

Застосування

Підходить, зокрема, для захисту від корозії конструкційних сталей, будівель зі сталевих конструкцій, сталеві дахи, вікна та двері; для нанесення на цинкові покриття, зварювальні шви та шви точкового зварювання, обладнання для дому та саду, кондиціонери, вежі охолодження та сільськогосподарське обладнання.

Важливо

Максимальний захист гальванічними анодами гарантується лише за умови розпилення на чисту та суху поверхню.

Для цього попередньо видаліть пухкі продукти корозії та залишки старих покриттів металевою щіткою. Потім потрібно знежирити та видалити забруднення за допомогою спрею ECS ELECTRO-CLEANER або ізопропилового спирту. Перед нанесенням спрей необхідно ретельно перемішати: потрясти балон протягом 2 хвилин, щоб кульки всередині вільно переміщувались. Розпиліть спрей на всю поверхню деталей, які потрібно обробити з відстані близько 30 см, неближче, бо інакше нанесений шар розтікатиметься. Розпилювальна форсунка має самоочищувальну функцію. Якщо вона все ж таки засмітиться, очистіть її за допомогою будь-якого розчинника.

Технічні дані:

- Колір сірий
- Питома густина (20° C): 0,95 г/см³
- Умови висихання: 30 хв., покриття сухе на дотик
- Кімнатна температура: 24 години, повна витримка
- Термостійкість: до +200 °C
- Короткострокова термостійкість: +300 °C
- Оптимальна товщина плівки: 60 – 80 мкм
- Чистота цинковмісного пігменту: 99,5%

Зберігання / Термін придатності

Термін придатності становить 5 років за умови правильного зберігання.

Видаляч флюсу ECS FLUX-OFF 05

Ефективно видаляє каніфольні флюси та інші залишки після паяння. FLUX-OFF — м'який, але ефективний очищувач, що легко видаляє найстійкіші залишки флюсу, паяльних мастил та інших забруднень, таких як: жир, бруд і формувальні суміші. FLUX-OFF безбарвний і не залишає залишків. Використовується для обережного й інтенсивного очищення друкованих плат, електронних вузлів та інших електронних компонентів, також придатний для знежирення деталей та обладнання. Він не пошкоджує матеріали, що широко використовуються в електронній промисловості та побуті. Однак при цьому його не слід використовувати для ПВХ і полістиролу.

Застосування

FLUX-OFF доцільно використовувати для обережного, але інтенсивного очищення друкованих плат, електронних вузлів та інших електронних компонентів. Крім того, він також підходить для знежирення установок і приладів. Ретельно нанесіть FLUX-OFF на залишки, які необхідно видалити. Для більш точного нанесення використовуйте подовжувальну трубку, що додається до засобу. Для більш ефективного очищення слід використовувати адаптер-пензель Brush Adapter. Розчинникам необхідний певний час, щоб подіяти. Для захисту друкованих плат після процесу очищення ми рекомендуємо використовувати захисні покриття PLASTIC 70 та URETHANE 71.

Адаптер — пензель



Важливо

Під час очищення електронні пристрої слід вимкнути, кабель живлення також має бути від'єднаний від джерела живлення. Також слід прийняти до уваги інструкції щодо очищення від виробників пристроїв, що підлягають очищенню.



Артикул	Назва
42673	Холодний цинкувальний спрей ZINC Bright 63 ECS, 400 мл
39770	Видаляч флюсу FLUX-OFF 05 ECS, 400 мл
39809	Адаптер — пензель Brush Adapter ECS

Новини світу електронних компонентів

РОЗШИРЕННЯ ПОРТФЕЛЮ РАДІАЦІЙНО-СТІЙКИХ МК

Космічні дослідження переживають відродження завдяки новим захоплюючим місіям, таким як довгоочікувана місія Artemis II, нещодавні успішні місії висадки на Місяць, такі як JAXA SLIM та Чандарян-3, а також розгортання нових космічних систем на низькій навколосезній орбіті (LEO). Для роботи в суворих умовах космосу конструкторам потрібні електронні компоненти, які відповідають суворим стандартам радіації та надійності. **Компанія Microchip Technology** оголосила про випуск **SAMD21RT** — радіаційно-стійкого (RT) 32-розрядного мікроконтролера (MCU) на базі **Arm® Cortex®-M0+** у 64-контактному керамічному та пластиковому корпусі з 128 КБ флеш-пам'яті та 16 КБ SRAM.

Розроблений для застосування в умовах обмеженого простору, де розмір і вага мають вирішальне значення, **SAMD21RT** має невеликі розміри (10 мм × 10 мм). Працюючи на частоті до 48 МГц, **SAMD21RT** забезпечує високопродуктивну обробку даних у важких умовах експлуатації. Пристрій інтегрує аналогові функції, включаючи аналого-цифровий перетворювач (АЦП) з підтримкою до 20 каналів, цифро-аналоговий перетворювач (ЦАП) і аналогові компаратори.

Пристрій **SAMD21RT** побудований на базі сімейства мікроконтролерів **SAMD21**, яке широко використовується в промис-

ловості та автомобілебудуванні. Він також базується на комерційних пристроях **COTS** (Commercial-Off-The-Shelf), що значно спрощує процес проєктування при переході на радіаційно-стійкі пристрої, оскільки конструкція залишається сумісною з выводами. **Microchip** пропонує комплексне системне рішення для космічних застосувань з безліччю пристроїв, які можуть бути спроектовані на базі мікроконтролера **SAMD21RT**, в тому числі ПЛІС, силових і дискретних пристроїв, пристроїв пам'яті, комунікаційних інтерфейсів і генераторів, що забезпечує широкий спектр можливостей для різних рівнів кваліфікації.

Щоб протистояти суворим умовам навколишнього середовища, такими як радіація та екстремальні температури, **MCU SAMD21RT** може працювати в діапазоні температур від -40 до 125 °C і забезпечує високий рівень радіаційної стійкості з сумарною іонізуючою дозою (TID) до 50 крад та імунітетом до одиничних подій (SEL) до $78 \text{ MeV.cm}^2/\text{мг}$.

«Перевага співпраці з компанією **Microchip** полягає в тому, що ми маємо досвід, знання та можливості для розробки та тестування наших радіаційно-стійких пристроїв, — сказав Боб Вампола (Bob Vampola), віцепрезидент аерокосмічного та оборонного бізнес-підрозділу **Microchip**. — Ми продовжуємо впроваджувати новітні технології, такі як Ethernet, AI та ML, які розвиваються на комерційному та промисловому

ринках, та покращуємо їх радіаційну стійкість, щоб задовольнити потреби космічних місій. Ми також продовжуємо забезпечувати вищу обчислювальну продуктивність та інтеграцію новітніх технологій у менші корпуси, зменшуючи вагу та розмір».

Малопотужний **SAMD21RT** має режими сну в режимі холостого ходу та очікування, а також режим сну периферійних пристроїв. Інші периферійні пристрої включають 12-канальний контролер прямого доступу до пам'яті (DMAC), 12-канальну систему подій, різні таймери/лічильники для керування (TCC), 32-бітний лічильник реального часу (RTC), сторожовий таймер (WDT) та інтерфейс **USB 2.0**. Варіанти зв'язку включають послідовний зв'язок (**SERCOM**), **I²C**, **SPI** і **I¹N**.

www.microchip.com

РАДІАЦІЙНО-СТІЙКІ ПЛІС POLARFIRE® SOC

Розробники електроніки космічних апаратів використовують радіаційно-стійкі (radiation-tolerant, RT) польові програмовані матриці вентилів (ПЛІС) для забезпечення високої продуктивності, надійності, енергоефективності та найкращого у своєму класі захисту від нових загроз у космічній галузі. Щоб зробити ще один крок вперед і допомогти забезпечити швидку, економічно ефективну кастомізацію програмного забезпечення, компанія **Microchip Technology** предста-

вила ПЛІС **RT PolarFire®**, що працює на базі системи на кристалі (SoC). Розроблена на базі ПЛІС **RT PolarFire** від **Microchip**, вона є першою мікропроцесорною підсистемою на базі **RISC-V** з підтримкою **Linux®** в реальному часі на перевірених в польових умовах платформі ПЛІС **RT PolarFire**.

Завдяки цій новині розробники можуть розпочати проєктування з використанням комерційно доступного пристрою **PolarFire SoC** (**MPFS460**) та інструментів розробки **Libero® SoC**. Разом з широкою екосистемою **Mi-V** від **Microchip**, стеками рішень **PolarFire SoC**, **PolarFire SoC Icicle Kit** або **PolarFire SoC Smart Embedded Vision Kit**, розробка рішень з низьким енергоспоживанням для складних температурних умов, що спостерігаються в космосі, може відбуватися вже сьогодні.

Критично важливі для безпеки системи, системи керування, космічні та охоронні програми потребують гнучкості операційної системи (ОС) **Linux** та детермінованості систем реального часу для керування апаратним забезпеченням. ПЛІС **RT PolarFire SoC** оснащені багатоядерним процесором з підтримкою **Linux**, який узгоджено працює з підсистемою пам'яті. **RT PolarFire SoC** забезпечує централізовану обробку супутникових даних, подібну до можливостей одноплатинних комп'ютерів, які широко використовуються в космічній галузі для обробки команд і даних, в авіоніці платформи і в управлінні корисним навантаженням. **SoC** дозволяє гнучко реалізовувати високоінтегровані конструкції, налаштовувати і розвивати функції, одночасно покращуючи розмір, вагу і енергоспоживання.

Системи, розгорнуті в космосі, піддаються жорсткому впливу радіації, що спонукає до розробки методологій проєктування, які можуть забезпечити захист від найбільш критичних типів збоїв, спричинених радіацією. На відміну від ПЛІС **SRAM**, **RT PolarFire SoC** розроблена таким чином, що радіаційне випромінювання не впливає на конфігураційну пам'ять, усуваючи необхідність у зовнішньому блоці очищення (scrubber) та знижуючи загальну вартість системи. Супутники розраховані

Pcb24 — сервіс з експрес виробництва прототипів і невеликих партій одно- та двохшарових друкованих плат

За 24 години ВИГОТОВИМО Ваше замовлення

Власне виробництво у м. Львів



ТОВ «Крієйтів Лоджікс»
www.pcb24.com.ua

pcbprint24@gmail.com
068 614 38 28

на пікову та середню потужність, а також на розсіювання тепла через провідні шляхи, а саме через метал. Починаючи з ПЛІС SoC, яка може зменшити енергоспоживання до 50 відсотків, спрощується весь дизайн супутника, що дозволяє конструкторам зосередитися на виконанні поточної місії.

www.microchip.com

ДБЖ ДЛЯ ДОМАШНЬОГО НАКОПИЧЕННЯ ЕНЕРГІЇ

У сучасному житті електрика стала незамінним джерелом енергії, що забезпечує живлення різних пристроїв як в особистих, так і професійних цілях. Однак через зростання цін на електроенергію та побоювання з приводу нестачі енергопостачання, на ринку зростає попит на екологічно чисту енергетику та рішення для зберігання енергії в домашніх умовах. Компанія **MEAN WELL** фокусується на розробці супутніх продуктів та пропозиції рішень для розв'язання цих проблем.

NTN-5K, новинка MEAN WELL, є високонадійним автономним синусоїдальним двоа-

правленим інвертором DC-AC з вихідною потужністю 5000 Вт. У ньому використовується двоспрямована схема, що забезпечує як потужну зарядку, так і можливість інверсії змінного струму високої потужності. Завдяки своїй конструкції (AC байпас), ДБЖ забезпечує користувачам комплексний захист від безперерйного електроживлення. Користувачі можуть налаштувати резервний або енергозберігаючий режим відповідно до своїх потреб. ДБЖ NTN-5K підходить для житлових, комерційних будівель, кораблів, автомобілів, шахт, будівельних майданчиків та територій без електромережі або з потребами у мобільній електроенергії.

Домашні системи зберігання енергії відіграють важливу роль у сучасному житті. Вони не тільки можуть допомогти користувачам забезпечити аварійне електроживлення, але й у поєднанні із сонячними панелями та сонячними зарядними пристроями також можуть одночасно заощаджувати витрати на електроенергію та сприяти захисту навколишнього середовища. На схемі нижче показано базову конфігурацію побутового накопичувача енер-

гії, що включає інвертор MEAN WELL NTN-5K та сумісні батареї. Завдяки накопиченню енергії він задовольняє потреби в електроенергії та забезпечує домогосподарства стабільним та надійним електропостачанням.

www.meanwell.com

ВЕНТИЛЯТОРИ ЗМІННОГО СТРУМУ ТА ПОСТІЙНОГО СТРУМУ

Компанія **MEAN WELL** пропонує нові серії вентиляторів: CHACB — серію вентиляторів змінного струму та CHA(T) — серію вентиляторів постійного струму.

В охолоджувальних вентиляторах CHACB-серії змінного струму MEAN WELL використовуються шарикопідшипники, що відповідають сертифікаційному стандарту UL 507, вимогам ЄС CE та проходять численні перевірки надійності, що гарантує їхню безпеку та безвідмовність під час тривалого використання. CHAC-серія вентиляторів змінного струму має міцну конструкцію завдяки рамі з алюмінієвого

сплаву. CHACB-серія забезпечує низьку вартість складання різноманітних індустріальних рішень завдяки живленню від мережі змінного струму, і, як наслідок, відсутності потреби в додаткових периферійних AC/DC-перетворювачах. Ці вентилятори можуть застосовуватися в різних пристроях, таких як побутова техніка, медичне обладнання, промисловий розподіл електроенергії, накопичувачі енергії, ліфти, машини та інструменти.

CHA(T)-серія вентиляторів постійного струму забезпечує такі ключові переваги, як низький рівень шуму, низьке енергоспоживання, постійне забезпечення стабільного об'єму повітря на охолоджуваному пристрої, що дає змогу уникнути перегріву та збоїв у роботі обладнання/приладів. CHA(T)-серія вентиляторів постійного струму використовується в системах зв'язку, електропостачання, зберігання енергії, приладобудуванні та медичному обладнанні та в інших галузях промисловості. Універсальність для широкого спектра умов довкілля ґрунтується на отриманих сертифікатах UL, CE, TUV, VDE, а також на відповідності вимогам ROHS і



Серії NTS/NTU

250-3200 Вт

Нове покоління інверторів з чистою синусоїдою

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

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



SEA

ІННОВАЦІЇ ТА ЕФЕКТИВНІСТЬ



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

MAXTENA

M7HCT-A-SMA



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

M1575HCT-22P-SMA (GG)



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

MAXTENA MPA-254-WIFI



MAXTENA MEA-2400-UWB-SM



MAXTENA MEA-2400-MM



WWW.MICRODIS.NET

Роман Прокопець – менеджер з продажу (067) 475-81-86

Roman.Prokopets@microdis.net

REACH стандартів у сфері природоохоронного законодавства.

СНА(T)-серія вентиляторів постійного струму, рекомендована до застосування з усіма джерелами живлення MEAN WELL серій LOP, EPP і джерелами живлення RPS-200, RPS-300, RPS-400, RPS-500 і частотними перетворювачами моделей VFD-250P, VFD-350P-230, VFD-750C-230.

www.meanwell.com

ICR-2734 LIBRATUM ПРИХОДИТЬ НА ЗМІНУ LR77 V2 LIBRATUM

Компанія **Advantech** оновлює ряд маршрутизаторів і пропонує до вашої уваги ICR-2734 Libratum та ICR-2431.

ICR-2734 Libratum — це вдосконалений та повністю сумісний наступник стільникового маршрутизатора Advantech LR77 v2 Libratum.

Промисловий маршрутизатор ICR-2734 Libratum пропонує ще більше функцій і вдосконалень, таких як більш потужний процесор і великий обсяг пам'яті для забезпечення тривалого життєвого циклу, порт USB, більш детальна світлодіодна індикація, а також широкі можливості налаштування програмного забезпечення для користувача. В якості опції у виробника можливо додатково встановити мік-

росхему TPM 2.0 (Trusted Platform Module) для перевірки цілісності маршрутизатора. Це дозволить забезпечити надійність системи у відповідь на зростаючі вимоги до кібербезпеки в багатьох галузях промисловості та державного сектору.

ICR-2431 — це промисловий стільниковий маршрутизатор, що призначений для бездротового зв'язку в мобільних мережах з традиційними технологіями стільникового зв'язку.

Маршрутизатор ICR-2431 відповідає стандарту Cat.4, пікова низхідна швидкість до 150 Мбіт/с, висхідна — до 50 Мбіт/с., має два незалежних Ethernet порти (LAN або WAN), 1 послідовний порт RS232, 1 порт RS485 і цифрові порти входу/виходу (1 x DI, 11 x DO).

Додатково маршрутизатор має конфігурацію з модулем WiFi 802.11a/b/g/n та налаштовується в режимі станції (STA), точки доступу (AP), багатоцільовий режим AP та STA.

Ці маршрутизатори підтримують створення VPN-тунелів з використанням різних протоколів для забезпечення безпечно-го зв'язку. Також є діагностичні функції, які включають автоматичний моніторинг бездротових і дротових з'єднань, автоматичний перезапуск у разі втрати з'єднання, а також апаратний сторожовий таймер (WTD), який контролює стан маршрутизатора.

Маршрутизатори мають відкриту платформу Linux і широкі можливості програмування користувачських програмних додатків на мовах Python, C/C++.

Підтримується чинна бібліотека додатків Advantech Router Apps (користувачські модулі) з уже розробленими додатками для розши-

WWW.EVO.NET.UA



Оригінальні мікрокомп'ютери Raspberry Pi, NVIDIA, micro:bit та аксесуари до них



Комплектуючі до FPV дронів



Альтернативні джерела живлення



ЗАВЖДИ АКТУАЛЬНА НАЯВНІСТЬ ТОВАРУ НА САЙТІ



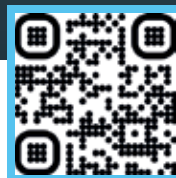
БЕЗКОШТОВНА ДОСТАВКА НОВОЮ ПОШТОЮ



ШВИДКА ОБРОБКА ЗАМОВЛЕНЬ



ОФІЦІЙНО ЗАВЕЗЕНИЙ ТОВАР



EVOCOM
www.evo.net.ua

тел. (067) 210-70-88
www.evo.net.ua

рення специфічної функціональності маршрутизатора, в тому числі перетворення промислових протоколів і підтримку платформ IoT, таких як MS Azure, Cumulocity, ThingWorx та інші.

www.advantech.com

ВИСОКОПРОДУКТИВНІ МОДУЛІ WLAN З WI-FI 6 ДЛЯ ПРОМИСЛОВОЇ АВТОМАТИЗАЦІЇ

Компанія **Phoenix Contact** розширює свій асортимент продукції для промислових мереж, додаючи клієнтські модулі WLAN відповідно до стандарту технології Wi-Fi 6 (IEEE 802.11ax). Нові модулі серії WLAN 1000 підтримують загальну швидкість передачі даних WLAN до 2402 Мбіт/с за ширини каналу 160 МГц.

Потужні й надійні бездротові мережі зв'язку є необхідною умовою для підвищення мобільності та гнучкості виробничих систем і систем транспортування матеріалів у Smart Factory та Smart Manufacturing. Завдяки новому поколінню модулів WLAN Phoenix Contact пропонує належні виро-

би, які відповідають зростаючим вимогам до сучасної бездротової передачі даних. Клієнтські модулі WLAN пропонують новітню технологію Wi-Fi 6 (IEEE 802.11ax), високу продуктивність і особливо високий рівень безпеки й надійності. Завдяки потужному апаратному забезпеченню і сучасній промисловій платі Wi-Fi 6 (IEEE 802.11ax) серія WLAN 1000 має до десяти разів більшу пропускну здатність, ніж поточні лінійки продукції WLAN 1000 на базі Wi-Fi 4 (IEEE 802.11n). Пристрої забезпечують загальну швидкість передачі даних WLAN до 2402 Мбіт/с (канал 160 МГц). Незважаючи на суттєве збільшення продуктивності, компактну й перевірену конструкцію корпусу було збережено. Це дозволяє легко перейти на нове покоління модулів WLAN.

Як порівняти з попередніми поколіннями Wi-Fi, Wi-Fi 6 пропонує значні покращення з погляду надійності, можливості роботи в режимі реального часу та ефективності — особливо в разі створення великих мереж із великою кількістю учасників, таких як AGV або системи транспортування вантажів. Апаратне забезпечення нових модулів WLAN також

вже підготовлено для підтримки стандарту Wi-Fi 6E, що дозволить в майбутньому здійснювати бездротовий зв'язок у новому, майже не використовуваному діапазоні 6 ГГц. Це заплановано на 2024 рік. Реалізація залежить від результатів процесу сертифікації пристроїв у відповідних країнах.

www.phoenixcontact.com

СУЧАСНІ КЛЕМИ ВИМІРЮВАЛЬНОГО ТРАНСФОРМАТОРА З ТЕХНОЛОГІЄЮ PUSH-X

Найважливішою особливістю нових клем вимірювального трансформатора XTVMЕА 6 від компанії **Phoenix Contact** є автоматичне випереджальне коротке замикання трансформатора струму. Ця функція замикання перед розмиканням забезпечує безпечну експлуатацію трансформатора струму для всіх завдань з технічного обслуговування та випробувань.

Нові клеми вимірювального трансформатора оснащені технологією з'єднання Push-X, яка не вимагає застосування сили або

інструментів. Ця технологія є однією з найшвидших і найгнучкіших технологій з'єднання, оскільки підходить для всіх типів провідників, як з наконечниками, так і без них. Завдяки бічному підключенню проводу клеми мають велике, легко читабельне маркування з'єднань. Енергетичний сектор, зокрема, отримує найбільші переваги від клем вимірювального трансформатора XTVMЕА 6. Вони підходять для всіх вимірювальних і захисних застосувань. Вони повністю сумісні з наявною серією клемних колодок ME 6 від Phoenix Contact. Нові клеми вимірювального трансформатора також мають ергономічний дизайн і двічі по три функціональні шахти. Також можна використовувати приладдя системи Cipline complete. Для виконання короткого замикання з'явилося також додаткове нове приладдя. За допомогою важеля керування C-MEA і вставних комутаційних перемичок SB-MEA можна використовувати й замикати одночасного декілька клем. Серію XTVMЕА 6 довершують прохідні клеми та клеми для захисного провідника, які мають однакову форму.

www.phoenixcontact.com



RADIODETAILI

ВЕЛИКИЙ ВИБІР РАДІОДЕТАЛЕЙ!

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

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

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

Павільйон 9В+
(068) 599 56 99

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

RADIODETAILI.COM.UA

K206

Електронні компоненти

Все для виробництва та ремонту зі складу та на замовлення

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



**СИГНАЛЬНІ
ТРАНСФОРМАТОРИ
ДЛЯ ВЕЛИКИХ
НАКОПИЧУВАЧІВ
ЕНЕРГІЇ ТА ДБЖ**

Компанія **Würth Elektronik** розширює свою серію трансформаторів WE-BMS для систем керування акумуляторними батареями версіями на робочу напругу 1500 В постійного струму. Конструкція компонентів має посилену ізоляцію відповідно до стандарту IEC 62368-1 з

потрійною ізоляцією проводів (первинна і вторинна сторони), а також гальванічну розв'язку і випробувальну напругу 6400 В постійного струму. Все це робить нові моделі серії ідеальними для використання у великих стаціонарних системах зберігання енергії від сонячних і вітрових електростанцій, в системах проміжного зберігання на потужних зарядних станціях для згладжування пікових навантажень або для джерел безперервного живлення, що застосо-

вуються в критично важливих інфраструктурах.

Системи керування акумуляторними батареями забезпечують безпечну експлуатацію акумуляторних блоків і надають інформацію про стан батареї та її заряду. Контролери BMS з'єднані послідовно, так само як і елементи батареї. Оскільки між послідовно з'єднаними компонентами можуть виникати перепади напруги та електромагнітні завади, трансформатор BMS допомагає ізолювати

компоненти один від одного та придушити завади. Новітні представники серії BMS-трансформаторів Würth Elektronik гарантують це навіть у системах з високою робочою напругою до 1500 В постійного струму. Довговічність покращеної ізоляції модулів відповідно до стандарту IEC 62368-1 була перевірена за допомогою тесту на частковий розряд відповідно до стандарту IEC 60664-1.

www.we-online.com

**БЕЗДРОТОВІ ПЛАТИ
ДЛЯ ЗАРЯДЖАННЯ
ДЛЯ ПРОМИСЛОВОСТІ,
МЕДИЦИНИ
ТА РОЗУМНОГО ДОМУ**

Компанія **STMicroelectronics** представила 50-ватну Qi-сумісну комбінацію передавача та приймача для прискорення розвитку бездротового заряджання для потужних пристроїв, таких як медичне та промислове обладнання, побутова техніка та комп'ютерні периферійні пристрої.

Використовуючи нове рішення ST для бездротового заряджання, розробники можуть скористатися



Офіційний дистриб'ютор

BETTER FUSE
You build electronics, We safeguard them!





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



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



Захист від високої температури
(серія запобіжників та серія термостатів)



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



Захист від перенапруги
(супресори обмежувачі електростатичного заряду та напруги)

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

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

зручність та швидкість бездротового заряджання в пристроях, які потребують більшої потужності та коротшого інтервалу між заряджаннями. До таких пристроїв належать пилососи, акумуляторні електроінструменти, дрони та інші мобільні роботи, пристрої для доставлення медичних препаратів, портативні ультразвукові системи, сценічне та мобільне освітлення, принтери та сканери. Без кабелів, роз'ємів і складних док-станцій ці продукти можуть стати простішими, доступнішими та надійнішими.

Плата STEVAL-WBC2TX50 може видавати до 50 Вт вихідної потужності за допомогою протоколу ST Super Charge (STSC). STSC — це власний протокол ST для бездротового заряджання на більшій швидкості, ніж стандартні протоколи, що використовуються в смартфонах і подібних пристроях, що дозволяє швидше заряджати акумулятори великої ємності. Плата також підтримує базовий профіль потужності Qi 1.3 Вт (BPP) і розширений профіль потужності (EPP) потужністю 15 Вт. Основним компонентом на борту є передавальна система STWBC2-HP, яка поєднує в собі мікроконтролер STM32G071

Arm® Cortex®-M0 і передню панель, орієнтовану на конкретне застосування. Передня частина забезпечує формування сигналу і керування частотою, генератор ШІМ високої роздільної здатності для керування передавачем і працює з будь-якою напругою постійного струму від 4.1 до 24 В. Він також містить драйвери затворів MOSFET і інтерфейс D+/D- для живлення через USB. Крім того, STWBC2-HP SiP може працювати з захищеним елементом STSAFE-A110 від ST для забезпечення автентифікації Qi.

Плата приймача STEVAL-WLC98RX розрахована на потужність заряджання до 50 Вт, що дозволяє безпечно використовувати всі можливості STSC, а також заряджання BPP і EPP. Особливості включають підтримку адаптивної конфігурації випрямляча (ARC), яка збільшує відстань заряджання на 50%, дозволяючи використовувати дешевші котушки та більш гнучкі конфігурації. Також забезпечується точне вимірювання напруги та струму для виявлення сторонніх предметів (FOD), терморегуляції та захисту системи. Ця плата використовує мікросхему бездротового при-

ймача живлення STWLC98 від ST, яка містить ядро Cortex-M3 та інтегрований високоефективний синхронно-випрямляючий каскад з програмованою вихідною напругою до 20В.

Спеціальні програмні засоби STSW-WPSTUDIO для STEVAL-WLC98RX і STSW-WBC2STUDIO для STEVAL-WBC2TX50 дозволяють змінювати параметри конфігурації, пристосовуючи роботу пристрою до потреб індивідуальних застосунків. Також доступний повний набір конструкторської документації для допомоги в розробці.

www.st.com

МОСТОВА МІТКА NFC I²C ДЛЯ БЕЗКОНТАКТНОЇ АВТЕНТИФІКАЦІЇ ТА БЕЗПЕЧНОЇ КОНФІГУРАЦІЇ ПРИСТРОЇВ ІОТ

Зі збільшенням кількості розумних пристроїв зростають і вимоги до досвіду користувачів з точки зору простоти конфігурації та сполучення пристроїв. Для вирішення цієї проблеми компанія **Infinion Technologies AG** випускає OPTIGA™ Authenticate NBT,

високопродуктивну мітку-міст NFC I²C для автентифікації в один дотик і безпечного налаштування пристроїв IoT. Це єдина на ринку мітка з асиметричною криптографією для операцій підпису та перевірки, сертифікована NFC Forum як мітка типу 4. OPTIGA Authenticate NBT забезпечує надшвидкий і безперервний обмін даними навіть у великих об'ємах. Вона забезпечує безконтактний зв'язок NFC (Near Field Communication) між пристроями Інтернету речей та безконтактними зчитувачами, такими як смартфони. Її можна використовувати для різних застосунків, таких як захищене конфігурування електронних пристроїв без дисплея, активація транспортних засобів спільного користування, пасивне введення в експлуатацію «розумних» лампочок без живлення перед встановленням, а також реєстрація даних на моніторах здоров'я пацієнта.

OPTIGA Authenticate NBT пропонує чудову безпеку завдяки архітектурі безпеки Infineon Integrity Guard 32 та сертифікації EAL6+ як для апаратного забезпечення, так і для криптографічних бібліотек.

www.infineon.com



www.tpss.com.ua

Постачання електронних компонентів та з'єднувачів

Мультікіловатні керовані джерела живлення MEAN WELL: унікальні рішення для сучасних промислових установок

Джерела живлення (ДЖ) серій CSP-3000, DPU-3200, PHP-3500 і PHP-3500-HV виробництва компанії MEAN WELL мають унікальний для свого класу набір характеристик. Ці ДЖ мають можливість віддаленого керування і контролю, зокрема за допомогою цифрових інтерфейсів, що особливо актуально для сучасної промисловості. Гарантія на ці високонадійні прилади становить 5 років.

Назва компанії MEAN WELL у перекладі з англійської буквально означає «мати добрі наміри». Ця фраза відображає життєву філософію засновника компанії Джеррі Ліна і служить фундаментальним принципом, на базі якого здійснюється вся діяльність MEAN WELL. Насамперед цей принцип проявляється в прагненні компанії стати для своїх споживачів надійним постачальником високоякісної продукції за прийнятними цінами.

Заснована в 1982 році компанія MEAN WELL вже з самого початку своєї діяльності приділяла підвищену увагу питанням якості та надійності. Це зрештою і стало тим основним фактором, який дав змогу компанії залишити далеко позаду численних конкурентів, що випускають дешеву, але низькоякісну продукцію, забезпечив феноменально швидкий розвиток компанії та вивів її до числа провідних світових виробників джерел живлення.

Протягом усієї своєї історії компанія MEAN WELL займалася виключно розробкою і виробництвом джерел живлення, не розпоршуючись на інші види діяльності. Завдяки цьому компанія набула неоціненного досвіду і широких компетенцій у своїй галузі, що дають змогу постійно бути в тренді ринкових тенденцій і повноцінно задовольняти попит потенційних споживачів, пропонуючи високотехнологічну, якісну та надійну продукцію відповідно до сучасних вимог міжнародних і галузевих стандартів.

Сьогодні лінійка продукції MEAN WELL налічує вже понад 6000 найменувань, і ця кількість продовжує безперервно

зростати (приблизно на 10% на рік) завдяки випуску нових виробів, що відповідають потребами ринку. Асортимент продукції включає джерела живлення потужністю 0.5–10000 Вт у різних конструктивних виконаннях практично для будь-якої з можливих сфер застосування.

В індустріальних застосуваннях найбільшого поширення набули AC/DC-конвертери з потужністю близько декількох кіловат. Ці прилади знаходять широке застосування в установках для електrolізу, у пристроях ультрафіолетового сушіння та затвердіння, у потужних промислових лазерних установках для оброблення металів, у зарядних пристроях для акумуляторів великої ємності тощо. Крім очевидних вимог, що стосуються гарантованої надійності, високої ефективності та електромагнітної сумісності, ці джерела живлення мають бути розраховані на використання в сучасних автоматизованих і роботизованих виробничих системах, що передбачає наявність у них інтерфейсів керування.

Подібні прилади є і в лінійці постачань компанії MEAN WELL. Серед них найбільший інтерес викликають AC/DC-конвертери серій CSP-3000, DPU-3200, PHP-3500 і PHP-3500-HV. Джерела живлення цих серій розраховані на вихідну потужність від 3 кВт, вирізняються високою ефективністю (до 96%), наявністю вбудованого коректора потужності, забезпечені різноманітними схемами захисту (від коротких замикань, перевантажень, перенапруг тощо), мають здатність паралельно об'єднувати декілька приладів на виході з метою збільшення вихідної потужнос-

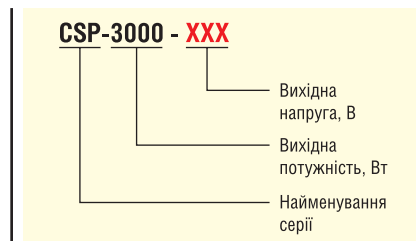


Рис. 1. Структура найменування джерел живлення серії CSP-3000



Рис. 2. Зовнішній вигляд джерела живлення серії CSP-3000

ті та мають можливість тією чи іншою мірою керувати ними ззовні за допомогою проводового інтерфейсу.

CSP-3000 — серія AC/DC-конвертерів із вихідною потужністю 3 кВт, що включає три моделі з номінальною вихідною напругою 120, 250 і 400 В. Структуру найменування джерел живлення серії CSP-3000 наведено на рисунку 1.

Конвертери цієї серії випускаються в металевому корпусі з перфорованими отворами для вентиляції (рис. 2).

На передній панелі корпусу розташовано дві клемні колодки для під'єднання вхідних і вихідних шин відповідно (INPUT і OUTPUT на рис. 3), два штиркові роз'єми (CN1 і CN2) для під'єднання лінії інтерфейсу, два регульовальні потенціометри (SVR1 і SVR2) та індикаторний світлодіод (LED). Зі зворотного боку розташовані два вбудовані вентилятори системи охолодження. Керування вентиляторами здійснюється автома-

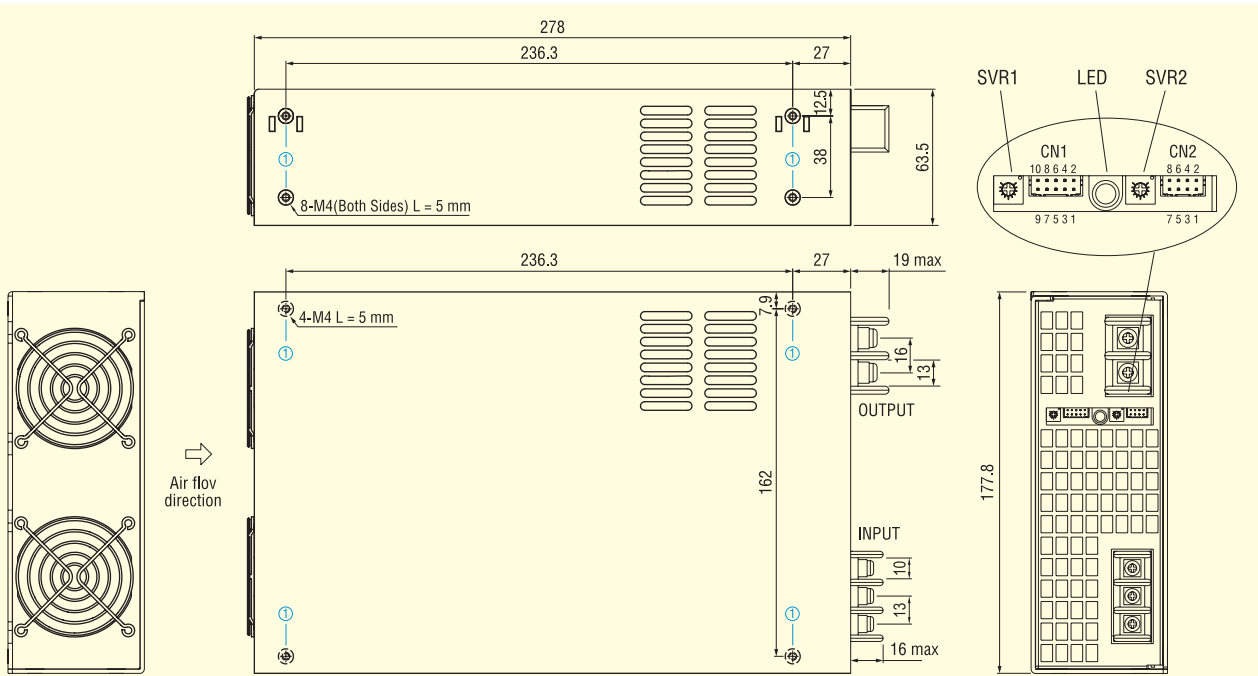


Рис. 3. Креслення і схема розташування виводів джерела живлення серії CSP-3000

тично, залежно від температури навколишнього середовища і вихідної потужності.

Джерела живлення серії CSP-3000 можуть працювати в одному з двох режимів: у режимі стабілізації напруги або в режимі стабілізації струму. У першому режимі джерело живлення буде прагнути підтримувати на виході постійне значення напруги, незалежно від струму навантаження, у другому випадку — навпаки, струм на виході має фіксоване значення і не залежить від напруги на навантаженні (опору навантаження). Зрозуміло, у будь-якому з режимів значення потужності на виході не повинні перевищувати максимально допустимі величини. Перемикання між режимами здійснюється за допомогою перемички між контактами 5 і 6 роз'єму CN1. За наявності перемички вмикається режим стабілізації напруги, а за відсутності — режим стабілізації струму. У вихідному стані (із заводськими налаштуваннями, заданими виробником) перемичка встановлена, і вихідна напруга задана на рівні номінального значення. Якщо прибрати перемичку, прилад перетворюється на джерело струму фіксованої величини, що дорівнює максимально допустимому значенню за номінальної напруги. Наприклад, для джерела живлення CSP-3000-120 номінальна вихідна напруга дорівнює 120 В. У цьому разі максимально допустиме значення вихідного струму за цієї напруги дорівнюватиме величині максимальної вихідної потужності (3 000 Вт), поділений на 120, тобто 25 А. Потрібно мати на увазі, що така величина вихідного струму не є абсолютним максимумом, а тільки заданим значенням у вихідному стані. Зокрема, для джерела живлення CSP-3000-120 максимальним значенням у режимі стабілізації струму буде 30 А. Величину вихідного параметра (напруги або струму, залежно від режиму роботи) можна регулювати за допомогою потенціометра SVR2 у межах 20–100% від максимального значення (табл. 1).

Крім ручного встановлення вихідного параметра, передбачена можливість дистанційного регулювання для напруги в межах 15–100% і для струму 8–100% від початково заданого значення, що здійснюється за допомогою проводового інтерфейсу, що особливо актуально для автоматизованих

Таблиця 1. Межі регулювання вихідних параметрів джерел живлення серії CSP-3000

Режим	CSP-3000-120	CSP-3000-250	CSP-3000-400
Стабілізація вихідної напруги, В	18–120	37.5–250	60–400
Стабілізація вихідного струму, А	2.4–30	1.4–17	0.8–10

систем керування виробництвом. Регулювання здійснюється подачею постійної напруги величиною до 10 В або ШІМ-сигналу (широкоімпульсної модуляції) частотою 0.5–1 кГц на контакти 5 і 6 роз'єму CN2.

Необхідно враховувати, що величина коефіцієнта корисної дії джерела живлення безпосередньо залежить від навантаження: що більше поточне значення вихідної потужності, то вищий ККД джерела живлення. Графік залежності ККД від вихідної потужності для конвертера CSP-3000-400 показаний на рисунку 4.

Грунтуючись на даних графіка, можна визначити зону оптимальної ефективності, де значення ККД не падає нижче заданої величини. Наприклад, якщо задати як порогове значення ККД 91%, виходить, що значення вихідної потужності має бути не нижче 60% від максимальної. Виходячи з цього і

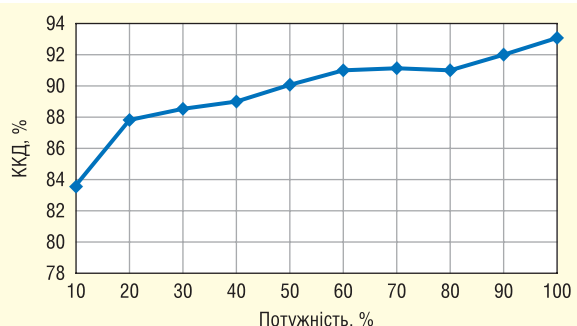


Рис. 4. Графік залежності ККД від вихідної потужності для джерела живлення CSP-3000-400

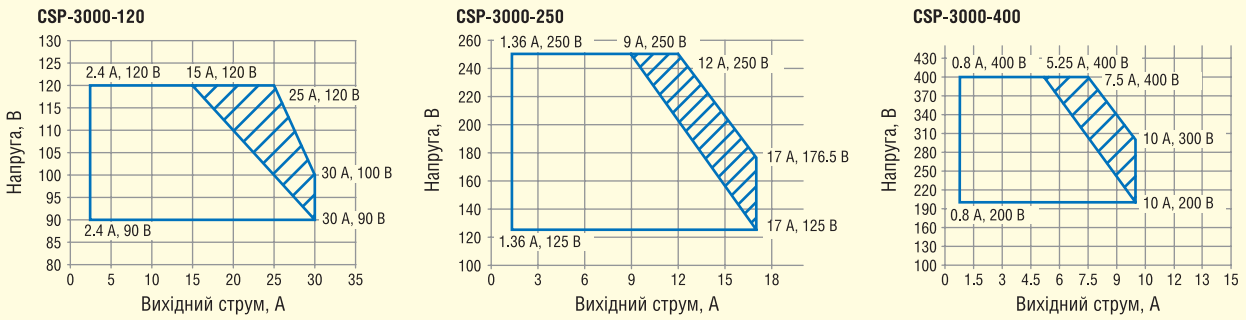


Рис. 5. Рекомендовані зони оптимальної ефективності (заштрихована область) для джерел живлення серії CSP-3000 у режимі стабілізації вихідного струму

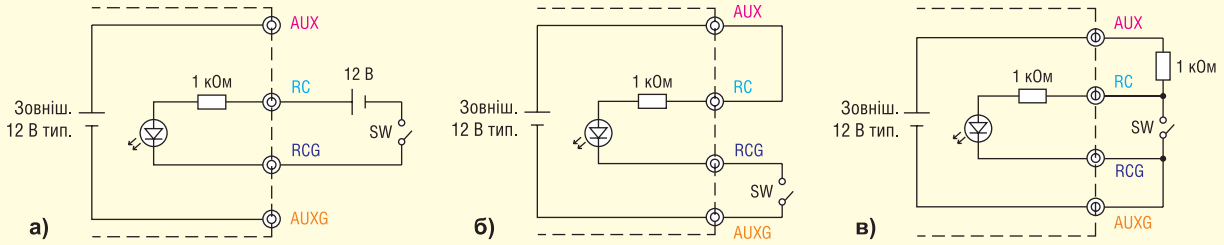


Рис. 6. Варіанти схем увімкнення/вимкнення джерел живлення серії CSP-3000: напруга на вивід RC надходить від зовнішнього джерела живлення в момент замикання контактів SW (а); схема працює аналогічно, але напруга надходить від вбудованого джерела (б); варіант із реверсним увімкненням перемикача SW (в)

з огляду на обмеження на максимально допустиму величину вихідного струму, інженери MEAN WELL підготували діаграми робочих зон для джерел живлення серії CSP-3000 в режимі стабілізації вихідного струму (рис. 5). На цих графіках у межах площі, обмеженої зовнішньою синьою лінією, показано повну робочу зону, усередині якої виділено заштриховану ділянку, що позначає рекомендовану зону оптимальної ефективності.

Увімкнення і вимкнення джерел живлення серії CSP-3000 також можна здійснювати дистанційно через проводний інтерфейс, до того ж кількома способами. Кілька варіантів схем увімкнення/вимкнення наведено на рисунку 6.

Ключ, позначений на схемах як SW, може бути звичайним перемикачем або контактами реле, але найчастіше його роль виконує транзистор з відкритим колектором (стоком). Виходи від допоміжного внутрішнього джерела живлення AUX і AUXG напругою 12 В виведено відповідно на контакти 2 і 1 роз'єму CN2, а виводи RC і RCG — на контакти 3 і 1 роз'єму CN1. Для увімкнення джерела живлення необхідно подати позитивну напругу на вивід RC, що зі свого боку призводить до спрацювання вбудованої оптопари. На схемі, зображеній на рисунку 6а, напруга на вивід RC надходить від зовнішнього джерела живлення в момент замикання контактів SW. Схема, зображена на рисунку 6б, працює аналогічним чином,

Таблиця 2. Значення сигналів світлодіодного індикатора

Сигнал	Інтервал, с	Індикація	Значення
Зелений постійний	0	██████████	Нормальна робота
Зелений миготливий	1.4	█ █ █ █	Режим холостого ходу
Червоний миготливий	0.2	███ ███ ███ ███	Перевантаження або перенапруження
Червоний миготливий	1.4	██ █ █	Перегрівання або несправність термодатчика
Червоний постійний	0	██████████	Несправність вентилятора

за винятком того, що напруга надходить від вбудованого джерела. На схемі, представлений на рисунку 6в, показано варіант із реверсним увімкненням перемикача SW: у цьому разі увімкнення здійснюється в момент розмикання контактів перемикача. Вимкнення, відповідно, здійснюється переведенням контактів ключа SW у протилежний стан.

Джерела живлення серії CSP-3000 можуть сигналізувати про стан вихідної напруги. Коли ця напруга опускається нижче 80% від встановленого значення, подається сигнал тривоги Alarm, а якщо вище, то робота йде в штатному режимі (OK). Для реалізації цієї функції є дві пари

контактів роз'єму CN1: P OK і P OK GND (виводи 7 і 9 відповідно), P OK2 і P OK GND2 (виводи 2 і 4). Обидві пари контактів є виходами ключів, що перебувають в одному з двох станів: відкритому (сигнал тривоги) або закритому (OK). Відмінність між ними лише в тому, що перша пара виводів (P OK і P OK GND) пов'язана з контактами реле, тоді як друга — з ключовим транзистором (рис. 7). Відповідно, також відрізняються допустимі значення струмів і напруг, що подаються на ці ключі. У першому випадку (схема, зображена на рис. 7а) допускаються напруга до 20 В і струм до 500 мА, у другому (рис. 7б), відповідно, 30 В і 10 мА.

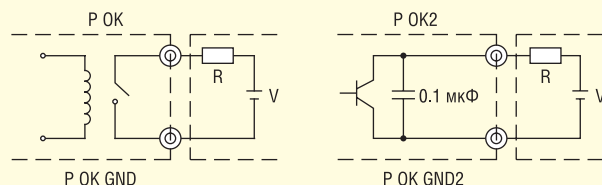


Рис. 7. Схеми під'єднання лінії зворотного зв'язку для передавання статусу вихідної напруги: схема, що працює при напрузі до 20 В і струмі до 500 мА (а); схема, розрахована відповідно на 30 В і 10 мА (б)

Таблиця 3. Технічні характеристики джерел живлення серії CSP-3000			
Найменування	CSP-3000-120	CSP-3000-250	CSP-3000-400
Номінальна вихідна напруга, В	120	250	400
Номінальний вихідний струм, А	25	12	7,5
Максимальна вихідна потужність, Вт	3000		
Максимальний розмах пульсації, мВ	800	1000	1200
Діапазон вихідних напруг у режимі стабілізації струму, В	90–120	125–250	200–400
Загальна нестабільність вихідної напруги, %	±1		
Нестабільність вихідної напруги за (в) мережу, %	±0.5		
Нестабільність вихідної напруги за навантаженням, %	±0.5		
Типовий час утримання при повному навантаженні, мс	10		
Діапазон вхідних напруг змінного струму, В	180–264		
Діапазон вхідних напруг постійного струму, В	254–370		
Діапазон частот змінного струму, Гц	47–63		
Типовий коефіцієнт потужності, не менше	0.95		
Типовий коефіцієнт корисної дії, %	92	92.5	93
Типовий викид вхідного струму на старті, А	60		
Струм витікання, не більше, мА	0.3		
Діапазон робочих температур, °С	–20...+65		
Діапазон температур зберігання, °С	–40...+85		
Напруга ізоляції «вхід-вихід», В	3000		
Опір ізоляції «вхід-вихід», МОм	100		
Середній час напрацювання на відмову за стандартом Telcordia SR-332, не менше, год	223800		
Середній час напрацювання на відмову за стандартом MIL-HDBK-217F, не менше, год	75100		

Детальнішу інформацію про поточний стан джерела живлення можна отримати з індикації світлодіода, розташованого на передній панелі приладу. Цей світлодіод може світити червоним або зеленим, горіти постійно або блимати з різною частотою. Кожен із цих видів ін-

дикації сигналізує про певний стан джерела живлення. У таблиці 2 наведено значення цих сигналів.

Для збільшення вихідної потужності можна об'єднувати до трьох джерел живлення однієї моделі серії CSP-3000 паралельно. Для цього необхідно:

- Виставити на всіх джерелах живлення, що об'єднуються в паралель, одну й ту саму вихідну напругу з точністю до 0.2 В (тобто різниця вихідних напруг будь-яких двох приладів у групі не повинна перевищувати цієї величини). Тонке регулювання вихідних напруг здійснюється потенціометром SVR1.
- Об'єднати в паралель на всіх джерелах живлення виводи CS+ і CS– роз'єму CN1 (контакти 8 і 10 відповідно). Це необхідно для того, щоб привести до однієї величини вихідні струми всіх об'єднаних джерел живлення.
- Об'єднати в паралель вихідні шини всіх джерел живлення в групі. Водночас дроти, що використовуються для цієї мети, мають бути якомога коротшими і мати досить великий перетин, щоб уникнути резистивних втрат. Вихідний струм кожного з джерел живлення в групі не повинен перевищувати 90% від максимального допустимого значення. Отже, максимальна потужність, яку можна отримати при паралельному об'єднанні трьох (це максимум) джерел живлення серії CSP-3000, дорівнюватиме:

$$P_{max} = 3 \times 3000 \times 0.9 = 8100 \text{ Вт.} \quad (1)$$

Основні технічні характеристики джерел живлення серії CSP-3000 наведено в таблиці 3.

Далі буде



- Трифазний вхід з широким діапазоном живлення 340...530 В AC
- Номінали вихідних напруг: 55, 115, 230, 380 В DC
- Високий ККД до 97%
- Можливість вибору типу охолодження (водяне або вентиляторні)
- Програмування вихідного струму та напруги

- CANBus протокол обміну даними (опціонально - PMBus/MODBus)
- Паралельне підключення до 4х одиниць – система потужністю до 40 кВт
- Захист від перенапруги, перевантаження, короткого замикання
- Вбудований DC-OK, сигналізація перегріву, несправності вентилятора і втрати живлення на вході
- Гарантія 5 років



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

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

Мікроконтролери, що підвищують продуктивність та кібербезпеку для IoT та вбудованих додатків

Компанія STMicroelectronics розширила серію мікроконтролерів STM32U5 новими виробами, що підвищують продуктивність та безпеку при одночасному зниженні енергоспоживання.

В портфелі Компанії CEA представлена широка номенклатура товарів виробництва STMicroelectronics. Ознайомитись із повним переліком товарів можна на сайті CEA.

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 надійної кібербезпеки. MCU також інтегрують криптографічні прискорювачі для передових алгоритмів AES, забезпечують підтримку архітектури з відкритим ключем та підвищують стійкість до фізичних атак.

Мікроконтролери STM32U5 (рис. 1) 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.

Серія STM32U5 також усуває обмеження на графічну продуктивність, які зазвичай застосовуються до мікроконтролерів із наднизьким споживанням енергії. Варіанти з удосконаленим графічним процесором ST NeoChrom на кристали можуть запускати складний графічний інтерфейс (GUI), можливість, яка раніше була ймовірна тільки з дорогою

системою на основі мікропроцесора. Крихітний вбудований процесор тепер може підтримувати інтерфейс користувача, аналогічний смартфону. Мікроконтролери STM32U5 підтримують також розробку графічного інтерфейсу користувача за допомогою складного інструменту розробки графічного інтерфейсу TouchGFX від ST.

Мікроконтролери STM32U5 забезпечують більший об'єм коду і даних у флеш-пам'яті об'ємом 128 кбайт для недорогих застосувань, а також додають версії з високою щільністю для складних застосувань і складних інтерфейсів, подібних до смартфонів. Серед них пристрої STM32U59x та STM32U5Ax пропонують 4 МБ флеш-пам'яті та 2.5 МБ SRAM, найбільший обсяг вбудованої пам'яті серед усіх мікроконтролерів STM32.

Завдяки своїм розширеним можливостям нові мікроконтролери відкривають нові можливості для застосувань, особливо для тих, які працюють у важкодоступних віддалених місцях.

Як і всі мікроконтролери STM32, компоненти STM32U5 використовують потужну та просту у використанні екосистему розробки STM32Cube та STM32Cube.AI. Ця екосистема об'єднує інструменти та програмне забезпечення для підтримки проектів клієнтів від початку до кінця, включаючи створення передових рішень у галузі штучного інтелекту та машинного навчання шляхом перетворення попередньо навчених нейронних мереж на оптимізований код.

Особливості:

- високошвидкісний інтерфейс USB із вбудованим приймачем;
- код виправлення помилок у Flash та SRAM;
- витривалість 100 000 циклів на 512 кбайт флеш-пам'яті.

Сфери застосування:

- датчики довкілля;
- промислові приводи;
- автоматизація будівель;
- побутова техніка;
- портативні пристрої;
- електровелосипеди;
- аудіотехніка.

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

CN



Рис. 1. Завдяки своїм розширеним можливостям мікроконтролери STM32U5 відкривають нові можливості для застосувань

Шафи AX. KX. з нержавіючої сталі



- ОПТИМІЗОВАНИЙ ПРОСТІР ДЛЯ ВНУТРІШНЬОГО МОНТАЖУ
- КОРПУС З НЕРЖАВІЮЧОЇ СТАЛІ 1.4301 (AISI 304) ТА 1.4404 (AISI 316L)
- КЛАС ЗАХИСТУ ДО IP 66



rittal.com.ua

тисніть,
щоб дізнатись
більше



ГНУЧКІ ТА НАДІЙНІ РІШЕННЯ ДЛЯ ЗАХИСТУ ВАШИХ СИСТЕМ

Керування IoT за допомогою 8-розрядних мікроконтролерів

Джошуа Боуен (Joshua Bowen), Microchip Technology Inc.

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

Мікроконтролери пройшли довгий шлях розвитку. 8-розрядні мікроконтролери демонструють надзвичайну надійність та інноваційність завдяки вдосконаленню пам'яті, енергоспоживання, дизайну корпусів та периферійних пристроїв.

Починаючи з 1970-х років, мікроконтролери (МК) відіграють провідну роль в керуванні різноманітними автомобільними, споживчими та промисловими продуктами. На сьогоднішній день сфера їх застосування розширилася і тепер вони використовуються в портативних, бездротових і натільних (переносних) пристроях Інтернету речей (IoT). Окрім Інтернету речей, ріст зростання використання 8-розрядних мікроконтролерів спостерігається також і в сфері охорони здоров'я.

Вбудована електроніка з 8-розрядними мікроконтролерами вимагає пристроїв, які здатні конкурувати за рахунок економії на масштабі (сотні тисяч, а іноді й мільйони одиниць на одне застосування). Наприклад, в автомобілях 8-розрядні мікроконтролери керують багатьма підсистемами, такими як моторизовані сидіння і вікна, розумні дверні ручки і навіть датчики тиску в шинах. Це означає, що різниця в ціні в кілька центів є досить важливою. Інший аспект вартості застосування, який часто не беруть до уваги на етапі проєктування, — це витрати на обслуговування мільйонів пристроїв. Надійність і довговічність пристроїв можна підвищити за рахунок спрощення коду і використання апаратних засобів замість того, щоб створювати програмне забезпечення з надлишковим кодом.

Серед причин широкого розповсюдження та застосування 8-розрядних мікроконтролерів протягом багатьох років, є їх здатність відповідати потребам користувача. Це досягається завдяки постійним інноваціям у таких питаннях як

пам'ять, енергоспоживання, дизайн корпусів та незалежна від ядра периферія (англ. *Core Independent Peripherals, CIP*).

СУТТЄВЕ ПОКРАЩЕННЯ 8-РОЗРЯДНИХ МІКРОКОНТРОЛЕРІВ

Оскільки сьогодні все більше уваги приділяється IoT, а цілі міста модернізуються за допомогою «розумних» пристроїв, можливість масштабного впровадження інтелектуальних технологій є критично важливою для багатьох галузей. Сюди можна віднести «розумні» вуличні ліхтарі та детектори для паркування на кожному паркувальному місці, а не лише на одному лічильнику на в'їзді. Існують певні вимоги до мікроконтролерів для створення IoT середовища. Їх можна звести до трьох функціональних особливостей: здатність збирати дані, обробляти їх та передавати іншим мережевим пристроям.

Зазвичай збір, обробка та передача даних може бути виконана за допомогою 8-розрядного мікроконтролера із вбудованим аналого-цифровим перетворювачем (АЦП), при цьому ядро пристрою залишається в режимі низького енергоспоживання. Наприклад, датчики/індикатори на розумній парковці, вуличне освітлення, автоматизоване міське озеленення та моніторинг росту рослин можуть застосовувати цей підхід. Дійсно, кожен мВт потужності, помножений на тисячі, може економитись, коли система працює цілодобово.

Переваги та цінність пристроїв менших габаритів полягають не лише в їх зменшеному енергоспоживанні, але й у їх меншому форм-факторі, що дозволяє їм бути розміщеними в обмеженому просторі у портативних IoT пристроях з живленням від батареї.

З урахуванням даних функціональних властивостей розроблено останнє покоління мікроконтролерів. Використання нових технологічних процесів забезпечує більше пам'яті при низьких затратах, ці мікроконтролери є економічно вигідними для користувача, одночасно забезпечуючи необхідну для певного застосування функціональність.

ПАМ'ЯТЬ

Мікроконтролери, що використовувались кілька років тому, значно відрізняються від тих, що представлені зараз на ринку. Ці пристрої були революційними для свого часу та змінили структуру вбудованих схем. Завдяки стрімкому розвитку флеш-пам'яті сучасні програми розвинулись та заповнили доступний простір.

З тенденцією використання в складніших застосуваннях нові програми вимагають більше місця/пам'яті. Отже, нові покоління мікроконтролерів мають дедалі більший об'єм пам'яті за необхідності, щоб вирішити потребу в збільшенні простору для кодування.

Вбудована флеш-пам'ять за необхідності може служити роками, що протестовано під час випробувань автомобілів в умовах з численними циклами запису та стирання інформації. Ці можливості ще збільшують цінність використання 8-розрядних мікроконтролерів. Вже сьогодні обсяг пам'яті у 8-розрядному мікроконтролері може коливатися від 384 біт до 128 КБ і навіть

бути більшим для використання все більшої кількості програм.

СПОЖИВАННЯ ЕНЕРГІЇ

Оскільки багато 8-розрядних мікроконтролерів використовуються в пристроях з живленням від батарей, необхідність забезпечення найнижчого енергоспоживання є однією зі значних властивостей, що беруться до уваги при їх розробці.

Наприклад, мікроконтролери *nanoWatt XLP eXtreme Low Power PIC®* містять схеми контролю системи, спеціально розроблені для продуктів з живленням від батарей. Це означає, що ці мікроконтролери можуть бути в робочому режимі та режимі сну за найнижчих струмів споживання, і знаходяться в умовах з надзвичайно низьким енергоспоживанням 90%–99% часу. Схеми, такі як відключення периферійного модуля, повністю видаляють периферійні пристрої з шини живлення та тактового дерева для нульового витoku енергії. Серед переваг технології *nanoWatt XLP* можна виділити:

- струми в режимі сну нижче 20 нА;
- скидання (системи) при зникненні живлення до 45 нА;
- сторожовий таймер до 220 нА;
- годинник реального часу/календар до 470 нА;
- робочі струми до 50 мкА/МГц;
- повністю аналоговий режим роботи і можливість самостійного запису до 1.8 В.

Ці низькі струми збільшують термін служби батареї для портативних пристроїв. Додаткова економія електроенергії можлива завдяки оптимізованій периферії, про яку буде йти мова далі.

ДИЗАЙН КОРПУСІВ

Ще одна істотна відмінність 8-розрядних від 16- або 32-розрядних мікроконтролерів полягає в їхніх невеликих за розмірами корпусах, які дозволяють пристроям займати найменший простір у компактних бездротових/портативних і натільних пристроях. Наприклад, це 8-контактний SOIC або DFN. Широко використовується 20-контактний корпус VQFN (Very Thin Quad Flat Pack No-Leads), який має розмір 3 × 3 мм (рис. 1). У той час як додавання нових функцій може вимагати більшої кількості з'єднань і збільшення корпусу, 8-розрядні мікроконтролери з

достатніми можливостями можуть бути розміщені в місцях на платі, де неможливо використати 16- або 32-розрядні мікроконтролери.

Також використовуються більші корпуси, включаючи 40-контактні PDIP і VQFN і 44-контактні версії TQFP для збільшення можливостей 8-розрядного мікроконтролера з більшою площею та кількістю з'єднань через підвищену складність системи, яку він забезпечує.

ПЕРИФЕРІЙНІ ПРИСТРОЇ, НЕЗАЛЕЖНІ ВІД ЯДРА

Відокремлення певних функцій мікроконтролера від центрального ядра забезпечує їх автономність та низку переваг, особливо для розробок з низьким енергоспоживанням/низькою собівартістю. Ці *незалежні від ядра периферійні пристрої* мають вбудований розширений функціонал для зменшення енергоспоживання та модульну конструкцію, що спрощує впровадження сенсорних інтерфейсів, накопичення та обробку даних з датчиків, а також використання складного програмного забезпечення в апаратних засобах.

CIP розроблено з додатковими можливостями для виконання різноманітних завдань без необхідності втручання центрального процесора мікроконтролера. Такий підхід до проектування забезпечує готові засоби програмування подій на основі периферійних пристроїв. Наприклад, система переривань може ініціювати переривання на основі портів ведення/виведення загального призначення (англ. General Purpose Input/Output, GPIO) або переривання програми на кількох каналах.

На рисунку 2 за категоріями периферійних пристроїв з допомогою різних кольорів показані доступні на даний момент CIP для 8-розрядних мікроконтролерів PIC® і AVR®. Дані вісім категорій та їхні підкатегорії описують більшість функціональних можливостей, очікуваних від економічно ефективного вбудованого контролера. Необхідно зауважити, що пункти, виділені зеленим кольором, надають додаткові можливості зниження потужності до згаданих раніше.

CIP забезпечують підвищену надійність за рахунок зменшення довжини коду. Функції, реалізовані за допомогою апаратних структур, дозволяють уникнути потенційних конфліктів програмного забезпечення. Крім того, периферійне підключення в апаратному забезпечен-



Рис. 1. Багато нових сімейств продуктів PIC і AVR пропонують різноманітні корпуси пристроїв VQFN роз міром 3 × 3 мм для застосувань з обмеженим простором

ні зменшує кількість зовнішніх з'єднань, підвищуючи надійність кінцевої системи. Підвищена надійність компонентів знижує вартість проекту протягом усього терміну його використання.

Багато з нових 8-розрядних сімейств надають безліч варіантів пам'яті та кількості виводів. Це дозволяє здійснити розробку для більших пристроїв і на етапі виробництва перейти до пристроїв менших розмірів при оптимізації довжини реального коду.

Наприклад, спрощений набір елементів сімейства мікроконтролерів PIC16F152XX містить в собі 10-розрядний аналого-цифровий перетворювач (англ. Analog-to-Digital Converter, ADC), перемикач периферійних контактів (англ. Peripheral Pin Select, PPS), цифрові комунікаційні периферійні пристрої та таймери. Можливості пам'яті включають розділ доступу до пам'яті (англ. Memory Access Partition, MAP) для підтримки користувачів при використанні для захисту даних і для завантаження.

ЗАСОБИ ДЛЯ ПРИСКОРЕННЯ ТА СПРОЩЕННЯ ПРОЄКТУВАННЯ

Зудосконаленням інструментів розробки багато процесів, які необхідно було жорстко закодувати, можна спростити та створити за допомогою відповідних інструментів проектування, таких як MPLAB® Code Configurator (MCC). Це має кілька переваг, а саме зменшення часу розробки програми, а також можливість реалізувати більш компактний код, ніж розробник міг би створити без кількох ітерацій або написання коду з нуля в асемблері. Наприклад, PIC16F15244 *Curiosity Nano Evaluation Kit*

- Intelligent Analog**
Sensor Interfacing & Signal Conditioning
- Waveform Control**
PWM Drive & Waveform Generation
- Timing & Measurements**
Signal Measurement with Timing & Counter Control
- Logic & Math**
Customizable Logic & Math Functions
- Safety & Monitoring**
Hardware Monitoring & Fault Detection
- Communications**
Wired, Wireless & Encryption
- User Interface**
Capacitive Touch Sensing & LCD Control
- Low Power & System Flexibility**
XLP Low Power Technology, Peripheral & Interconnects

8-bit PIC® and AVR® Microcontrollers

CPU		Memory		
8-10-/12-bit ADC	(Enhanced) Capture/Compare/ PWM	Input Capture	Direct Memory Access Controller	Configurable Custom Logic
ADC with Gain Stage	Complementary Output Generator	Angular Timer	High Endurance Flash (Data)	Configurable Logic Cell
ADC with Computation*	Complementary Waveform Generator	Charge Time Measurement	Event System	Crypto Engine AES/DES
Comparators	Data Signal Modulator	RTC/IC	IDLE & DOZE	CAN
DAC	Numerically Ctd Oscillator	Signal Measurement Timer	Peripheral Module Disable	(E)USART
High Speed Comparators*	Programmable Switch Mode Cntrl	8-/12-/16-/20-/24-bit Timers	Peripheral Pin Select	ETHERNET MAC
Operational Amplifiers*	10b/12b/16b PWM	Quadrature Decoder	eXtreme Low Power XLP Technology	PC/TWI
Ramp Generator*	Waveform Extension	Output Compare	picoPower	LIN
Slope Compensation*	Clock Failure Detection	mTouch® solution	EEPROM	SPI™
Voltage Reference	Cyclical Redundancy Check	Qtouch Solution	External Bus Interface	Keeloq® Sub-GHz RF
Zero Cross Detect*	Hardware Limit Timer	Peripheral Touch Controller	Hardware Multiply	Crystal Free USB
High Current I/O*	Windowed WDT	LCD	Math Accelerator	Full-Speed USB Device w/w/o OTG
TEMP Indicator/Sensor	Brown-Out Detection			IRCOM

Рис. 2. Незалежні від ядра периферійні пристрої, що застосовуються для різноманітних 8-розрядних МК

(номер в каталозі: EV09Z19A) із повними можливостями програмування та налагодження пропонує повну підтримку нового дизайну (рис. 3).

І, в решті решт, MPLAB® X Integrated Development Environment (IDE) надає безкоштовне середовище для розробки коду для 8-розрядних (а також 16- і 32-розрядних) мікроконтролерів для моделювання, взаємодії з апарат-

ними засобами та доступу до (мікросхем, можливостей) Microchip, а також до плагінів сторонніх розробників.

ЯСКРАВЕ (І ЕКОНОМІЧНО ЕФЕКТИВНЕ) МАЙБУТНЄ

Мікроконтролери пройшли довгий шлях розвитку. 8-розрядні мікро-

контролери демонструють надзвичайну стійкість та інновації в застосуванні за рахунок покращення пам'яті, енергоспоживання, дизайну корпусів та периферійних пристроїв. Вони не тільки мають більший об'єм пам'яті, що може знадобитися для складних застосувань, але й багато різних способів їх спрощення. Воно може бути реалізоване за рахунок зменшення вартості/ часу, витраченого на розробку проекту, а також зменшення витрат при запуску мікроконтролерів у серійне виробництво.

Сучасні 8-розрядні мікроконтролери не обмежуються лише збором даних. Вони збирають, обробляють і передають дані в численних застосуваннях Інтернету речей. Нові 8-розрядні продукти відреагували на зростаючу складність застосувань значним збільшенням пам'яті та оптимізованими периферійними пристроями. Однак недорогі та малагабаритні проекти, в тому числі датчики та прості пристрої керування в реальному часі, можуть отримувати вигоду від спрощеного набору функцій 8-розрядного сімейства PIC16F152xx. Завдяки незалежним периферійним пристроям ці мікроконтролери є очевидним вибором для більшості розробників. **СН**

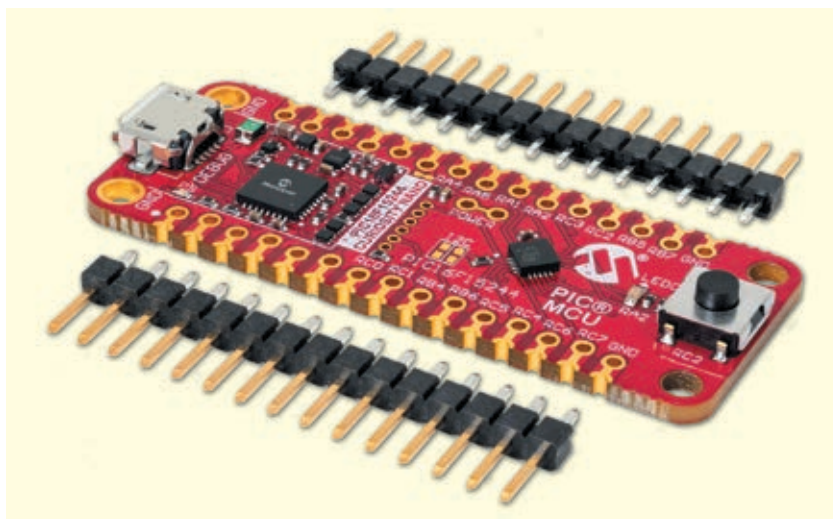
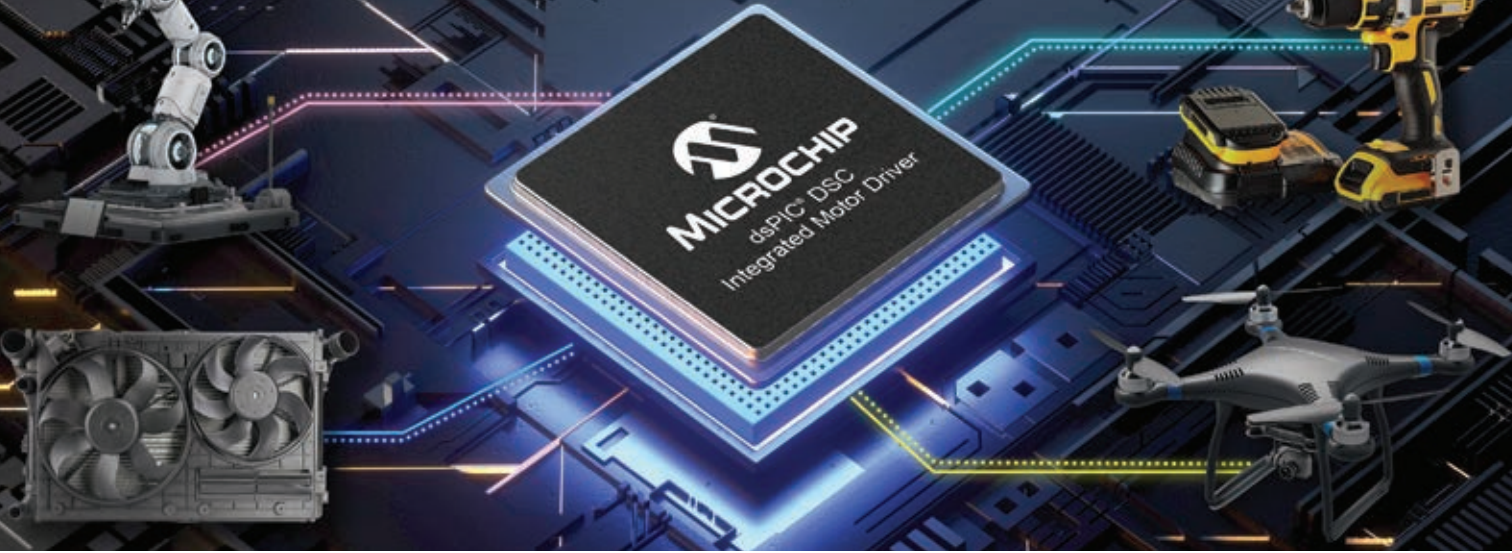


Рис. 3. Спрощення дизайну за допомогою тестувальної плати розробника PIC16F15244 Curiosity Nano та двох 100 mil, 1 x 15 ліній роз'ємів у Curiosity Nano Evaluation Kit



Інтегрований драйвер двигуна dsPIC® DSC

Вбудоване керування двигуном в реальному часі за допомогою одного пристрою

Вбудовані пристрої керування двигунами мають тенденцію до підвищення продуктивності та складності при менших розмірах. Інтегровані драйвери двигунів dsPIC DSC забезпечують ефективне вбудоване керування трифазними двигунами в реальному часі, де мінімальна вага, вартість і розмір мають першорядне значення.

Інтегровані драйвери двигунів у dsPIC DSC об'єднують ядро цифрової обробки сигналів (ЦОС) dsPIC33C, повномостові драйвери затворів MOSFET, операційні підсилювачі, компаратори та приймачі LIN або CAN/ CAN FD в одному корпусі. Цей продукт доповнено повною екосистемою засобів розробки програмного забезпечення, наборами для проектування та еталонними зразками, що спрощує розробку.

Основні характеристики

- Підтримує керування в "польових" умовах (Field Oriented)
- Живлення до 29 В (робоче), 40 В (перехідне)
- АЕС - Q100 Qualified, клас 0 (від -40°C до +150°C)
- Процесор 70-100 МГц, 64-256 КБ флеш-пам'яті, 8 - 24 КБ SRAM
- До 6 виходів керування ШІМ
- 12-розрядний, 3,5 MSPS АЦП (від 9 до 20 каналів)
- Захист від пробою, перевантаження по струму, короткого замикання на драйверах вентилів
- Струм сплячого режиму 5 мкА
- Відповідні приймачі: LIN 2.0, 2.1, 2.2, 2.2A, SAE J2602-2 (LIN), ISO 11898-2, ISO 11898-2:206 та SAE J2962-2 (CAN/CAN FD)
- Готовність до функціонального захисту та вбудована система безпеки



microchip.com/Integrated-Motor-Drivers

Назва і логотип Microchip та логотип Microchip є зареєстрованими товарними знаками компанії Microchip Technology Incorporated в США та інших країнах. Всі інші торгові марки є власністю їх зареєстрованих власників.
© 2024 Microchip Technology Inc. Всі права захищені.
MEC2560A-RUS-04-24

Зміцнюючі матеріали для аерокосмічної та військової електроніки

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

У статті висвітлено переваги використання широкого асортименту продукції компанії MG Chemicals для захисту електроніки в аерокосмічній та оборонній техніці, а також наведено реальні приклади з практики.

ПІДВИЩЕННЯ НАДІЙНОСТІ МАТЕРІАЛІВ У СКЛАДНИХ УМОВАХ

Існують певні сегменти промисловості, де надійність обладнання має вирішальне значення. Захист електронних схем, які керують основними функціями аерокосмічної та оборонної техніки, є ключем до забезпечення надійності, довговічності та продуктивності. Захисні полімерні матеріали, такі як покриття, мастила та клеї, допомагають захистити електронні пристрої від таких поширених проблем, як коротке замикання, електромагнітні завади, перегрів і структурну втому. Винятково суворі умови, в яких працює аерокосмічна та оборонна техніка, змушують конструкторів ретельно підходити до вибору матеріалів, здатних витримувати складні умови експлуатації. Ці умови включають агресивні термічні цикли, електромагнітні та радіочастотні завади, вплив вологи, грибків і хімічних речовин, а також захист від фізичних ударів і зіткнень. У наступних розділах висвітлено переваги використання широкого асортименту продукції компанії MG Chemicals (Канада) для захисту електроніки в аерокосмічній та оборонній техніці, а також наведено реальні приклади з практики.

ЯК КЛЕЇТИ НА ЗЕМЛІ, В ПОВІТРІ ТА КОСМОСІ

Основна функція клею полягає в тому, щоб з'єднати дві поверхні достатньо міцно, щоб забезпечити

функціональну механічну фіксацію. Клеї з вторинними властивостями, такими як вогнестійкість, теплопровідність, електропровідність й низьке газовиділення, мають важливе значення для аерокосмічної та оборонної промисловості.

Структурні клеї, основною функцією яких є забезпечення міцної адгезії, можуть допомогти спростити збірку модульних компонентів, таких як зовнішні панелі для гіперзвукових систем. Високомодульні варіанти, такі як клеї 9200, 9310 і 8332, забезпечують механічну фіксацію, необхідну для підтримання структурної цілісності у високошвидкісних системах.

Електропровідні клеї — це 2-компонентні епоксидні системи з додаванням лусочок срібла, які використовуються в основному для виготовлення електричних доріжок або як заповнювачі щілин для з'єднання струмопровідних поверхонь. Ці клеї також забезпечують захист від електромагнітних і радіочастотних завад (EMI/RFI). Цей захист має важливе значення для низькоорбітальних супутників, які піддаються впливу сонячного випромінювання високої інтенсивності та потребують значного захисту

від EMI. Такі продукти, як клеї 8330D та 8330S, є ідеальними завдяки досить великому вмісту наповнювачів і винятковому захисту від електромагнітних завад.

На додаток до своїх можливостей захисту від електромагнітних завад, клей 8330S має низький рівень газовиділення, що відповідає стандарту NASA щодо газовиділення. Виділення газів — це явище, при якому летючі полімерні матеріали можуть сублимуватися — особливо це проблематично в умовах низького тиску в космосі — і згодом конденсуватися на сусідніх компонентах, що призводить до втрати сигналу. Компанія MG Chemicals пропонує клеї з низьким рівнем газовиділення, які особливо корисні в аерокосмічній галузі. У таблиці 1 наведено результати випробувань на газовиділення за стандартом ASTM E 595. Наведені значення є зміною у відсотках від початкової маси зразка.

ЕКРАНЮЮЧІ ПОКРИТТЯ ДЛЯ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ РОБОТИ СУПУТНИКІВ

Як і в будь-якій іншій галузі, керування тепловим режимом в аерокосмічній промисловості є значним випробуванням, оскільки мініатюризація в поєднанні з передовими обчислювальними можливостями створюють величезні обсяги даних, побічним продуктом яких є тепло. Це стосується картографічних систем,

Таблиця 1. Перелік клеїв, які відповідають вимогам NASA щодо низького газовиділення за стандартом ASTM E 595

Клей	Повна втрата маси	Летюча конденсована речовина, яку можна зібрати	Вторинна характеристика
8330S	0.40	0.03	Електропровідний
8329TCS	0.78	0.07	Теплопровідний
LTR 495LV	0.15	0.03	Теплопровідний
RTV142	0.21	0.02	Низький модуль
RTV566	0.10	0.02	Висока температура



Рис. 1. Платформа спостереження аеростата

які допомагають спрямовувати дрони та інші безпілотні літальні апарати в зонах, де немає GPS. Теплопровідні клеї, такі як клей *8349TFM*, допомагають запобігти перегріванню, забезпечуючи безперебійну роботу цих життєво важливих систем.

Зв'язок має вирішальне значення для підтримки роботи сучасної електроніки в аерокосмічній та оборонній галузях. Особливо важливими є системи передавача/приймача, що керують багатьма критично важливими системами, такими як радар, GPS і радіозв'язок. Повсюдне поширення електромагнітних та радіочастотних завад загрожує цим системам, оскільки небажані сигнали можуть спричинити збої в роботі. Щоб протистояти цій проблемі, необхідно наносити екрануючі покриття для екранування пристроїв з використанням електропровідних матеріалів, які, простіше кажучи, відбивають вхідні електромагнітні хвилі та перешкоджають цим сигналам взаємодіяти з приймачами системи. Нікелеве електропровідне покриття *841AR* є поширеним матеріалом, що використовується для екранування корпусів повітряних лазерних систем раннього виявлення та оптоволоконних кабелів, які передають дані для платформ спостереження аеростатів (рис. 1).

Завдяки високоякісному екрануючому загасанню та високій довговічності, такі продукти, як *842ER*, знаходять широке застосування в таких сферах, як екранування електричної проводки для систем з'єднання.

ЗАХИСНІ ПОКРИТТЯ ДЛЯ АЕРОКОСМІЧНОЇ ЕЛЕКТРОНІКИ

Звичайно, захисні покриття відіграють важливу роль в аерокосмічному

дизайні, оскільки високі швидкості, яких досягають ці літальні апарати, вимагають покриттів, здатних захистити обшивку від тертя об повітря та ерозії, і водночас легких для підтримки аеродинаміки. Не менш важливо, однак, забезпечити правильне функціонування електричних кіл, які керують усіма електричними системами. Тому дизайнери використовують конформні покриття, щоб захистити схему і забезпечити довговічність пристрою в суворих аерокосмічних та оборонних умовах. Супутники є чудовим прикладом пристроїв, де кожен матеріал, що використовується для їхнього виготовлення, потребує ретельного розгляду. Потрібні не тільки покриття для захисту від електромагнітних завад, як було зазначено в попередньому розділі, але й захисні конформні покриття для захисту електричних схем. Схеми в супутникових приймачах, які відстежують сигнали з космосу, схильні до виходу з ладу внаслідок впливу навколишнього середовища, спричиненого конденсацією, піщаною ерозією та грибковим ураженням. Захисні покриття не повинні послаблювати вхідні сигнали та впливати на рівень сигналу (це протилежний підхід до електромагнітних покриттів,



Рис. 2. Графічне зображення електричної хвилі, що проходить через матеріал з низьким тангенсом кута діелектричних втрат, який не послаблює рівень сигналу

метою яких є зменшення рівня сигналу). Щоб задовольнити цю вимогу, розробники повинні враховувати тангенс кута діелектричних втрат покриття, який, простіше кажучи, вимірює, наскільки сигнал втрачає силу при проходженні через діелектричний матеріал (рис. 2). Термопластичні покриття, такі як *422B*, *422C*, *419D* і *419E* є чудовими матеріалами, які ідеально відповідають високим вимогам щодо захисту супутників.

Дрони та безпілотні літальні апарати (БПЛА) — це ще одна галузь аерокосмічної промисловості, яка значною мірою покладається на конформні покриття для підтримання належного функціонування цих пристроїв. Зокрема, конформні покриття допомагають захистити критично важливі схеми, такі як контролери польоту і швидкості, забезпечуючи стабільну роботу під час дощу, снігу та роси.

МАСТИЛА ТА МАСТИЛЬНІ МАТЕРІАЛИ ДЛЯ АЕРОКОСМІЧНОЇ ГАЛУЗІ

Інтуїтивно зрозуміло, що мастила та мастильні матеріали повинні бути включені в конструкцію дронів, ракет і супутникових систем; однак, окрім зменшення зносу компонентів від тертя, властивості мастил для електроніки допомагають полегшити розробку складних електричних схем. Наприклад, силіконове мастило *860* допомагає розсіювати тепло в 4-тактних двигунах легких літаків Cessna.

Широко використовується в автомобільній та морській промисловості діелектричне мастило *8462* завдяки своїй надзвичайній гідрофобності та діелектричним властивостям, які допомагають запобігти виникненню електричної дуги та короткого замикання. Цей продукт також використовується в аерокосмічній та оборонній галузях, допомагаючи ущільнювати роз'єми навколо панелей SATCOM і штекери наземних блоків керування дронів та інших безпілотних літальних апаратів.

Більш детальну інформацію можна отримати, звернувшись в ТОВ «Фігур Електрик, ЛТД»:

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

Осердя з порошкових матеріалів

Артем Терейковський, директор, ТОВ «НВП АСТЕРА»

E-mail: ferrite@ukr.net

1 ГГц? НЕ МЕЖА!

Сучасні технології мініатюризації електронних схем призвели до появи вбудованих у друковані плати індуктивних елементів із робочими частотами понад 100 МГц [142]. Для таких елементів необхідні магнітно-м'які матеріали з високою лінійністю проникності в діапазоні частот аж до 1 ГГц і високою індукцією намагнічування. Сучасні МПМ на основі сплавів заліза ефективні на частотах до одиниць мегагерц через низький питомий опір матеріалів і явища магнітного резонансу доменних стінок. Шпінелеві та гексагональні ферити мають високий питомий опір [143], що розширює їхній частотний діапазон до десятків гігагерц, але такі ферити непридатні для мініатюрних вбудованих індуктивностей через низькі значення індукції намагнічування і температури Кюрі.

Раніше (див. CHIP NEWS, № 3, 2024) вже було описано АМПМ з високою частотною стабільністю характеристик аж до сотень мегагерц [133]. Потрібні властивості матеріалу було отримано шляхом контрольованого відпалу відносно великих частинок (5...60 мкм) аморфного порошку, внаслідок якого поверхневий шар магнітних частинок частково переходив з аморфної фази в нанокристалічну. У монокристалічних магнітодіелектриків подібні властивості досягаються при зменшенні розміру частинок до приблизно 1 мкм. За такого розміру основним станом частинок є вихровий стан (*magnetic vortex*). За менших розмірів основним станом частинок стає однодомений [58], проте коерцитивна сила в таких частинок різко збільшується.

Великі частинки переходять у багатодомений стан із низькою коерцитивною силою, але на досить високих частотах проявляються власні частоти коливань доменних стінок. Цих недоліків позбавлені частинки у вихрово-

му стані, які демонструють стабільність магнітної проникності на частотах аж до одиниць гігагерц. Однак, магнітна взаємодія між частинками може призводити до утворення загальної макроскопічної магнітної структури, в якій знову з'являються доменні межі з властивими їм недоліками. У [144] описано методику отримання ультратонкого порошку Fe-Si-Al із частинками сферичної форми розміром близько 1 мкм і створення на його основі сполук з унікальними електромагнітними та механічними властивостями. Головним критерієм вибору матеріалу стало поєднання близьких до нуля значень коефіцієнта магнітокристалічної анізотропії (k) і магнітострікційної константи (λ_s) [9]. Автори розробили спосіб магнітної ізоляції частинок методом холодного спікання, за якого на поверхні частинок утворюється тришарова гетероструктура $Al_2SiO_5/SiO_2/Fe_2(MoO_4)_3$, що перешкоджає обмінній взаємодії між магнітними частинками. Отриманий шар міцно з'єднаний з матрицею частинки, що підвищує механічну міцність МПМ.

МАЙБУТНЄ ПОЧИНАЄТЬСЯ СЬОГОДНІ

Описана в [144] технологія, безсумнівно, втілиться в мініатюрному «залізі» наступних поколінь РЕА. Однак, навіть наймініатюрніше обладнання потребує джерела (безперебійного) живлення, в якому будуть присутні: накопичувальний дросель, вихідний дросель, дроселі для фільтрації завад і т. д. Для кожного з цих дроселів потрібне осердя з оптимальними для його функції параметрами матеріалу. У наступному розділі порівнюються основні параметри кільцевих осердь із проникністю 60 від п'яти виробників, продукція яких добре відома в Україні. Осердя з усіх розглянутих МПМ, окрім **AmoFlux®** (табл. 10), вже доступні для замовлення або надійдуть у масове виробництво до кінця 2024 року.

Дані, надані в таблицях 6–10, взято з актуальних каталогів і пресрелізів виробників. З удосконаленням технологій параметри одного й того самого матеріалу можуть змінюватися, тому в каталогах, випущених у різні роки, можуть бути вказані характеристики, що відрізняються. Як приклад далі буде розглянуто матеріал **Hi-Flux™** від компанії Micrometals (табл. 8).

ВІД БАЗОВИХ ДО ПРЕМІАЛЬНИХ

Одним із найпоширеніших і найпопулярніших МПМ у світі, завдяки відносній дешевизні та універсальним властивостям, є сендаст. «Багатий» хімічний склад та унікальні фізичні властивості сплаву Fe-Si-Al дають змогу виробляти порошки та ізолювати магнітні частинки різними методами, завдяки чому на ринку з'явився широкий асортимент комерційних версій сендаста.

Параметри базового варіанту матеріалу приблизно однакові у всіх виробників, за винятком діапазону значень проникності та розмірів осердь. Зазвичай проникність сендаста становить від 26 до 125, проте для потужних дроселів потрібна низька проникність (14...19). Осердя з проникністю 14 виробляє компанія Micrometals. Для застосувань, які, на протипагу, потребують високої проникності матеріалу, Micrometals також виробляє осердя з $\mu = 147$ та $\mu = 160$.

Для виробництва осердь великих розмірів, або в разі використання порошків з високою твердістю, необхідні потужні преси. Потрібне значення проникності досягається переважно вибором фракції магнітних частинок і відстані між ними шляхом зміни масової частки діелектрика у вихідній суміші. Основні характеристики різних версій сендаста наведено в таблиці 6.

Для зниження динамічних втрат у МПМ перших поколінь доводилося створювати товстий шар діелектрика навколо частинок, що негативно позначалося на індукції насичення та DCB-ха-

* Продовження. Початок див. CHIP NEWS, № 5, 2023, № 1–3, 2024.

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

Назва матеріалу або торговельна марка	Приклад маркування осердя 26.9 x 14.7 x 11.2 мм, $\mu = 60$	Виробник	Проникність	Зовнішній діаметр кільцевих осердь (без покриття), мм	DCB за 100 Ерстед (для $\mu = 60$)	Втрати за 50 кГц, 0.1 Т, мВт/см ³ (для $\mu = 60$)	V_s , Т
Sendust	MS-106060-2	Micrometals	14...160	3.56...197	49.2%	325	0.90
Sendust HF	SH-106060-2	Micrometals	26, 60, 125	3.56...102	43.6%	320	0.88
SenMax	SM-106060-2	Micrometals	26, 60	3.56...132	63.3%	230	1.035
SenMax Premium™	SP-106060-2	Micrometals	14...90	Немає даних	56.2%	180	0.9
KoolMμ®	77894-A7	Magnetics	14...125	3.56...165	45%	190	1.0
KoolMμ® Max	79894-A7	Magnetics	14...90	12.7...165	55%	200	1.0
Kool Mμ® Hf	76894-A7	Magnetics	26, 40, 60	12.7...132	57%	140	1.0
KoolMμ® Ultra	70894-A7	Magnetics	26, 40, 60	12.7...132	59%	100	1.0
Sendust	CS270060G	ChangSung	26...125	3.56...165	49%	280	1.0
HP	HP270060G	ChangSung	19, 26, 60	9.6...165	52.8%	110	0.85
New HP	Немає даних	ChangSung	60	Немає даних	55.2%	90	Немає даних
Sendust	KS106060A	KDM	26...125	12.7...165	47%	280	1.05
SuperSendust	KS106060A-HF	KDM	19...125	12.7...165	60%	300	1.3
SuperSendust Plus	KPH106060A	KDM	26...75	12.7...102	60%	230	1.2
SuperSendust Platinum	KPH106060A-HP	KDM	60	12.7...102	66%	150	1.2
Sendust	AS270060	ACME	26...147	6.35...77	48%	350	1.0
SuperDust AG	AG270060	ACME	26...90	12.7...77	60%	250	1.2
SuperDust AG-GT	AG270060GT	ACME	58	12.7...77	55%	120	1.2

рактистиці матеріалу. Наприклад, високочастотний **Sendust HF** за цими параметрами поступається базовому варіанту. Сучасні технології дають змогу створювати тонкі шари діелектрика з високим питомим опором (див. CHIP NEWS, № 3, 2024), що підвищує відносну густину матеріалу і знижує динамічні втрати в ньому. Високочастотний сендаст нового покоління **Kool Mμ® Hf** має кращу DCB-характеристику і менші втрати порівняно з базовою версією **Kool Mμ®**. Згідно з даними виробника, **Kool Mμ® Hf** оптимізований для роботи в діапазоні 200...500 кГц [145]. Найновіші версії сендаста під торговельними марками **KoolMμ® Max** і **Kool Mμ® Ultra** також застосовуються на частотах до 500 кГц [146, 147].

Осердя із сендаста з аналогічними характеристиками пропонують компанії

ChangSung, KDM і ACME. Параметри матеріалів докладно описані в документації виробників [148–150].

Головним недоліком матеріалів зі сплаву Fe-Si є високі динамічні втрати, тому першочерговим завданням розробників МПМ стало їх зниження [151–154]. При цьому вдалося досягти деякого покращення DCB-характеристик отриманих матеріалів, однак максимальна стійкість до підмагнічування і низькі втрати зазвичай перебувають у зворотній залежності. Подібний ефект помітний у різних МПМ під час порівняння, наприклад, пар **X-Flux®** і **High DC Bias XFlux®** (табл. 7), **Edge®** і **High DC Bias Edge®** (табл. 8), а також **NanoDust™ KAM** і **NanoDust™ KAN** (табл. 9).

Сумарні втрати МПМ з Fe-Si перших поколінь перебували в діапазоні

550...700 мВт/см³ при DCB гірше за 80%. Новинки від компаній Magnetics і Micrometals вражають поєднанням основних параметрів, проте їхня ціна на 10...30% вища порівняно з базовими версіями. Позначення осердь з **New FluxSan™** будуть такими ж, як і раніше, наприклад, FS-106060-2, так само як і діапазони значень проникності та зовнішніх діаметрів, які є найширшими в групі. Згідно з документацією Micrometals, кільцеві осердя з **FluxSan™** доступні з проникністю від 14 до 90, проте серійно виробляються осердя з $\mu = 125$, а під замовлення — з $\mu = 160$.

Матеріали **Fe-Si Platinum** і **Fe-Si low cost**, анонсовані компанією KDM, мають помірні втрати, проте основні параметри комерційних версій надалі будуть уточнюватися. Також поки що невідомо,

Таблиця 7. Основні параметри МПМ зі сплаву Fe-Si

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

* під замовлення виробляються осердя з проникністю 160;

** попередні дані

Таблиця 8. Основні параметри МПМ зі сплаву Fe-Ni

Назва матеріалу або торговельна марка	Приклад маркування осердя 26.9 x 14.7 x 11.2 мм, $\mu = 60$	Виробник	Проникність	Зовнішній діаметр кільцевих осердь (без покриття), мм	DCB за 100 Ерстед (для $\mu = 60$)	Втрати за 50 кГц, 0.1 Т, мВт/см ³ (для $\mu = 60$)	B_s , Т
Hi-Flux™	HF-106060-2	Micrometals	14...160	3.56...165	68.6%	650	1.42
New Hi-Flux™	HF-106060-2	Micrometals	14...125	3.56...165	80%	300	1.48
GX Alloy	GX-106060-2	Micrometals	60, 125	22...46,7	85%	180	1.7
High Flux	58894-A2	Magnetics	14...160	3.56...165	80.3%	252	1.5
Edge®	59894-A2	Magnetics	14...125	12.7...132	90%	150	1.5
High DC Bias Edge®	59894-A2-S01	Magnetics	26, 60	12.7...132	96%	200	1.5
HighFlux	CH270060	ChangSung	26...160	9.6...165	80.4%	180	1.5
HighFlux GT	CH270060GT	ChangSung	60	9.6...74	84.4%	130	1.5
High Flux	KN106060A	KDM	26...125	12.7...165	80%	220	1.5
High Flux Plus	KN106060A-H	KDM	60, 75	12.7...102	85%	150	1.5
High Flux Platinum	KN106060A-HP	KDM	26, 60	немає даних	82%	105	1.5
HighFlux	AH270060	ACME	26...160	6.35...77	80%	300	1.5

чи є **Fe-Si low cost** односкладовим або композитним матеріалом.

Завершує групу Fe-Si матеріалів недорогої базовий **XFlux AK** від ACME з типовим набором параметрів.

Поєднання помірних або низьких сумарних втрат, високої індукції насичення і чудової DCB-характеристики у МПМ зі сплаву Fe-Ni дає змогу застосовувати їх як у накопичувальних дроселях, так і в дроселях різних фільтрів. Усі сучасні версії цих МПМ мають втрати нижче ніж 300 мВт/см³ за стійкості до підмагнічування не гірше 80%. Для порівняння, в таблиці 8 наведено параметри застарілої версії **Hi-Flux™**, осердя з якого тимчасово доступні для постачання зі стоку Micrometals. Втрати цього матеріалу ближчі до втрат базових варіантів МПМ з Fe-Si, тому виробник замінює його на **New Hi-Flux™** з чудовими характеристиками. Осердя з **New Hi-Flux™** постачаються під колишніми позначеннями, наприклад, HF-106060-2, і за такими ж цінами.

Преміальними матеріалами в групі вважаються **GX Alloy** та **Edge®** з втра-

тами 150...200 мВт/см³ і DCB-характеристикою понад 85%. За твердженнями виробника, втрати **Edge®** є на 40% нижчі, а DCB-характеристика на 30% краща, ніж у **High Flux** [155]. Інша версія цього матеріалу, **High DC Bias Edge®**, є найбільш стійкою до підмагнічування серед відомих комерційних МПМ (96%) [156].

Першу версію МПМ, випущену під назвою **GX Alloy** у 2022 році, було вдосконалено незабаром після початку серійного виробництва осердь. У таблиці 8 наведено параметри матеріалу, актуальні станом на травень 2024 року [157].

Компанія ChangSung пропонує осердя з **HighFlux** у широкому діапазоні значень проникності та розмірів кілець із сумарними втратами 180 мВт/см³. Версія **HighFlux GT (Titanium Grade)** поки доступна тільки з $\mu = 60$ і в обмеженому наборі розмірів [158]. KDM повідомила про створення матеріалів, що отримали назву **High Flux Plus** і **High Flux Platinum** із заявленими втратами всього 150 та 105 мВт/см³ [159].

Композиції різних магнітних матеріалів (сплавів) можуть забезпечити кращі параметри МПМ, ніж ті, які мають односкладові матеріали. Раніше (див. CHIP NEWS, №№ 2–3, 2024) було показано, як додання наночастинок Fe-Ni, карбонільного заліза (CIP) та дрібнодисперсного порошку Fe-Co до основного компонента МПМ значно покращують той чи інший параметр. Однак, на практиці для виготовлення композитних матеріалів найчастіше застосовують базові сплави — Fe-Si, Fe-Ni і Fe-Si-Al, які можуть поєднуватися попарно або всі три одночасно. Індукція насичення композиту залежатиме від значень B_s кожного з компонентів та їхньої масової частки в матеріалі. Наприклад, у складі матеріалу **75 Alloy**, який компанія Magnetics виробляє з 2015 року, переважає Fe-Si (ймовірно, 75%, але точне значення — секрет виробника), тож індукція насичення сягає 1.5 Т за сумарних втрат 550 мВт/см³ [160]. Зворотна пропорція цих же сплавів у матеріалі **FineFlux** від компанії ChangSung дає

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

Назва матеріалу або торговельна марка	Приклад маркування осердя 26.9 x 14.7 x 11.2 мм, $\mu = 60$	Виробник	Композиція	Проникність	Зовнішній діаметр кільцевих осердь (без покриття), мм	DCB за 100 Ерстед (для $\mu = 60$)	Втрати за 50 кГц, 0.1 Т, мВт/см ³ (для $\mu = 60$)	B_s , Т
Optilloy™ OP	OP-106060-2	Micrometals	Fe-Ni, Fe-Si, Fe-Si-Al	14...125	6.35...154	64.7%	365	1.4
Optilloy™ OC	OC-106060-2	Micrometals	Fe-Ni@Fe-Si-Al	14...125	3.56...196	72.3%	265	1.35
Optilloy™ OD	OD-106060-2	Micrometals	Fe-Ni@Fe-Si	14...90	3.56...196	83.9%	450	1.55
Optilloy™ OE	OE-106060-2	Micrometals	Fe-Si-Al, Fe-Si, Fe-Ni	14...90	3.56...196	69.2%	460	1.2
75 Alloy	75894-A7	Magnetics	Fe-Si@Fe-Si-Al	26, 40, 60	24...134	56%	550	1.5
FineFlux	CF270060G	ChangSung	Fe-Si-Al@Fe-Si	26, 40, 60	9.6...165	60%	240	1.2
KS	KS270060G	ChangSung	Fe-Si@Fe-Si-Al	26...60	9.6...165	61%	480	1.4
HS	HS270060G	ChangSung	Fe-Ni@Fe-Si-Al	19, 26, 40, 60, 90	9.6...165	72%	206	1.3
KH	KH270060G	ChangSung	Fe-Si@Fe-Ni	26, 40, 60, 90	9.6...165	81%	431	1.6
NeuFlux	KNF106060A	KDM	Fe-Si@Fe-Ni	19...90	12.7...165	74%	450	1.6
NewFlux AL	AL270060	ACME	Fe-Ni@Fe-Si-Al	26...90	12.7...77	70%	250	1.4

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

Назва матеріалу або торговельна марка	Приклад маркування осердя 26.9 x 14.7 x 11.2 мм, $\mu = 60$	Виробник	Композиція	Проникність	Зовнішній діаметр кільцевих осердь (без покриття), мм	DCB за 100 Ерстед (для $\mu = 60$)	Втрати за 50 кГц, 0.1 Т, мВт/см ³ (для $\mu = 60$)	Bs, Т
AmoFlux®*	88894-A7	Magnetics	Fe-Si-B-C	26, 40, 60	13.5...132	57%	223	1.0
NanoDust™	KAM106060A	KDM	Fe-Si-B-(Al-Ni)	26...125	12.7...165	65%	180	1.3
NanoDust™	KAM106060A-AF	KDM	Fe-Si-B-(Al-Ni)	19...60	Немає даних	52%	150	1.0
NanoDust™ Platinum	KAM106060A-HP	KDM	Fe-Si-B-(Al-Ni)	60	12.7...132	55%	60	1.2
New NanoDust™	KAM106060A-AH	KDM	Fe-Si-B-(Al-Ni)	26...60	Немає даних	55%	200	1.2
NanoDust™	KAH106060A	KDM	Fe-Si-B-(Al-Ni)	26...125	Немає даних	72%	250	1.3
AmfufusDust AM	AM270060	ACME	Fe-Si-B-Cr-C	60, 90	12.7...40	45%	180	1.45
NanoDust AN	AN270040	ACME	Fe-Cu-Nb-Si-B	30, 40	12.7...40	65%**	200	1.23
NewDust AN-GT	AN270060GT	ACME	Fe-Cu-Nb-Si-B	60	12.7...40	42%	120	1.0
CTC	CPN-106060-C	МЕЛТА	Fe-Cu-Nb-Si-B	26...125	12.7...300	45%	150	1.2

* знято з виробництва;
** для проникності 40.

зможу досягти менших P_{cv} і B_s за незначно кращої, ніж у **75 Alloy**, DCB-характеристики (табл. 9) [148].

Сплави Fe-Si та Fe-Ni мають високу індукцію насичення, проте суттєво відрізняються за втратами та ціною. Компромісні значення обох параметрів забезпечують композити з цих сплавів. У 2009 році компанія KDM завершила розробку матеріалу **NeuFlux**, що складається з 80% Fe-Si і 20% Fe-Ni, а в 2010-му почала масове виробництво осердь з нього. У схожому матеріалі **КН** від компанії ChangSung пропорцію змінено до 50% і 50% від-

повідно, що призвело до деякого поліпшення параметрів (табл. 9).

Композитні матеріали можуть складатися з більш ніж двох компонентів, наприклад, **Optilloy™ OP**, **Optilloy™ OC** та **Optilloy™ OE** [161]. Згідно з інформацією, наданою виробником, **OP**, **OC** та **OE** складаються з порошків усіх трьох основних сплавів — Fe-Ni, Fe-Si і Fe-Si-Al у різних співвідношеннях.

Компанія ACME почала виробництво недорогого композиту **NewFlux AL**, що складається з 60% Fe-Ni і 40% Fe-Si-Al, які було отримано методом газової атомізації (GA). Найближчим аналогом

NewFlux AL є **Optilloy™ OC** від компанії Micrometals.

Піонером у виробництві осердь з АМПМ стала компанія Magnetics, яка в 2012 році випустила перші осердя з аморфного порошку під торговельною маркою **AmoFlux®** [161]. Матеріал перевершував базовий сендаст **KoolMμ®** за частотною та DCB-характеристиками за рівних значень P_{cv} і B_s , проте 2016 року на зміну **AmoFlux®** прийшов ефективніший **KoolMμ® Max** (табл. 6). Відтоді компанія Magnetics успішно розвиває традиційні МПМ, що підтверджується даними, наведеними в таб-

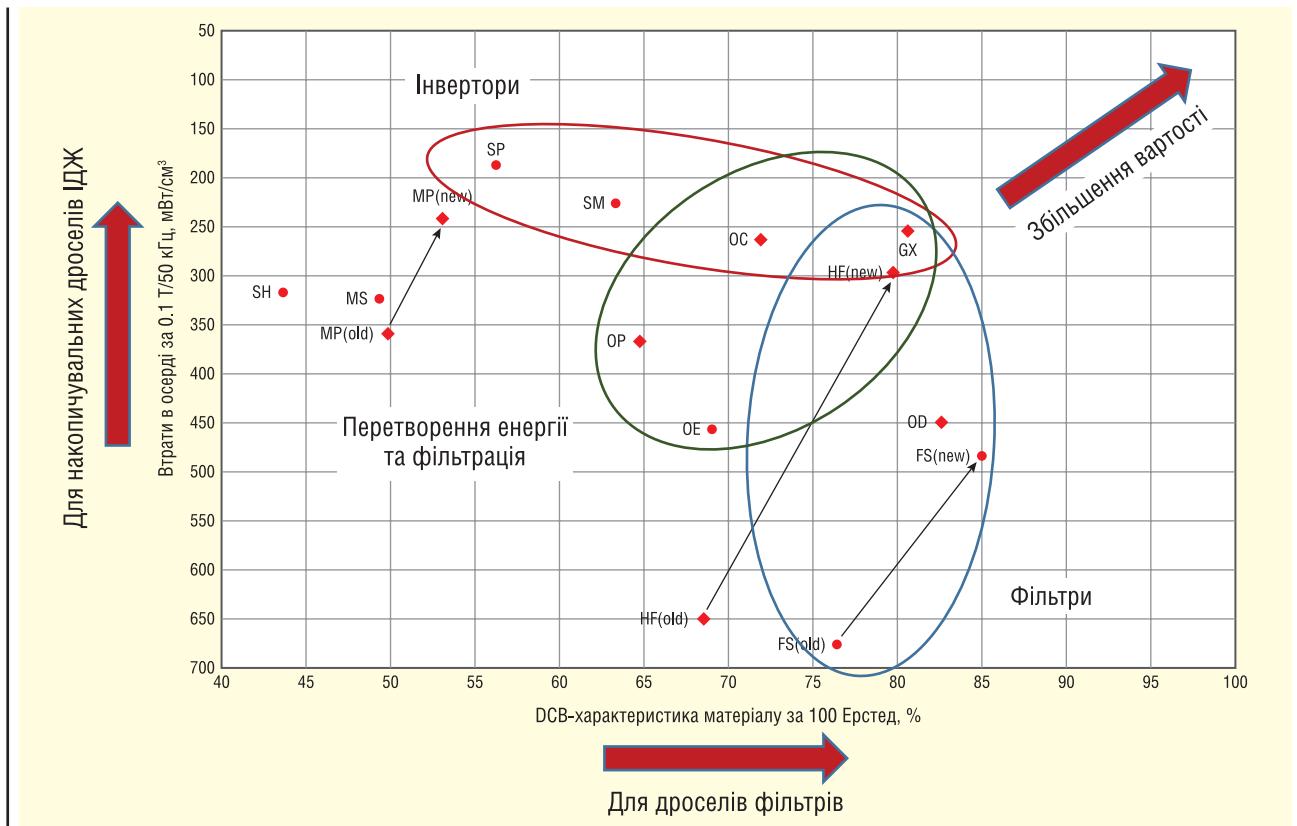


Рис. 29. Порівняння продуктивності МПМ ($\mu = 60$) фірми Micrometals [164]

лицях 6–8. Інші виробники, зокрема, KDM, продовжили розроблення власних АМГМ і також досягли значних результатів, одним із яких стало створення сімейства матеріалів під торговельною маркою **NanoDust™**. Згідно з інформацією виробника, хімічний склад **NanoDust™** виглядає як Fe-Si-B-Al-Ni, що може відповідати недорогому аморфному сплаву. Проте, велика кількість різновидів цього МГМ (табл. 10), також висока питома частка заліза у ньому (85%) вказує на те, що це є композиційний матеріал на основі добре відомого аморфного сплаву Fe-Si-B [162] із додаванням відповідних частин Fe-Si-Al та Fe-Ni. Завдяки низьким втратам, версія **KAM** матеріалу **NanoDust™** може замінити осердя з МРР за відсутності високих вимог до термостабільності матеріалу, водночас **B_s** у всіх різновидів **KAM** вищий, ніж у МРР. Версія **KAH** має ще вищу індукцію насичення, тому може застосовуватися замість матеріалів **HighFlux**.

Компанія ACME виробляє МГМ з атомізованих порошків аморфного сплаву Fe-Si-B-Cr-C і нанокристалічного сплаву Fe-Cu-Nb-Si-B. Параметри матеріалів **AmrfusDust AM**, **NanoDust AN** і **NewDust AN-GT**, наведені в таблиці 10, є попередніми, оскільки роботи з їх вдосконалення тривають.

Фірма МЕЛТА (Україна), відома своїми стрічковими осердями з аморфних і нанокристалічних сплавів, розробила просту технологію виробництва АМГМ з механічно подрібненої нанокристалічної стрічки, отриманої методом надшвидкого охолодження [106]. Ця технологія дає змогу створювати великі осердя довільних форм з ізотропною проникністю без застосування пресування та високо-температурного відпалу.

Легований молібденом пермалой (МРР) все ще залишається найбільш «консервативним» матеріалом серед МГМ. Для виробництва осердь з МРР застосовуються порошки, отримані переважно механічним подрібненням сировини (див. CHIP NEWS, № 5, 2023). Для надання частинкам Fe-Ni-Mo сферичної форми порошок додатково оброблюється в кульових млинах. З-за низької питомої ваги заліза у сплаві для ізоляції частинок використовують органічні або органо-неорганічні діелектрики (див. CHIP NEWS, № 5, 2024), тому параметри осердь з МРР у всіх виробників майже однакові. Анонсований компанією Micrometals «покрощений» МРР під назвою **New MP** [141] отримав параметри аналогічних МГМ, які вже виробляють Magnetics, ChangSung і KDM [164, 148, 149]. Типо-

вий діапазон значень проникності МРР — 14...200, однак Magnetics виробляє також варіанти з проникністю 300 та 550.

На рисунку 29 представлена порівняльна діаграма ефективності різних МГМ фірми Micrometals, заснована на зіставленні втрат і DCB-характеристик. Виробник умовно виділяє три категорії матеріалів, призначених для: накопичувальних дроселів, дроселів фільтрів, та універсальну групу. Осердя з матеріалів з низькими сумарними втратами кращі для накопичувальних дроселів ІДЖ. Дроселі деяких пристроїв, наприклад, коректорів коефіцієнта потужності (ККП), вимагають поєднання низьких втрат і чудової DCB-характеристики МГМ, що властиве сплавам Fe-Ni та композитам на їхній основі.

Для дроселів фільтрів застосовують осердя з матеріалів з великою індукцією насичення і більшими втратами, які збільшують імпеданс дроселя. Універсальні матеріали (**GX Alloy**, **Edge®**, **Optilloy™**, **New Hi-Flux™**) придатні для всіх типів дроселів.

У наступних публікаціях будуть розглянуті методики вибору потрібного матеріалу і його проникності при розрахунках ефективних дроселів.

Далі буде

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

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

Література:

142. Burton E. A. et al. FIVR — Fully integrated voltage regulators on 4th generation Intel® Core™ SoCs. In Proc. IEEE Applied Power Electronics Conference and Exposition (APEC) pp. 432–439, 2014.
143. D. Jiles. *Soft Magnetic Materials: Introduction to magnetism and magnetic materials*. Ch. 12, CRC press, Boca Raton, 2015.
144. G. Bai, J. Sun, Zh. Zhang, X. Liu, S. Bandaru, W. Liu, Zh. Li, H. Li, N. Wang, X. Zhang. *Vortex-based soft magnetic composite with ultrastable permeability*

up to gigahertz frequencies. *Nature Communications*, 2024, 15:2238.

145. <https://www.ferrite.com.ua/doc/CN/Magnetics-Kool-Mu-HF-Bulletin-2023-EN.pdf>

146. <https://www.ferrite.com.ua/doc/CN/Magnetics-Kool-Mu-MAX-Bulletin.pdf>

147. <https://www.ferrite.com.ua/doc/CN/Magnetics-Kool-Mu-Ultra-Bulletin.pdf>

148. https://www.ferrite.com.ua/doc/CN/CSC_cores_2020.pdf

149. https://www.ferrite.com.ua/doc/CN/KDM_Alloy_Powder_Cores.pdf

150. https://www.ferrite.com.ua/doc/CN/ACME_Metal_Magnetic_Core_2022.pdf

151. J. Wang, X. Liu, L. Li, X.-H. Mao. Performance improvement of Fe-6.5Si soft magnetic composites with hybrid phosphate-silica insulation coatings. *Journal of Central South University, Volume 28*, pp. 1266–1278, 2021

152. J. Wang, X. Liu, Zh. Zheng, Zh. Qiu, K. Li, J. Xu, K. Lu, D. Zeng. Reduction of core loss for FeSi soft magnetic composites prepared using atomic layer deposition-based coating and high-temperature annealing. *Journal of Alloys and Compounds*, 2022.

153. H.Z. Li, W.S. Cai, G.Z. Zhang, Z. Liu, Z.C. He, Y.Q. Yan, H.B. Ke, W.H. Wang, C. Yang. Improved soft magnetic properties of FeSi/FeSiCrBC compound powder core induced by enhanced magnetic coupling. *Powder Technology*, May 2024.

154. <https://patents.google.com/patent/CN106409461A/en>

155. <https://www.ferrite.com.ua/doc/CN/Magnetics-Edge-Powder-Cores-Bulletin-2023-EN.pdf>

156. <https://www.ferrite.com.ua/doc/CN/Magnetics-High-DC-Bias-Edge-Bulletin-EN.pdf>

157. <https://www.ferrite.com.ua/doc/CN/T-GX-060-Prelim-DataSheet.pdf>

158. https://www.ferrite.com.ua/doc/CN/CSC_New_Magnetic_Powder_Core.pdf

159. https://www.ferrite.com.ua/doc/CN/KDM_Cross_Reference_Powder_Cores.pdf

160. <https://www.ferrite.com.ua/doc/CN/Magnetics-75-Series-Powder-Cores.pdf>

161. <https://www.ferrite.com.ua/doc/CN/Brochure-Optilloy.pdf>

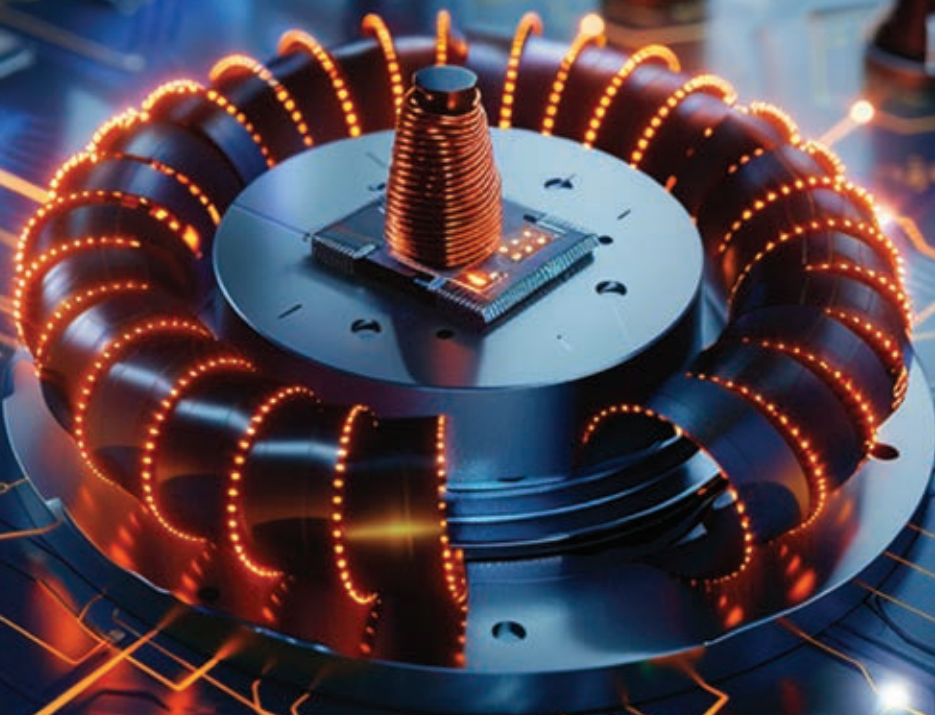
162. <https://www.ferrite.com.ua/doc/CN/Magnetics-AmoFlux-Bulletin.pdf>

163. L. Yan, B. Yan, Y. Jian. Fabrication of Fe-Si-B Based Amorphous Powder Cores by Spark Plasma Sintered and Their Magnetic Properties. *Materials* 2022, 15, 1603.

164. <https://www.ferrite.com.ua/doc/CN/Magnetics-Powder-Core-Catalog-2024.pdf>

165. https://www.ferrite.com.ua/doc/CN/Micrometals_Overview_May_2023.pdf **CN**

Осердя, фурнітура, моточні вироби вимірювальні трансформатори струму



ТОВ «НВП АСТЕРА»

e-mail: ferrite@ukr.net
www.ferrite.com.ua

61072, Україна, м. Харків, вул. Тобольська, 42, оф. 222,
факс: (+38) 057-728-1808,
тел.: (+38) 057-757-2859, (+38) 050-323-3763,
(+38) 067-575-4440, (+38) 068-616-7777

Покриття радіочастотних з'єднувачів

Кива Джуринський

Радіочастотні з'єднувачі є необхідними компонентами систем зв'язку та телекомунікації, авіаційної та авіакосмічної апаратури, медичної техніки, систем керування транспортом і багатьох інших систем. Найважливіше місце в конструкції та технології виготовлення радіочастотних з'єднувачів займають покриття їхніх металевих поверхонь. Розгляду складу та властивостей сучасних покриттів радіочастотних з'єднувачів присвячена ця стаття.

Покриття, що забезпечують низький рівень інтермодуляційних спотворень

Розвиток базових станцій мобільного зв'язку, а також широкосмугового зв'язку нового покоління висунув жорсткі вимоги до рівня інтермодуляційних складових спектра сигналу (*Inter Modulation Products, IMP*) для всіх компонентів, які застосовують, зокрема й для радіочастотних з'єднувачів. Однією з головних причин виникнення IMP у з'єднувачах є наявність у них магнітних матеріалів і покриттів. Тому для виготовлення з'єднувачів застосовують тільки немагнітні метали: латунь, берилієву і фосфорну бронзи. Неприпустимим є також застосування аустенітної нержавіючої сталі, хоча вона вважається немагнітним металом. Виявилось, що під час деформації сталь набуває слабких магнітних властивостей внаслідок виділення магнітної α -фази [2]. Застосування магнітних матеріалів і покриттів також неприпустимо в з'єднувачах для магнітно-резонансної томографії [2].

Інтермодуляційні спотворення можуть бути викликані з'єднувачами, виготовленими з немагнітних металів, але покритими гальванічним магнітним нікелем [28]. Замість нікелевих покриттів використовують немагнітні срібні покриття. Срібло має найвищі з усіх металів електропровідність і теплопровідність, низький контактний опір і хорошу паяність. Однак срібло — дорогий дорогоцінний метал, до того ж схильний тьмяніти внаслідок взаємодії з сірковод-

нем, хлором, сірчистими та азотистими сполуками з навколишнього середовища. Срібло взаємодіє з сірководнем навіть за його концентрації в атмосфері менше ніж $1 \times 10^{-5} \%$ з утворенням щільних плівок сульфідів. У нормальних умовах за температури $+26 \text{ }^\circ\text{C}$ питома електропровідність плівки сульфиду срібла становить лише 0.1 См/м . Однак за температури $+175 \text{ }^\circ\text{C}$ відбувається стрибкоподібне зростання електропровідності до 2130 См/м , а за знижених температур плівки сульфиду срібла стають ізолювальними.

Пошуки альтернативних рішень привели до створення покриття «біла бронза» — немагнітного, корозійностійкого і зносостійкого сплаву 50–55% міді, 30–35% олова і 15–17% цинку. Його застосування в радіочастотних з'єднувачах для заміни нікелевих покриттів стало популярним на початку 1990-х років. Покриття типу «біла бронза» зі складовими, що незначно відрізняються, розробили багато компаній, які присвоювали їм свої фірмові назви (табл. 1).

BBR — це покриття, що складається з 55% міді, 30% олова і 15% цинку, та яке має вигляд яскраво-білого срібла. Воно було розроблено компанією Radiall для заміни нікелю і срібла. Це покриття немагнітне, має високу електропровідність і, на відміну від нікелю, не викликає алергії. Інтермодуляційні спотворення, зумовлені BBR, такі ж низькі, як і у срібного покриття. Стійкість до корозії та тьмяніння є однією з найважливіших екологічних характеристик цього покриття поряд із високою зносостійкістю. Паяння з'єднувачів з покриттям BBR рекомендується про-

водити з використанням злегка активованого флюсу [27]. Покриття Miralloy 2844 — сплав 51% міді, 33% олова і 17% цинку. Miralloy — товарний знак компанії Umicore.

Покриття Miralloy також є альтернативою гальванічним покриттям із нікелю та срібла для застосування в радіочастотних з'єднувачах у системах стільникового та мобільного зв'язку. Воно немагнітне, має високу твердість, зносостійкість і корозійну стійкість у сірководневій атмосфері [2].

Покриття Sucoplate — «біла бронза» компанії Huber+Suhner [26]. Покриття має високі електропровідність і корозійну стійкість, твердість 600–700 HV, низький коефіцієнт тертя, хороші зносостійкість і пластичність, що дає змогу значно знизити можливість його пошкодження під час тертя і вигину. Немагнітність покриття забезпечує низькі втрати з'єднувачів на високих частотах.

Sucoplate — рівномірне і безпористе корозійностійке покриття товщиною 2...3 мкм, розроблене компанією SEC Plating Pty Ltd [6]. Коефіцієнти лінійного розширення цього покриття і латуні близькі, тому швидка зміна температури від -50 до $+200 \text{ }^\circ\text{C}$ не спричиняє розтріскування і відшаровування покриття. Твердість Sucoplate у 2 рази, а зносостійкість більш ніж у 10 разів більша, ніж у срібного покриття.

Tri-M3 (Tri-Alloy, Tri-Metal) — покриття компанії Electro-Spec, Inc. [10], що містить 55% міді, 30% олова і 15% цинку. Твердість Tri-M3 становить близько 600 HV, коефіцієнт тертя на 70% менший, ніж у срібла. Корозійна стійкість цього покриття і нікелю практично однакові.

У покриттях Sucoplate 30 компанії Huber+Suhner і Optargen (Rosenberger, Telegartner) шар срібла завтовшки 2 мкм вкритий «білою бронзою» завтовшки 0.5 мкм для запобігання утворенню сульфиду срібла. Покриття має твердість 600–700 HV і поєднує корисні властивості срібла та «білої бронзи». Компанія Huber+Suhner не рекомендує покриття Sucoplate 30 для паяння.

* Закінчення. Початок див. CHIP NEWS, № 3, 2024 р.

Недоліком покриття «біла бронза» вважається погана паяність при використанні неактивованих флюсів. Тому для покращення паяності деякі компанії покривають «білу бронзу» дуже тонким шаром «твердого» золота. Компанія Radiall застосовує покриття GBR (*Gold Bronze Radiall*), що складається з шарів BBR завтовшки 1.8 мкм і золота завтовшки 0.1...0.2 мкм. Покриття GBR зовні виглядає, як золоте покриття, забезпечує досить високу міцність паяних з'єднань і низький контактний опір [29].

ЗОЛОТІ ПОКРИТТЯ МАЛОЇ ТОВЩИНИ

Золоті покриття малої товщини, що мають оптимальне поєднання ціна/якість, застосовують європейські компанії, що випускають радіочастотні з'єднувачі: Rosenberger [25], Hubert+Suhner [26], Radiall [278], Harting [1], Telegartner [3] та ін. У всіх цих покриттях як підшар застосовано хімічний нікель. Дуже тонкий шар «твердого» золота захищає хімічний нікель від окислення і забезпечує низький контактний опір і хорошу паяність. До того ж, на відміну від нікелевих покриттів, ці покриття не є алергенними і відповідають вимогам директиви RoHS.

Покриття AuroDur, що складається з тонкого шару «твердого» золота (всього 0.15 мкм) з прошарком немагнітного хімічно обложеного нікелю завтовшки 2...3 мкм, компанія Rosenberger вже багато років застосовує в радіочастотних з'єднувачах. За даними компанії, це рівномірне покриття забезпечує чудові характеристики корозійної стійкості, зносостійкості, передавання сигналів і паяння з високою міцністю за мінімальної вартості. Наприклад, застосування покриття AuroDur у з'єднувачах типу SMP дало змогу забезпечити 1000 циклів з'єднань вилки та розетки замість необхідних за технічними умовами 500 циклів.

Компанія Hubert+Suhner замінила в з'єднувачах, що випускаються, стандартне золоте покриття завтовшки 0.8 мкм з прошарком гальванічного нікелю завтовшки 1...2 мкм на покриття Suropro: 0.1...0.2 мкм «твердого» золота чистотою 99.7% з прошарком хімічно обложеного нікелю (вміст фосфору 10.5%) завтовшки 2 мкм. Покриття Suropro виявилось більш зносостійким, а його змочуваність припоями була кращою, ніж у стандартного покриття [26].

Таблиця 4. Аргументи «за» і «проти» зменшення товщини золотого покриття з'єднувачів

«За» зменшення товщини	«Проти» зменшення товщини
Необхідність економії дорогого дорогоцінного металу	Необхідність забезпечення високої корозійної стійкості з'єднувачів
Можливість підвищення надійності паяних з'єднань	Необхідність забезпечення підвищеної зносостійкості з'єднувачів
Підвищена чистота поверхні за сучасної технології виготовлення з'єднувачів	Підвищення складності та вартості механічного оброблення поверхні з'єднувачів дуже високої чистоти
Зменшення товщини «скін-шару» при збільшенні робочої частоти з'єднувачів	

Золоте покриття корпусів з'єднувачів із латуні компаній Telegartner і Harting — NiP-Au складається з трьох шарів: міді завтовшки 1 мкм, хімічного нікелю з фосфором завтовшки 4 мкм і «твердого» золота завтовшки всього 0.1 мкм [1, 3]. Хімічний нікель створює тверде, зносостійке і стійке до корозії покриття. «Тверде» золото, міцно пов'язане з прошарком хімічного нікелю, забезпечує невеликий коефіцієнт тертя і більшу зносостійкість, ніж стандартні золоті покриття. У той час як стандартні золоті покриття наносять гальванічними методами, у виробництві сплавів NiP-Au компанія Telegartner застосовує хімічні процеси за температури +85 °С. Хімічні процеси дорожчі за гальванічні, але це повністю компенсується використанням меншої кількості золота [3].

Покриття компанії Radiall — NPGR, що складається з тонкого шару «твердого» золота поверх шару хімічного нікелю (вміст фосфору більше ніж 10%), було розроблено як альтернативу дорожчому стандартному золотому покриттю. Це немагнітне покриття забезпечує низький рівень інтермодуляційних складових, захист від корозії та низький коефіцієнт тертя, що дає змогу виконувати до 10 000 з'єднань і роз'єднань вилки та розетки. Однак покриття NPGR не рекомендується застосовувати, якщо паяні з'єднання мають працювати в жорстких умовах за високих температур [27].

Основне застосування покриттів із золотом малої товщини — з'єднувачі та інші компоненти для поверхневого монтажу, проте останнім часом їх дедалі ширше застосовують і для з'єднувачів багатьох інших типів.

ОПТИМАЛЬНА ТОВЩИНА ЗОЛОТОГО ПОКРИТТЯ

Визначення оптимальної товщини золотого покриття радіочастотних з'єднувачів є непростим завданням, особливо для з'єднувачів, що надійно працюють у жорстких умовах. Золото — дорогий

матеріал, а це означає, що золоте покриття має бути рівно настільки товстим, наскільки це необхідно, інакше це втрачені гроші. Електронна промисловість щорічно споживає понад 320 т золота, і значна частина цього золота використовується як електроліт для гальванічного покриття з'єднувачів та інших електронних компонентів [10]. Було розроблено технічні специфікації MIL-DTL-45204D і ASTM B488, що розподіляють товщину золота за класами від 00 до 6. Клас 00 — для мінімальної товщини золота — 0.5 мкм, клас 0 — 0.75 мкм, клас 1 — 1.25 мкм тощо [18].

Спроби скоротити споживання золота шляхом зменшення товщини покриття, застосування селективного золочення і заміни золотого покриття на покриття іншого складу робляться постійно. Однак комбінація таких властивостей золота, як винятково висока корозійна стійкість, висока електропровідність, немагнітність і пластичність, настільки неповторна, що заміна золота може призвести лише до втрат або надмірно великих витрат. Тому велика кількість робіт була спрямована лише на зменшення товщини золотих покриттів. Рішення про зменшення товщини золотого покриття є компромісним. У таблиці 4 наведено аргументи «за» і «проти» зменшення товщини золотого покриття радіочастотних з'єднувачів.

За великої товщини золотого покриття зростає ймовірність окрихчування з'єднань, спаяних олов'яно-свинцевими припоями, внаслідок утворення інтерметалідів. Оптимальна товщина золотого покриття, за різними даними, має бути меншою за 0.5 мкм, але, в усякому разі, меншою за 1.25 мкм. Однак чим тонше золоте покриття, тим більше воно містить пор і тим нижча його корозійна стійкість. Для забезпечення високої корозійної стійкості товщина золотого покриття повинна бути не менше 1.25 мкм. У міру збільшення товщини золота збільшується не тільки корозійна стійкість, а й зносостійкість покриття. Для підвищення зносостійкості товщина покриття «твердим» золотом має бути не менше 1...2 мкм.

Таблиця 5. Середньоарифметичне відхилення профілю поверхні та глибина скін-шару золота, нікелю гальванічного та хімічного

Клас чистоти	Середньоарифметичне відхилення профілю, мкм	Частота, ГГц	Глибина скін-шару, мкм		
			Золото	Ni	NiP
$\sqrt{5}$	5.0	1	2.38	0.167	4.09
$\sqrt{6}$	2.5	10	0.75	0.054	1.32
$\sqrt{7}$	1.25	18	0.56	0.040	1.02
$\sqrt{8}$	0.63	40	0.38	0.027	0.68
$\sqrt{9}$	0.32	65	0.30	0.021	0.51

Товщина золотого покриття має бути такою, щоб покрити всі нерівності металевих поверхонь і бути більшою за товщину скін-шару. За постійного струму однорідність покриття однакова по всьому поперечному перерізу провідника. На високих частотах густина струму в значній центральній частині перерізу провідника практично дорівнює нулю, струм проходить тільки в поверхневому шарі — скін-шарі. Глибина скін-шару тим менша, чим вища частота, більша магнітна проникність і провідність металу.

Середньоарифметичне відхилення профілю поверхні для різних класів чистоти обробки і глибина скін-шару золота, гальванічного (Ni) і хімічного (NiP) нікелю залежно від частоти наведено в таблиці 5. Дані таблиці 5 показують, що товщина золотого покриття визначається величиною шорсткості поверхонь коаксіальної лінії з'єднувача, оскільки вона завжди більша за глибину скін-шару. Для застосування золотого покриття товщиною менше ніж 1 мкм необхідно, щоб поверхні коаксіальної лінії з'єднувача були оброблені не гірше, ніж за 8–9-м класом чистоти. При цьому треба враховувати, що підшар нікелю децю вирівнює нерівності поверхні.

Для підвищення зносостійкості доводиться збільшувати товщину золотого покриття і застосовувати підшар твердого хімічного нікелю. За даними компанії Тусо, покриття з «твердого» золота завтовшки 0.8 мкм з прошарком нікелю завтовшки не менше 1.3 мкм забезпечує зносостійкість, достатню для більшості з'єднувачів. Покриття товщиною від 0.03 до 0.1 мкм із «твердого» або «м'якого» золота поверх нікелевого прошарку слід використовувати тільки в тих випадках, коли ризик стирання мінімальний [24].

Товщина золотого покриття для з'єднувачів, що працюють у помірних умовах навколишнього середовища, може бути обрана в межах 0.75...1.25 мкм. Така товщина золота забезпечує поліпшену корозійну стійкість і зносостійкість порівняно з тоншим золотим покриттям.

Для з'єднувачів, що застосовуються в контрольованому середовищі, з мінімальними вимогами до зносостійкості достатня товщина золотого покриття 0.1...0.5 мкм. Тонкий шар золота в цьому випадку забезпечує низький контактний опір і досить хорошу паяність.

ПОКРИТТЯ ПАЛАДІЙ-НІКЕЛЬ З ТОНКИМ ШАРОМ ЗОЛОТА

У пошуках альтернативи золоту в покриттях радіочастотних з'єднувачів було звернуто увагу на паладій. Паладієве покриття має досить хороші контактні властивості, високу твердість — 200–300 HV, яка набагато вища за твердість чистого золотого покриття. Зносостійкість паладієвих покриттів у 20 разів вища за зносостійкість срібних покриттів. Завдяки застосуванню покриття без пор товщиною 2...5 мкм. Однак паладієве покриття має схильність до розтріскування і високу каталітичну активність, що сприяє утворенню на його поверхні ізоляційних плівок унаслідок полімеризації парів органічних речовин, що містяться в навколишньому середовищі [7].

На початку 1980-х років багато компаній розглядали перспективи заміни покриття з «твердого» золота, ціни на яке нестримно зростали, на покриття більш низької вартості, яке, однак, має при цьому основні характеристики золотого покриття. Їхні зусилля завершилися розробкою паладій-нікелевого (PdNi) гальванічного покриття з прошарком нікелю. Покриття PdNi складається з 70–80% паладію і 20–30% нікелю і є твердим розчином паладію і нікелю. Густина покриття становить від 10 до 11.5 г/см³. Для порівняння густина гальванічного золота — 17...19.3 г/см³. Покриття PdNi менш схильне до розтріскування, має знижену пористість і кращу пайку порівняно з чистим паладієм [30–32].

Для подальшого покращення якості покриття паладій-нікель поверх нього нанесли шар золота завтовшки менше ніж 0.25 мкм [31–32]. Тришарове по-

криття нікель-паладій-золото (NiPdAu) було розроблено в 1980-х роках. Ключовою властивістю цього покриття є покращена паяність безсвинцевими припоями та припоями, що містять свинець. Проведені компанією DuPont випробування показали, що це покриття твердіше, стійкіше до корозії та довговічніше, ніж золоте покриття [30].

Кваліфікаційні випробування, виконані основними постачальниками з'єднувачів, показали, що покриття PdNi з тонким золотим шаром має нижчу вартість і є надійною альтернативою 0.75-мікронному золотому покриттю [30]. Покриття PdNi з тонким шаром золота протягом останніх 30 років стало кращим для компаній FCI, Molex і TE Electronics, що випускають радіочастотні з'єднувачі у великих обсягах, насамперед — з'єднувачі для роботи в польових умовах. Компанія Molex повідомила, що модульні гнізда, вкриті PdNi з тонким шаром золота, витримують 2500 циклів з'єднань, тоді як такі самі гнізда із золотим покриттям — тільки 750 циклів [32].

НОВІ ПОКРИТТЯ

Провідні компанії постійно вдосконалюють покриття радіочастотних з'єднувачів. Наприклад, японською компанією Uemura та німецькою Umicore представлено склад більш економічного покриття (рис. 5) [8]. Товщину золота вдалося зменшити в 10 разів, покриття паладій-нікель замінити хімічним нікелем і в 1.5 роza зменшити товщину гальванічного нікелевого покриття. Це дало змогу суттєво знизити частку дорогіших металів — золота і паладію.

Мабуть, у цій галузі може знайти застосування нанокристалічний нікель, покритий тонким шаром золота. Це покриття було винайдено в Массачусетському технологічному інституті (США). Контакти з таким покриттям пройшли тестування на вплив навколишнього середовища [32].

Шведська компанія Impact Coatings AB заявила про створення покриття Silver MaxPhase™, що замінює золоте покриття в з'єднувачах для мобільних телефонів [33]. Шведське покриття корозійностійке, зносостійке, а технологія його отримання осадженням з парової фази (PVD) [7] екологічно чиста. Покриття має твердість 300 HV, низький коефіцієнт тертя, досить низький контактний опір і забезпечує надійні з'єднання паянням і зварюванням.

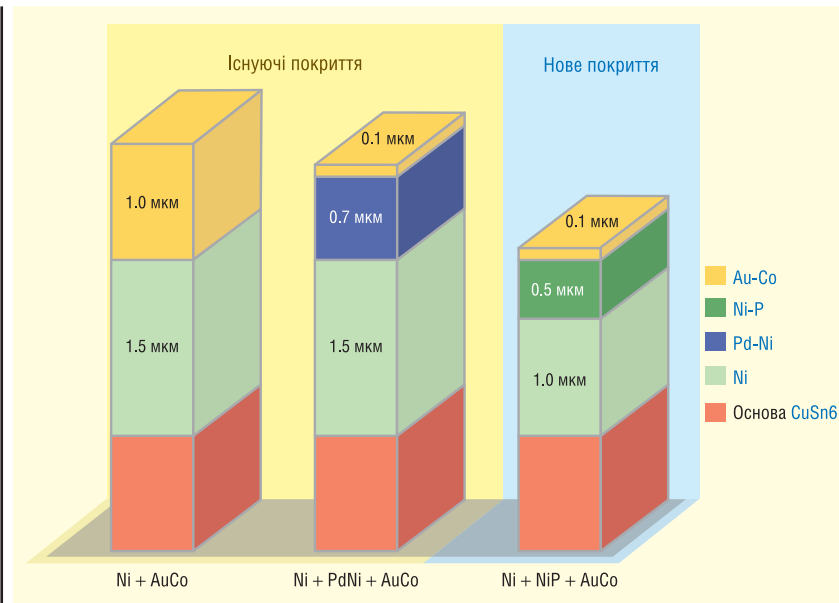


Рис. 5. Еволюція покриттів із дорогоцінних металів

ПАСИВАЦІЯ НЕРЖАВІЮЧОЇ СТАЛІ

Розгляд фінішних покриттів був би неповним, якби хоча б коротко не згадати про пасивацію поверхні корпусів з нержавіючої сталі великої групи з’єднувачів: вимірювальних, метрологічних

і складових сантиметрового та міліметрового діапазонів довжин хвиль [2]. Під час механічної обробки корпусів на поверхню цих з’єднувачів переноситься вільне залізо з інструментів, що застосовуються. Вільне залізо легко окислюється, знижуючи корозійну стійкість з’єднувачів.

Тому після механічної обробки корпусів виконують операцію пасивації. Пасивація — це хімічне оброблення з використанням спеціальної кислотної композиції, яка видаляє вільне залізо та інші забруднення з поверхні нержавіючої сталі. При цьому одночасно на поверхні утворюється пасивний шар оксиду хрому/нікелю, який діє як бар’єр для подальшої корозії. Після пасивації нержавіюча сталь стає ще більш стійкою до корозії.

ВИСНОВОК

Розглянуті в цій статті покриття можна застосовувати не тільки для радіочастотних з’єднувачів, а й для інших електронних компонентів, насамперед для поверхневого монтажу. Покриттям радіочастотних з’єднувачів та інших електронних компонентів присвячено величезну кількість робіт. У цій статті розглянуто лише невелику частину з них.

Основним напрямком розвитку покриттів радіочастотних з’єднувачів є економія дорогоцінних металів. Для цього розроблено золоті та паладій-нікелеві покриття дуже малої товщини з прошарком хімічного нікелю. Другий



Напівгнучкі



Тип RG



Напівжорсткі



Коаксіальні кабелі:
 - низькі та ультранизькі втрати
 - оптимальне т фазування
 - ефективне екранування
 - висока надійність
 - оптимальна ціна

ТОВ «ЄВРОКОНТАКТ ЛТД.»
+380 44 500 7991
info@eurocontact.kiev.ua

напрямок — створення нових альтернативних покриттів — також має певні перспективи. Однак у більшості випадків потрібне нанесення тонкого шару золота поверх нового покриття.

Література:

1. Heile I., Huske R. Contact plating material options for electronic connectors. A comparison of hard gold and hard gold flashed palladiumnickel (80/20). www.harting.com/sites/default/files/2019-03/Contact-plating-material-options-for-electronic-connectors_0.pdf
2. Джуринский К. Б. Современные радиочастотные соединители и помехоподавляющие фильтры. Под редакцией д.т.н. Борисова А. А. Изд-во ЗАО «Медиа Групп Файнстрит». Санкт-Петербург. 2014. 426 с.
3. Surface coating for coaxial connectors. Professional Articles, 03/2013. www.telegartner.com
4. Kurtz O., Ларорс-Брок Ф., Данкер М. и др. Покрытие «никель-золото» исключительно высокой коррозионной стойкости. Технологии в электронной промышленности. 2011. № 4. С. 28–32.
5. Bondhus B. Advanced Plating Technologies. Gold Plating Thickness of Connectors and Contacts, 2018/04. advancedplatingtech.com
6. SEC Plating Pty. High quality surface plating for rf-connectors, electrical and microwave components. www.secp.net
7. Лобанов М. Л., Кардонина Н. И., Росина Н. Г., Юровских А. С. Защитные покрытия: учебное пособие. Екатеринбург: изд-во Урал. ун-та. 2014. 200 с.
8. De Poto R., Weber J., Leydecker K. Electrolytic Nickel-Phosphorus Plating — Uyemura. www.uyemura.com
9. Hard Gold plating — Alternate Finishing. www.alternatefinishing.com
10. Electro-Spec Blog. J. Smith. Use of Gold Plating in Electronics. <https://plating.electro-spec.com/blog/use-of-gold-plating-in-electronics>
11. Ланин В., Емельянов В. Снижение толщины золотых покрытий при изготовлении интегральных схем. Технологии в электронной промышленности. 2008. № 7. С. 62–65.
12. Lindstedt M. Hard Gold Plating vs. Soft Gold Plating. Products Finishing. www.pfonline.com
13. Бондаренко И. Б., Гатчин Ю. А., Иванова Н. Ю., Шилкин Д. А. Соединители и коммутационные устройства. СПб: СПб ГУИТМО. 2007.
14. Electroless Nickel. Properties of Electroless Nickel. MacDermid Enthone. <https://macdermidenthone.com/solutions/electroless-nickel/reduced-ion-electroless-nickel>
15. Parkinson R. Properties and applications of electroless nickel. www.nickelinstitute.org
16. Вансовская К. М. Металлические покрытия, нанесенные химическим способом. Л. Изд-во «Машиностроение». 1985. 103 с.
17. Soft soldering gold coated surfaces — Core. <https://core.ac.uk>
18. What is the Gold Plating Thickness Standard for Connectors? www.sharrettsplating.com
19. Soldering to Gold Over Nickel Surfaces — Kester. www.kester.com
20. Hillman C., Blattau N., Arnold J. и др. Gold embrittlement in lead free solder. <https://smtnet.com/library/files/upload/Gold-Embrittlement-in-Leadfree-Solder.pdf>
21. Brewer D. H. Solders for Thick Gold Plating Consideration of solder characteristics, joint shear strength, and soldering conditions determines the choice of a solder-flux system. American Welding Society. WJ. 1970. 10. P. 465.
22. Wolverton M. Solder Joint Embrittlement Mechanisms, Solutions and Standards. www.circuitsinsight.com
23. Song J. Corrosion Protection of Electrically Conductive Surfaces — MDPI. www.mdpi.com
24. Schueller R., Hillman C. Understanding the Risk of Gold Flash. White papers. https://cdn2.hubspot.net/hubfs/1871852/Content_for_Degreed.com/Previous_Content/Understanding-the-Risk-of-Gold-Flash.pdf
25. AuroDur Plating for RF Coaxial Connectors. 99. www.rosenberger.de
26. Plating — HUBER+SUHNER. www.hubersuhner.com
27. Plating properties — Radiall. www.radiall.com
28. What is Passive Intermodulation PIM. Primer Electronics Notes. www.electronicnotes.com
29. Guide GBR D1031DE. www.radiall.com
30. Matthey. Palladium-Nickel as a Gold Substitute. <https://technology.matthey.com/content/journals/10.1595/003214084X2825455>
31. Romm D., Lange B. and D Abbott. Evaluation of Nickel/Palladium/Gold-Finished Surface — Mount Integrated Circuits. Application Report SZZA026. July 2001. www.ti.com
32. Brearley D. Gold alternatives in connector designs. Connector Tips. December, 2013.
33. Low cost PVD contact coating replacing plated gold. Impact Coatings AB. <https://impactcoatings.com>

ОСНОВНЕ ПРО КАБЕЛЬНІ ЗБІРКИ

Радіочастотні (РЧ) кабелі застосовуються в різних сферах електроніки, для передачі високочастотного сигналу. Кабелі призначені для передачі радіохвиль, які є різновидом електромагнітного випромінювання з частотами від 3 кГц до 300 ГГц.

Існують різні типи РЧ кабелів, які поділяються за сферою застосування, відповідно до технічних вимог, діапазонів робочої частоти. Коаксіальний кабель є найпоширенішим типом радіочастотного кабелю. Коаксіальний кабель складається з центрального провідника, оточеного ізоляційним шаром, і зовнішнього провідника (в більшості випадків плетеного типу). Зовнішній провідник служить екраном, захищаючи внутрішній провідник від зовнішніх електромагнітних завад (EMI).

Радіочастотні кабельні збірки також застосовують у військових та в аерокосмічних програмах, де вони піддаються впливу екстремальних умов використання, температури, вібрації та інших деструктивних зовнішніх факторів. Для цих застосувань існують спеціальні типи радіочастотних кабелів, наприклад кабелі з повітряно наповненим діелектриком, для зменшення ваги та збільшення гнучкості.

Здатність передавати високочастотний сигнал на великі відстані з мінімальними втратами — чи не найголовніша перевага РЧ кабелів. Розробники електронних систем в першу чергу звертають увагу на величину втрати сигналу при передаванні в кабелях і на його стійкість до електромагнітних завад. А також звертають увагу, та підбирають кабелі за внутрішньою структурою та за матеріалами з яких він виготовлений.

Якщо узагальнити, коаксіальні кабельні збірки — важлива частина багатьох електронних систем, з абсолютної різниці сфер застосування, від комерційних до військових проектів. РЧ кабелі відіграють, без заперечення важливу роль для передачі сигналу з найменшими втратами, суттєво впливаючи на надійність цілої системи. Компанія **Konnect RF** (CSIA) виготовляє якісні кабельні збірки з різноманітних типів коаксіальних кабелів, відповідно для застосування у телекомунікації, радіомовленні, радарних і системах супутникового зв'язку.

<https://konnectrf.com/>

WAGO

- Клеми
- Контролери
- Блоки живлення
- Панелі оператора
- Реле
- Перетворювачі сигналів



ТОВ МІКРОПРИЛАД

офіс 101, вул. Омеляна Прицака, 4, м. Київ, 03142, Україна

тел.: 380 44 392 93 86 (багатоканальний), факс : 380 44 392 93 87

email: sales@micropribor.com.ua

www.micropribor.com.ua

Клеми WAGO Green Range 221

З турботою про майбутнє

У сучасному світі швидкість, надійність та безпека при виконанні електричних монтажних робіт є ключовими аспектами. І коли мова йде про з'єднання електропроводів, клеми WAGO 221 серії визначають нові стандарти ефективності та зручності. Давайте заглибимося в огляд цієї інноваційної продукції.

З ТУРБОТОЮ ПРО МАЙБУТНЄ

Клеми Green Range 221 (рис. 3) — перші з'єднувачі WAGO, частково виготовлені з вторинно перероблених пластмас та біологічно перероблених матеріалів.

Коли йдеться про долю нашої планети, кожна дрібниця має значення. Саме тому один з найбільш впізнаваних продуктів WAGO — монтажна клема з важелем серії 221 — тепер доступна в екологічно чистій версії. Нова клема складається здебільшого із сертифікованих біологічно та вторинно перероблених пластмас. Це рішення дозволяє використовувати наявні ресурси і запобігає утворенню нових відходів. Таким чином, компанія WAGO встановлює нові стандарти в технології з'єднання і бере на себе відповідальність за більш стійке майбутнє — адже кожна велика зміна починається з маленького кроку.

Нова клема WAGO Green Range 221 має ті ж переваги та характеристики, що й клема попереднього покоління з помаранчевими важелями, але складається з матеріалів, отриманих із вже існуючих джерел, що призводить до зменшення споживання викопних ресурсів. Цілих 77% полікарбонату (ПК), що використовується для створення корпусу, походить від переробки біологічних відходів з домогосподарств та залишків промислових процесів (наприклад, таллової олії, використаної кулінарної олії, залишків від виробництва рослинної олії). Зелені важелі, з іншого боку, складаються не менше як із 27% полібутиленерефталату (ПТВ), отрима-

Коли в 2004 році компанія WAGO почала виробляти інсталяційні з'єднувачі серії 222, вони встановили абсолютні нові стандарти з точки зору зручності та універсальності. Всього через кілька років після їх запуску WAGO довела, що навіть відмінне все ще можна вдосконалити.

Клеми серії 221 (рис. 1), продажі яких почалися в 2015 році, є наступником клем серії 222, які добре відомі не тільки серед професіоналів.

ЗА ЩО ПРОФЕСІОНАЛИ ТА АМАТОРИ ПО ВСЬОМУ СВІТУ ЦІНЮЮТЬ WAGO 221

Як і всі монтажні клеми WAGO, серія 221 також заснована на технології пружинних затискачів, що запатентована компанією WAGO та постійно вдосконалюється. Саме тому клеми 221 не вимагають використання будь-яких додаткових інструментів під час монтажу.

Пружинний затискач забезпечує не тільки зручність використання, але й довший термін служби з'єднання. На відміну від гвинтових з'єднань, пружинний затискач стійкий до вібрації, яка є однією з основних причин виходу з'єднання з ладу в довгостроковій перспективі.

Зберігши всі переваги попередньої моделі, компанії WAGO вдалося зменшити розмір нового роз'єму на 40%! Кожен електромонтажник добре знає, наскільки важливий кожен зайвий міліметр в невеликій монтажній коробці. Надзвичайно компактний розмір (8.3×18.6×18.7 мм — версія 221-413) не тільки дозволяє використовувати роз'єми в обмеженому просторі, але й також підвищує комфорт монтажу і полегшує розширення інсталяції.

Ще одним елементом, який відрізняє клеми серії 221, є їхній прозорий корпус (рис. 2). Завдяки цьому ми завжди знаємо, чи правильно розміщені дроти в клемі і чи захищені вони до потрібної довжини. Користувачі також оціняють два вимірювальні отвори, які також дозволяють проводити вимірювання з підключеними проводами.

Виробник також значно покращив роботу важеля відкриття затискача, який тепер потребує меншого зусилля. Зручність монтажу також підвищується завдяки потовщенням з бокових стінок, що полегшує тримання роз'єму.

ОДИН ТИП КЛЕМ ДЛЯ ВСІХ ТИПІВ КАБЕЛЮ

Всі клеми серії 221 підходять для монтажу одножильних провідників перерізом 0.14–4 мм² і багатожильних провідників з перерізом 0.2–4 мм². Це робить WAGO 221 придатними для з'єднання провідників різних типів і перерізів.

Клеми розраховані на максимальний номінальний струм 32 А/450 В і можуть використовуватися при довготривалій допустимій температурі 105 °С. Сертифікати ENEC і UL підтверджують допуск серії 221 до використання на світових ринках.



Рис. 1. Клеми серії 221



Рис. 2. Клеми серії 221 в прозорому корпусі

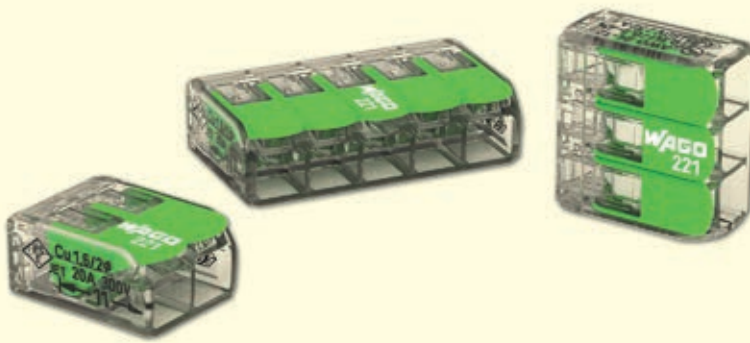


Рис. 3. Клема WAGO Green Range 221

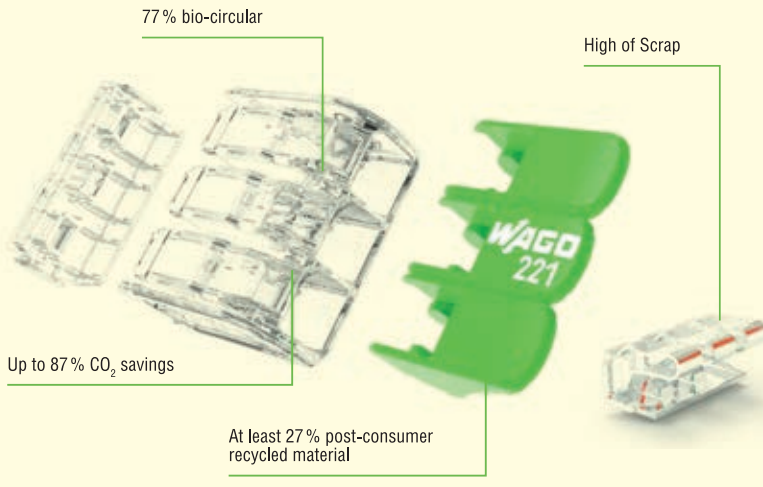


Рис. 4. Непотрібні та шкідливі відходи знову стають цінним ресурсом

ного з вторинної сировини (наприклад, перероблених ПЕТ-пляшок). Завдяки цим рішенням непотрібні відходи знову стають цінним ресурсом (рис. 4).

З екологічно чистої сировини виготовляється не лише сама клема, а й її упаковка (рис. 5). Для виготовлення цієї упаковки використовуються волокна трави,

частка яких становить 30%, а решта — це матеріали з переробленого паперу.

При виробництві «трав'яного паперу» у порівнянні з папером, що на 100% складається з вторинної сировини, викиди CO₂ зменшуються на 5,6%, а споживання води — приблизно на 11%. Крім того, «трав'яний папір» має

менший (приблизно на 28%) вплив на біорізноманіття. Трава, що використовується для його виробництва, походить з компенсаційних ділянок під забудову або з необроблених сільськогосподарських земель, трава на яких має бути скошена в обов'язковому порядку.

Мідь, пружинна сталь і етапи виробництва ідентичні стандартному з'єднувачу серії 221.

Як мідь, так і пружинна сталь вже отримують з металобрухту у високих відсотках. На жаль, наразі неможливо запропонувати жодного продукту з вищим (і, отже, не на 100% переробленим) вмістом вторинної сировини. Компоненти, що не є брухтом, здебільшого є важливими легуючими компонентами, які необхідно додавати для забезпечення технічних можливостей та якості продукції.

Серед переваг клем Green Range 221 можна відмітити:

- використання для їх виробництва вторинно перероблених пластмас та інших біологічно перероблених матеріалів;
- зменшення споживання викопних ресурсів завдяки їх використанню в замкнутому циклі;
- ідентична якість і сертифікація, як у класичних клем 221 серії.

Для компанії WAGO це має велике значення, оскільки вона приділяє особливу увагу типу матеріалів, що використовуються у виробництві, та екологічному сліду, що утворюється в процесі.

Нова клема WAGO Green Range 221 є альтернативою для всіх тих, хто хоче досягти більш екологічного виробництва або будівництва — будь то виробники пристроїв, будівельники або електромонтажники.

Клеми WAGO 221 серії — це не просто звичайні з'єднувальні клеми. Вони є символом інновації та ефективності в галузі електротехніки. Зручність в експлуатації, надійність, широкі можливості застосування та економія часу — це ті характеристики, які роблять їх вибором номер один для професіоналів та аматорів. WAGO 221 — це інновація, яка змінює гру в світі електричних з'єднань.

Більш детальну інформацію щодо продукції компанії WAGO можна отримати, звернувшись до ТОВ «Мікроприлад»:

**03142, м. Київ,
вул. О. Прицака, 4, офіс 101,
тел.: +38 (044) 392-93-86,
+38 (044) 392-93-87,
e-mail: sales@micropribor.kiev.ua,
https://micropribor.com.ua** **CH**



Рис. 5. Упаковка клеми WAGO Green Range 221 з екологічно чистої сировини

Підходи до рішень для одноплатних комп'ютерів з високими вимогами

Ральф Бісмайєр (Ralf Bißmeier), Phoenix Contact GmbH & Co. KG
E-mail: ua-office@phoenixcontact.com

Одноплатні комп'ютери (англ. Single Board Computer, SBC), такі як комп'ютери Raspberry Pi, є дуже популярним вибором для приватних застосувань та у сфері освіти. Але вони довгий час не могли задовольнити високі вимоги промисловості. Ситуація швидко змінюється, так само як і вимоги, що висувуються до SBC не лише в промисловому, але й у приватному застосуванні, наприклад, у сфері освіти. Все починається з вибору корпусу і завершується стратегіями розсіювання тепла для SBC, до яких пред'являються високі вимоги (рис. 1).

У споживчому секторі часто пропонуються прості радіатори, які просто наклеюються на процесори, що охолоджуються. Таким чином, зниження температури процесора не є особливо високим. Концепції відведення тепла, спеціально розроблені для конкретного застосування, рідко зустрічаються на ринку. Корпус UCS (Universal Case System) від Phoenix Contact, розроблений спеціально для установки вбудованих систем і SBC, був розширений для розміщення

концепцій тепловідведення. Інтегровані комбінації радіаторів і теплорозподільників ефективно охолоджують високонавантажені компоненти і процесори пасивним способом. З теплової точки зору, оптимально спроектовані радіатори в поєднанні з адаптованими до застосування теплорозподільниками забезпечують найкраще можливе пасивне відведення тепла від локальних джерел тепла.

SBC, а також електроніка власної розробки з процесорами з високою

тактовою частотою і відповідним тепловиділенням вимагають адаптивних рішень для відведення тепла. Це може включати в себе просте включення отворів у корпусі або цілеспрямовану концепцію відведення тепла, засновану на конкретному застосуванні. В ідеалі, щоб не знижувати надійність, конструкція повинна бути пасивною. Завдяки новим рішенням радіаторів/розподільників тепла для корпусів серії UCS можна створювати пристрої з тривалим термічним терміном служби.

Очевидні переваги пластикових корпусів, такі як легка вага, електроізоляційні властивості та простота обробки, оптимально доповнюються інтеграцією рішень для радіаторів/розподільників тепла. Ці рішення є такими ж гнучкими, як і вся система корпусу.

КОНЦЕПЦІЯ РОЗСІЮВАННЯ ТЕПЛА В ДЕТАЛЯХ

Радіатори спеціально розроблені для системи корпусів UCS та електроніки, що зазвичай встановлюється в них. Перед нами стояли такі завдання: оптимальний тепловий тракт при малій вазі, інтегративне рішення та використання модульної системи UCS практично без обмежень у комбінуванні окремих компонентів системи (рис. 2)

Повна система відведення тепла для серії корпусів UCS складається з наступних компонентів:

- радіатор для використання у напівоболонці корпусу;
- розподільники тепла для створення оптимального теплового шляху;
- радіатор виконаний у вигляді бічної панелі.

Основний принцип полягає в тому, що радіатори можуть бути інтегровані в кілька розмірів корпусів UCS. І розташовуватися саме там, де виникають

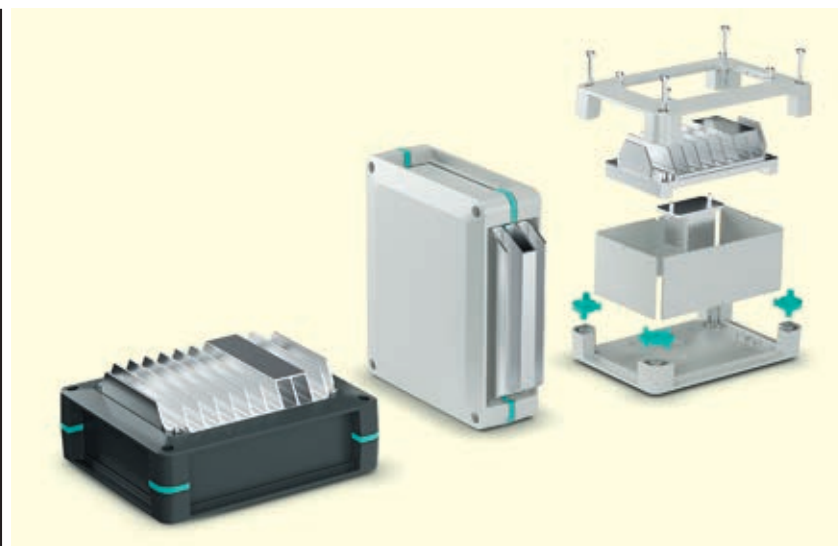


Рис. 0. Одноплатні комп'ютери з високим навантаженням потребують корпусу з ефективною концепцією відведення тепла

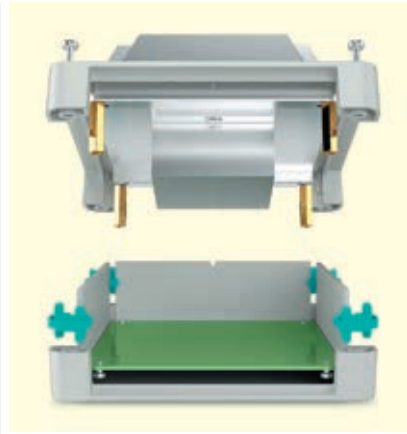


Рис. 2. Корпус UCS з радіатором і теплорозподільником

локальні гарячі точки. Це означає, що менший радіатор UCS HS 145-125 для корпусів типорозміру 125-87 може використовуватися у всіх більших версіях аж до корпусів типорозміру 237-195. Це також стосується і більшої версії UCS HS 145-125. Спільним для обох варіантів є те, що ці корпуси можна підключити до одного з двох теплорозподільників. Якщо є кілька гарячих точок, ці розсіювачі тепла, звичайно, можна об'єднати. Розподільники тепла відкалібровані відповідно до застосування та індивідуально розміщені на радіаторі. Це дозволяє в будь-який момент оптимізувати теплові властивості пристрою. Для оптимізації теплового шляху (рис. 3) особливу увагу слід приділяти низькому тепловому опору. Це забезпечує оптимальну взаємодію між радіатором, розсіювачем тепла і матеріалом теплового інтерфейсу (англ. *Thermal Interface Material, TIM*). Низький тепловий опір

R_{th} означає, що пристрій можна експлуатувати навіть у складних теплових умовах. Чим нижчий термічний опір, тим ширший температурний діапазон для роботи пристрою. І тим довший термін служби (рис. 3).

Термічно важливі зони на сучасних платах зазвичай мають різну встановлену висоту. Тут також вигідно використовувати теплорозподільник UCS HSP, який можна індивідуально відрегулювати по висоті. Він розміщується індивідуально і прикручується до підготовленої контактної поверхні радіатора UCS HS-НН. Теплорозподільники доступні в двох розмірах. Площа контакту з гарячою точкою становить 22 мм × 22 мм або 50 мм × 50 мм. Висота адаптується до відповідних компонентів.

Комбінація радіатора і теплорозподільника з'єднана з друкованою платою за допомогою розпірних болтів (рис. 4). Це забезпечує необхідний контактний тиск і, відповідно, тепловий контакт. Правильна висота визначається положенням розпірних болтів. Доступний асортимент підтримує оптимальне позионування і кріплення різних друкованих плат.

Провідні компоненти, що піддаються термічному навантаженню, такі як транзистори, можна оптимально охолодити за допомогою бічного радіатора UCS HS-SW. Він був спеціально розроблений для цієї мети. Інтегрована опорна поверхня для друкованої плати забезпечує механічну стійкість всієї конструкції. Друкована плата прикручується безпосередньо до радіатора за допомогою опорної поверхні.

Добре відома максимальна гнучкість модульної системи UCS відображаєть-

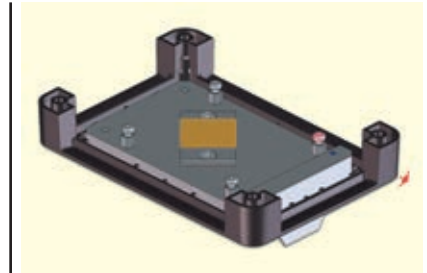


Рис. 4. Комбінація радіатор/розподільник тепла, індивідуально розроблена для стандартного SBC з TIM для розміщення друкованої плати

ся і в рішеннях для відведення тепла. Ця модульна система пропонує незліченну кількість рішень для користувача. Це означає, що численні застосування і налаштування можуть бути реалізовані безпосередньо з модульної системи. Індивідуальний друк на корпусних деталях у поєднанні з друком на радіаторах на наданій поверхні завершує систему.

Таким чином, існують різні масштабовані варіанти відведення тепла. Починаючи з перфорованих або щільних елементів корпусу, додаткового використання алюмінієвих бічних панелей і закінчуючи інтегрованим рішенням радіатора/розподільника тепла. Система корпусів пропонує рішення майже для всіх складних теплових аспектів.

ПРАКТИЧНИЙ ПРИКЛАД

Як система поводить себе на практиці? Комбінація радіатор/розподільник тепла була інтегрована в симуляцію на

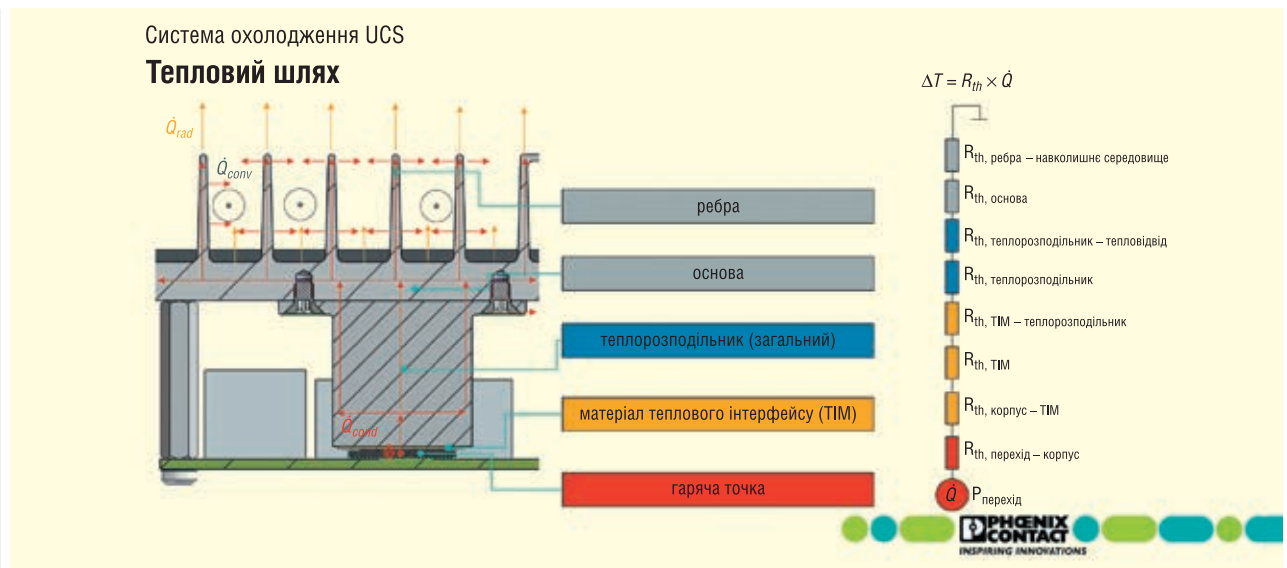


Рис. 3. Ефективний тепловий шлях системи розсіювання тепла

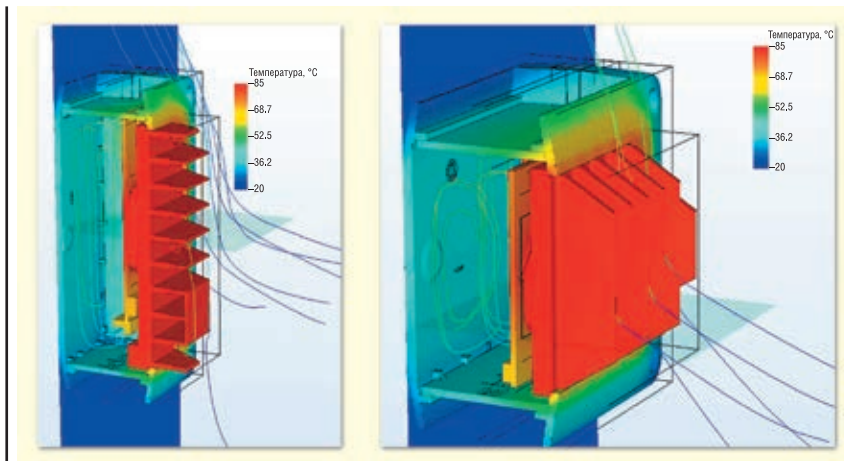


Рис. 5. Збільшення ефективної потужності розсіювання з 10.14 Вт до 16.49 Вт при $\Delta T = 30$ К за рахунок вирівнювання радіатора

КОРПУСИ ПРОМИСЛОВОГО КЛАСУ ДЛЯ ВСІХ ТИПІВ SBC

Система UCS може бути адаптована до інших одноплатних комп'ютерів на додаток до звичних версій Raspberry Pi.

Модульна конструкція підтримує просту адаптацію до відповідного застосування. І це саме те, де багато корпусів на ринку досягають своєї межі. Окрім модульної конструкції, вибір матеріалів для UCS також сприяє використанню в промислових умовах. Використовувані пластмаси забезпечують механічну стабільність, а також високу стійкість до впливу навколишнього середовища.

Таким чином, корпус має відповідати наступним вимогам:

- матеріали, придатні для промислового використання;
- надійність;
- легко адаптувати інтерфейси до програми;
- корпус повинен підходити для різних ситуацій монтажу;
- гнучкі стратегії відведення тепла.

Система UCS постійно розширюється, особливо щодо аксесуарів, а також окремих компонентів. До двох основних кольорів тепер додалися ще вісім кольорів для кутових вставок. У поєднанні з адаптерами для використання в різних сферах застосування тепер існують сотні можливих варіантів.

За допомогою аксесуарів пристрій можна використовувати в різних сферах. Горизонтально або вертикально на столі, в штабелі або на стіні. Також ніщо не заважає використовувати пристрій у шафі керування: просто замініть бічну панель відповідним адаптером для DIN-рейки.

ПІДСУМОК

Серію корпусів UCS також можна використовувати в критичних до температурних режимів додатках. Користувач може використовувати свій пристрій ще більш різноманітними способами, ніж раніше. Корпуси сімейства UCS є основою для створення вишуканих та естетичних пристроїв — з максимально можливою гнучкістю та персоналізацією.

Більш детальна інформація за посиланням:

<https://www.phoenixcontact.com/uk-ua/konfihuruvaty/korpusy-elektronnoho-obladnannya> **CN**

основі даних комерційного SBC. У порівнянні зі стандартними рішеннями plug-and-play, ця комбінація виявилася набагато ефективнішою. Розсіювання тепловтрат можна було збільшити на 100%. Не менш очевидним, однак, став вплив орієнтації охолоджувальних ребер. Використовуючи природну конвекцію, потужність охолодження можна збільшити на 60%. Користувачі повинні врахувати цю поведінку при виборі корпусу і відповідної системи відведення тепла (рис. 5).

КОМПЛЕКСНІ ПОСЛУГИ

Користувачі можуть отримати доступ до комплексних послуг для оптимального використання систем корпусів серії UCS. Починаючи з вичерпної документації, різні варіанти корпусів можна вибрати онлайн.

На сайті Phoenix Contact для розробників доступний конфігуратор, який дозволяє швидко вибрати правильний корпус (див. посилання нижче). Спочатку вибирається корпус — на основі наступних параметрів: застосування, розмір, основний колір, попередній вибір друкованої плати та інтегрований радіатор. Попередній вибір базується на форм-факторі або розмірах. Потім корпус переміщується з області попереднього вибору у вікно дисплея за допомогою перетягування. Після позиціонування друкованої плати можна вибрати додаткові аксесуари. Потім вибираються кольори компонентів.

Після вибору базової конфігурації з модульної системи обирається індивідуальна технологія з'єднання. Потім конфігуратор обробки використовується для вибору стандартних вирізів, таких як

DSUB-9 або будь-який інший тип вирізу. На цьому етапі також можна вказати індивідуальний друк. Отриману конфігурацію можна відкрити в 3D-виді і завантажити в різних форматах файлів. Потім розробник може використовувати ідентифікатор рішення, створений для конфігурації, при запиті рішення, яке виходить за рамки базової конфігурації, в Сервісному центрі.

Під час консультації рішення адаптується до теплових умов і таким чином розробляється оптимальний варіант.

На додаток до вищезазначених послуг, користувачі також мають доступ до послуги моделювання для теплового аналізу та оптимізації порожнього корпусу електроніки Phoenix Contact, включаючи технологію з'єднання та друковану плату, що відповідає вимогам замовника. Якщо онлайн-моделювання вже використовувалося і були визначені приблизні теплові параметри, рекомендується провести повне і дуже детальне моделювання. Це може надати розробнику корисну підтримку при остаточному оформленні макета друкованої плати.

Після надання відповідних параметрів і детальних даних друкованої плати, в ідеалі у форматі ODB++, в симуляції можна зробити висновки щодо теплової поведінки. Це означає, що можна заздалегідь врахувати різні випадки навантаження при різних умовах навколишнього середовища.

При моделюванні враховуються всі дані макета друкованої плати у вигляді даних ODB++ або в інших форматах, щоб отримати якомога точніший висновок про подальшу теплову поведінку всієї системи в цілому. Потім результати можуть бути перевірені при різних навантаженнях і умовах навколишнього середовища.



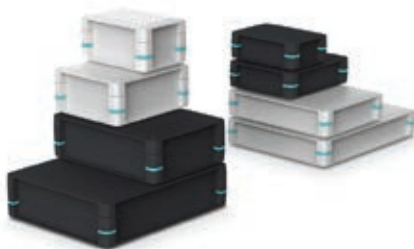
Корпуси електронного обладнання

Корпуси для міні-ПК

Універсальні корпуси серії UCS від Phoenix Contact - ідеальне рішення для вбудованих систем і одноплатних комп'ютерів. Корпуси з класом захисту IP40 надійно захищають друковані плати стандартного форм-фактору і нестандартні друковані плати від зовнішніх впливів. Знімні бічні панелі дозволяють інтегрувати будь-яку технологію підключення та модульні корпусні рішення з індивідуальною висотою встановлення.

ТОВ "Фенікс Контакт"

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



MIC-733-AO – система для значного прискорення розробки генеративного ШІ

Компанія Advantech успішно продемонструвала систему генеративного штучного інтелекту за допомогою MIC-733-AO на базі NVIDIA® Jetson AGX Orin.

дення тепла запобігає перегріву, навіть коли NVIDIA® Jetson AGX Orin™ працює на повну потужність.

ГЕНЕРАТИВНИЙ ШІ НА MIC-733-AO

Гранична система генеративного ШІ MIC-733-AO від компанії Advantech (рис. 1), сумісна з моделями генеративного ШІ NVIDIA з лабораторії Jetson AI, тепер ефективно працює з великими мовними моделями (англ. *large language models, LLM*), моделями мови зору (англ. *vision language model, VLM*), обробленням зору (англ. *vision transformers, ViT*), генерацією зображень і граничними обчисленнями Llamaspeak, завдяки NVIDIA® Jetson AGX Orin™. Унікальність платформи охоплює декілька рівнів, у тому числі прискорення обчислення, життєво важливе програмне забезпечення для штучного інтелекту та попередньо навчені моделі, полегшуючи створення, налагодження та розгортання генеративних моделей ШІ, придатних для різних застосувань і локацій.

За допомогою генеративних моделей ШІ з лабораторії Jetson AI розробники можуть використовувати метод генерації з розширенням пошуку (англ. *retrieval-augmented generation, RAG*), підключаючи LLM і VLM до бази знань компанії. Такий підхід усуває необхідність у традиційному навчанні моделей ШІ, даючи змогу в результаті простої розмовної взаємодії з системою отримувати висновки ШІ, що значно скорочує час розробки.

Advantech MIC-733-AO має високу продуктивність ШІ та декілька відеоінтерфейсів, як-от IP-камери, промислові камери USB/gigE, камери GMSL, LiDAR та інші, що дає змогу працювати з генеративними моделями ШІ на основі граничних обчислень. Його виняткова конструкція щодо відве-

ГРАНИЧНИЙ ГЕНЕРАТИВНИЙ ШІ ДЛЯ ЗАСТОСУВАННЯ ІЗ ВИСОКОЮ ШВИДКІСТЮ РЕАГУВАННЯ

Генеративний ШІ робить революцію у взаємодії людини і комп'ютера, створюючи новий контент з різних вхідних і вихідних даних, таких як текст і зображення. Зміщення попиту з хмарних до граничних обчислень робить GenAI ідеальним рішенням для середовищ з високою швидкістю відгуку і низькою затримкою.

Генеративний штучний інтелект на основі технології граничного обчислення має низку переваг порівняно з рішеннями хмарного обчислення.

Негайне реагування

Граничні обчислювальні системи, що інтегрують джерела даних, такі як камери і датчики, забезпечують швидке реагування GenAI без затримок, пов'язаних із завантаженням у хмару.

Інформаційна безпека

Дані залишаються всередині граничної системи, що дає змогу уникнути ризиків кібербезпеки, пов'язаних із передачею даних у хмару.

Стабільне підключення до мережі

Працюючи без бездротової мережі, гранична система зберігає дані локально до відновлення мережі, на відміну від хмарного ШІ, який перестає функціонувати без мережі.

Низькі витрати на передачу даних

Граничний ШІ не несе ніяких витрат на передачу даних, оскільки внутрішній зв'язок з бекендом не потрібен, а потрібна тільки передача даних з низькою пропускну спроможністю, що економічніше, ніж витрати на вищу пропускну спроможність при завантаженні даних у хмару.

MIC-733 демонструє розробникам штучного інтелекту (ШІ) переваги більш оперативної роботи, підвищеної безпеки та зниження витрат на Інтернет порівняно з хмарним генеративним ШІ.

Граничні обчислення генеративного ШІ — це майбутнє ери ШІ!

Система генеративного ШІ MIC-733-AO Edge, інтегрована з моделями генеративного ШІ NVIDIA з лабораторії Jetson AI, пропонує просте рішення для розробників ШІ і вже доступна на ринку.



Рис. 1. Гранична система генеративного ШІ MIC-733-AO від Advantech

Матеріал надано ПРОКСИС™
www.proxis.ua

CN

Перші в індустрії супершвидкі USB 3.0 модулі цифрового вводу-виводу



Супершвидкий USB 3.0



Надійний дизайн



Гнучке розширення



Мінімум відмов



Легке обслуговування

ADVANTECH

Enabling an Intelligent Planet

Супершвидкі USB 3.0 цифрові модулі вводу-виводу для різних задач промислової автоматизації

Нова серія супершвидких USB 3.0 модулів цифрового вводу-виводу Advantech USB-5800 підходить для вирішення широкого кола задач в промисловій автоматизації, де потрібні легка установка, компактні розміри, та відсутні слоти розширення PCI/PCIe. USB 3.0 модулі вводу-виводу Advantech USB-5800 надають екстремальну швидкість передачі до 5 Гб/с, розширюють системні функції вводу-виводу та підтримують послідовне підключення для легкого нарощування системи.



Більше інформації

USB Modules

Search

Доступні моделі

	USB-5830	USB-5850	USB-5860	USB-5855	USB-5856	USB-5862
Модель						
Ізольовані цифрові вхідні канали	16	16	8	32	32	16
Ізольовані цифрові вихідні канали	16	-	-	-	32	-
Релейні вихідні канали PhotoMOS	-	8	-	16	-	-
Релейні вхідні канали	-	-	8	-	-	16

www.advantech.com

www.proxis.ua
sales@proxis.ua

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

ADVANTECH Industrial IoT

Channel Partner



ПРОКСИС

Швидка і проста розробка точки доступу Wi-Fi 6E з GNSS-приймачем u-blox M10

Бернд Хайдтманн (Bernd Heidtmann), Набіл Хан (Nabeel Khan), u-blox

Невпинний світовий попит на зв'язок і потреба у збільшенні і ширини смуги пропускання пропускної спроможності зумовлюють безперервний цикл інновацій у бездротових технологіях.

Стандарт Wi-Fi 6E, запущений у 2021 році, отримує величезні переваги від доступу до розширеного діапазону, що стало можливим завдяки рішення FCC (Федеральна комісія з питань зв'язку, англ. *Federal Communications Commission*) про відкриття діапазону 6 ГГц для неліцензійного використання. Навіть у той час, коли ринок готується до випуску нового покоління пристроїв Wi-Fi 6E, вже формуються перспективи для наступного покоління технології Wi-Fi — Wi-Fi 7, що обіцяє швидкість передачі даних до 46 Гбіт/с.

Протягом різних поколінь Wi-Fi співіснував з ліцензованими користувачами радіочастотного діапазону, і, щоб гарантувати, що так буде і надалі в діапазоні 6 ГГц, FCC запровадила правила, яких повинні дотримуватися виробники бездротових точок доступу (ТД, англ. *Wireless Access Points, AP*). Виробники точок доступу стандартної потужності, які визначаються як такі, що передають до 4 Вт EIRP, повинні гарантувати, що їхні пристрої можуть точно передавати свої геолокаційні дані за допомогою визнаної служби автоматичної частотної координації (англ. *Automated Frequency Coordination, AFC*). Ця вимога пов'язана з певними труднощами, особливо якщо точка доступу призначена для використання в приміщенні і не має можливості отримати координати GNSS (Глобальної навігаційної супутникової системи, англ. *Global Navigation Satellite System*).

У цій статті ми розповімо, як компанія u-blox використала свій досвід в автомобільній промисловості для розробки наднизькопотужної GNSS-платформи u-blox M10 — високоточного інтегрованого рішення для позиціюван-

ня. Завдяки рівню захисту, що відповідає 95% довіри до точності позиціонування, встановленому FCC, платформа u-blox M10 є ідеальним вибором для розробників Wi-Fi 6E, яким потрібно скоротити час виходу на ринок за допомогою оптимізованої за вартістю точки доступу.

ПОНАД 350 МІЛЬЙОНІВ ПРИБОРІВ З ПІДТРИМКОЮ WI-FI 6E НА РИНКУ НА КІНЕЦЬ 2022 РОКУ

Індустрія бездротового зв'язку стрімко розвивається з моменту прийняття FCC у 2020 році рішення про відкриття діапазону 6 ГГц. Альянс Wi-Fi, який розробляв специфікації Wi-Fi 6E в очікуванні оголошення FCC, швидко запустив свою програму сертифікації Wi-Fi 6E, прискоривши глобальний імпульс розгортання Wi-Fi 6E. На початку вересня 2022 року Японія стала останньою з понад двадцяти двох країн, яка перейшла на роботу систем Wi-Fi 6E у діапазоні 6 ГГц, і ще багато країн планують це зробити. Все більше виробників оснащують свої смарт-пристрої, включаючи ноутбуки, смартфони та телевізори, Wi-Fi 6E, а за даними Wi-Fi Alliance, глобальні продажі пристроїв Wi-Fi 6E перевищили 350 мільйонів у 2022 році.

Хоча це хороша новина для користувачів, неліцензійне використання спектра 6 ГГц пов'язане з обмеженнями, які повинні розуміти розробники точок доступу. Щоб захистити послуги, що надаються чинними ліцензованими користувачами цього діапазону, FCC у США визначила три основні класифі-

кації пристроїв точок доступу, засновані на рівнях потужності передачі, а отже, і на їхньому потенціалі створення завад для наявних користувачів:

- Точки доступу з дуже низьким енергоспоживанням, включно з мобільними телефонами та автомобільними точками доступу
- Точки доступу для приміщень з низьким енергоспоживанням для стаціонарного використання всередині приміщень (5 дБм/МГц або 250 мВт EIRP для 80 МГц),
- Точки доступу стандартної потужності, здатні передавати до 4 Вт EIRP і які підходять для корпоративних систем, таких як стадіони, транспортні та логістичні об'єкти, виробничі підприємства, покриття кампусів, муніципальний Wi-Fi і великі об'єкти, що потребують розширеного покриття всередині приміщень.

З вищезазначених трьох категорій стандартні точки доступу з електроживленням ризикують створювати завади для наявних каналів зв'язку в діапазоні 6 ГГц, тому необхідна певна система координації спектра, щоб захистити їх від нових, неліцензованих систем (Wi-Fi).

АВТОМАТИЧНЕ УЗГОДЖЕННЯ ЧАСТОТИ (AFC) І САМОПОЗИЦІЮВАННЯ

FCC зобов'язала використовувати затверджену послугу автоматичного узгодження частоти (англ. *Automated Frequency Coordination, AFC*) для стандартних точок доступу. Відомі під різними назвами залежно від частотного діапазону, системи AFC мають однакову основну функцію:

- Захист ліцензованих користувачів спектра від завад, спричинених претендентами з нижчим пріоритетом (і в багатьох випадках координувати

дії користувачів з однаковим пріоритетом).

- Авторизація запитів на передачу або призначення прав користування.
- Забезпечення використання дозволених пристроїв.
- Моніторинг призначень спектра і, в деяких випадках, фактичного використання.

Служба AFC містить базу даних наявних операторів 6 ГГц, що включає геолокацію, частоти, рівні потужності, покриття антен, і будь-яка нова точка доступу повинна бути зареєстрована в цій базі даних.

Під час роботи точка доступу повинна взаємодіяти з AFC:

- Автоматично визначати своє географічне розташування, а також міру невизначеності місцезнаходження. Правила FCC вимагають, щоб міра невизначеності надавалася в метрах з ймовірністю 95%.
- Запит списку доступних каналів від системи AFC кожні 24 години (запити на доступність каналів повинні включати геолокацію точки доступу, серійний номер точки доступу та FCCID).
- Автономне прийняття рішення про те, який робочий канал і EIRP використовувати.
- Припинення передачі в діапазоні 6 ГГц або повернення в режим низького енергоспоживання, якщо втрачено зв'язок з AFC.

Важливість стандартної потужності 6 ГГц зумовлює значну регуляторну активність у всьому світі. Наприклад, у

Сполучених Штатах FCC отримала пропозиції від 14 операторів AFC у відповідь на свій нещодавній запит. Канада, Корея і Саудівська Аравія мають тверді плани щодо впровадження систем AFC, тоді як інші країни, включаючи Європейський Союз і Бразилію, наразі досліджують такі системи.

ПРОБЛЕМИ З ВИЗНАЧЕННЯМ ГЕОГРАФІЧНОГО РОЗТАШУВАННЯ ТОЧКИ ДОСТУПУ

Як зазначалося вище, для роботи з системою AFC стандартна точка доступу Wi-Fi 6E повинна мати можливість самостійно визначати своє місцезнаходження — вимога, яка може спричинити багато проблем для розробника точки доступу. Багато точок доступу не зможуть отримати сигнал GNSS через складне розташування сигналу або багатопробленеві віддзеркалення. Для подолання цих обмежень можна використовувати різні методи; дані GNSS можна об'єднати з іншими методами локалізації, включаючи точне вимірювання часу Wi-Fi, надшироко-смуговий зв'язок (*англ. Ultra-Wideband, UWB*), Bluetooth 5.1 Angle of Arrival і запатентований радіочастотний час польоту (*RF Time of Flight*). Точки доступу, встановлені біля вікон або на вулиці, можна використовувати як «якорі», за допомогою яких можна локалізувати решту внутрішніх точок доступу на об'єкті, використовуючи комбінацію цих методів.

Незалежно від обраного підходу, необхідно використовувати відповідні алгоритми для визначення точності місцезнаходження з ймовірністю 95%, як того вимагає FCC. Такий рівень складності може вимагати додаткових навичок і часу на розробку, а також витрат, що призведе до відповідних змін в бюджеті та часових рамках проекту.

ПЛАТФОРМА U-BLOX M10 ПРОПОНУЄ РІЗНІ ФОРМ-ФАКТОРИ МІКРОСХЕМ ТА МОДУЛІВ

Платформа M10 — це десяте покоління GNSS-технологій u-blox, що об'єднує двадцятирічний досвід, який базується на більш ніж півмільярдних продажах GNSS-приймачів. Пристрій поміщається в корпусі QFN розміром чотири на чотири міліметри (рис. 1) та споживає менше ніж 15 мВт енергії в режимі безперервного відстеження, що робить його придатним для широкого спектра промислових та побутових застосувань.

Одночасне приймання сигналів від чотирьох систем супутників GNSS забезпечує максимальну доступність позиювання і, відповідно, його високу точність, а висока радіочастотна чутливість M10 значно скорочує час, необхідний для визначення місцезнаходження. Платформа також має вдосконалені засоби захисту від глушіння, спуфінгу та радіочастотних завад, а точність ще більше підвищується завдяки технології u-blox Super-S, яка підвищує продуктивність в умовах

MICRODIS
www.microdis.net

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

Роман Прокопець
Менеджер з продажу

Microdis Electronics GmbH
Rheinauer Straße 1
68766 Hockenheim
Germany

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





Рис. 1. Платформа u-blox M10 пропонує різні форм-фактори мікросхем і модулів

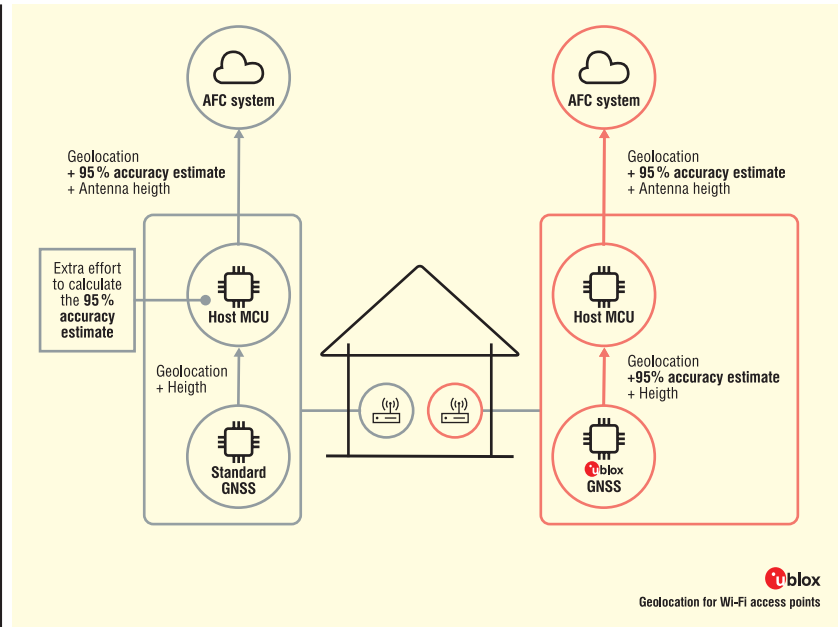


Рис. 2. Функція рівня захисту M10 безперервно розраховує верхню межу очікуваної похибки приймача

слабкого сигналу або при використанні з невеликими антенами, забезпечуючи до 25 відсотків підвищення точності позиціонування при розміщенні антени поза зоною прямої видимості. Він пропонує стаціонарний режим, а точки доступу, що використовують M10, здатні відповідати 95% рівню ймовірності FCC щодо точності позиціонування, використовуючи функцію рівня захисту (рис. 2), яка безперервно обчислює верхню межу очікуваної похибки GNSS-приймача на основі всіх поширених джерел похибок.

Додавання сервісу u-blox AssistNow покращує продуктивність GNSS приймача u-blox M10 в складних умовах в приміщенні, забезпечуючи ще швидше і точніше перше повідомлення про місцезнаходження.

ПРИСКОРТЕ ЧАС ВИХОДУ НА РИНОК ЗА ДОПОМОГОЮ СІМЕЙСТВА M10

Впровадження Wi-Fi 6E у всьому світі стрімко зростає, і згідно з дослід-

женням ABI, глобальне постачання точок доступу Wi-Fi 6E зросте з 1.5 мільйона в 2022 році до 5.2 мільйона в 2024 році. Точка доступу u-blox M10 пропонує розробникам швидке рішення з низьким енергоспоживанням, що відповідає вимогам до звітності про невизначеність, які висуваються до точок доступу зі стандартним енергоспоживанням, і забезпечує точність на рівні вимірювальних приладів у невеликому форм-факторі. Мікросхема M10 і пов'язані з нею модулі та набори для розробки спрощують розробку функціональних можливостей GNSS, скорочуючи цикли розробки та прискорюючи час виходу на ринок.

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

НОВА GNSS-ПЛАТФОРМА ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ ТОЧНОСТІ ПОЗИЦІЮВАННЯ В МІСЬКИХ УМОВАХ

Компанія **u-blox** анонсувала F10, першу дводіапазонну платформу GNSS (Global Navigation Satellite Systems), що поєднує в собі діапазони L1 і L5 для забезпечення підвищеної стійкості до багатопроменевих завад і точності позиціонування на рівні метра. Платформа призначена для застосування у сфері міського транспорту.

Пристрої, які використовують GNSS-приймачі для точного позиціонування, стають дедалі популярнішими. Проте сучасні приймачі не можуть повноцінно працювати в міських умовах. Точне і надійне позиціонування в щільній міській забудові, де будівлі або листя дерев можуть відбивати супутникові сигнали, вимагає від GNSS-приймачів пом'якшення ефекту багатопроменевості. Стійкість до цих ефектів у діапазоні L5 значно підвищує точність позиціонування. У поєднанні з добре відомим діапазоном L1 дводіапазонний GNSS-приймач L1/L5 може забезпечити точність позиціонування < 2 м (CEP50), проти близько 4 м тільки в діапазоні L1. Команда u-blox провела дорожні випробування в декількох міських районах, підтвердивши значне покращення порівняно з приймачами GNSS L1.

Алгоритм вбудованого програмного забезпечення F10 надає пріоритет сигналам діапазону L5 в умовах слабкого сигналу, забезпечуючи надійну точність позиціонування навіть у парі з невеликими антенами. Платформа також оснащена технологією рівня захисту, яка забезпечує надійну оцінку точності позиціонування в реальному часі.

Коли стільниковий модем знаходиться дуже близько до GNSS-приймача, він може створювати завади для приймання сигналів приймачем. Деякі моделі модулів F10 (NEO-F10N, MAX-F10S і MIA-F10Q) оснащені надійним радіочастотним контуром, який дозволяє GNSS і стільниковому модему працювати без завад.

Платформа u-blox F10 повністю сумісна з попереднім поколінням u-blox M10, що забезпечує легку міграцію. Вона також підтримує u-blox AssistNow, який пропонує онлайн-сервіс A-GNSS в режимі реального часу з глобальною доступністю, що дозволяє скоротити час до першої фіксації та енергоспоживання GNSS.

www.u-blox.com

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

APM32 MCU  ARM Cortex  BLE SoC

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

ПОБУТОВА
ЕЛЕКТРОНІКА



ПРОМИСЛОВІ
ЗАСТОСУВАННЯ



МЕДИЧНЕ
ОБЛАДНАННЯ



АВТОМОБІЛЬНА
ЕЛЕКТРОНІКА



РОЗУМНИЙ
ТРАНСПОРТ



РОЗУМНА
ЕНЕРГІЯ



Geehy за роки існування

20 років досвіду в розробці мікросхем

450 мільйонів мікросхем щорічно поставляється

4 офіси
(1 північноамериканський, 3 офшорні)

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

APM32 Загальний MCU промислового класу

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

Bluetooth Low-Energy SoC

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

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

Офіційні поставки
в Україні від компанії
«НВП ЄВРОКОМ КОМПОНЕНТС»

 **EUROCOM
COMPONENTS**

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

Посібник для початківців з цілісності живлення друкованих плат: від плати до корпусу

Закарайа Петерсон (Zachariah Peterson)

У цій статті зроблено спробу дати комплексний концептуальний аналіз проблеми цілісності живлення для розробників друкованих плат. Хоча розробники, як правило, не контролюють особливості розташування плат в корпусі, вони можуть докласти зусиль, щоб забезпечити спільну роботу друкованих плат і компонентів для стабільного живлення. Я опишу низку основних підходів до забезпечення цілісності живлення в цих сферах, від проєктування структури шарів до вибору оптимального конденсатора.

Хоч би якою нудною справою це здавалося, подавання живлення на друковані плати та в системи зі складним компонуванням залишається однією з головних проблем, що постають перед розробниками, особливо у сфері розроблення ЦОД, периферійних обчислювальних систем, мобільних і мережевих пристроїв. У цих середовищах великі обсяги даних передаються каналами з дуже високою швидкістю, і навіть при найпильнішій увазі, яку приділяють цілісності сигналу, жодна з цих систем не працюватиме без стабільного живлення.

Цілісність живлення забезпечується на рівні компонентів і на рівні друкованих плат, причому, як уже згадувалося раніше, проблеми цілісності живлення можуть створювати проблеми цілісності сигналу (тремтіння (*jitter*), недостатньо низький імпеданс кола живлення/заземлення, електромагнітні завади). Більшість посібників із забезпечення цілісності живлення фокусують увагу тільки на рівні друкованої плати, однак розташування елементів на платі та в корпусі повинні проєктуватися разом, щоб забезпечити стабільне живлення роз'ємних з'єднань.

ВІД ЧОГО ЗАЛЕЖИТЬ ЦІЛІСНІСТЬ ЖИВЛЕННЯ ДРУКОВАНОЇ ПЛАТИ?

Концепція цілісності живлення може застосовуватися як до змінного, так і до постійного струму. Коли струм постійний, необхідно правильно підібрати типорозмір мідних шин, щоб забезпечити низьке падіння напруги. Якщо під час проєктування друкованої плати не враховано аспект цілісності живлення,

напруга на шині живлення може мати такий вигляд, як показано на рисунку 1. На фазі комутації входів/виходів імпульси струму, що отримують із кола живлення друкованої плати, збуджують перехідні процеси на шині живлення. Приклад із багаторазовою комутацією логічних схем приведено нижче.

Найчастіше це відбувається на високошвидкісних компонентах з дуже швидкою комутацією. Більша кількість одночасних комутацій входів/виходів підвищує вимоги до потужності, у зв'язку з чим на шинах живлення може виникати більше шуму. Якщо збільшити масштаб одного з цих перехідних відгуків, видно, що перехідний процес загасає з кількома константами часу. Основною є довга низькочастотна константа часу, що створює найбільший обсяг шумів на шині живлення.

Загалом, коли час наростання сигналу для цієї структури кола живлення коротший, пульсації (*ripple*), що виникають, можуть давати більший викид або множинні константи часу, пов'язані зі слабкозатухаючими коливаннями вищої частоти. Ці коливання небажані з двох причин:

- вони відображаються як шум (часовий і на рівні сигналу) на вихідних сигналах, що може призводити до неправильної інтерпретації логічних рівнів;
- вони створюють випромінювані електромагнітні завади, які можна виміряти з боку плати, як правило від краю.

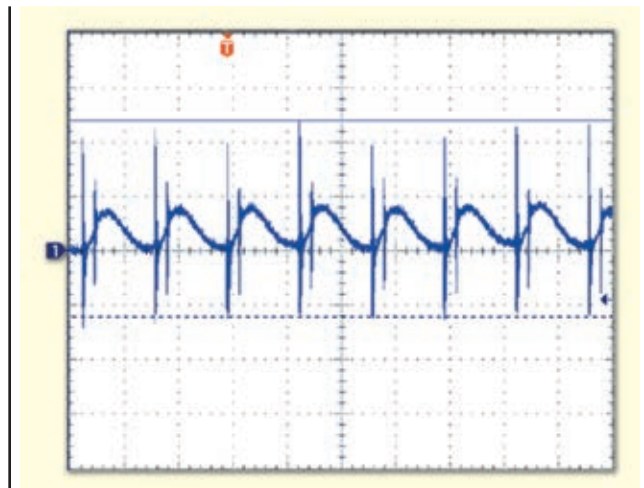


Рис. 1. Напруга на шині живлення, якщо під час проєктування друкованої плати не враховано аспект цілісності живлення

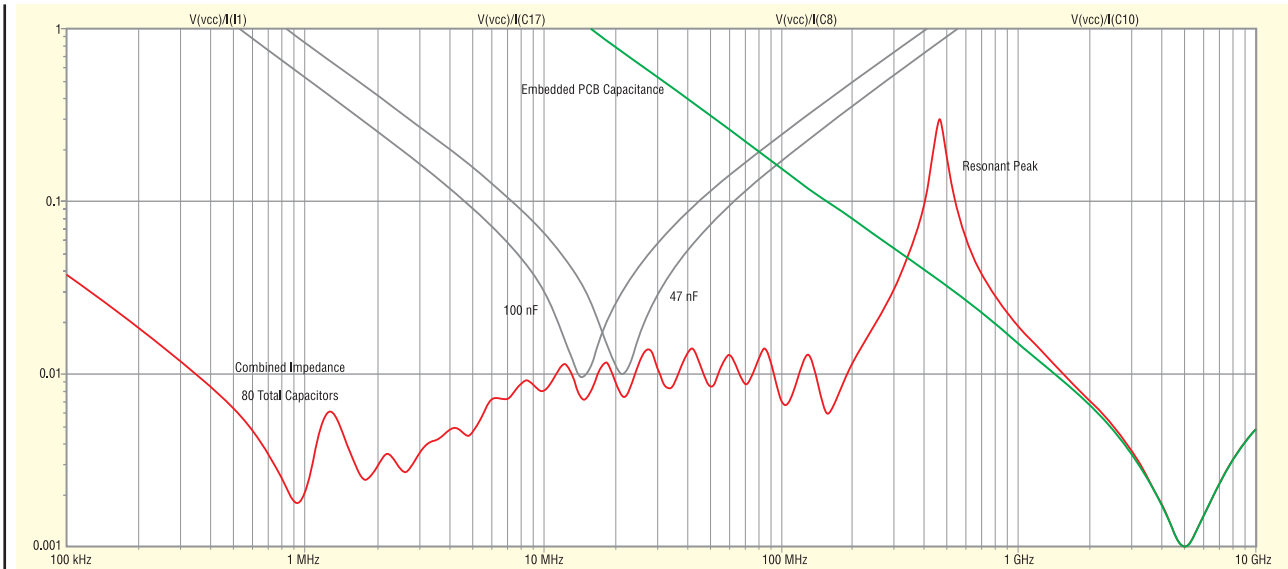


Рис. 2. Елементи, що впливають на коло живлення

Таблиця 1. Імпеданс кола живлення	
Елемент	Вплив на цілісність живлення
Пари площин живлення та заземлення	Зберігає заряд, який може бути звільнений для живлення на високих частотах Визначає розсіювальну індукцію, спрямовану до корпусу
Дискретні конденсатори	Забезпечують живлення на низьких і середніх частотах
Індукція корпусу конденсатора і наскрізного отвору	Обмежує швидкість, з якою може розряджатися конденсатор для живлення сигналів Визначає частоти перехідних коливань, показані вище
Вбудована ємність	Стосується ємності, яку забезпечує діелектричний матеріал між площинами живлення і заземлення
Паразитні явища в корпусі	Визначають здатність корпусу забезпечувати живлення на високих частотах, що досягають діапазону ГГц

З обох причин проєктувальники повинні вжити заходів, щоб гарантувати максимальну стабільність вихідної напруги постійного струму від регуляторів.

ІМПЕДАНС, ІНДУКТИВНІСТЬ І ЄМНІСТЬ КОЛА ЖИВЛЕННЯ

Імпеданс кола живлення на друкованій платі буде основним фактором, що визначає цілісність живлення. Регулятори також відіграють певну роль через петлі зворотного зв'язку (про це йтиметься нижче), однак за імпеданс кола живлення відповідає саме проєктувальник друкованої плати. Мета полягає в тому, щоб забезпечити найменший досяжний імпеданс кола живлення, як правило, на рівні нижче 100 мОм.

Імпеданс кола живлення визначається наявністю декількох елементів, узагальнений опис яких наведено в таблиці 1.

Разом ці елементи визначатимуть спектр значень імпедансу кола живлення. Елементи, що впливають на коло живлення, показано на рисунку 2. Їхній вплив грубо позначено частотним діапазоном. Показаний тут спектр значень імпедансу складено з великої кількості конденсаторів, що характерно для цифрових процесорів з великою кількістю входов/виходів, які працюють на високих швидкостях.

ТОПОЛОГІЯ КОЛА ЖИВЛЕННЯ

Усі кола живлення, що живлять сучасні процесори, є багатопортовими. Їм потрібно кілька величин регульованої напруги, від високих значень до низьких логічних рівнів. Зазвичай це напруги в діапазоні від високих логічних рівнів (5V0 або 3V3) до низьких 0V8 на процесорах з великою кількістю виводів.

Приклад дерева потужності, що описує коло живлення високотехнологічного процесора, показано на рисунку 3. Він демонструє, як можна вибудувати різні шини, що йдуть від основного джерела живлення або регулятора, який живить усю систему.

Наведений на рисунку 3 приклад не призначений для узагальненої характеристики всіх цифрових компонентів, а покликаний показати, що багато компонентів матимуть кілька шин. Цифровий процесор з вищеописаною топологією живлення може належати до будь-якого типу компонента (наприклад, велика програмована логічна інтегральна схема, мереже-

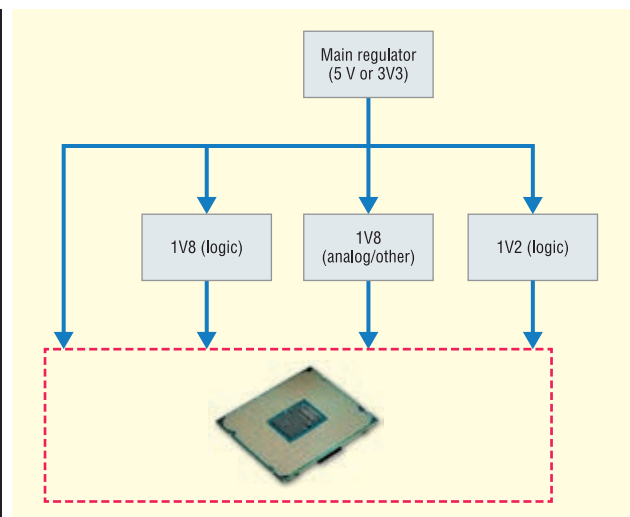


Рис. 3. Приклад топології кола живлення для процесора, якому потрібні чотири окремі шини живлення з напругою, що послідовно знижується

вий процесор, мікропроцесорний пристрій, великий основний блок керування, графічний або інший спеціалізований процесор). Входи та виходи процесора отримують живлення від шин живлення, тому саме на цих шинах у колі живлення можуть виникати суттєві шуми, що супроводжують перехідні процеси.

Наведена на рисунку 3 топологія вказує на необхідність дотримуватися двох вимог до проєктування. Ідеться про ізоляцію між шинами, зокрема між двома шинами, що живляться від одного регулятора, щоб не відбувалося взаємне перенесення шуму. Також кожна шина повинна мати власне низьке значення імпедансу, щоб забезпечити низький рівень шуму.

СТРУКТУРА ШАРІВ І МАТЕРІАЛИ ДРУКОВАНИХ ПЛАТ

З позицій цілісності живлення вибір матеріалів для структури шарів друкованої плати відіграє важливу роль у формуванні ємності, необхідної для стабільної подачі живлення. На додаток до цього під час компонування шарів необхідно передбачити розміщення шин живлення поруч із площинами заземлення на тонких шарах (рис. 4). Це допоможе гарантувати, що структура шарів забезпечить достатню ємність для сигналів у діапазоні частот приблизно до 1 ГГц.

Коли в шарі площини недостатньо доступної ємності й робота дискретних конденсаторів обмежується паразитними явищами, необхідна ємність може бути забезпечена вбудованим ємнісним матеріалом (англ. *Embedded Capacitance Material, ECM*). Це найтонші плівки (зокрема завтовшки менше ніж 1 міл) з високими значеннями діелектричної проникності (Dk), що досягають 30. Ці матеріали також можуть мати дуже високі втрати, які будуть поглинати електромагнітні завади, що поширюються по підкладці друкованої плати, тим самим зменшуючи електромагнітні завади, які випромінюються від краю плати.

Ці матеріали впливають на імпеданс кола живлення в чотирьох аспектах:

- забезпечують вищу ємність і, отже, нижчий імпеданс на частотах середнього діапазону (до 1 ГГц);
- переміщують резонанси в колі живлення, пов'язані з парами площин живлення/заземлення, на нижчі частоти;
- гасять резонансні піки в колі живлення в діапазоні ГГц, пов'язані з парами площин живлення/заземлення;

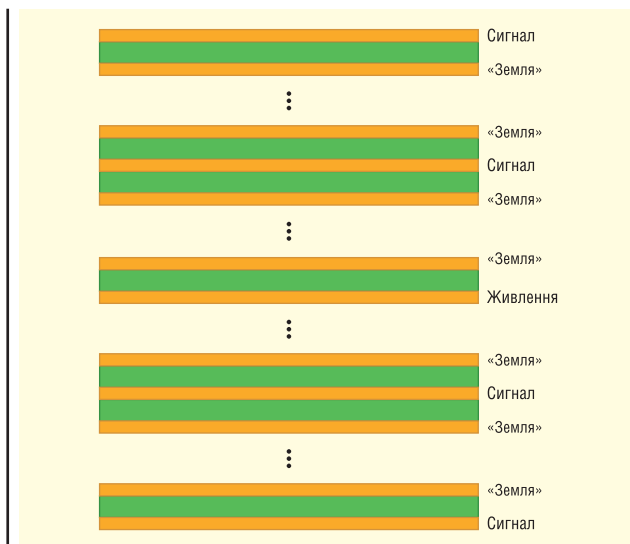


Рис. 4. Стратегія групування шарів при зростанні кількості шарів

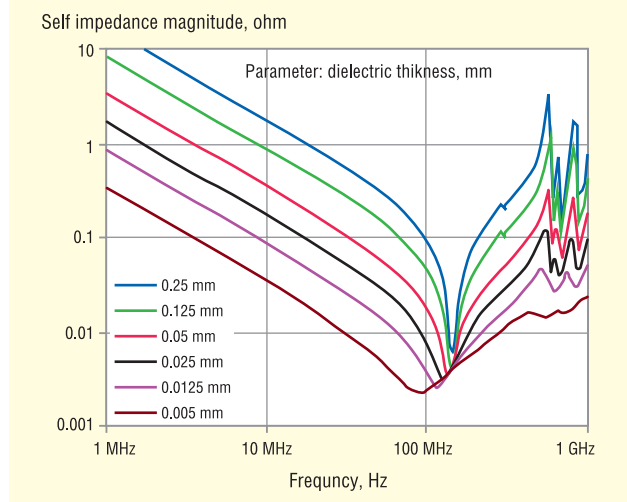


Рис. 5. Дані, що демонструють зниження імпедансу кола живлення під час використання тоншого вбудованого ємнісного матеріалу в структурі шарів друкованої плати. Наочно видно, що розмах резонансу поблизу 1 ГГц значно знижується завдяки використанню тоншого вбудованого ємнісного матеріалу. Джерело: DuPont

- переносять западину кривої імпедансу кола живлення (від 0.1 до 1 ГГц), пов'язану з ємністю площини, на нижчі частоти

Вплив цих матеріалів показано на рисунку 5. Зі зменшенням товщини діелектрика резонансні піки в колі живлення загасають і переміщуються на нижчі частоти. Аналогічні результати спостерігаються, якщо збільшити діелектричні втрати в матеріалі.

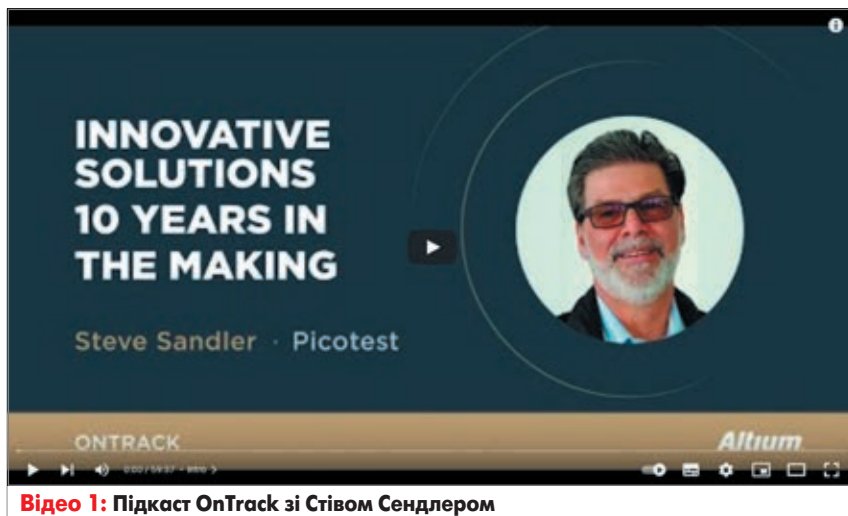
ПАРАЗИТНІ ЯВИЩА В КОРПУСІ

У корпусах компонентів присутні власні паразитні явища, пов'язані з їхньою структурою; також корпуси компонентів мають власний імпеданс кола живлення. Імпеданс корпусу об'єднується з імпедансом друкованої плати. Їхній спільний вплив визначатиме величину шуму на вході живлення в логічних схемах на напівпровідниковому кристалі. У сучасних процесорах передбачено корпусні конденсатори, які допомагають гасити перехідні збудження і розширюють корисні діапазони частот сигналу в спектрі ГГц.

ПОЗА ДРУКОВАНОЮ ПЛАТОЮ І КОРПУСОМ

Ми розглянули всі аспекти, що стосуються друкованих плат і корпусів, включно з низкою найскладніших конструктивних особливостей і моделей для сучасних рішень для корпусів. Розробнику друкованої плати підконтрольні макет, структура шарів, розміщення і маршрутизація, а також у нього є певний контроль над корпусом. У розрізі стратегій регулювання потужності ми не торкнулися двох важливих тем:

- модулі регулятора напруги (англ. *Voltage Regulator Modules, VRM*) для великих високошвидкісних процесорів;
- імітаційне моделювання при побудові схем і створенні макетів друкованих плат.



МОДУЛІ VRM

З урахуванням структури кола живлення і потреби багатьох високо-технологічних компонентів у наявності декількох шин живлення необхідні кілька модулів регулятора зі взаємно паралельним розведенням. Завдання фіксованого регулятора потужності полягає в компенсації падіння напруги і підтримці цільової вихідної напруги через петлю зворотного зв'язку (вивід зворотного зв'язку на більшості регуляторів). Петля зворотного зв'язку має реагувати досить швидко і модулювати вихід, намагаючись стабілізувати вихідну напругу.

Фактори, що сприяють відповідній реакції петлі зворотного зв'язку регулятора, присутні на рівні макета і компонента. Я обговорював низку цих моментів зі Стивом Сендлером у своєму епізоді підкасту OnTrack (див. відео 1).

VRM і компонування будуть розглянуті в іншій статті. Крім проектування VRM і побудови макетів, проектувальни-

ки мають зосередити увагу на грамотному виборі структури шарів, конденсаторів і матеріалів, щоб забезпечити досить низький імпеданс кола живлення в межах робочої смуги частот. Як обговорювалося вище, компонування та розміщення також впливатимуть на цілісність живлення через виникнення паразитних явищ.

МОДЕЛЮВАННЯ

Моделювання можна виконувати при змінному або постійному струмі, на схемах або готових макетах друкованих плат. Для високошвидкісних друкованих плат, що працюють на частотах аж до гігагерцових, найважливіше значення має моделювання цілісності живлення змінним струмом, оскільки воно здатне виявити пульсації на шині живлення на початку комутації входів/виходів.

Моделювання живлення змінним струмом на схемах виконується на основі програми SPICE для аналізу стабіль-

ності мережі конденсаторів, яка використовується для роз'єднання/обходу. Ці моделі дають змогу оцінити відповідну реакцію шини живлення, а також визначити, чи буде ємність, включена в коло живлення, достатньою. Також оцінюється ізоляція між шинами живлення, що живляться від одного регулятора/VRM, для визначення якої можна застосувати оцінку перехідного імпедансу.

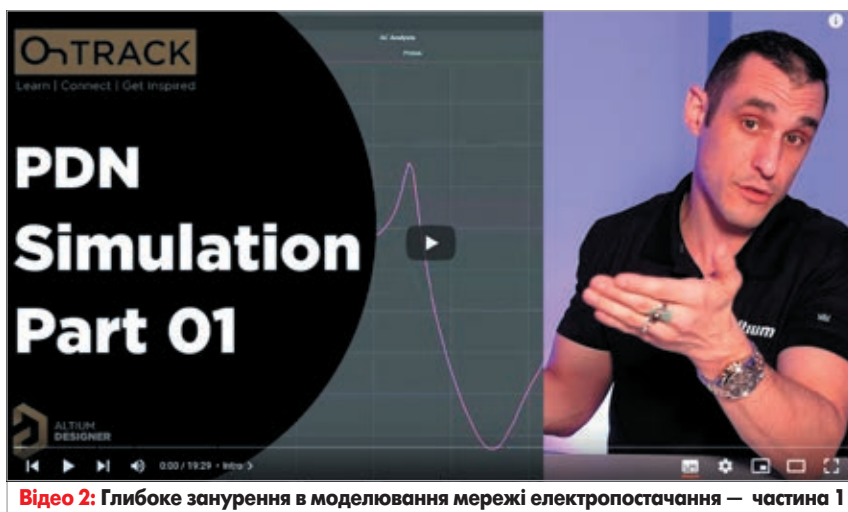
Дізнатися більше про моделювання кіл живлення на схемах, включно з використанням феритів, можна з матеріалів, перелічених нижче у відео 2.

Моделювання живлення змінним струмом також можна виконувати на макетах друкованих плат. Однак у цьому разі знадобиться аналізатор електромагнітного поля для прогнозування поведінки сигналу в просторі та часі з урахуванням структури кола живлення на друкованій платі. Ці моделі інтенсивно споживають обчислювальні ресурси та вимагають спеціалізованого ПЗ.

Хоча моделювання живлення змінним струмом відіграє важливу роль у сучасних продуктах, моделювання живлення постійним струмом, як і раніше, важливе для проектування високошвидкісних друкованих плат. Велика кількість входів/виходів із комутацією на основному процесорі в цих друкованих платах може створювати навантаження за струмом у кілька ампер. На дуже великих високошвидкісних платах, які обслуговують безліч периферійних пристроїв, наприклад на з'єднувальних платах, доводиться підтримувати струм приблизно ~100 А в усій системі, включно з шинами живлення, що живлять входи/виходи на швидкісних процесорах. Тому важливо виявляти й усувати екстремальні струми в шинах живлення.

Інструменти САПР в *Altium Designer*® дають кожному користувачеві та інженеру можливість контролювати стратегію цілісності живлення та енергоспоживання. Altium Designer — провідна галузева платформа САПР, що забезпечує інтеграцію з передовими програмами для забезпечення цілісності сигналів і живлення, моделювання електромагнітних завад і сумісності. Коли проектування буде завершено, а дані готові для передавання на виробництво, платформа Altium 365™ допоможе налагодити спільну роботу та доступ до проєктів.

ТОВ «ЛТБ СОФТ» — партнер Altium в Україні:
e-mail: sales@ltbsoft.com.ua,
<https://ltbsoft.com.ua/software/altium-designer> **СН**



Прискорення тестування електромагнітної інтерференції з використанням сканування в режимі реального часу

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

У цих рекомендаціях щодо застосування розглядається використання вимірювань у режимі RTSC для проведення випробувань на електромагнітну сумісність, що дають змогу виявляти й оцінювати швидкі перехідні сигнали з використанням швидкого перетворення Фур'є (ШПФ) у смузі частот шириною 350 МГц.

ВВЕДЕННЯ

У міру розвитку наступного покоління мобільних мереж 5G, автономних транспортних засобів та Інтернету речей (IoT) інженери прагнуть розробляти все більше бездротових пристроїв, щоб задовольнити зростаючий ринковий попит. Одночасно збільшується щільність і складність електромагнітної обстановки через величезну кількість пристроїв, що підключаються до бездротових мереж. Така динаміка являє собою виклик для випробувань на електромагнітну сумісність (ЕМС), оскільки бездротовим пристроям потрібна сертифікація на відповідність нормативним стандартам, кількість яких також зростає.

Важливо швидко виявляти та ізолювати проблеми ЕМС під час тесту-

вання на відповідність вимогам ЕМС, щоб швидше й ефективніше виводити пристрої на ринок. Випробувальний приймач електромагнітної сумісності Keysight N9048B PXE надає нову функцію — вимірювання з використанням сканування в режимі реального часу (*real-time scan, RTSC*). Ця нова функція значно покращує діагностичні можливості застосунку ЕМС і дає змогу швидко усувати проблеми з електромагнітною сумісністю у ваших пристроях.

Основи сканування в режимі реального часу

Вимірювання в режимі RTSC забезпечує захоплення й аналіз сигналу без пропусків із використанням дуже широкої смуги аналізу ШПФ до 350 МГц. Під час вимірювання одночасно відобра-

жаються результати в частотній області, часовій області та на спектрограмі за допомогою до трьох ЕМС-детекторів. Крім того, користувачі також можуть виконувати вимірювання випромінювання без пропусків для виявлення й аналізу сигналів завад, що перемежуються. Ці сигнали легко пропустити при використанні звичайних режимів сканування через великі значення часу витримки на кожній частоті, заданих стандартами випробувань.

Приймач ЕМС має кілька преселекторних фільтрів у радіочастотній (РЧ) частині для подавлення будь-яких сигналів, які не відображаються на екрані. Ці фільтри необхідні для запобігання перевантаження під час вимірювання імпульсного сигналу. Останніми роками дедалі більшого поширення набуває сканування в часовій області (*time-domain scan, TDS*), яке в багатьох випадках замінює традиційне покрокове сканування. Під час сканування в часовій області виконується багато захоплень сигналу з використанням ШПФ на різних преселекторних фільтрах (рис. 1). Однак перемикання захоплень сигналу з використанням ШПФ на різних преселекторних фільтрах вимагає часу на заспокоєння перехідних процесів у вимірювальному обладнанні. Таким чином у цих захоплених сигналах з'являються часові пропуски.

Вимірювання випромінювання з часовими пропусками між захопленнями сигналу (рис. 2) є неприйнятним, оскільки ніколи не знаєш точно, які сигнали присутні під час вимірювання електромагнітної інтерференції (ЕМІ). Традиційно ці пропуски усувають одним

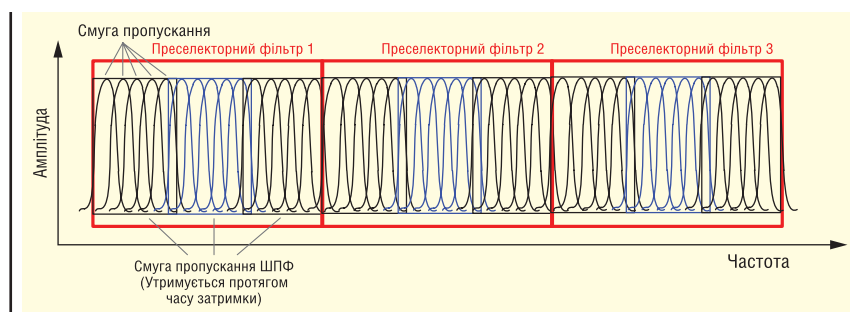


Рис. 1. Сканування в часовій області по частотному спектру

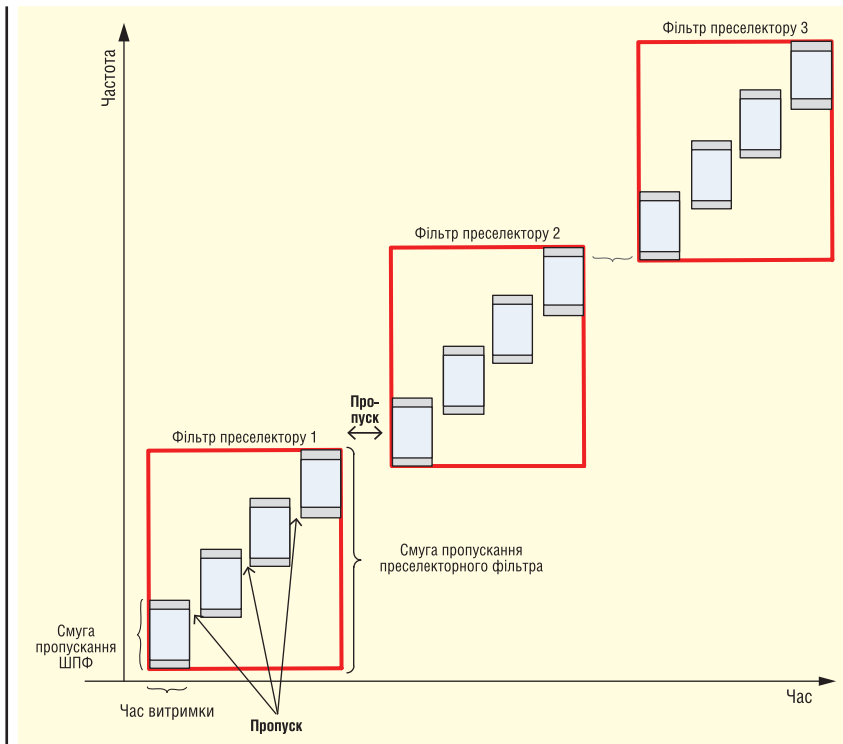


Рис. 2. Сканування в часовій області по часовій області

із двох способів: плавним або покроковим скануванням. Можна збільшити час затримки на кожному кроці частоти, щоб підвищити ймовірність виявлення завади. Або можна призупиняти поворотний стіл у кожному кутовому положенні і виконувати безперервне

швидке сканування з коротким часом затримки в усьому діапазоні частот, що цікавить. Цей метод дає змогу використовувати функцію Maximum Hold trace (спектрограма максимального утримання) доти, доки завади не будуть зафіксовані на дисплеї.

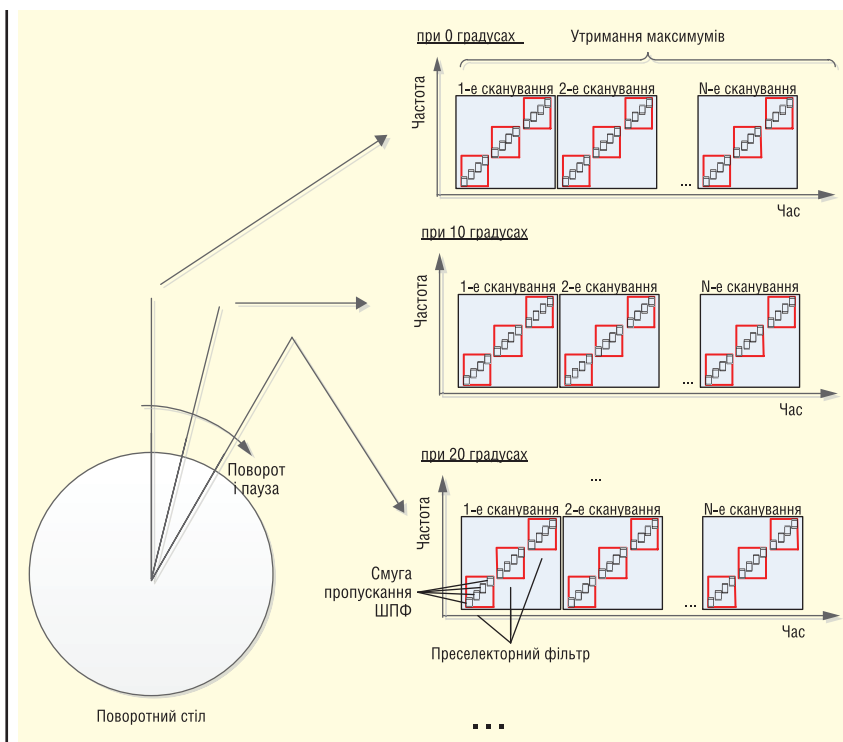


Рис. 3. Приклад установок для вимірювання ЕМІ

Однак повторення цих кроків для кожної антени і кожного кутового положення поворотного столу призведе до надмірного збільшення часу вимірювання ЕМІ (рис. 3).

Отримання спектру випромінювання для кожного кута поворотного столу на різних частотах — непростий процес. У процесі вимірювання спектрограма максимального утримання (*Max Hold*) підсумовується, і кожен захоплений часовий зріз не може бути простежений наприкінці вимірювання. Важко визначити, чи є сигнали синусоїдальними коливаннями (*СИ*) або імпульсами, і визначення джерела випромінювання займає багато часу.

РІШЕННЯ

Сканування в режимі реального часу усуває недоліки сучасних вимірювань ЕМІ. Можливість безперервної обробки всіх вибірок в одній смузі аналізу ШПФ за допомогою детекторів ЕМІ дає змогу аналізувати сигнал без пропусків. Замість того, щоб виконувати сканування при кожному кутовому положенні поворотного столу, вимірювання ЕМІ може виконуватися в режимі реального часу при безперервному обертанні поворотного столу (рис. 4).

Якщо вам потрібен діапазон ширший за 350 МГц, повторіть вимірювання кілька разів. Наприклад, для вимірювання в діапазоні від 30 МГц до 1 ГГц повторіть вимірювання тричі, використовуючи смугу пропускання 350 МГц. Крім того, ви можете записати дані спектра за останні 12 000 часових зрізів і відстежувати їх туди і назад для аналізу після вимірювань. Знайти джерело проблеми набагато простіше, якщо у вас є дані під рукою.

Реалізація

Вимірювання RTSC дає змогу отримати спектр на вході приймача в режимі реального часу, обмеживши вимірювання до одного захоплення сигналу із застосуванням ШПФ. Під час цього вимірювання гетеродин (*LO*) встановлюється на фіксовану частоту, збираються дані й одночасно виконується ШПФ. Такий процес надає дані без пропусків і за минулі періоди як у часовій, так і в частотній області для відповідних діапазонів частот (рис. 5).

Вимірювання RTSC надають інтуїтивно зрозумілий інтерфейс користувача і багатий набір інформації в трьох вікнах:

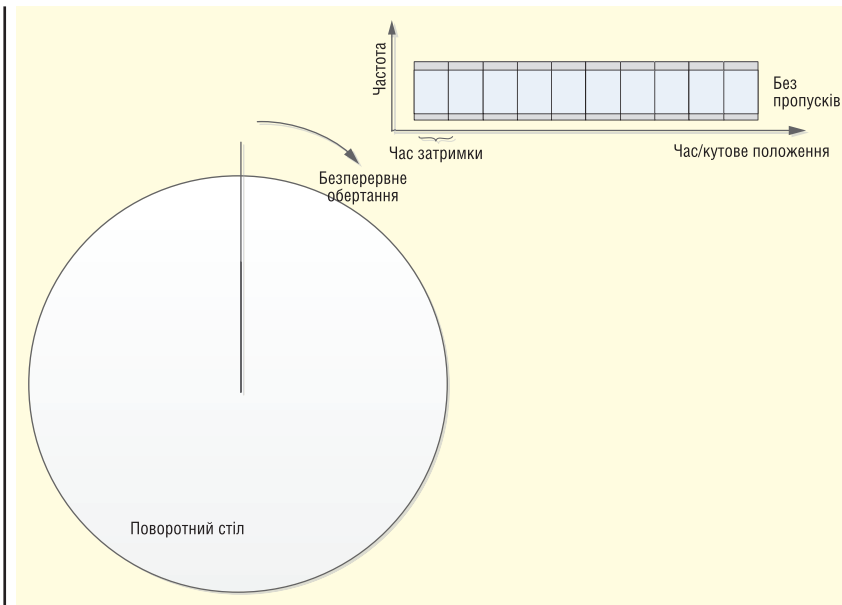


Рис. 4. Приклад установок для вимірювання EMI зі скануванням у режимі реального часу

Вікно спектра

Вікно спектра або вікно частотної області показує спектральне відображення вхідного радіочастотного (РЧ) сигналу із зазначенням амплітуди за вертикальною віссю у і частоти за горизонтальною віссю x. У вікні спектра відображається спектр окремого часового зрізу з буфера каскаду/спектрограми. У цьому вікні можна відобразити до шести спектрограм, зокрема три спектрограми Clear Write і три спектро-

грами Maximum Hold з різними детекторами EMI.

Вікно каскаду

У вікні каскаду або спектрограми відображаються дані останніх 12000 часових зрізів для вибраної в даний момент спектрограми для однієї з трьох спектрограм Clear Write. Кожна горизонтальна лінія у вікні каскаду являє собою одну спектрограму. Дані прокручуються вгору від старих до нових.

вих, тобто в самому низу екрана відображаються найсвіжіші спектрограми, а у верхній частині — найстаріші. При виборі часу спектрограма, що відображається у вікні спектра, змінюватиметься при переміщенні повзунка відображуваної спектрограми вгору або вниз. Ви можете налаштувати кольори у вікні каскаду; вони позначають амплітуду сигналу.

Вікно часової області

Вікно часової області відображає амплітуду сигналу за визначений користувачем час і відповідає обраній частоті у вікні спектра. Спектрограма складається з усіх накопичених часових зрізів, де з кожного часового зрізу виділяється один елемент роздільної здатності за частотою, який зшивається в спектрограму. Дані відображаються вліво від найновіших до найстаріших. Найновіша спектрограма відображається праворуч, а найстаріша — ліворуч. У разі зміни частоти часової області спектрограма, що відображається у вікні, оновлюється відповідним чином.

ПЕРЕВАГИ СКАНУВАННЯ В РЕЖИМІ РЕАЛЬНОГО ЧАСУ

Історичні дані

Під час сканування захоплюються часові зрізи і зберігаються як части-

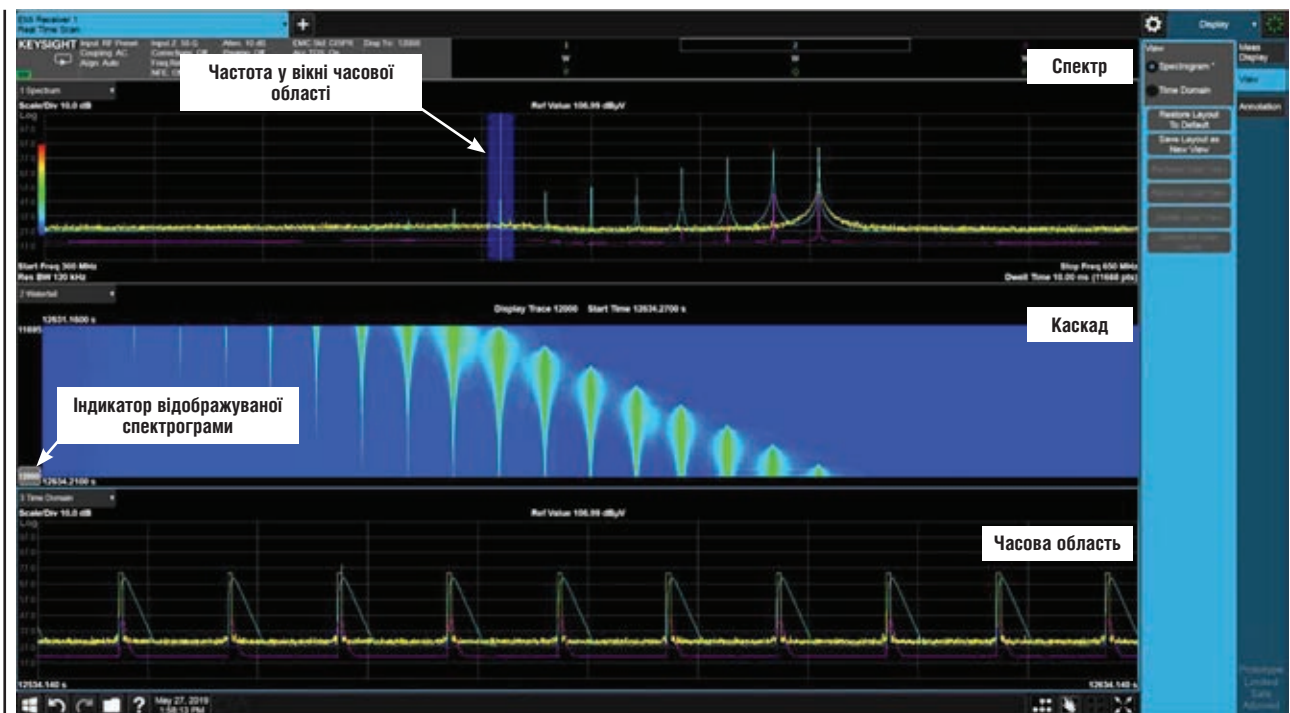


Рис. 5. Вигляд екрана під час сканування в режимі реального часу

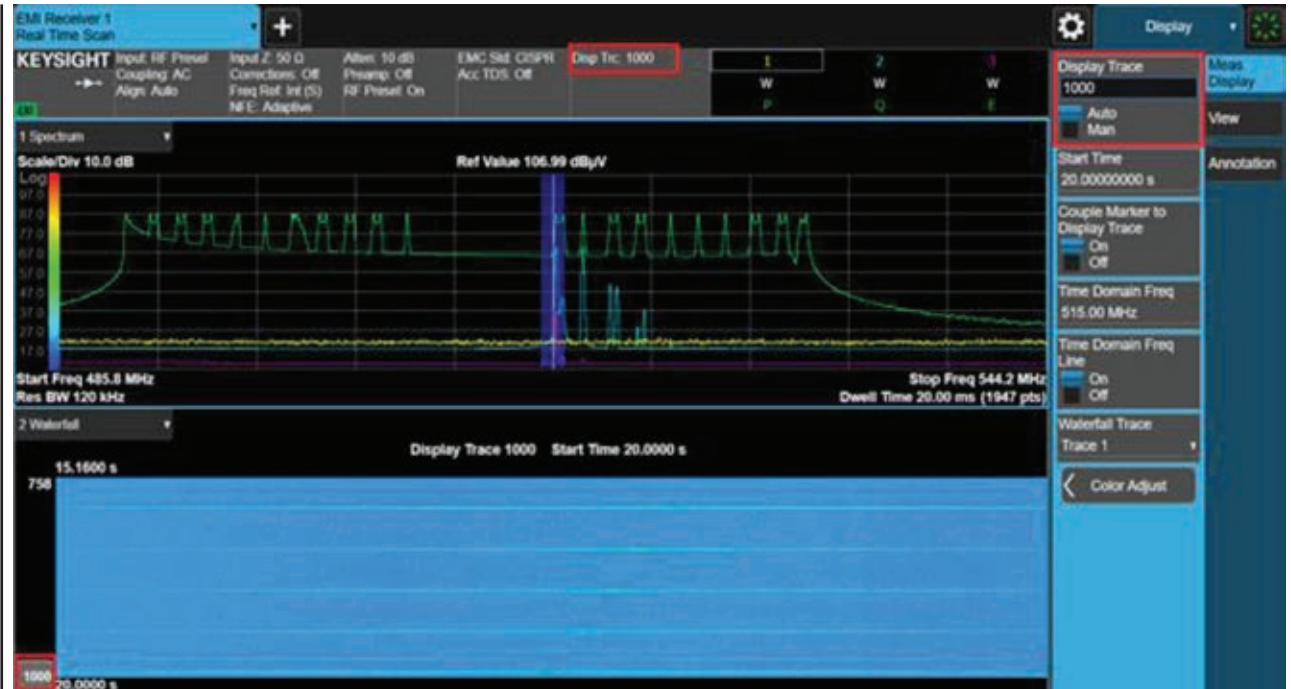


Рис. 6. Використання керування відображуваною спектрограмою для перегляду часових зрізів

на даних спектрограми. Часові зрізи можна переглянути навіть після зупинки поворотного столу за допомогою стандартних команд для програмованих приладів (SCPI) просто ввівши зацікавившу відображувану спектрограму. Використання функції маркерів дає змогу аналізувати часові зрізи, що може дати цінну інформацію про джерела завод (рис. 6).

3-вимірне представлення

Відображення результатів вимірювань EMI на двовимірному дисплеї не дає змоги належним чином показати джерело випромінювання, особливо коли широкосмугові та вузькосмугові сигнали з'являються одночасно. Але використання каскадного відображення дає змогу вибрати, яку спектрограму відображати з трьох

підтримуваних спектрограм. Також ви можете увімкнути відображення показання маркера у вікні каскаду, щоб спростити переміщення між часовими зрізами (рис. 7).

Вбудована стрічкова діаграма

Замість того щоб переходити до вимірювання, що відображається у вигляді стрічкової діаграми, для моніторингу та



Рис. 7. Каскадне 3-вимірне представлення з відображенням показання маркера

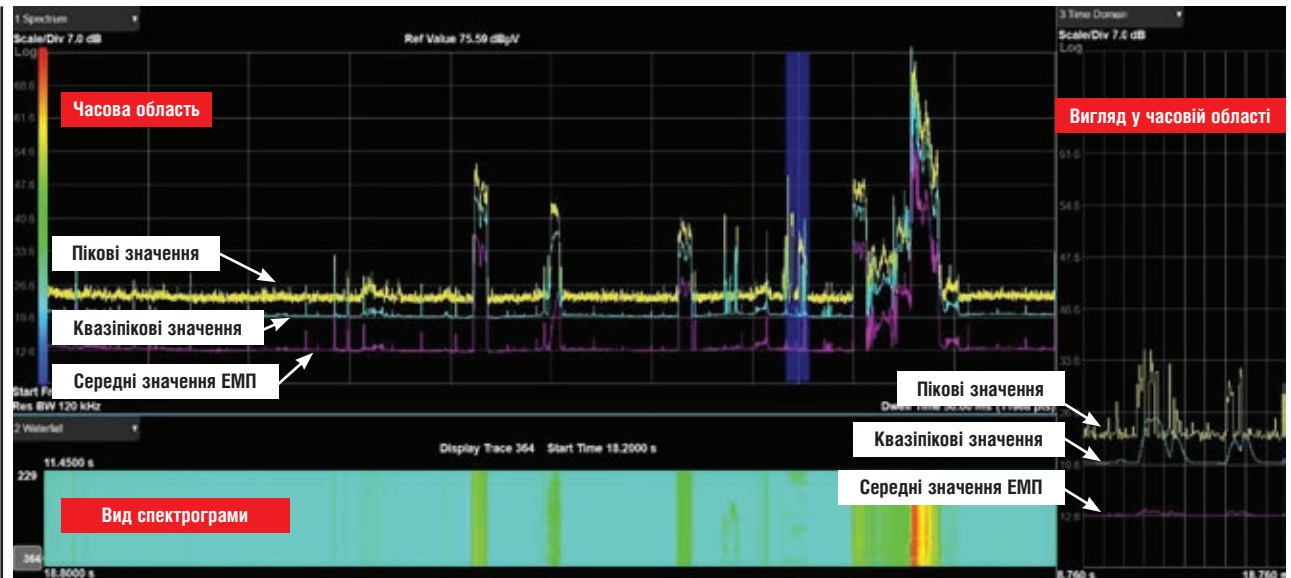


Рис. 8. Представлення в кількох областях дає змогу користувачам аналізувати справжню поведінку шуму під час вимірювань без пропусків

запису амплітуди сигналу з плином часу, вимірювання RTSC пропонує вбудоване вікно часової області. Якщо синхронізувати RTSC з обертанням поворотного столу, можна визначити максимальне випромінювання сигналу від випробовуваного пристрою (ВП).

Інструмент для пошуку та усунення несправностей

Протягом типового життєвого циклу продукту інженери, що займаються дослідженнями і розробками, проводять більшу частину свого часу, аналізуючи

та усуваючи завади, які випромінює ВП, коли він не проходить нормативні випробування у випробувальній лабораторії.

Здебільшого звичайні аналізатори спектра сканують частоти, що цікавлять, щоб продублювати або зафіксувати ті самі збої, які реєструються під час нормативних випробувань. Але це часто виявляється складним і трудомістким завданням, якщо збої нелегко відтворити. Це особливо актуально, коли ВП випромінює неперіодичні завади — наприклад, короткі імпульси з великим інтервалом між ними.

Вимірювання за допомогою RTSC можуть відображати дані без пропусків на різних частотах, у часі та на різних детекторах, при цьому користувачі можуть вільно налаштовувати ці параметри. Широка смуга пропускання RTSC (до 350 МГц) дає змогу значно скоротити загальний час сканування для належної реєстрації завад із великими інтервалами між імпульсами. Скорочення часу відбувається за рахунок того, що ви можете одночасно аналізувати набагато ширший діапазон частот.

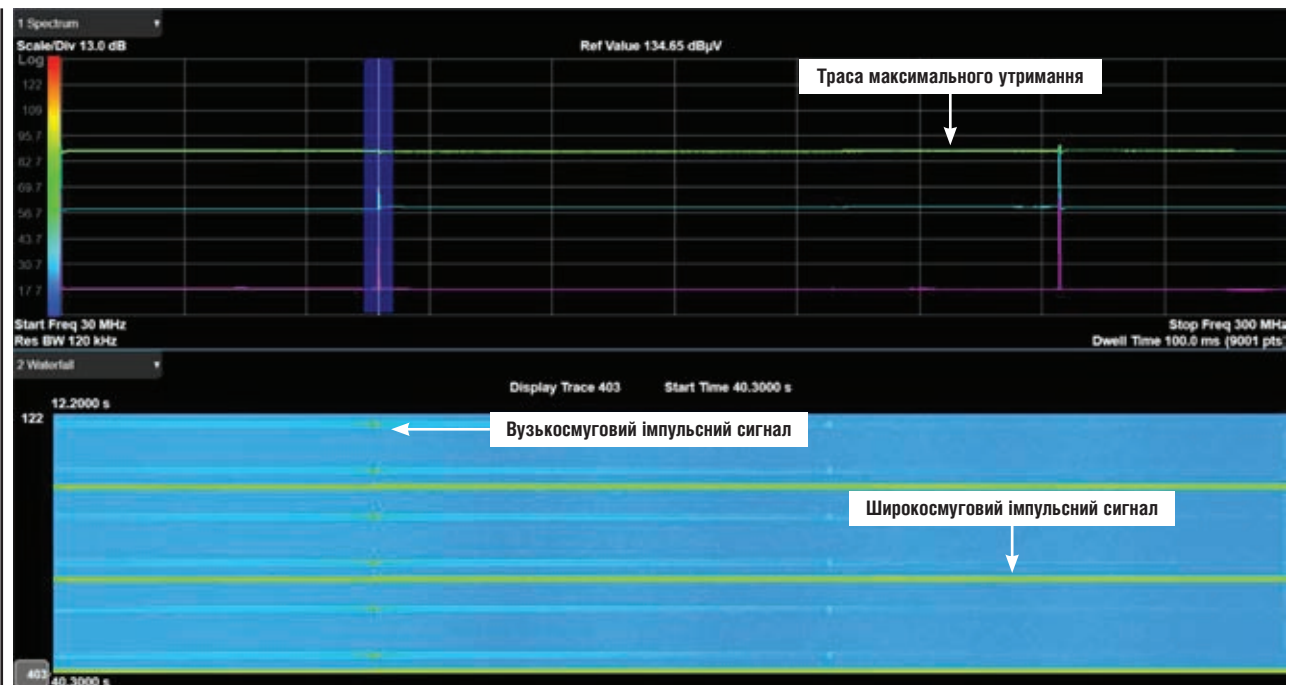


Рис. 9. Розрізнення широкосмугових та вузькосмугових сигналів

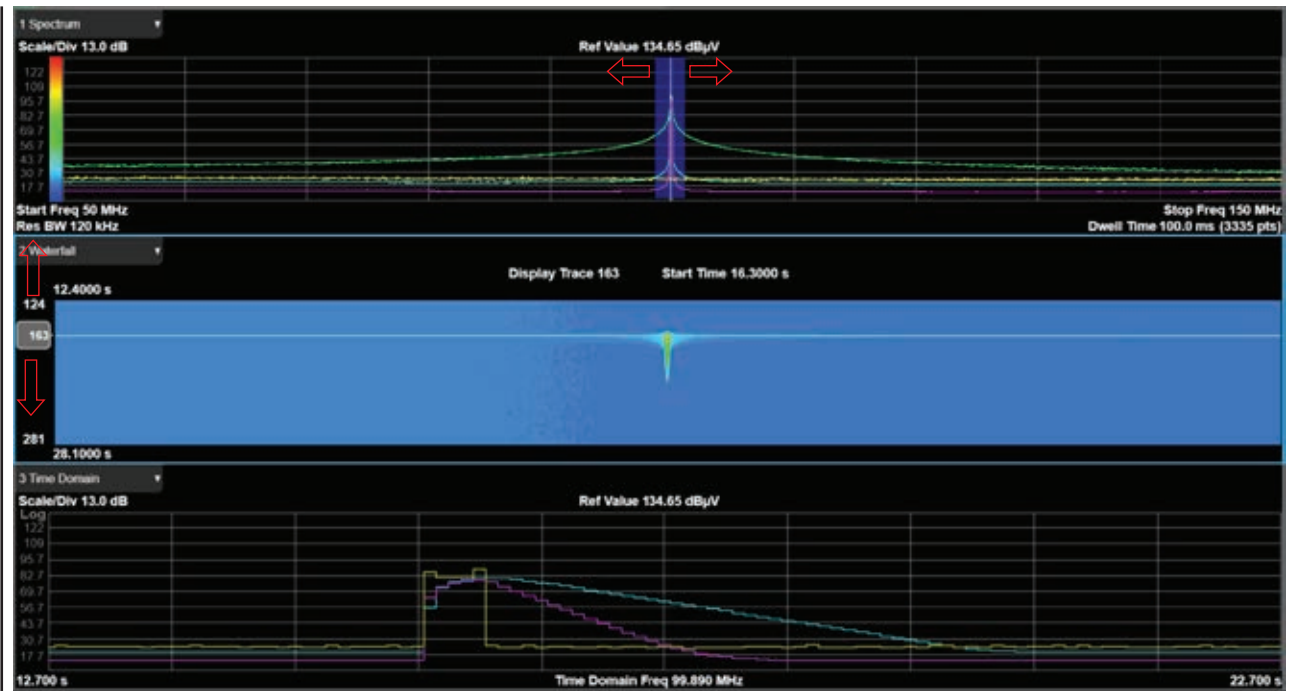


Рис. 10. Аналіз сигналу інтерференції за допомогою вимірювання в режимі сканування в реальному часі

Тепер розглянемо три приклади типових вимірювань EMI.

ПРИКЛАД 1: ПРИСКОРЕННЯ РОБОТИ З УСУНЕННЯ ЕЛЕКТРОМАГНІТНИХ ПЕРЕШКОД

Тестування на електромагнітні завади необхідне для випуску високоякісного продукту. Удосконалення процесу налагодження допоможе прискорити цикл розробки продукту. Однак розуміння наявних методів вимірювань EMI для визначення справжньої поведінки шуму вимагає високого рівня знань, який не мають навіть деякі найдосвідченіші інженери.

Використовуючи RTSC і ввімкнувши функцію прискореного сканування в часовій області, ви можете легко виявити справжню поведінку шуму за короткий проміжок часу, залежно від налаштування випробування. На рисунку 8 показано, як можна проаналізувати складний шум у різних представленнях:

- **Вид спектра:** одночасне відображення спектрограм, вимірювань з використанням пікового детектора/квотіпикового детектора/детектора середніх значень EMI.
- **Вид спектрограми:** повні спектрограми, що ґрунтуються на кількох областях (частота, час, потужність).
- **Вид у часовій області:** спектрограма в часовій області для сигналу певної частоти, обраного маркером на виді спектра.

ПРИКЛАД 2: РОЗРІЗНЕННЯ ШИРОКОСМУГОВИХ ТА ВУЗЬКОСМУГОВИХ СИГНАЛІВ

Спектральний дисплей — не найефективніший спосіб вимірювання одночасних широкосмугових і вузькосмугових сигналів. Однак у каскадному представленні хронологічне розташування даних у поєднанні з кольорним відображенням амплітуди покращує представлення даних. У деяких випадках широкосмуговий шум не є проблемою через умови тестування. Тому можна зосередитися на вузькосмуговому сигналі. Висота або ширина імпульсу у вікні каскаду дає змогу швидко зрозуміти характеристику завади, як показано на рисунку 9.

ПРИКЛАД 3: АНАЛІЗ ІНТЕРФЕРЕНЦІ

Під час пошуку та усунення інтерференції, що надходять з ВП, нам необхідно переглянути зміну інтерферуючого сигналу в залежності від часу, щоб краще зрозуміти причину випромінювання. Налаштуйте вимірювання на безперервне сканування в діапазоні частот, що вас цікавить, а потім перемістіть потрібну частоту (біла смуга в режимі перегляду частоти), на частоту з максимальною амплітудою (сигнал інтерференції). На екрані з'явиться відповідна спектрограма в часовій області, що дасть вам змогу зрозуміти харак-

теристики випромінювання (рис. 10). Експортуйте дані спектрограми у файл Excel для подальшого аналізу.

ВИСНОВОК

Вимірювання RTSC на приймачі N9048B PXE EMI надає відмінні діагностичні можливості та забезпечує повну видимість сигналу. Приймач N9048B PXE EMI забезпечує захоплення сигналу без пропусків у смузі пропускання до 350 МГц і одночасно відображає частотну область, часову область і спектрограму. Можливості захоплення сигналу без пропусків при вимірюванні RTSC допомагають виявляти небажані шуми набагато швидше, ніж традиційні підходи, що дає змогу скоротити час випробувань на EMC. Крім того, вимірювання RTSC може підвищити пропускну здатність лабораторій EMC, даючи змогу тестувати більше продукції та сертифікувати її за короткий час.

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

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

CN

Силова електроніка для джерел живлення

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

Компанія Semikron Danfoss є світовим технологічним лідером у галузі силової електроніки. Асортимент її продукції містить напівпровідникові прилади, силові модулі, стеки та системи. У світі, який стає все більш електричним, технології Semikron Danfoss є більш актуальними, ніж будь-коли. Завдяки інноваційним рішенням для автотранспортних, промислових і поновлюваних джерел енергії компанія Semikron Danfoss допомагає світу використовувати енергію більш ефективно і раціонально, а отже, значно скоротити загальні викиди CO₂, що є одним з найбільших викликів сьогодення.

В цій статті мова піде про рішення компанія Semikron Danfoss з розділу силової електроніки для джерел живлення.

- загального застосування;
- зварювання та різання;
- індукційного нагріву;
- медичне обладнання.

Розглянемо детальніше основну продукцію компанії Semikron Danfoss.

НАПІВМОСТИ НА ВЕЛИКІ СТРУМИ В СТАНДАРТНОМУ КОНСТРУКТИВІ

Від інженерних випробувальних лабораторій до лікарняних центрів з візуалізацією інформації модуль SEMITRANS Classic (рис. 2) є «робочою конячкою» галузевого стандарту для джерел електроживлення.

Модуль SEMITRANS 3, завдяки інтеграції новітнього IGBT M7, має тепер

Категорія джерел живлення охоплює широкий спектр перетворювачів електроенергії, які використовуються в лабораторних, медичних і промислових умовах. Вони мають спільну рису — регульовану вихідну напругу або струм, задані користувачем. Разом з тим електричні характеристики джерел живлення можуть значно відрізнятися в залежності від кінцевого застосування. Медичні системи з візуалізацією, такі як сканери комп'ютерної томографії (КТ), вимагають генерування високої напруги за допомогою низьковольтних напівпровідникових перетворювачів і підвищувального трансформатора. Подібним чином працюють і зварювальні системи, але з протилежним результатом: великі струми при низькій напрузі. В обох випадках спільною рисою є високі частоти перемикання та передові резонансні топології.

Джерела живлення, як чистий перетворювач енергії, можуть поєднуватися з системними контролерами вищого рівня для моделювання сонячних панелей або батарей. Різноманітність конструктивних виконань, від кишенькових пристроїв до корпусів для монтажу в стійку або корпусів розміром з шафу, вимагає цілої низки модулів живлення в надійних корпусах. Використання високих частот і відповідних магнітних матеріалів означає, що джерела живлення також будуть мати переваги від застосування карбиду кремнію.

Силові модулі компанії Semikron Danfoss для джерел живлення залежно від сфери використання умовно можна поділити на чотири групи (рис. 1):





	<p>ЗАГАЛЬНОГО ЗАСТОСУВАННЯ 10 кВА–250 кВА</p> <p>Сфери використання: – тестове обладнання – сонячні батареї і акумулятори – модульні джерела живлення</p> <p>Особливості: – типові конструктивні блоки – надійна конструкція</p> <p>Номенклатура продукції: – SEMITOP E – SEMIX 3 Press-Fit – SEMITRANS Classic – SEMIPACK – Drivers – дискретні модулі</p>	<p>ЗВАРЮВАННЯ ТА РІЗАННЯ 5 кВА–500 кВА</p> <p>Сфери використання: – апаратура точкового та дугового зварювання – плазмові пальники</p> <p>Особливості: – високі вихідні струми – імпульсна робота</p> <p>Номенклатура продукції: – SEMITOP E – SEMIX 3 Press-Fit – SEMITRANS Classic – SEMITRANS 10 – SEMIPACK – дискретні модулі</p>	
	<p>ІНДУКЦІЙНИЙ НАГРІВ 10 кВА–1 МВА</p> <p>Сфери використання: – гартування інструменту та деталей – промислові печі</p> <p>Особливості: – резонансні методи перетворення – кілька діапазонів робочих частот</p> <p>Номенклатура продукції: – SEMITOP E – SEMITRANS Classic – SEMITRANS 10 – SEMITRANS 20 – SEMIPACK – SKiIP 4/7 IPM – дискретні модулі</p>	<p>МЕДИЧНЕ ОБЛАДНАННЯ 1 кВА–100 кВА</p> <p>Сфери використання: – високовольтні джерела електроживлення – генератори рентгенівського випромінювання – системи візуалізації інформації</p> <p>Особливості: – системи високої надійності – високі тактові частоти – компактні конструкції</p> <p>Номенклатура продукції: – SEMITOP E – SEMITRANS Classic – SEMIPACK</p>	

Рис. 1. Силові модулі компанії Semikron Danfoss для джерел живлення



Рис. 2. Модуль SEMITRANS® Classic
(від 100 до 600 кВА)

максимальний робочий струм 800 А. Це дає розробникам більше свободи у визначенні розмірів блоків, прийнятих для масштабованої архітектури джерел живлення, наприклад для сонячної енергетики.

Якщо потрібна робота на вищих частотах, модулі SEMITRANS можуть постачатися з високошвидкісним IGBT 4 (12F4). У поєднанні з діодами Semikron Danfoss Ultrafast CAL 4U ці IGBT забезпечують максимальну температуру переходу 175 °C і високу густину струму. Серія 12F4 може замінити IGBT 125 старого типу (супершвидкісні NPT) у багатьох застосуваннях і є дуже хорошим вибором для нових високочастотних конструкцій.

Для забезпечення найвищої швидкості та ефективності також доступні МОН польові транзистори з карбиду кремнію з робочим струмом 500 А ($R_{DS(on)} = 3.8 \text{ мОм}$).

Маючи багаторічний досвід виробництва модулів у конструктиві 62мм,



Рис. 3. Модуль SEMITRANS® 20
(від 500 кВА до 2 МВА)

фірма Semikron Danfoss продовжує оптимізувати цю платформу та забезпечувати високу якість виробництва.

Основні властивості:

- розширений діапазон струму з IGBT 7-го покоління;



SEMIPACK®

Від 800 до 2200 В

Біполярні модулі від лідера ринку

6 розмірів корпусу SEMIPACK від 1 до 6

Від 800 до 2200 В: від 20 до 1360 А

Діоди та тиристорні чипи Semikron Danfoss

Діоди, тиристори в некерованій, напів- та повнокерованій топології

Високонадійні притискові контакти або економічно ефективні модулі з дровтовим обжимом

Поставляються з діодами на частоту електромережі або з високошвидкісними діодами



SEMITOR® E

Від 5 до 300 кВА

Перевищення стандарту для досягнення екстрапродуктивності

Стандартний корпус двох типорозмірів без базової пластини

Запресовані з'єднання на основі друкованої плати

650 В/1200 В IGBT: від 10 до 200 А

1200 В SiC: від 30 до 250 А

Шестикорпусна, напівмостова, понижуюча/підвищуюча/симетрична топологія

і 3-рівнева топологія NPC/TNPC

Оптимізований монтаж та попередньо нанесений TIM забезпечують найнижчий термічний опір у своєму класі



SEMIX® Press-Fit

Від 100 до 400 кВА

Перевищення стандарту для досягнення екстрапродуктивності

Стандартна конструкція з запресовкою і корпусом висотою 17 мм

650 В/1200 В/1700 В IGBT: від 225 до 900 А

1200 В Hybrid SiC: 600 А

Напівмостовий, розділений NPC і топології

понижування/підсилення

Збірка драйвера

Поставляється з вбудованим шунтуючим резистором



SEMIPACK® Classic

Від 100 до 600 кВА

Перевірений конструктив для силової електроніки

Надійний стандартний конструктив у шести розмірах корпусів

600 В/650 В/1200 В/1700 В IGBT: від 50 до 900 А;

1200 В Hybrid and Full SiC: від 125 до 500 А

Напівмостова одноключова топологія і топології понижування/підсилення, готові до топології TNPC/NPC/ANPC

Деякі IGBT, включаючи IGBT M7

Топологія повної потужності TNPC завдяки напівмосту та ключу змінного струму (загальний емітер) із покращеними показниками діода зворотного ходу



SEMIPACK® 10

Від 500 кВА до 2 МВА

Надійний модуль високої потужності

Розроблений конструктив модулів високої потужності

1200 В/1700 В IGBT: від 450 до 1800 А

Топології: напівмостова, понижуюча/підвищуюча, TNPC, NPC та розділена топологія NPC

Повноцінне багатоканальне джерело живлення завдяки альтернативному 1700 В чипу та IGBT M7



SEMIPACK® 20

Від 500 кВА до 2 МВА

Новий стандарт у галузі високої потужності

Новітній силовий модуль промислового стандарту для застосувань з великою потужністю

1200В/1700В IGBT: від 900А до 1400А

2000В SiC: 1700 А/1 мОм

Напівмостова топологія

Мала індуктивність розсіювання, конструктив з високою густиною потужності

Підвищена надійність завдяки новітній технології компоновки модулів

Рис. 4. Силові модулі компанії Semikron Danfoss для джерел живлення

- добре перевірений конструктив SEMITRANS Classic;
- призначений для блоків середньої та великої потужності до 600 кВА;
- доступні набори високошвидкісних чипів на велику потужність.

НОВИЙ БЛОК ДЛЯ ПОТУЖНИХ ПЕРЕТВОРЮВАЧІВ

Перетворювачі потужності в мегаватному діапазоні зазвичай складаються з блоків потужністю в сотні кіловат, а також шляхом паралельного з'єднання силових модулів. На таких високих струмах критично важлива низька індуктивність монтажу зі збалансованою поведінкою перемикання модулів. Модуль SEMITRANS 20 (рис. 3) відповідає цій вимозі у новому оформленні згідно з промисловим стандартом.

Цей модуль сумісний з серією силових струмових Si IGBT на 1 200 і 1 700 В. Він є ідеальною «щеглинкою» для побудови потужних 2- і 3-рівневих перетворювачів наступного покоління.

Для найновішої серії 2-рівневих перетворювачів на 1 500 В постійного струму модуль SEMITRANS 20 тепер оснащений SiC MOSFET на 2 кВ. Це забезпечує простоту та високу ефективність існуючих застосувань і відкриває двері для нових.

Основні властивості:

- новий стандартний конструктив для різноманітного використання;
- паразитна індуктивність монтажу не перевищує 10 нГн;
- просте підключення ланки постійного струму;
- симетрична структура забезпечує рівномірний розподіл струму в багатомодульному паралельному з'єднанні;
- конструктив високої надійності.

МОДУЛІ ВИПРЯМЛЯЧІВ ТА МОДУЛІ IGBT

Номенклатуру модулів IGBT та випрямлячів, а також їхні особливості та сфери застосування наведено на рисунку 4.

НАЙПОТУЖНІШИЙ IPM НА РИНКУ

Лінійка продуктів SKiiP IPM встановлює еталон для високопродуктивних і надійних конструкцій інверторів. Модулі SKiiP 4 (рис. 5) і SKiiP 7 (рис. 6) мають

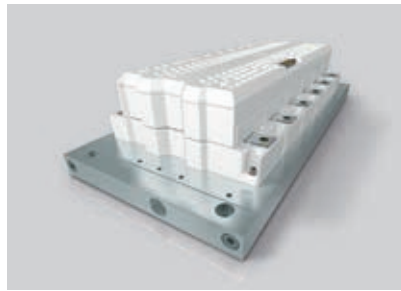


Рис. 5. Модуль SKiiP 4 (до 2 МВт, доступні з SiC MOSFET)



Рис. 6. Модуль SKiiP 7 (від 150 кВТ до 2.4 МВт)

високу густину потужності в поєднанні зі спеціальними радіаторами і гнучкими варіантами охолодження, такими як повітряне або водяне охолодження. Надійна технологія драйвера, вбудовані датчики струму та комплексні функції захисту завершують конструкцію IPM.

Модуль SKiiP 7 отримав широке поширення в сегменті промислових електроприводів. Завдяки своїй шестипакетній або напівмостовій топології він охоплює діапазон струму від 500 до 2 400 А.

Модуль SKiiP 4 який доступний у напівмостовій топології, був оптимізований для найвищих вимог щодо циклічного відбору потужності та охоплює вищий діапазон потужності до 3 600 А.

Щоб забезпечити найвищу надійність і термін служби, електромонтаж силових кіл на 100% не містить паяних з'єднань. Технологія спікання для кріплення чипів до підкладки у кожному модулі замінює шар припою, який зазвичай спричиняє обмеження терміну служби модуля. Отже, спікання покращує потужність модуля і його термоциклічні можливості.

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

Основні властивості:

- напівмости і шестимодульна конструкція;
- 1 200 В/1 700 В IGBT: від 500 до 3 600 А; 2 000 В SiC: від 1 200 до 2 400 А;
- гнучкі варіанти охолодження: повітряне, водяне або індивідуальні варіанти охолодження;
- паралельна робота для збільшення вихідної потужності.

ПЛАТФОРМИ СИЛОВИХ ЕЛЕКТРОННИХ СТЕКІВ ДЛЯ СЕРТИФІКОВАНИХ ІНВЕРТОРНИХ ЗБІРОК, ПРИСТАСОВАНИХ ДО КОНКРЕТНИХ ПОТРЕБ

Стандартні набори

Всі набори Power Electronic Stacks дозволяють клієнтам Semikron Danfoss досягати успіху на динамічних ринках і вирішувати будь-які глобальні виклики. Компанія поставляє набори, які містять випрямлячі, IGBT і SiC для напруг змінного струму від 380 до 690 В. Стандартні набори охоплюють діапазон вихідного струму від 200 до 4 000 А:

- набори IGBT з водяним охолодженням (рис. 7):
 - SEMIKUBE;
 - SKiiPRACK;
- набори IGBT з повітряним охолодженням (рис. 8):
 - SEMIKUBE;
 - SEMIKUBE SlimLine;
- набори діодів/тиристорів:
 - SEMISTACK CLASSIC B6U/B6C/W3C.

Індивідуальні набори

Окрім стандартних наборів, Semikron Danfoss має величезний досвід у розробці індивідуальних рішень для клієнтів. Кваліфіковані інженери доступні до контактів в stack-центрах компанії по всьому світу, щоб запропонувати конкретні рішення шляхом адаптації існуючих платформ або розробки індивідуальних перетворювачів.

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

- найкоротший час виходу на ринок;
- економія витрат на дослідження та розробки, виробництво та випробування;
- глобальний характер виробництва наборів Semikron Danfoss;
- команда інженерів з величезним досвідом роботи.



Рис. 7. Стандартний мостовий перетворювач з водяним охолодженням (2 200 А)



Рис. 8. Чотирифазний перетворювач з індивідуальним повітряним охолодженням (2 00А)

ДРАЙВЕРИ IGBT

Унікальний портфель продуктів компанії Semikron Danfoss забезпечує застосування у всіх відомих галузях промисловості за допомогою універсального рішення, яке поєднує най-

сучасніші силові модулі та електроніку драйверів.

Драйвери IGBT Semikron Danfoss доступні у вигляді двоканальних драйверів, які підходять для будь-якого стандартного напівпровідникового модуля живлення, або як рішення Plug-and-Play, які ідеально підходять для модулів SEMiX 3 Press-Fit, SEMITRANS 10 і сумісних з ними модулів (рис. 9).

Економічна ефективність

За допомогою драйверів Semikron Danfoss, використовуючи технологію високої інтеграції ASIC, можна досягти виняткової компактності системи та створити компактні та економічно ефективні конструкції інверторів.

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

Економія часу

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

Надійність

Драйвери SKYPER — це добре відомі стійкі та надійні драйвери IGBT, що працюють у складних умовах на-

вколишнього середовища. Впродовж багатьох років експлуатації фірмова технологія драйвера IGBT невпинно вдосконалювалася. Ця технологія встановлює нові стандарти основних методів безпечного керування затвором, надійного захисту затвору та посиленої ізоляції.

Компактна конструкція

Технологія SKIC ASIC від Semikron Danfoss забезпечує дуже компактну конструкцію системи з мінімальною кількістю периферійних компонентів. Завдяки високоінтегрованій обробці сигналу та багатоканальному управлінню збогами ASIC Semikron Danfoss забезпечують надійне керування затвором.

Основні властивості:

- посилена ізоляція у колах передачі сигналу та електроенергії;
- двоканальний драйвер;
- стійкість до сплесків напруги з амплітудою до 1 700 В у мережі електроживлення;
- напруга до 1 500 В шини постійного струму;
- амплітуда струму від 8 до 35 А на один канал;
- пікова потужність від 1 до 4.2 Вт на один канал;
- підходить для багаторівневих топологій IGBT 7-го покоління.

ТЕРМОІНТЕРФЕЙСНІ МАТЕРІАЛИ

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



SKYPER 12 PV



Ядра драйвера

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

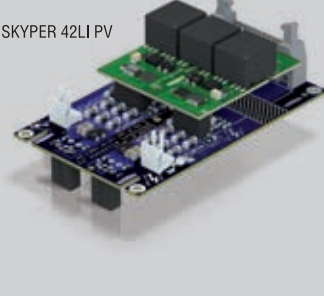
SKYPER 12 Press-fit



Драйвер Plug-and-Play

Двоканальні драйвери для прямого монтажу модуля з електричним або оптичним інтерфейсом

SKYPER 42LI PV



Плата адаптера та зразки додатків

Адаптерні плати для монтажу ядра драйвера до модулів Semikron Danfos IGBT і SiC

Рис. 9. Драйвери IGBT



Рис. 10. Технологічна лінія монтажу та нанесення термопасту модулів SEMITOR

йонів попередньо надрукованих (*pre-printed*) модулів у цій галузі.

Компанія розробляє шаблони друку для кожного типу модуля, щоб одержати найкращий розподіл ТІМ і його товщини, коли модуль встановлено на радіаторі. Ці візерунки друкуються на модулях у спеціально очищеному середовищі на автоматизованій лінії шовкографії та трафаретного друку (рис. 10). Для забезпечення рівномірності нанесення візерунків використовується статистичний контроль процесу (SPC). Спеціальне пакування гарантує, що ТІМ надійде на вашу виробничу лінію в бездоганному стані.

Компанія Semikron Danfoss пропонує термопасту або матеріал для зміни фазового стану залежно від вимог клієнта (наприклад, підвищення продуктивності, зменшення зусиль при тран-

спортуванні) і типу модуля (з базовою плитою або без неї). Надійному монтажу модулів без базової плити сприяє матеріал з низькою в'язкістю, такий як термопаста. Високоєфективна термопаста (НРТР) добре підходить для цього та завдяки оптимізованому вмісту наповнювача забезпечує найкращі в своєму класі теплові характеристики.

Крім того, для зручності використання під час складання більшість силових модулів також можуть поставлятися з попередньо нанесеним матеріалом для зміни фазового стану (PCM) (рис. 11, 12). Згадані вище матеріали мають тверду консистенцію при кімнатній температурі. При нагріванні модуля після першого увімкнення PCM переходить у стан текучості і заповнює проміжки та створює тепловий інтерфейс. Застосовуючи НР-

PCM, новий ексклюзивний високоефективний матеріал для зміни фазового стану від Semikron Danfoss, можна поєднати переваги фазозмінного матеріалу з ефективністю найкращої доступної пасту.

Основні властивості:

- специфічні для модуля моделі для оптимізованого розподілу ТІМ;
 - спрощена логістика та зниження витрат виробництва;
 - покращена міцність збірки;
 - збільшений термін служби, надійність.
- Номенклатура продукції:*
- НРТР: високоефективна термопаста;
 - НР-PCM: високоефективний матеріал для зміни фазового стану.

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

03057, м. Київ,
пр-т Берестейський, 56,
офіс 335,
тел.: +38 (044) 458-47-66,
+38 (067) 463-46-62,
+38 (095) 284-96-62,
e-mail: sp.tsdrive@gmail.com,
semikron@ukr.net,
service_danfoss@ukr.net
www.tsdrive.com.ua,
www.semismart.com.ua

СН

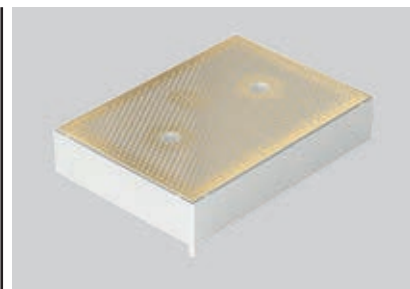


Рис. 11. Модуль без базової плити з попередньо нанесеною термопастою

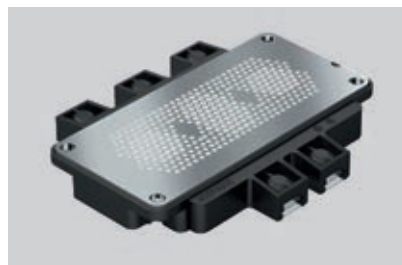


Рис. 12. Модуль з базовою плитою і попередньо нанесеним матеріалом для зміни фазового стану

НВП «ТЕХНОСЕРВІСПРИВІД»

Авторизований сервіс-партнер Danfoss Drives в Україні

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



Офіційний представник в Україні



7-е покоління IGBT

Новий еталон
для електроприводів

www.semikron-danfoss.com

GENERATION
IGBT
7

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

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

Особливості

Нижча напруга насичення $V_{ce,sat}$

Підвищена здатність витримувати перевантаження до 175 °C

Втрати на комутацію і dv/dt оптимізовані для електроприводів

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

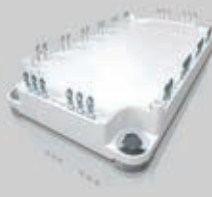
До 20% більша вихідна потужність або на 20% менші втрати потужності



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



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



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

Карбід-кремнієві компоненти компанії Microchip для промисловості, авіації та оборонної сфери

Джордж Уорд (George Ward), Microchip Technology Inc.

Переклад та редактування: Євген Тетерев, Віталій Шевченко, Rainbow Technologies,
E-mail: svl@rainbow.com.ua

СИЛОВІ МОДУЛІ

Силкові карбід-кремнієві модулі призначені для інтеграції декількох напівпровідникових приладів в єдиному міцному корпусі, що дозволяє працювати з більш високим рівнем потужності, ніж у дискретних елементів. На рисунку 7 представлений весь набір корпусів, що пропонується для силових модулів на клас напруги від 700 до 1700 В і струм від 50 до 850 А.

Корпуси D3 і D4, що показані в верхній частині рисунка, мають висоту 30 мм і

відносяться, переважно, до кремнієвих моделей попередніх розробок. Їх все частіше замінюють на нові низькопрофільні корпуси серії SPx висотою 12 або 17 мм. Ця серія корпусів має знижену індуктивність та оптимізовані паразитні параметри, що забезпечує більш ефективну та безпечну комутацію ключів на високих частотах, характерних для карбїду кремнію.

Лінійка стандартних карбід-кремнієвих силових модулів Microchip представлена на рисунку 8.

Діодні карбід-кремнієві модулі випускаються на клас напруги 700, 1200 і

1700 В та струм від 50 до 600 А. Пропонуються чотири топології: 2-діодна схема із загальним катодом (*Dual Common Cathode*), однофазний міст (*Full bridge*), фазове плече (*Phase leg*) та трифазний міст (*3 phase bridge*). Діодні модулі можна знайти на сайті Microchip [за цим посиланням](#).

Транзисторні карбід-кремнієві модулі випускаються на клас напруги 700, 1200 В, а з недавнього часу — також на 1700 В, номінальний струм знаходиться в межах від 44 до 754 А. Лінійка транзисторних модулів включає всі стандартні топології: Boost chopper, Buck chopper, Full bridge, Phase leg, Triple phase leg, Three phase bridge и Vienna phase leg. Їх можна знайти на сайті Microchip [за цим посиланням](#).

Останнім часом номенклатура транзисторних модулів доповнилася ще такими топологіями, як Dual Common Source (рис. 9а) і Three Level Inverter (рис. 9б). Ці вироби мають клас напруги 700–1700 В і струм від 44 до 812 А. Їх можна знайти на сайті Microchip [за цим посиланням](#).

Як зазначалося раніше, основною перевагою карбід-кремнієвих напівпровідників є можливість комутації струмів з високою частотою — значно вище, ніж дозволяють кремнієві силові ключі. На таких частотах важливо максимально знизити паразитні індуктивності,

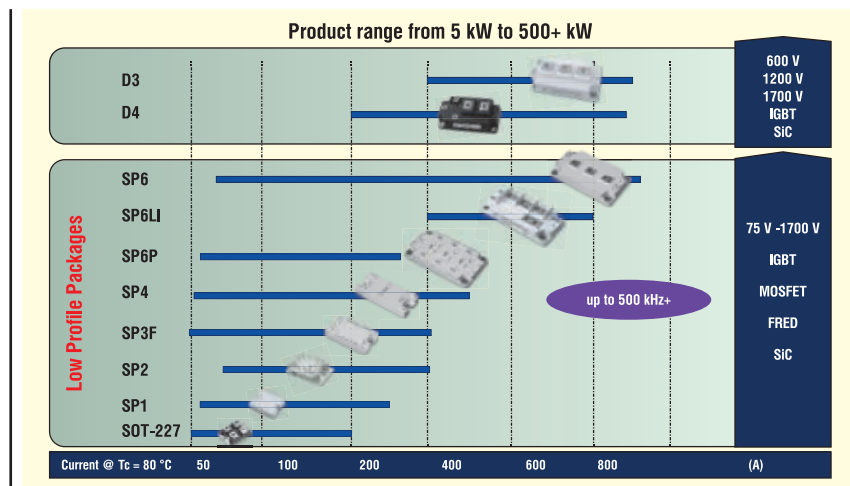


Рис. 7. Набір корпусів, що пропонується для силових модулів на клас напруги від 700 до 1700 В і струм від 50 до 850 А



Рис. 8. Лінійка стандартних карбід-кремнієвих силових модулів Microchip

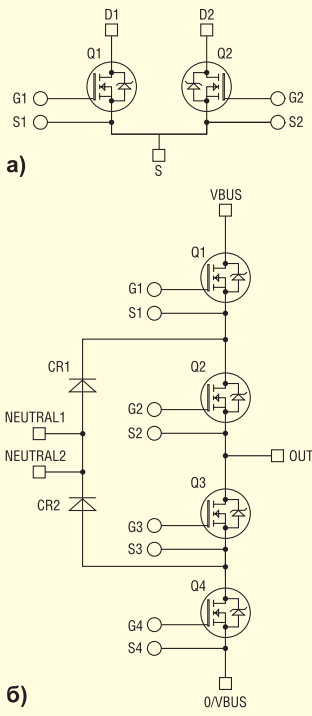


Рис. 9. Електричні схеми нових SiC-MOSFET модулів з подвійним загальним витоком (а) і 3-рівневою інверторною топологією (б)

щоб скористатися всіма перевагами технології SiC. У цьому відношенні особливий інтерес представляють карбід-кремнієві MOSFET-модулі Microchip в корпусі SP6LI зі стандартним посадочним розміром 62 × 108 мм і топологією Phase leg (фазове плече). Завдяки симетричній конструкції та дуже коротким між'єднувальним зв'язкам їх паразитна індуктивність була знижена до рівня 2.9 нГн, що є рекордно малим показником. Як видно з таблиці 4, ці модулі мають дуже високі номінальні струми і виготовляються на всі класи напруги, в тому числі на 1700 В.

Можливості модулів SP6LI добре ілюструють графіки на рисунках 10 та 11. Як з них видно, стандартний модуль з параметрами 1700 В/2 мОм має енергію включення всього 8.9 мДж, а енергію відключення — 5.2 мДж. Виміри виконувались в умовах високої температури кристала (150 °C) і комутації досить великої потужності: струм становив 600 А, а напруга — 600 В. Швидкісні характеристики цього виробу також вражають — модуль здатний комутувати струм 540 А з частотою 50 кГц, 400 А з частотою 100 кГц та 230 А з частотою 200 кГц (рис. 12). Такі показники поки що є недостижними не тільки для IGBT-модулів, але й для багатьох карбід-кремнієвих

Таблиця 4. Модулі SP6LI з дуже низькою індуктивністю

№	Найменування	V _{DSS} (V _R), В	I _D , А (80 °C)	R _{DS(on)} , мОм (25 °C)		Зворотний діод — I _r , А
				тип.	макс.	
1	MSCSM70AM025CT6LIAG	700	538	2.50	3.20	300
2	MSCSM120AM02CT6LIAG	1200	754	2.10	2.58	300
3	MSCSM120AM03CT6LIAG	1200	641	2.50	3.10	250
4	MSCSM120AM042CT6LIAG	1200	394	4.20	5.20	180
5	MSCSM170AM029CT6LIAG	1700	538	2.90	3.75	300
6	MSCSM170AM058CT6LIAG	1700	281	5.80	7.50	180

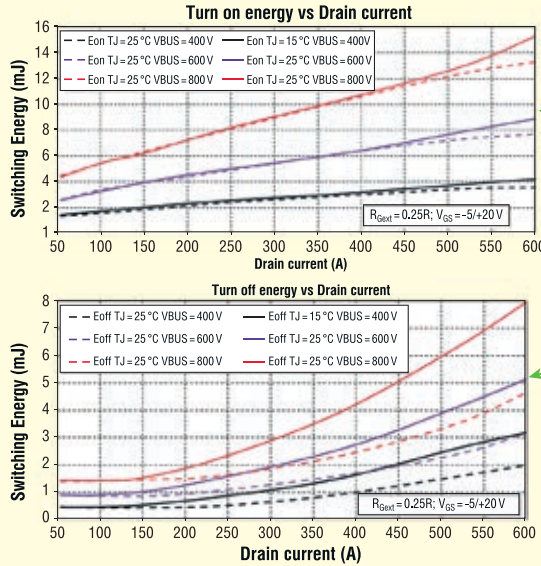


Рис. 10. Динамічні характеристики модулів SP6LI

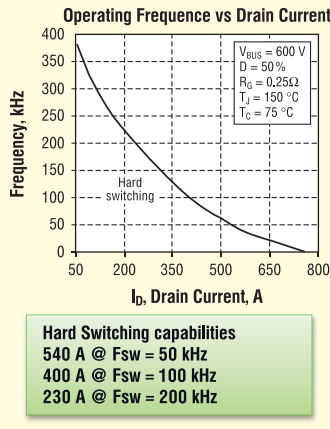


Рис. 11. Швидкісні характеристики модулів SP6LI

продуктів, оскільки не всі з них мають індуктивність порівнянну з SP6LI.

Остання категорія модулів відноситься до **полегшеної серії**, оскільки такі модулі не мають базової плати. Завдяки цьому вони важать на 40–50% менше, ніж промислові аналоги, а їх вертикальні габарити не перевищують 10 мм. Вони будуть особливо цікаві фахівцям з галузі авіації, у тому числі розробникам БПЛА, оскільки мають розширений температурний діапазон (від –55 °C) та відповідають вимогам авіаційного стандарту DO-160.

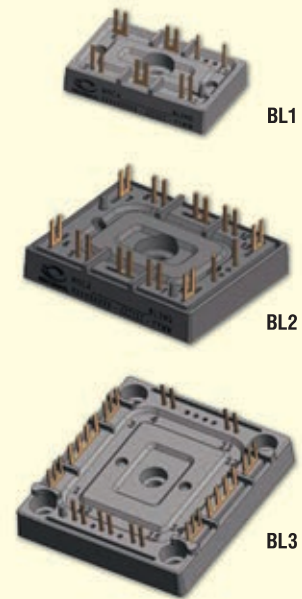


Рис. 12. Корпуси модулів полегшеної серії без базової плати

На даний момент модулі пропонуються у корпусах BL1 (13.5 г), BL2 (21.5 г) та BL3 (32.5 г) (рис. 12). Будь-яка бортова енергосистема літального апарату може бути побудована з комбінації цих трьох корпусів. Полегшена серія про-

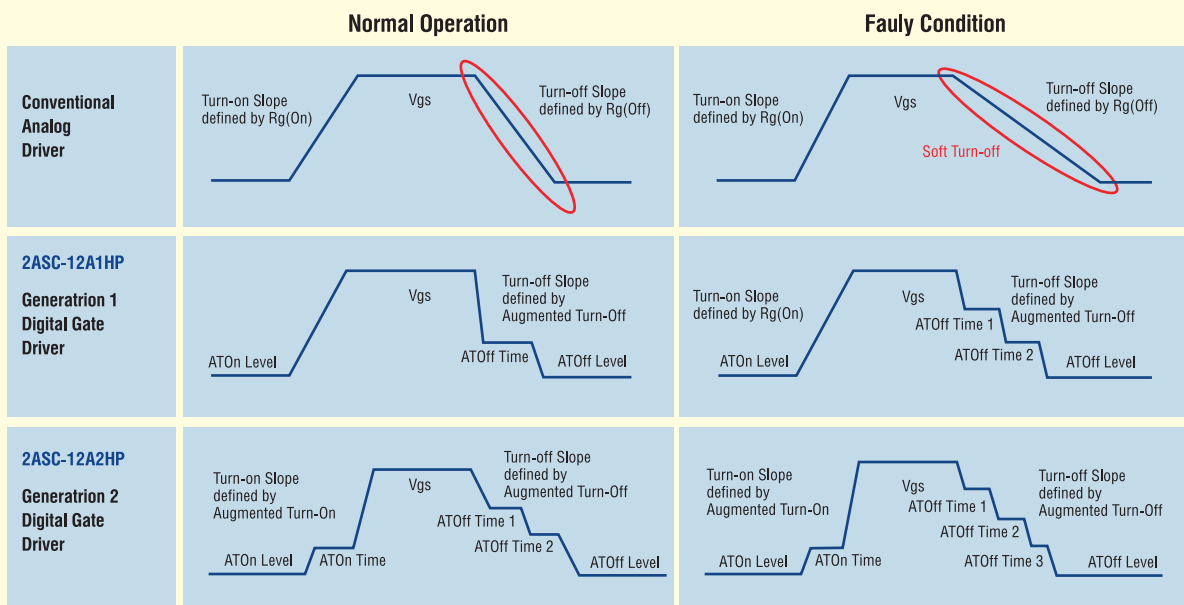


Рис. 13. Особливості роботи цифрових драйверів на основі технології Augmented

понується як у варіанті SiC MOSFET, так і у вигляді IGBT або діодних модулів. Всі ці продукти можна знайти на сайті Microchip [за цим посиланням](#).

ЦИФРОВІ ДРАЙВЕРИ, ЩО ПРОГРАМУЮТЬСЯ

Дотримуючись свого системного підходу, компанія Microchip пропонує для розглянутих вище силових модулів спеціально розроблені драйвери. Оскільки карбід-кремнієві ключі працюють на досить високих частотах, для них характерні такі явища, як підвищений перегрів, часті перенапруги, високий рівень шумів і схильність до коротких замикань. Традиційні аналогові драй-

вери мають недостатню швидкодію та чутливість для ефективної нейтралізації цих ефектів, тому для карбід-кремнієвих ключів була розроблена спеціальна серія цифрових драйверів на основі технології Augmented.

Особливості роботи цих драйверів показані на відповідних часових діаграмах (рис. 13). Тут представлені графіки включення та відключення карбід-кремнієвих транзисторів у нормальному та аварійному режимах. Верхня діаграма відноситься до аналогових драйверів. З неї видно, що включення та відключення транзистора, в тому числі і в аварійному режимі, виконується за один крок, при цьому швидкість відключення регулюватися не може і залежить тільки від опору транзисторного затвора. Нижня та

редня діаграми відносяться до драйверів Augmented Switching першого та другого покоління. З них видно, що включення транзистора може здійснюватися у два етапи, а відключення — у 3 або 4 етапи, при цьому швидкість відключення задається програмно і може бути відносно швидко підібрана дослідним шляхом. Такий підхід забезпечує швидке, надійне та плавне керування транзистором, яке знижує навантаження на пристрій та подовжує термін його служби.

Номенклатура драйверів Augmented Switching представлена на рисунку 14. Вона складається з самих драйверів (*Gate Driver Cores*), адаптерних плат під різні силові модулі (*Module Adapter Boards*) та рішення Plug & Play, яке є різними комбінаціями драйверів з адаптерними платами.

Для знайомства з технологією Augmented Switching пропонується кілька тестових наборів розробника, куди входить сам драйвер з адаптерною платою, карбід-кремнієвий силовий модуль (рис. 15а), програматор (рис. 15б) і спеціальне ПЗ, за допомогою якого програмується драйвер (рис. 15в).

Всі продукти серії Augmented Switching та відповідні тестові набори розробника можна знайти на сайті Microchip [за цим посиланням](#).

ІНТЕГРОВАНІ СИЛОВІ ЗБІРКИ

Інтегровані силові збірки (рис. 16) розроблені спеціально для аерокосмічного та оборонного ринку. Вони поєднують

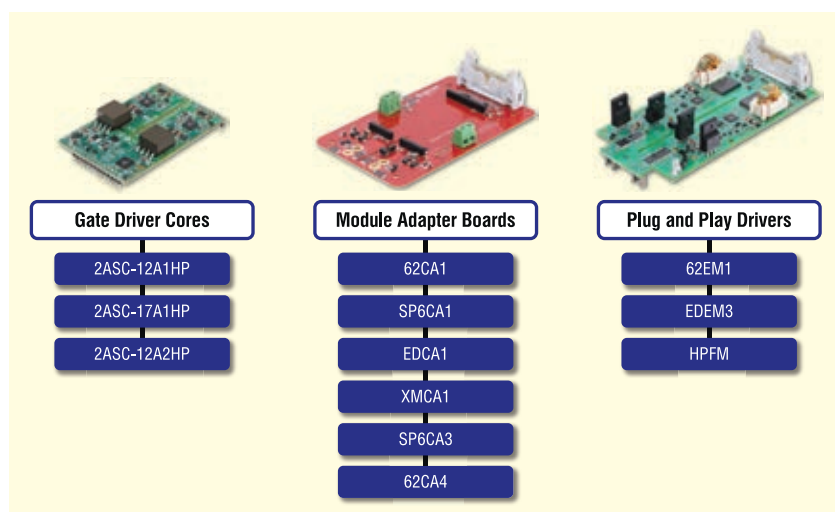


Рис. 14. Номенклатура драйверів Augmented Switching

ють у собі силові модулі та електроніку для керування, які розміщені в корпусі, що здатен витримувати відповідні навантаження. Пристрої розраховані на напругу 1200 В, потужність становить від 5 до 20 кВА. На даний момент випускається два види збірок: гібридний силовий привід (*Hybrid Power Drive, HPD*) і модуль керування живленням (*Power Control Module, PCM*). HPD містить у собі 3-фазний міст, привод соленоїдної котушки та драйвери відповідних силових транзисторів. PCM представляє собою HPD, на який додатково встановлена цифрова плата керування з функціями телеметрії та контролю.

Зазначені пристрої спочатку розроблялися на основі карбід-кремнієвих транзисторів, але існують також версії на основі транзисторів IGBT. Усі ці варіанти пройшли повний спектр випробувань на відповідність вимогам авіаційних стандартів. Збірка HPD510, яка має гвинтові клеми, додатково пройшла програму сертифікації Airbus як лінійний замінюваний блок для літальних апаратів (*Line Replaceable Unit*). Збірку HPD520 з виводами для пайки розроблено в рамках французької аерокосмічної програми Genote та сертифіковано як блок авіоники для монтажу на плату (*Board Mounted Unit*). Обидва пристрої також пройшли тестування на вплив нейтронного випромінювання, що дозволяє використовувати їх на великих висотах, у космосі та в радіаційно-стійких виробках.

Інтегровані силові збірки можна знайти на сайті Microchip за такими посиланнями:

- [загальне посилання](#);
- [HPD510 \(MAIPDMC40X120\)](#);
- [PCM510 \(MAICMMC40X120\)](#).

ПРОГРАМНІ ТА АПАРАТНІ ЗАСОБИ РОЗРОБКИ

Уякості програмного засобу розробки Microchip пропонує **безкоштовний аналоговий симулятор MPLAB Mindi**. Для роботи з ним на кожен карбід-кремнієвий транзистор і діод Microchip розроблені SPICE та PLECS-моделі двох рівнів. Під рівнем 1 мається на увазі електрична модель, а під рівнем 2 — електрична та теплова моделі. Їх можна завантажити із сайту Microchip [за цим посиланням](#).

У відношенні апаратних засобів розробки також пропонується широкий вибір продуктів:

- 30 kW 3-phase Vienna PFC Technology Demonstrator;



Унікальні ПЛІС за технологією flash-based

PolarFire

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



Igloo2 та SmartFusion2

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

Igloo та ProASIC3

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

- впровадження в літаках:

- Airbus A350
- Boeing 787
- Lockheed Martin F-35



Чому?

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



Rainbow Technologies • www.rainbow.com.ua

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

Тел./факс: +38 (044) 290 41 69 (82)

svl@rainbow.com.ua



Рис. 15. Тестовий набір розробника: драйвер з адаптерною платою та карбід-кремнієвий силовий модуль (а); програматор (б) і спеціальне ПЗ (в)

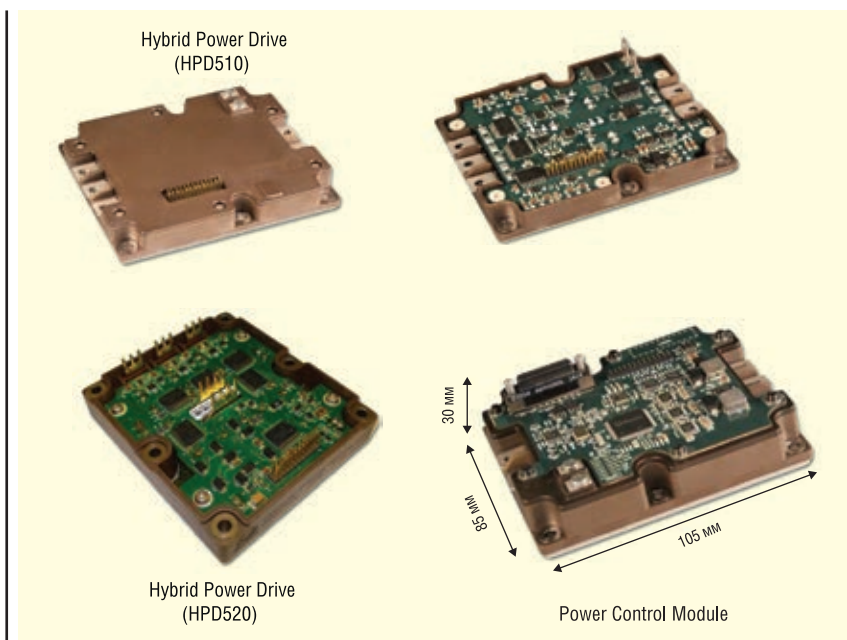


Рис. 16. Інтегровані силові збірки

- 30 kW Dual PSFB DC-DC Technology Demonstrator;
- 150 kVA 3-phase SiC Power Stack Evaluation Kit;
- 400/800VDC, 30A Solid State Circuit Breaker Technology Demonstrator;
- 60W Auxiliary Power Supply with 250 – 1000VDC input Reference Design;
- Half bridge ASD2 gate driver and SiC MOSFETs in TO-247 Evaluation Board;
- SP6LI Module Evaluation Board.

Їх можна поділити на 3 групи. До однієї відносяться традиційні тестувальні плати та набори розробника, призначені для освоєння напівпровідникових продуктів Microchip. Інша група називається **демонстратори технології** та являє собою обладнання, в якому реалізовані передові технологічні рішення системного рівня, що демонструють переваги силових ключів Microchip. Третя група — це

еталонні розробки, які є готовими технічними рішеннями «під ключ» і можуть бути запущені в серійне виробництво.

Насамкінець варто відзначити переваги роботи з компанією Microchip, як з партнером по бізнесу (рис. 17). Стратегія цієї компанії базується на трьох складових — якість, надійність постачання та клієнтська підтримка. Про якість продуктів вже сказано вище за текстом. Надійність поставок забезпечується налагодженими зв'язками з постачальниками сировини і комплектуючих, які дублюють один одного і не є конкурентами Microchip. Крім того, виробництво кожного виду продукції не зав'язане на один завод, а дублюється в декількох місцях. Зокрема, нещодавно було побудовано нове підприємство в Колорадо-Спрінгс, яке вже виробляє карбід-кремнієві діоди та готується до випуску SiC транзисторів. Що стосується підтримки, то тут

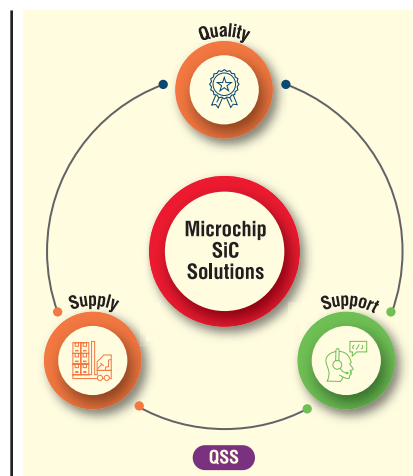


Рис. 17. Стратегія компанії Microchip базується на трьох складових — якість, надійність постачання та клієнтська підтримка

потрібно згодати про фірмову політику No End of Life, що означає виробництво кожного продукту до тих пір, поки клієнти будуть його купувати. Можливість придбання будь-якої кількості напівпровідників і комплексна технічна підтримка протягом усього життєвого циклу надається кожному клієнту — незалежно від обсягу його замовлень.

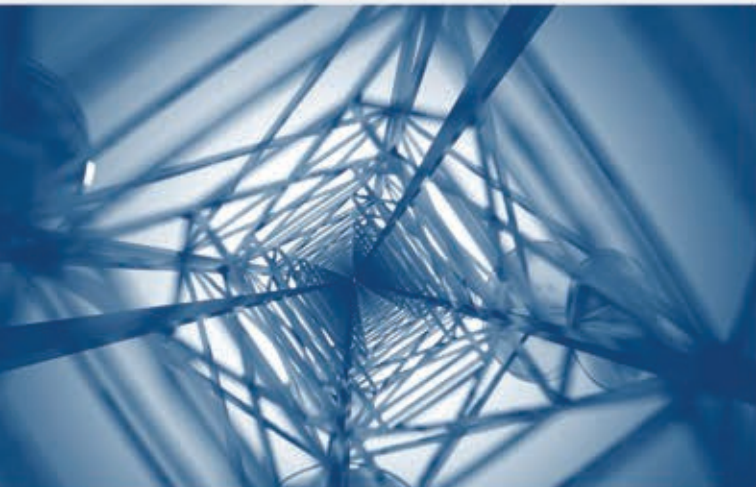
Більш детальну інформацію можна отримати, звернувшись до офіційного дистриб'ютора Microchip Technology на території України — компанії Rainbow Technologies:

**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

* Закінчення. Початок див. CHIP NEWS, № 3, 2023.

AMPLEON



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

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



MASTEK

Авторизований дистриб'ютор
Ampleon в Україні

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

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

LDMOS-технологія для радіочастотних підсилювачів потужності

С. Й. К. Х. Теувен (S. J. C. H. Theeuwen), Дж. Х. Куреші (J. H. Qureshi), Ampleon
Переклад та редагування: Роман Горєлков

У статті показано стан LDMOS-технології, яка вже не одне десятиліття є найкращим вибором для радіочастотних підсилювачів потужності. LDMOS-технологія відповідає вимогам для широкого спектра застосувань класу АВ та імпульсних застосувань, таких як базові станції, телерадіомовлення та НВЧ-техніка. Представлені найсучасніші показники продуктивності LDMOS-транзисторів, виміряні на тестовому обладнанні під навантаженням, що досягають величин ефективності стоку на рівні 70% на частоті 2 ГГц при роботі в режимі АВ для корпусованих та безкорпусних (*on-wafer*) виробів. Ще показано результати для декількох варіантів підсилювачів класу АВ та Доєрті, побудованих за цією технологією. Як приклад продемонстровано трисмуговий підсилювач Доєрті, який має ефективність 47% (7.5 dB back-off) на частоті 1.8 ГГц з піковою потужністю 700 Вт і показниками лінійності, не гіршими ніж -65 dBc.

ВСТУП

Близько 20 років тому транзистори на основі LDMOS-технології (бокової дифузії метал-оксид-напівпровідника, *англ. laterally diffused metal-oxide-semiconductor*) були вперше представлені для ринку силових радіочастотних застосувань як заміна біполярних транзисторів для використання на базових станціях [1], [2]. За останні десятиліття радіочастотні характеристики LDMOS-приладів значно покращилися [3], [4]. На сьогодні LDMOS є провідною технологією для широкого спектра силових радіочастотних застосувань, серед яких: базові станції, телерадіомовлення, FM, VHF, UHF, ISM (*industrial, scientific and medical*,) та радіолокація [5], а також розглядається багато нових можливостей, наприклад, радіочастотне освітлення [6] та приготування їжі в мікрохвильовій печі. За останні десятиліття розширився і частотний діапазон роботи LDMOS-технології, охоплюючи діапазон від 1 МГц до 4 ГГц, у тому числі частоти WiMAX [7] та радіолокаторів S-діапазону [8]. Діапазон потужностей LDMOS

охоплює понад три декади — від кількох ват для драйверних пристроїв до кількох тисяч ват для імпульсних застосувань.

Основною рушійною силою розвитку LDMOS-технології була потреба у великій кількості базових станцій, що вимагало постійного вдосконалення, особливо в частині її ефективності. На початку свого існування LDMOS-пристрої працювали у класі АВ в системах з прямим зв'язком, тоді як сьогодні дво- або трисмугові підсилювачі Доєрті в поєднанні з системами цифрового попереднього спотворення (*digital pre-distortion, DPD*) є найсучаснішим рішенням для ефективних базових станцій. DPD забезпечує хороші попередні спотворення при мінімальному зниженні потужності РВО (*power back-off*), в той час як концепція підсилювача Доєрті забезпечує високу ефективність РВО за рахунок зменшення лінійності та коефіцієнта підсилення. LDMOS-технологія дуже добре підходить для підсилювачів DPD і Доєрті [9]: завдяки високому коефіцієнту підсилення (> 20 дБ на 2 ГГц), хорошій ефективності, здатності до DPD, відмінній надійності та низькій вартості.

Напряг живлення для основних застосувань LDMOS-технології, зокрема базових станцій, становить близько 30 В, що дає хороший компроміс між потужністю та ефективністю. Для низькочастотних (500 МГц) підсилювачів і підсилювачів цифрового наземного телебачення є попит на високі рівні потужності. Це стимулювало розробку LDMOS-технології з напругою живлення 50 В [10], [11]. На даний момент на ринку співіснують 30- і 50-В LDMOS-технології, кожна з яких обслуговує свій сегмент застосування.

ТЕХНОЛОГІЯ LDMOS-ПРИСТРОЮ

Схематичний поперечний переріз LDMOS-пристрою показаний на рисунку 1. Відмінність від стандартного CMOS полягає в тому, що LDMOS-транзистор має розширену область стоку для підтримки напруги пробою. 30- [1–4] і 50-В [10–11] технології мають типову напругу пробою 70 і 120 В відповідно, що вимагає довжини розширення стоку 3 і 6 мкм. Товщина епітаксialного шару приблизно дорівнює довжині розширення стоку. Область витоку n+ LDMOS-транзистора з'єднана з тильною стороною через металевий місток, стік p+ та p+ підкладку високої провідності. Електрони рухаються від витоку до стоку, якщо затвор позитивно зміщений, інвертуючи латерально дифузний р-діодний канал. Стік екранований від затвора польовою пластиною, що забезпечує надзвичайно низьку ємність зворотного зв'язку і хороші властивості надійності щодо теплопередачі. Багато «пальців» розміщено паралельно, утворюючи силовий кристал з загальною довжиною «пальців» від 10 до 1 000 мм.

Сучасні LDMOS-пристрої виробляються на CMOS-заводі, що використовує 8-дюймові пластини та інструменти для літографії з можливостями до 0.14 мкм.

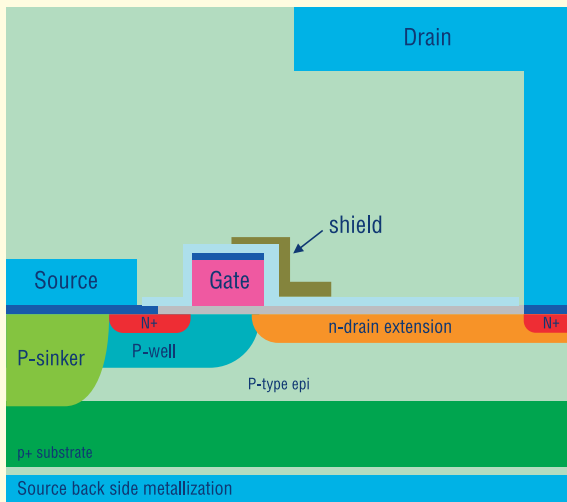


Рис. 1. Схематичне зображення LDMOS-пристрою

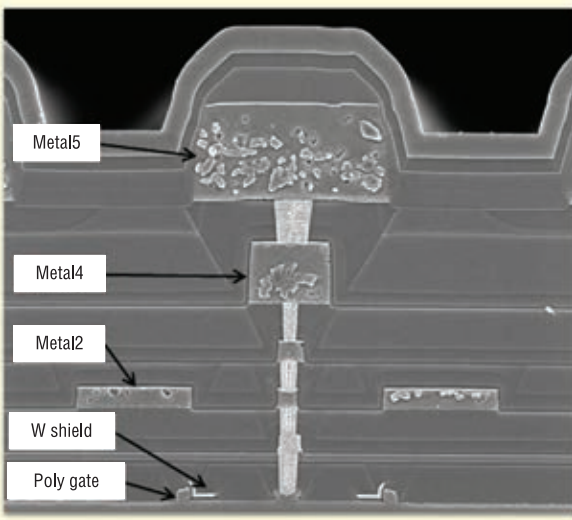


Рис. 2. Фотографія поперечного перерізу LDMOS-транзистора, зроблена за допомогою SEM-спектроскопії. Лінії Metal2 заземлюють всю область витoku

На додаток до CMOS-процесу використовуються занурення витoku в підкладку (source sinker to the substrate), металізація зворотного боку та вольфрамові екрани між стоком та затвором. Металізація зворотного боку складається з декількох металевих шарів з товстим верхнім металом. На рисунку 2 показано переріз п'ятишарового AlCu LDMOS-пристрою. Верхні шари Metal4 і Metal5 мають товщину 2 і 3 мкм відповідно. Металізація стоку має грибоподібну форму з широкою верхівкою для оптимального компромісу між надійністю електроміграції та параметрами продуктивності, такими як опір каналу і вихідна ємність.

У нижній частині рисунка 2 видно два полікремнієві затвори, частково вкриті вольфрамовим екраном.

Великий план області затворів показано на рисунку 3. Затвор покрито товстим шаром CoSi_2 для зменшення його опору. Термічний оксид затвора тонкий на стороні витoku і поступово утворює більш товстий оксид на стороні стоку, в результаті чого утворюється перша польова пластина, утворена затвором. Така конструкція дає високий коефіцієнт підсилення і хорошу надійність транзистора. На врізці рисунка 3 пока-

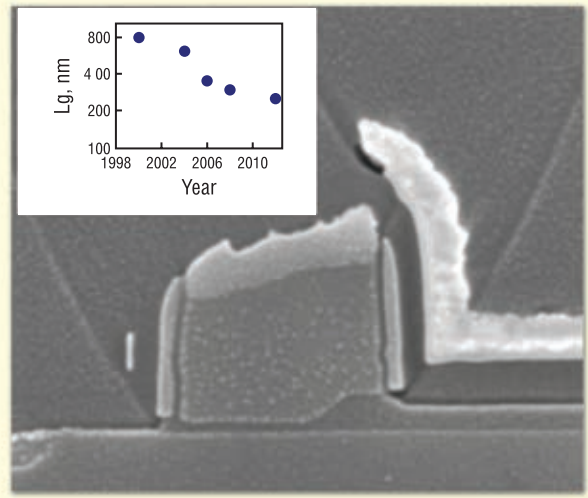


Рис. 3. Фотографія поперечного перерізу області затвора, зроблена за допомогою SEM-спектроскопії. LDMOS-транзистор має полікремнієвий затвор з силіцидом кобальту зверху. Оксид затвора стає товщим у напрямку до стоку затвора, утворюючи першу польову пластину. Екран, підключений до витoku, видно з правого боку затвора

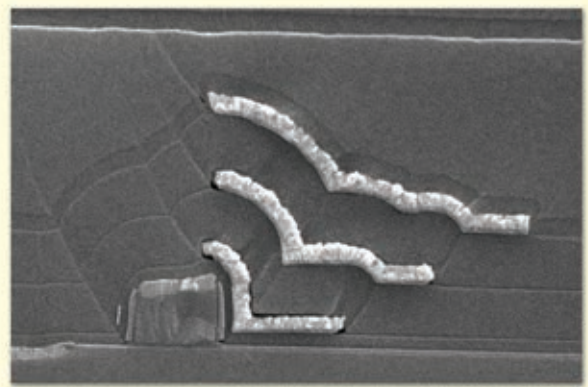


Рис. 4. Фотографія поперечного перерізу екрана 50-В LDMOS, зроблена за допомогою SEM-спектроскопії. Цей екран складається з трьох шарів вольфрамового металу, що утворюють сходинку над областю розширення стоку

зана еволюція довжини затвора, яка демонструє зменшення з 800 нм на початку розвитку LDMOS до 250 нм у 2012 році. Зменшення довжини затвора суттєво збільшило коефіцієнт підсилення LDMOS-транзистора [7–8]. Вольфрамова захисна пластина знаходиться в безпосередній близькості до затвора і з'єднана з вихідним металом за допомогою повторюваного металевого з'єднання (не показано). Цей екран не тільки зменшує ємність зворотного зв'язку між затвором і стоком, але й зменшує електричні поля на кінці затвора. Таке підвищення надійності дозволяє збільшити рівень легування стоку, що призводить до підвищення ефективності та густини потужності. У технології 50 В використовується кілька польових пластин. Область затвора 50-В LDMOS з трьома вольфрамовими екранами зображена на рисунку 4. Екрани розташовані у вигляді сходів над областю розширення стоку. Така конструкція екранів зменшує піки електричного поля на стороні затвора стокового розширення, що призводить до майже ідеального постійного поперечного розподілу поля [10].

ВНУТРІШНЯ ЕФЕКТИВНІСТЬ LDMOS

Радіочастотні характеристики 30-В LDMOS

На рисунку 5 показано імпульсні ВЧ-вимірювання, отримані за допомогою установки для накладання навантаження на підкладку для сучасної 30-вольтової LDMOS-технології для діапазону частот від 1 до 4 ГГц. Вимірюваний пристрій має загальну довжину «пальця» затвора (*total gate finger length*) 4.2 мм і зміщений з напругою живлення 28 В і струмом стоку 5 мА/мм периферії затвора для досягнення характеристик класу АВ. Компроміс між ефективністю і потужністю можна побачити, побудувавши граничні контури всіх вимірювань, отриманих при навантаженні пристрою на всі можливі стани опору навантаження. З рисунка 5 видно, що густина потужності 30-В LDMOS становить 1.4 Вт/мм для вимірюваного діапазону частот. Далі ми покажемо, що ця густина потужності може бути збільшена до 2 Вт/мм для 50-вольтової технології. Максимальна ефективність стоку того ж LDMOS-транзистора становить 72% і майже не зменшується порівняно з частотою до 3 ГГц, де виміряна ефективність стоку 68%. Ця ефективність дуже близька до теоретичної максимальної ефективності класу В, що становить 78.5%. У діапазоні частот від 3 до 4 ГГц ефективність падає до 62% на частоті 4 ГГц. Частотне падіння показано на рисунку 6, де наведена модель втрат,

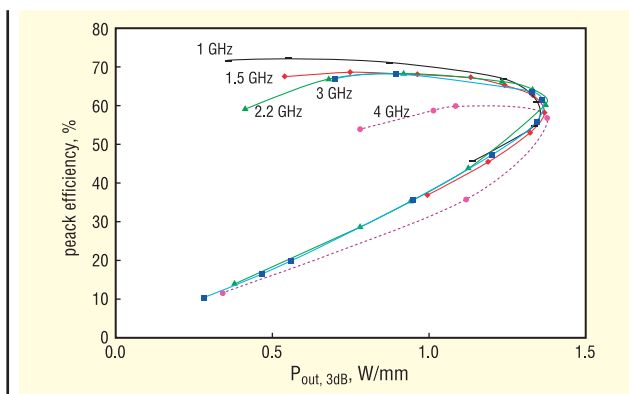


Рис. 5. Залежність максимальної ефективності від вихідної потужності (P3 дБ) для 30-В LDMOS-технології. Вимірювання зроблено для Ampleon останнього 30-В покоління з накладанням навантаження на підкладку. Використовувався імпульсний сигнал з 10% шпаруватістю і тривалістю імпульсів 1 мс

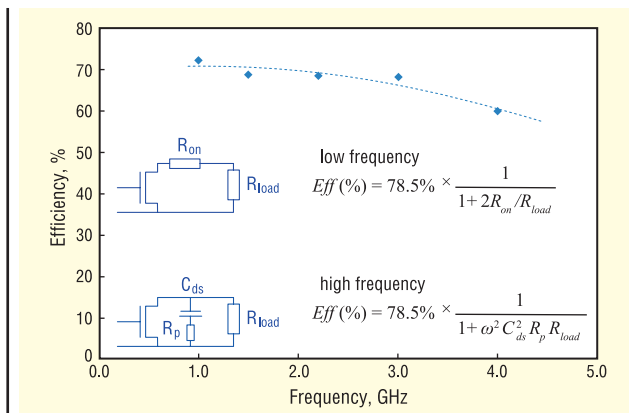


Рис. 6. Залежність ефективності стоку від частоти для 30-В LDMOS. Пунктирною лінією показано модель втрат [4], опис і рівняння якої наведено в нижній частині рисунка

підігнана під зазначену модель [4]. У цій моделі ефективність на низьких частотах обмежується послідовним опором R_{on} LDMOS-транзистора. Опір стокового виводу є основним внеском у цей послідовний опір. Падіння ефективності на високих частотах спричинене втратами через вихідну ємність.

Залежність коефіцієнта підсилення LDMOS-транзистора від частоти показано на рисунку 7. Він слідує за спадом на 6 дБ/октаву, як показано суцільною лінією. Коефіцієнт підсилення на 2 ГГц становить 21 дБ, а на 4 ГГц — 15 дБ.

Радіочастотні характеристики 50-В LDMOS

50-В LDMOS-технологія була розроблена у 2007 році з метою підвищення густини потужності та рівня імпедансу для застосування в широкодіапазонному телерадіомовленні (*broadcast*) та ISM [10], [11]. Гранична потужність для 50-В LDMOS показана на рисунку 8, виміряна методом *load-pulling* на частоті 1 ГГц. Максимальна густина потужності для 50-В LDMOS перевищує 2 Вт/мм. Це збільшення густини потужності з 1.4 Вт/мм для 30-В LDMOS до 2 Вт/мм в основному спричинене збільшенням напруги живлення з 28 до 50 В, тоді як поточні можливості цих технологій є подібними.

Максимальна ефективність стоку також дуже схожа і становить 67% на частоті 1 ГГц. Однак подовження стоку, необхідне для забезпечення пробою на 120 В, приблизно вдвічі довше і збільшує залежну від напруги частину вихідної ємності, що призводить до більших втрат на вищих частотах. Тому ця 50-В LDMOS-технологія поки що знайшла своє застосування в пристроях, які працюють на частотах нижче 1.5 ГГц. Хоча

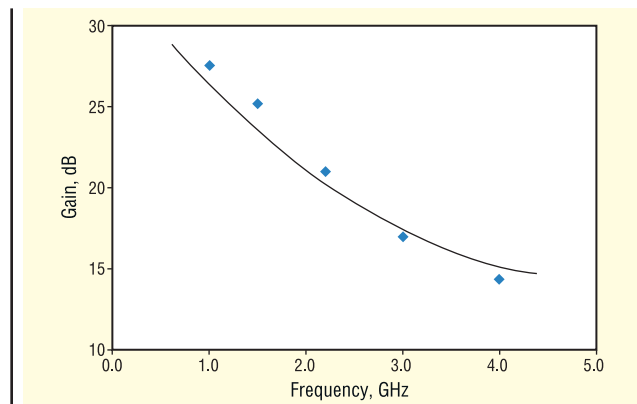


Рис. 7. Частотна залежність коефіцієнта передачі 30-В LDMOS [8]

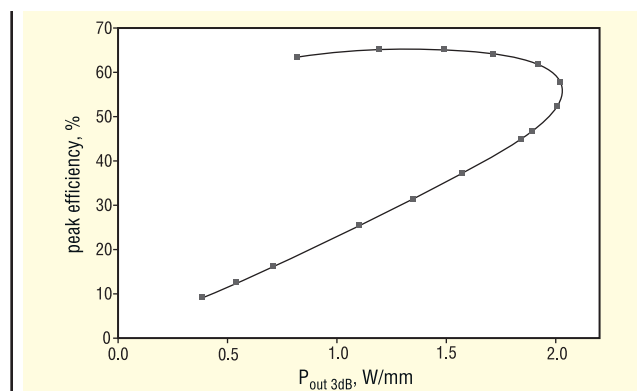


Рис. 8. Межі контуру «ефективність-потужність» для 50-В LDMOS-технології [10]. Вимірювання проводилися на частоті 1 ГГц в режимі *load-pulling* з імпульсним сигналом з 10% шпаруватістю і тривалістю імпульсу 1 мс

можна очікувати подальшого розвитку зменшення втрат, що відкриває можливості для 2-ГГц (Доерті) застосувань.

Еволюція радіочастотних характеристик

У силових приладах LDMOS-транзистори з декількома паралельно з'єднаними «пальцями» монтуються в керамічному або пластиковому корпусі. Фланець евтектично припаюється до тильної сторони витоку, а стік і затвор з'єднуються з виводами за допомогою з'єднувальних проводів. Вхідний і вихідний опір потужного приладу може бути нижче декількох Ом. Високодобротне узгодження вхідного і вихідного сигналів всередині корпусу застосовується для підвищення рівня цього опору. На рисунку 9 показано еволюцію густини потужності на частоті 2.14 ГГц для 150-ватного корпусованого LDMOS-транзистора. Пристрій працює у класі AB зі зміщенням 5 мА/мм і напругою живлення 28 В. Експериментальні дані апроксимовані лінійною залежністю. Дані до 2006 року були опубліковані в [4], інші дані взяті з [19].

За останнє десятиліття густина потужності збільшилася приблизно вдвічі, досягнувши понад 1 Вт/мм для останнього покоління LDMOS-транзисторів. Це було досягнуто в основному за завдяки збільшенню струму, що протікає через LDMOS-транзистор. Густина потужності значно нижча, ніж густина потужності на пластині 1.4 Вт/мм. Еволюція максимальної ефективності стоку за останнє десятиліття показана на рисунку 10. Показано результати для внутрішньо узгодженого 150-ватного пристрою на 2.14 ГГц (що відповідає рисунку 9) і 10-ватного пристрою на 3.6 ГГц, що не має аналогів.

Пікова ефективність у класі AB LDMOS останнього покоління становить майже 70% на частоті 2.14 ГГц, що близько до результатів on-wafer load-pull випробувань на пластині, показаних рніше. На частоті 3.6 ГГц ефективність стоку становить 55%, що нижче, ніж при вимірюванні на підкладці, і вказує на наявність додаткових втрат, пов'язаних з конфігурацією корпусу. Зростання пікової ефективності було досягнуто в основному шляхом зменшення втрат на вихідній ємності, що обговорюється далі.

Еволюція ключових параметрів

Ключовими параметрами для LDMOS є не тільки параметри постійного струму, такі як опір увімкнення і максимальний струм, але також вихідна, вхідна ємності та ємності зворотного зв'язку. Ці ємності є особливо важливими, оскільки вони призводять до частотно-залежної поведінки радіочастотних параметрів; вихідна ємність важлива для частотно-залежних втрат (рис. 6), а також для смуги пропускання підсилювача потужності (ПМ). Зменшення вихідної ємності показано на рисунку 11 для 30- і 50-В LDMOS. Вихідна ємність була нормалізована за потужністю стиснення 3 дБ. Експериментальні дані апроксимовані лінійною залежністю. Дані взято з тестових пристроїв [7–8], [10], [19].

За останнє десятиліття вихідна ємність була зменшена у 2 рази. Це зменшення було досягнуто завдяки зменшенню фізичного розміру ширини стокового контакту і збільшенню густини потужності технології. 50-В LDMOS має набагато меншу вихідну ємність для того ж рівня потужності завдяки вищій густині потужності 50-В приладу. Вхідна ємність підтримується постійною протягом еволюції LDMOS шляхом масштабування товщини оксиду затвора пропорційно довжині затвора. Еволюція ємності зворотного зв'язку 30- і 50-В LDMOS показана на рисунку 12. Ємність була нормалізована за потужністю стиснення 3 дБ. Експериментальні дані апроксимовані лінійною залежністю. Дані взято з внутрішніх оціночних

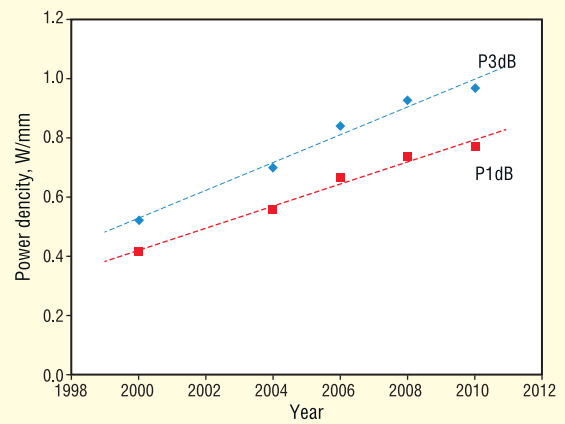


Рис. 9. Еволюція густини потужності для 30-В LDMOS. Потужність при стисненні з коефіцієнтом підсилення 3 дБ (P_{3dB}) і стисненні з коефіцієнтом підсилення 1 дБ (P_{1dB}) наведено для пристрою потужністю 150 Вт на частоті 2.14 ГГц.

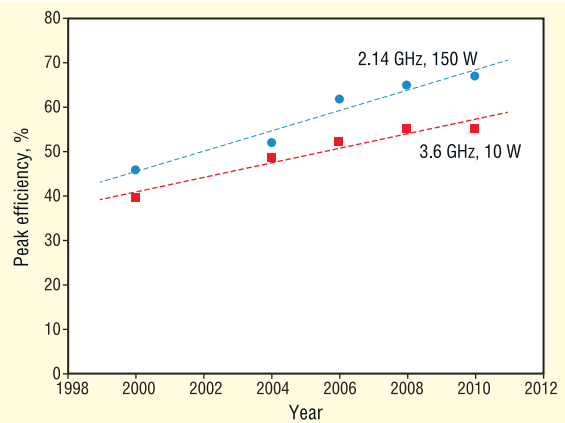


Рис. 10. Еволюція ефективності стоку для 30-В LDMOS. Ефективність зростає до 67% на частоті 2.14 ГГц для пристрою потужністю 150 Вт і до 55% на частоті 3.6 ГГц для пристрою потужністю 10 Вт. Експериментальні дані апроксимовані лінійною залежністю. Дані з [4], [8] і [19].

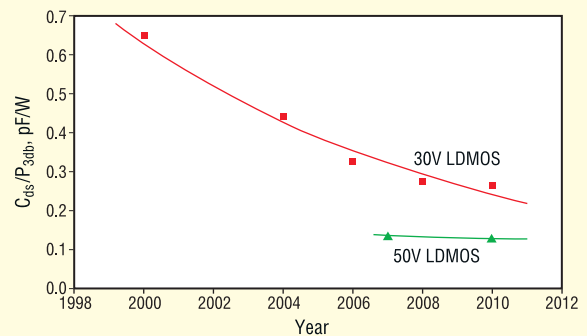


Рис. 11. Еволюція вихідної ємності (C_{ds}) для 30- і 50-В LDMOS для $V_g = 0$ В і V_d , що дорівнює напрузі живлення, виміряної на частоті 1 МГц

пристроїв [7–8], [10], [19]. Як і для еволюції вихідної ємності, спостерігається тенденція до значного зменшення. Ємність зворотного зв'язку в LDMOS мала порівняно з вихідною ємністю: значення C_{gd} зазвичай становить 7% від значення C_{ds} . Разом з еволюцією вихідної ємності та ємності зворотного зв'язку покращився і опір увімкнення. Опір увімкнення новіт-

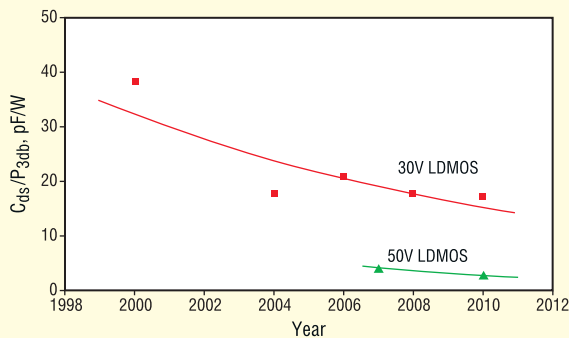


Рис. 12. Еволюція ємності зворотного зв'язку (C_{gd}) для 30- і 50-В LDMOS за умови $V_g = 0$ В і V_d , що дорівнює напрузі живлення, виміряна на частоті 1 МГц

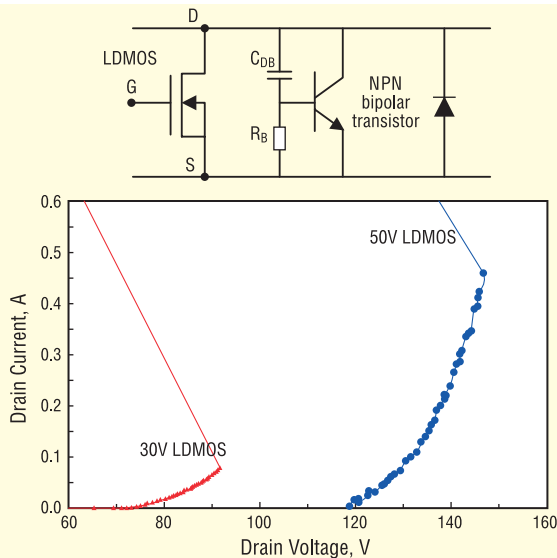


Рис. 13. Еквівалентна схема LDMOS з паразитним біполярним транзистором NPN (вгорі); TLP-криві для 30- і 50-В LDMOS (внизу) [12]

ніх 30-В LDMOS і 50-В LDMOS пристроїв зазвичай становить 14 і 29 мкОм·мм відповідно.

Витривалість та надійність

Витривалість (*ruggedness*) є найважливішим параметром надійності (*reliability*) для радіочастотних силових пристроїв, окрім традиційної деградації струму спокою та стійкості до електроміграції. Витривалість в LDMOS можна співвіднести з присутністю паразитного біполярного NPN транзистора [12–13]. Важливими параметрами транзистора для спрацювання є опір бази (*base resistance*, R_b) і ємність стік-база (*drain-to-base capacitance*, C_{DB}). Відповідна електрична схема наведена на рисунку 13 (вгорі). Діод стік-витік фіксує напругу на LDMOS-транзисторі і паразитному біполярному транзисторі та відводить надлишковий струм на підкладку. Однак при великих струмах стоку напруга на діоді перевищує напругу пробою діода, і паразитний біполярний транзистор може спрацювати.

Як інструмент для визначення характеристик запуску цього біполярного транзистора використовуються імпульсні вимірювання вольт-амперних характеристик лінії передачі (*transmission line pulse*, TLP) [12]. Вольт-амперні характеристики для 30- і 50-В LDMOS наведені на рисунку 13 (внизу). З цього рисунка видно, що 30-В LDMOS має пробій 70 В і зворотну напругу 90 В. 50-В LDMOS має пробій 120 В і зворотну напругу

150 В. Така поведінка зворотного переходу була реалізована шляхом підстроювання електричних полів в LDMOS. Введення протійного сходового екрану (рис. 4) відіграє важливу роль у покращенні зворотного ходу 50-В технології. Додатковий запас напруги між пробійною напругою і напругою зворотного переходу дозволяє пристрою витримувати великі коливання напруги на стоці, які можуть виникати в умовах неузгодженості, що робить пристрій дуже надійним.

ХАРАКТЕРИСТИКИ СИЛОВИХ ПРИЛАДІВ НА ОСНОВІ LDMOS

У цьому розділі ми описуємо характеристики силових пристроїв на основі LDMOS, тобто пристроїв з внутрішнім узгодженням з піковими рівнями потужності понад 300 Вт. Фотографія типової структури внутрішнього узгодження LDMOS показана на рисунку 14.

На основі контурів ефективної потужності ми покажемо ключові параметри для підсилювачів Доерті (*Doherty power amplifiers*, DPA). Дані про навантаження і вихідну потужність 400-ватного LDMOS-транзистора показано на рисунку 15.

Дані про ефективну потужність, представлені на рисунку 15, отримані шляхом зведення вихідного навантаження і вхідної потужності підсилювача. Вищі рівні потужності зазвичай відповідають умовам низького вихідного навантаження, тоді як нижчі рівні потужності є результатом вищого вихідного навантаження [14]. Крім того, дані, представлені на рисунку 15, вказують на те, що максимальна ефективність PA-пристрою становить 70% при вихідній потужності 200 Вт, що приблизно на 3 дБ нижче за максимальну потужність пристрою. Більше того, на рівнях потужності менше 200 Вт пристрій демонструє безперервне зниження ефективності. Причиною такої поведінки є механізми втрат, показані на рисунку 6. На вищих рівнях потужності домінуючим механізмом втрат є R_{ON} , тоді як на нижчих рівнях потужності домінує механізм R_p .

Окрім ефективності та рівня потужності LDMOS-транзистора, розташування максимуму контуру потужності, ефективності та коефіцієнта підсилення також є дуже важливим для високоєфективних концепцій, таких як DPA. На рисунку 16 показано контури ефективності, потужності та коефіцієнта підсилення 400-ватного LDMOS-пристрою у вигляді діаграми Сміта. Вхід пристрою узгоджено і забезпечено умови

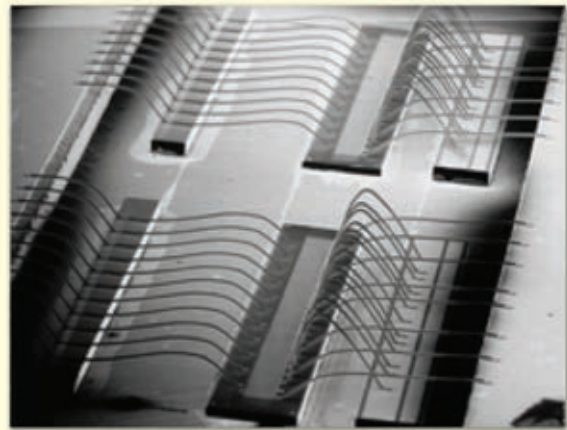


Рис. 14. Фотографія LDMOS-пристрою живлення з високодобротним узгодженням входу і виходу всередині корпусу

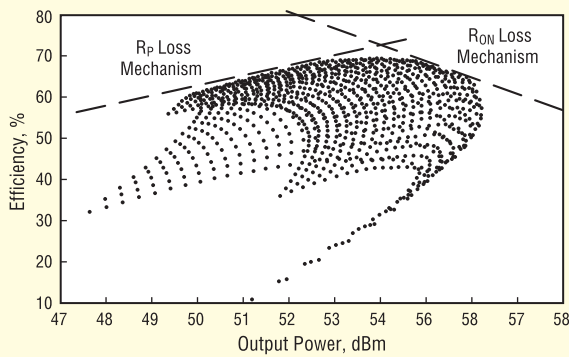


Рис. 15. Ефективність у порівнянні з вихідною потужністю ($P_{з дБ}$) для 30-В LDMOS-пристрою з піковою потужністю 400 Вт на частоті 960 МГц

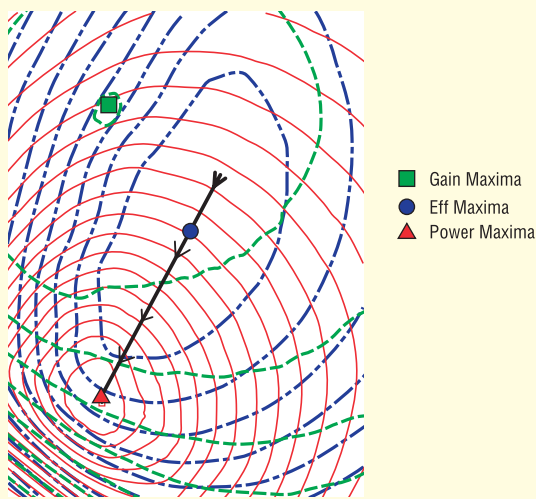


Рис. 16. Контури ККД, потужності та коефіцієнта підсилення у вигляді діаграми Сміта разом з траєкторією навантаження (позначена стрілкою) трисмугового DPA

класу АВ (шляхом замикання гармонік) при отриманні даних, представлених на рисунку 16.

В ідеальному підсилювачі точки (навантаження) з максимальною потужністю, ККД і коефіцієнтом підсилення розташовані уздовж прямої лінії, проте в реальних підсилювачах ці точки утворюють трикутник (рис. 16). Основною причиною розділення цих контурів в LDMOS-пристроях (при зміщенні класу АВ) є механізм зворотного зв'язку, наприклад, за рахунок ємності зворотного зв'язку C_{gd} і індуктивності джерела L_s [14].

РЕАЛІЗАЦІЇ LDMOS ДООЕРТИ

Робота DPA

DPA — це дуже стара концепція підвищення середньої ефективності мікрохвильового передавача. Вперше вона була запропонована в 1936 році [15] для підвищення ефективності передавачів радіомовлення в діапазоні АМ. Вона працює за принципом активної модуляції навантаження пристрою РА (основного пристрою) шляхом інжекції струму від другого пристрою РА (пікового пристрою) в загальне навантаження. В останні роки спостерігається значний прогрес у розробці методів проектування Доерті, наприклад, багатопроменеві DPA [9], [14], [16], [18], що призвело до збільшення середньої

ефективності базових станцій W-CDMA. Деталі роботи DPA наведені в [9], [14], [16], тому в цій статті ми зосередимося на впливі параметрів пристрою на ефективність роботи DPA.

DPA зазвичай використовується для підсилення модульованих сигналів з високим відношенням пікової потужності до середньої (*peak-to-average ratios, PAR*), що означає, що більшу частину часу DPA працює на рівнях потужності, які відповідають середній потужності вихідного сигналу. На цих рівнях потужності основний пристрій РА в конфігурації DPA працює один при високому навантаженні (з метою підвищення напруги на клеммах, а отже, і ККД). Таким чином, ефективність головного пристрою на рівнях резервної потужності з підвищеним навантаженням (наприклад, $2 \times R_{opt}$ для двостороннього і $3 \times R_{opt}$ для тристороннього DPA) є дуже важливою для середньої ефективності DPA.

З рисунка 15 видно, що пікова ефективність LDMOS, яка становить близько 70%, знаходиться на рівні потужності 200 Вт, тобто при 3-дБ зниженні потужності. Це робить цей пристрій корисним для використання в ролі головного пристрою у двосторонньому DPA, оскільки у двосторонньому DPA головний пристрій піддається 3-дБ зниженню, як тільки потужність повного динаміка знижується на 6 дБ.

Аналогічно, якщо пристрій використовується як основний пристрій у трисмуговій конфігурації DPA, дані навантаження-віддачі на рисунку 15 показують ефективність 65% при рівні потужності 4.7 дБ (134 Вт), що відповідає зниженню потужності всього РА на 9.6 дБ.

На додаток до ефективності, коефіцієнт підсилення радіочастотного підсилювача також дуже важливий для DPA. Коефіцієнт підсилення DPA менший за власний коефіцієнт підсилення транзистора РА і залежить від наступних трьох параметрів:

- коефіцієнта підсилення власного пристрою;
- конфігурації DPA (наприклад, дво- або трисмуговий);
- зміни коефіцієнта підсилення вздовж траєкторії навантаження DPA.

Останній параметр залежить від розташування контурних максимумів потужності, коефіцієнта підсилення та ККД пристрою, які повинні лежати вздовж траєкторії лінії навантаження основного пристрою в конфігурації DPA, як показано на рисунку 16.

З огляду на вищевикладені міркування, були зроблені зусилля для зменшення втрат LDMOS-транзисторів з метою підвищення їх ефективності, особливо в тристоронніх конфігураціях DPA [16], [18]. Крім того, значних зусиль було докладено для зменшення механізмів зворотного зв'язку в приладі, а також в корпусі для покращення характеристик підсилення приладу в конфігурації DPA. Результатом стала оптимізована технологія високоефективного потужного підсилювача, придатного для дво- і трисмугових DPA [9].

Результати 30-В LDMOS DPA

На рисунку 17 показано фотографію трисмугового DPA, розрахованого на частоту 1.8 ГГц. Цей підсилювач базується на трисмуговій концепції Доерті [18] і містить три 250-ватних LDMOS-пристрої. Верхній пристрій зміщений в класі АВ і працює як основний, а два нижніх пристрої зміщені в класі С і працюють як пікові. Потужність на вході розділяється за допомогою пасивного дільника потужності. Зсув затвора пристроїв гарантує, що тільки основний пристрій РА активний при низьких рівнях РВО (< 10 дБ), в той час як піковий 1 (середній пристрій) і піковий 2 (нижній пристрій) вмикаються при середніх (6 дБ < РВО < 10 дБ) і високих рівнях потужності,

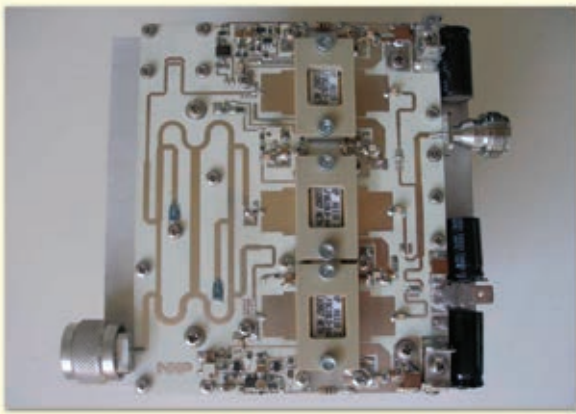


Рис. 17. Фотографія триходового DPA з піковою потужністю 700 Вт, розрахованого на частоту 1.8 ГГц

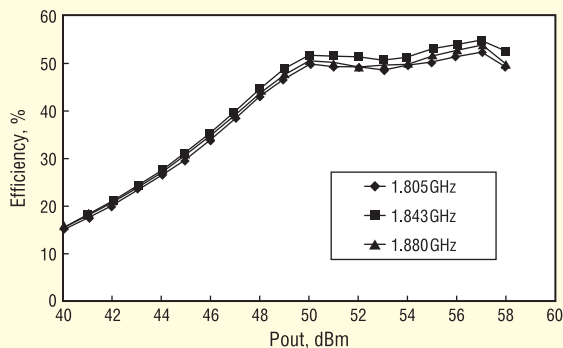


Рис. 18. Виміряна залежність ефективності від вихідної потужності триходового DPA, розрахованого на 1.8 ГГц [18]

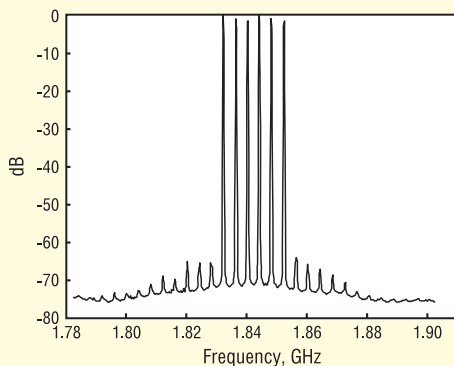


Рис. 19. Вихідний спектр тристороннього LDMOS DPA з сигналом 6C-GSM після застосування попередніх спотворень

відповідно. Вихідна потужність пристроїв об'єднується за допомогою триходового суматора.

Миттєва ефективність цього триходового LDMOS DPA показана на рисунку 18.

DPA має пікову потужність > 700 Вт і миттєву ефективність 50% при РВО 7.5 дБ. Це призводить до середньої ефективності 47% для модульованих сигналів з високим коефіцієнтом передачі, наприклад, MC-GSM і WCDMA третього покоління (3G). Спектр сигналу MC-GSM після DPD показано на рисунку 19. Ці дані отримані за допомогою налаштування Opticron DPD. Широка смуга пропускання радіочастот і відеосигналу DPA дозволяє коригувати лінійність краще, ніж -65 дБс при

Таблиця 1. Характеристики декількох 3-смугових підсилювачів потужності Доерті, призначених для різних частот. Сім DPA побудовано на 30 В LDMOS і один DPA на 50 В LDMOS

Description Peak Power, V _{supply}	f, GHz	Gain, dB	Eff. % (Pavg, W)	ACPR, dBc
800 W, 32 V [18]	0.94	16	51 (125 W)	< -63
550 W, 50 V [18]	0.94	17	49 (80 W)	< -60
630 W, 28 V [20]	0.925	17.6	45 (112 W)	< -50
700 W, 32 V [18]	1.80	16.5	47 (120 W)	< -65
630 W, 32 V [18]	2.14	15	47 (100 W)	< -60
446 W, 28 V [20]	2.14	14.3	48 (70 W)	< -55
630 W, 32 V [18]	2.65	13.5	40 (80 W)	< -58
100 W, 28 V [20]	2.60	14.35	40.9 (20 W)	< -54

середній вихідній потужності 120 Вт, з коефіцієнтом передачі сигналу 6.2 дБ і смугою пропускання сигналу 20 МГц.

Огляд характеристик різних трисмугових DPA наведено в таблиці 1. Ефективність DPA знижується з робочою частотою, але все ж таки можна досягти середньої ефективності, близької до 50% до 2 ГГц і 40% на 2.7 ГГц. DPA на основі 50-В LDMOS також наведено в таблиці 1, де показано порівняльну продуктивність на частоті 1 ГГц.

Результати тестування 50-В LDMOS Доерті

50-В LDMOS-технологія забезпечує більші коливання радіочастотної напруги на виході PA-пристроїв, що призводить до збільшення питомої потужності та вищих значень необхідного вихідного навантаження. Цей високий імпеданс навантаження призводить до зниження добротності (Q) вихідної мережі узгодження, тим самим зменшуючи втрати і значно збільшуючи fractional bandwidth вихідного узгодження [17]. Крім того, 50-В LDMOS-технологія дозволяє створити компактну мережу узгодження виходу, а отже, а отже, отримати більшу щільність потужності, що призводить до зменшення габаритів пристрою. На рисунку 20 показано частотну характеристику широкопasmового 800–960-МГц 400-ватного LDMOS DPA.

Коефіцієнт підсилення зазвичай становить 20 дБ, а ефективність при 8-дБ відступі, необхідному для сигналів DVB і MC-GSM, становить 37–42% по всій смузі, що на 10% краще порівняно з роботою в класі AB.

LDMOS У ЗАСТОСУВАННІ В S-ДІАПАЗОНІ

Еволюція LDMOS призвела не тільки до розширення можливостей LDMOS до вищих рівнів потужності, але також відкрила можливості для LDMOS в діапазоні частот 3–4 ГГц. Типовими застосуваннями для цих частот є радари S-діапазону та базові станції WiMAX і LTE. Як приклад, ми показуємо 40-ватний радіолокаційний пристрій S-діапазону для метеорологічної радіолокації на 2.7–3.3 ГГц на рисунку 21. Високий власний коефіцієнт підсилення і низька вихідна ємність сучасної LDMOS-технології дозволяє проектувати пристрої з коефіцієнтом підсилення 13 дБ у всьому діапазоні (2.7–3.3 ГГц) з ефективністю понад 50%.

ВИСНОВОК

Ми надали SEM перерізи приладів, виготовлених за сучасною 30- та 50-В LDMOS-технологією, що демонструють спеціальну конструкцію затвора та сходову конструкцію екрана. Представлено власні характеристики приладу для

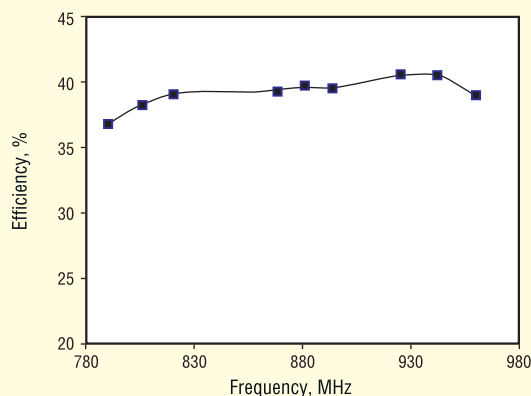


Рис. 20. Виміряна ефективність при 8-дБ зворотному зв'язку широкосмугового 50-В LDMOS двостороннього DPA]

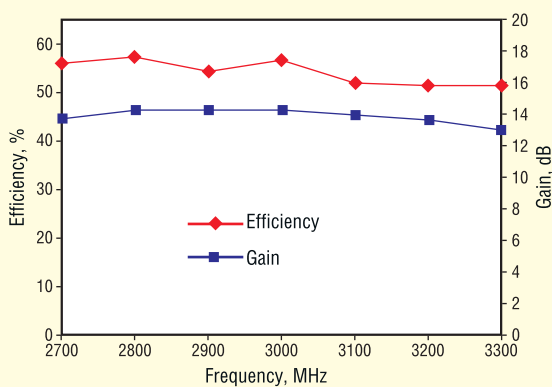


Рис. 21. Ефективність і коефіцієнт підсилення S-діапазону при вихідній потужності 40 Вт, виготовленого за технологією 30-В LDMOS

діапазону частот 1–4 ГГц та обговорено ключові параметри приладу. Крім того, показано характеристики силових пристроїв і декількох трикаскадних підсилювачів Доерті. Середній коефіцієнт корисної дії, близький до 50%, може бути досягнутий за допомогою триходових LDMOS-підсилювачів Доерті на частоті 2 ГГц у поєднанні з високим коефіцієнтом підсилення і низьким співвідношенням потужностей сусідніх каналів (*adjacent channel power ratio, ACPR*) після попереднього спотворення. LDMOS також підходить для широкосмугових високоефективних підсилювачів Доерті, як показано на прикладі 50-В LDMOS DPA. Нарешті, був представлений LDMOS-підсилювач для метеорологічного радара S-діапазону з коефіцієнтом підсилення 13 дБ і ефективністю понад 50%. Нові ідеї, пов'язані з технологією пристроїв і електромагнетизмом, застосовуються до технології LDMOS, щоб відкрити ще більш досконалі концепції, такі як N-ходові DPA і підсилювачі з перемиканням режимів.

Додаткову інформацію щодо продукції компанії Ампліон 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, info@mastek.com.ua,
alexandr@mastek.com.ua,
www.mastek.com.ua**

Література:

1. A. Wood, C. Dragon, W. Burger. High Performance Silicon LDMOS Technology for 2 GHz RF Power Amplifier Applications. *International Electron Device Meeting IEDM*, 1996, pp. 87–90.
2. H.F.F. Jos. Novel LDMOS Structure for 2 GHz High Power Basestation Application. *European Microwave Conference*, 1998, pp. 739–744.
3. H. Brech, W. Brakensiek, D. Burdeaux, W. Burger, C. Dragon, G. Formicone, B. Pryor, D. Rice. Record efficiency and gain at 2.1 GHz of high power RF transistors for cellular and 3G Base stations. *IEDM tech. Dig.*, 2003.
4. F. van Rijs, S.J.C.H. Theeuwen. Efficiency improvement of LDMOS transistors for base stations: towards the theoretical limit. *International Electron Device Meeting IEDM*, 2006, pp. 205–208.
5. D. Vye, L. Pelletier, S. Theeuwen, D. Aichele, R. Crampton, Ray Pengelly, Brian Battaglia. *The New Power Brokers: High Voltage RF Devices*. Cover story *Microwave Journal* June, 2009, pp. 22–40.
6. K. Werner, S. Theeuwen. RF driven plasma lighting — the next revolution in light sources are powered by solid state RF technology. *Microwave Journal, Technical Feature* December, 2010, pp. 68–74.
7. F. van Rijs. Status and trends of silicon LDMOS base station PA technologies to go beyond 2.5 GHz applications. *Radio Wireless Symposium*, 2008, pp. 69–72.
8. S.J.C.H. Theeuwen, H. Mollee. S-band Radar LDMOS transistors. *Proceedings of the 4th European Microwave Integrated Circuits Conference, EuMIC04-1*, 2009, pp. 53–56.
9. J. Gajadharsing. Recent advances in Doherty amplifiers for wireless infrastructure. *IEEE MTT-S International Microwave Symposium Workshop WSC*, 2009.
10. S.J.C.H. Theeuwen, W.J.A.M. Sneijers, J.G.E. Klappe, J.A.M. de Boet. High Voltage RF LDMOS Technology for Broadcast Applications. *Proceedings of the 3rd European Microwave Integrated Circuits Conference, EuMIC02-2*, 2008, pp. 24–27.
11. P. Piel, W. Burger, D. Burdeaux, W. Brakensiek. 50VRFLDMOS: An ideal RF Power Technology for ISM, Broadcast, and Radar Applications. *Freescal White Paper*.
12. S.J.C.H. Theeuwen, J.A.M. de Boet, V.J. Bloem, W.J.A.M. Sneijers. LDMOS ruggedness reliability. *Microw. J.*, vol. 5, pp. 96–104, Apr. 2009.
13. D. C. Burdeaux and W. R. Burger. Intrinsic reliability of RF power LDMOS FETs. in *IRPS11*, 2011, pp. 435–443.
14. S. C. Cripps. *A RF Power Amplifier for Wireless Communications*, 2nd ed. Boston, MA: Artech House, 2006, ch. 2.
15. W. H. Doherty. A new high efficiency amplifier for modulated waves. *Proc. IRE*, vol. 25, no. 9, pp. 1163–1182, Sep. 1936.
16. W. C. Neo, J. H. Qureshi, M. J. Pelk, J. R. Gajadharsing, L. C. N. deVreede. A mixed-signal approach towards linear and efficient N-way Doherty. *IEEE Trans. Microw. Theory Tech.*, vol. 55, no. 5, pp. 866–879, May 2007.
17. D. M. Pozar, *Microwave Engineering*, 3rd ed. New York: Wiley, 2005.
18. J. Gajadharsing. Recent advanced in Doherty amplifiers. Presented at the *IEEE MTT-S Int. Microw. Symp. Workshop*, 2011, WS134.
19. 24/7 RF. NXP, Reference Book for High performance RF Products, May 2016. [Online]. Available: www.ampleon.com/24-7rf.
20. FSL Q2 2010 product and technology updates. *Freescal Semiconductor*, Austin, TX, 2011.

ЕЛЕКТРОННІ КОМПОНЕНТИ

від провідних виробників світу,
зі складу та під замовлення

Гнучкі ціни



ТОВ "АДС ТІМ"

Україна, 03680, м. Київ
пров. Ю. Матушняка, буд. 3
+38 (044) 361-46-78, 206-22-52
+38 (067) 249-77-58, (050) 464-22-52
zapros@adcgr.com www.adcgr.com

ТОВ Аіронікс КОМПОНЕНТС

тел.: +38 044 384-17-55
+38 044 501-07-29
+38 044 501-80-09
info.aironics@gmail.com

- електронні компоненти
- друковані плати
- виготовлення дослідних зразків приладів
- контрактне виробництво
- перетворювачі частоти до 11 кВт (Україна) до 220 кВт (Китай)

м. Київ, вул. О. Довженка, 3
www.aironics.com.ua
www.aironics.prom.ua

ТОВ «АЙПІ-КОМ»

Гуртове постачання електронних компонентів, плівкових клавіатур, світлодіодної комунікаційної продукції, роз'ємів тощо

моб.: 098-980-48-38

ill1982
ill82@ukr.net
ip-com.net.uaAltway Electronics, Inc
5970 Unity Drive Suite E,
Norcross, GA 30071, USA
www.altwaygroup.comОПЕРАТИВНІ ПОСТАВКИ
ЕЛЕКТРОННИХ КОМПОНЕНТІВТел. 044-3-922-911
E-mail: sales.int@altwaygroup.com

ТОВ «НВП АСТЕРА»
директор **ТЕРЕЙКОВСЬКИЙ Артем Семенович**
Феритові осердя, аксесуари, індуктивні елементи

61072, Україна, Харків, вул. Тобольська 42 оф. 222
тел.: 057-757-2859, факс: 057-728-1808
050-323-3763, 067-575-4440, 068-616-7777
http://www.ferrite.com.ua E-mail: ferrite@ukr.net

- Електронні компоненти
- Світлодіодне освітлення
- Друковані плати
- Контрактне виробництво

bis_electronics @BISelectronic bis@bis-el.kiev.ua | bis-el.com
+38 (044) 490-35-99

ВЕРІКОМ КОМПОНЕНТС

- Виробництво друкованих плат від 1 шт
- Контрактне виробництво
- Власний склад електронних компонентів
- Покриття плат лаком і компаундами
- Відповідаємо вимогам стандарту ISO 9001:2015

Україна, м. Київ
вул. Марії Калніст, 2а, оф. 114
URL: www.verikom.kiev.uaтел./факс: (+380) 44-501-9335
(+380) 67-508-0229
E-mail: sales@temys.kiev.uaДП «Гальванотехніка» ПАТ «Київський завод "Радар"»
ТОВ «НВЦ друкованих плат»

Виготовлення друкованих плат:

- одно-, дво- та багатопарових 3^{го}- 5^{го} класів складності;
- жорсткогнучких друкованих плат, гнучких кабелів;
- друкованих плат на металі (алюміній, мідь).

Швидке виготовлення (від 3-х днів).

Висока якість. Оптиміальне співвідношення ціна/якість.

Послуги по монтажу плат.

03680, м. Київ, вул. Предславинська, 35
тел.: (044) 592-5467, 528-2068, 528-3656http://plata.com.ua
order@plata.com.uaWINTEX (044) 5036112
(067) 2983455
Професійний ремонт (050) 2665517

- Електронні компоненти
- Модулі та датчики для розробників електроніки
- Модулі для ремонту ТВ, комп'ютерів, планшетів, комп'ютерів
- Роз'єми та конектори
- Розробка елементів альтернативної енергетики
- Ремонт усіх видів електроніки та побутової техніки

03150, Київ, вул. Велика Васильківська, 80

www.wintex.com.ua



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
ТЕРМІНОВЕ ВИРОБНИЦТВО ВІД 1-ГО ДНЯ!
Одно-, дво-, багатшарові друковані плати,
плати на алюмінієвій основі з технологічними
показниками відповідно до вимог
міжнародного стандарту IPC-A-600

Мембранні клавіатури
– мембранні клавіатурні панелі
– лицеві і накладні панелі

www.pcbetal.com

ТОВ «PCB-ЕТАЛ»
28000, Кіровоградська обл.,
м. Олександрія, вул. Заводська, 1

Для замовлення:
Тел.: +38 (050)288-95-73
e-mail: pcb@etal.ua


3 питань ціноутворення:
Тел.: +38 (066)872-60-65
e-mail: sb10@etal.ua

ВЧ- та НВЧ-КОМПЛЕКТУЮЧІ І КОМПОНЕНТИ

мікросхеми • транзистори • коаксіальні фільтри
коаксіальні з'єднувачі • коаксіальні кабелі
матеріал для ВЧ-плат • теплорозподільчі матеріали



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



Інтегральні Комплексні Системи
Контрактне виробництво електроніки

+38 (050) 469-12-07 info@incos.kiev.ua www.incos.kiev.ua
Київ, вул. Бориспільська, 9, корпус 111

Радіодеталі зі складу – 35 000 найменувань!




**Усе для розробки,
ремонту та виробництва
електроніки!**

Від резистора до мікропроцесора, радіомонтажний
інструмент та вимірювальні прилади, підбір аналогів
та консультації.

www.ims.kh.ua тел.: (073) 757 25 22 (23), (098) 028 89 17
e-mail: imskharkov@gmail.com (057) 732 04 50, 732 01 76

Незалежний постачальник
електронних компонентів



• Швидкі терміни поставок (до 7 днів)
• Безкоштовна доставка по Україні
• Більше ніж 6 млн. товарів в каталозі

www.evocom.ua email: 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
E-mail: info@eurocom-c.com

www.eurocom-c.com



м. Київ, вул. Краківська, 13-Б
тел. +38 (044) 330-00-88
sea.com.ua, info@sea.com.ua

Постачання: Електронні компоненти • Джерела живлення • Світлодіодна продукція та автоелектроніка
Індикатори, дисплеї • Обладнання для енергетики • Електротехнічна продукція • Кабельно-проводникова
продукція • Обладнання для промислової автоматизації • Бездротові компоненти • Вимірні прилади
Пакетне обладнання і матеріали для поїзків • Сонячна енергетика

Виробництво: Світлофори та технічні засоби управління дорожнім рухом • Автоматизована система обліку
та контролю енергоресурсів • Паркувальне обладнання і системи • WIM - системи динамічного зважування
транспорту • Світлодіодні екрани та медіафасади SEA • Система керування місським освітленням
Комплексна система диспетчеризації ліфтів • Джерело безперебійного живлення

Послуги: Великоузлове складання обладнання • Прокрутка друкованих плат
Виробництво друкованих плат • Контрактне виробництво електроніки • SMD і DIP монтаж
компонентів • Конструктивні розробки • Прокрутка, монтаж, модернізація, технічне
обслуговування паркувальних комплексів, світлофорних та WIM об'єктів

Харків: kharkiv@sea.com.ua Дніпро: dniipro@sea.com.ua Львів: lviv@sea.com.ua




**Електронні компоненти
провідних світлових виробників
зі складу в Києві та на замовлення**

Інформаційна та технічна підтримка

- 03113, Україна, м. Київ
вул. Шугова 9, офіс 211
- Тел. (044) 495-21-09, 490-91-59
факс: (044) 495-21-10
E-mail: imrad@imrad.kiev.ua
www.imrad.com.ua

K206
Електронні компоненти

Все для виробництва
та ремонту зі складу
та на замовлення

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





ТОВ "КОМПАНІЯ ОЛЬВІЯ"
Корпуса пластиків. Клавіатура плівкова.
Кабельно-провідникова продукція.

[044] 599.7550 [044] 503.3323 KORPUS.KIEV@GMAIL.COM
ICOF: 268-782-777
03113, м. Київ, вул. Дружківська, 12 А korpus.kiev.ua



Altium Designer
Altium Designer — комплексне проектування друкованих плат та радіоелектронних засобів

Itb soft
sales@itbsoft.com.ua
www.itbsoft.com.ua
Партнер Altium в Україні

PCB DESIGN




<http://melsys.com.ua>

- контрактне виробництво електроніки
- монтаж і виготовлення друкованих плат
- виготовлення трафаретів

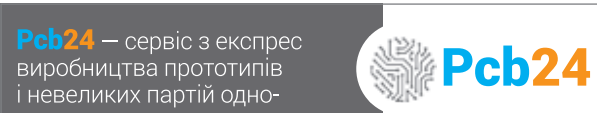
ТОВ "Мелсис"
Київ, вул. Новозабарська, 2/6, оф. 204
info@melsys.com.ua

+38 044 578 18 15
+38 096 926 70 69
+38 063 435 68 10

Партнерство в електроніці



03142, м. Київ, вул. Омеляна Прицака, 4, офіс 101
Тел.: 044 392-93-86, Факс: 044 392-93-87
www.micropribor.com.ua sales@micropribor.com.ua



Pcb24 — сервіс з експрес виробництва прототипів і невеликих партій одна- та двошарових друкованих плат

За 24 години виготовимо Ваше замовлення

Власне виробництво у м. Львів

ТОВ «Крейтив Лоджикс»
www.pcb24.com.ua
pcbprint24@gmail.com
068 614 38 28



КОМПАНІЯ СИ-ТЕХНО
контрактне виробництво

- контрактне виробництво
- друковані плати
- монтаж
- комплектація

<http://spcb.com.ua>
e-mail: info@spcb.com.ua
тел./факс: (044) 369-53-67



м. Київ, пров. Ю. Матушака, 3, оф. 307
тел. +38 (044) 451-60-80 info@mastek.com.ua
моб. +38 (067) 919-51-15 www.mastek.com.ua

Авторизований дистриб'ютор
NXP, AMPLEON, WeEn в Україні

MICRODIS

Microdis Electronics GmbH
Rheinauer Straße 1
68766 Hockenheim
Germany

Дистриб'ютор електронних компонентів

Роман Прокопець
Менеджер з продажу

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

www.microdis.net

www.otlodka.com.ua

- Автоматизований SMD монтаж друкованих плат
- Фрезерування панелей, корпусів та пластику
- 3D-друк

+38 050 447-12-58 +38 098 661-97-97

ФОН САРПЕВ Р.Б.



КОНТРАКТНИЙ ВИРОБНИК ЕЛЕКТРОНІКИ ПІД ЗАМОВЛЕННЯ

PCBA

+38 044 338 97 73
info@pcba.com.ua
pcba.com.ua



Зручний онлайн PCB-калькулятор
мінімальне замовлення - 5 шт.

Постачання:
- друковані плати FR-4;
- алюмінієві друковані плати;
- трафарети для паяльної пасти;
- паяльна паста;
- припій.

Сайт: pcbтut.com
e-mail: pcbтut@pcbтut.com
+38 (067) 674 99 14

вбудовані процесорні плати

COMexpress
Qseven
PC-104
ETX



ПРОКСИС

промислові комп'ютери та системи

www.proxis.ua
+38(044)4675977
+38(044)5995977

RADIODETAILS

- Паяльне обладнання
- Резистори
- Вентилятори
- Світлодіодне обладнання
- Трансформатори
- Акумулятори
- Реле
- Блоки живлення
- Конденсатори
- Мобільні аксесуари

КУПУЙ ВИГІДНО

radiodetails.com.ua

РАДІОМАГ
МЕРЕЖА МАГАЗИНІВ РАДІОДЕТАЛЕЙ

Львів Київ Харків
Одеса Дніпро

www.rcscomponents.kiev.ua
+38(044)299-77-55

sales@radiomag.com.ua

- мікросхеми
- транзистори
- діоди і діодні місткі
- GSM, GPS, GPRS
- паяльне обладнання
- вимірювальне обладнання
- блоки живлення
- роз'єми
- інструмент
- пасивні компоненти
- Батарейки та акумулятори та багато іншого

RAINBOW TECHNOLOGIES

www.rainbow.com.ua

Rainbow Technologies — офіційний дистрибутор і постачальник в Україні:

MICROCHIP, MAXIM, INFINEON, WINBOND, ALTERA, SAMSUNG (LED), LEDIL, VISHAY, ANALOG DEVICES, TEXAS INSTRUMENTS

04112, Україна, м. Київ, вул. Дегтярівська, 62, оф. 46
Тел./факс: +38 (044) 290-41-69, 290-41-82
e-mail: cov@rainbow.com.ua

Rich E.I.
electronic components

ТОВ "РИЧЕЛ"

Поставки електронних компонентів
Асортимент зі складу та технічна підтримка

вул. Семена Скляренка, 9, оф. 401
04073, м. Київ
info@rekkon.kiev.ua
<http://rekkon.kiev.ua>

тел.: +38 (044) 490-92-50
факс: +38 (044) 494-27-08

Промислові та ІТ-шафи, щити, електронні системи, системи контролю мікроклімату, струмозрозподільче обладнання, всепогодні шафи та комплексні рішення для ЦОД, ПЗ EPLAN

Ріттал ТОВ - вул. Київська, 6В, 08132, Вишневе, Київська обл.
Тел.: +380 (44) 536 99 44 - E-mail: office@rittal.com.ua
www.rittal.com.ua



SEA ІННОВАЦІЯ ТА ЕФЕКТИВНІСТЬ

30 років

м. Київ, вул. Краківська, 13-Б
тел.: +38 (044) 330-00-88
sea.com.ua, info@sea.com.ua

Постачання: Електронні компоненти • Джерела живлення • Салідована продукція та автоелектроніка Індикатори, дисплеї • Обладнання для енергетики • Електротехнічна продукція • Кабельно-проводникова продукція • Обладнання для промислової автоматизації • Бездротові компоненти Вимірні прилади Паяльне обладнання і матеріали для пайки • Санітарна енергетика

Виробництво: Салідоформи та технічні засоби управління дорожнім рухом • Автоматизована система обліку та контролю енергосистем • Паркувальне обладнання і системи • WIM - системи динамічного заважування транспорту • Світлодіодні екрани та медіафасди SEA • Система керування міським освітленням Комплексна система диспетчеризації ліфтів • Джерело безперебійного живлення

Послуги: Великоузлове складання обладнання • Просування друкованих плат Виробництво друкованих плат • Контрактне виробництво електроніки • SMD і DIP монтаж компонентів • Комерційні розробки • Просування, монтаж, модернізація, технічне обслуговування паркувальних комплексів, світлофорних та WIM об'єктів

Харків: kha@sea.com.ua Дніпро: dni@sea.com.ua Львів: lviv@sea.com.ua

Semisvit
Create with us

ТОВ "СЕМІСВІТ"
вул. Б. Хмельницького, 16-22, оф. 504-Г
01601, м. Київ, Україна
тел./факс: +380 44 586-2580
www.semisvit.com.ua
Info@semisvit.com.ua

Електронні компоненти
зі всього світу.

Створюйте з нами!

ЕЛЕКТРОННІ КОМПОНЕНТИ
ТА
КОНТРАКТНЕ ВИРОБНИЦТВО

SMD UKRAINE

03057, м. Київ, вул. Желязова, 2-А,
корп. 7, кім. 303

тел.: (044) 223-12-42
(073) 705-70-05
(096) 705-70-05

info@smdua.in.ua www.smdua.in.ua

SOFTPROM
VALUE ADDED IT DISTRIBUTOR

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

TOB "Софтпром Солосимен"




НВП ТЕХНОСЕРВІСПРИВІД
ВСЕ ДЛЯ СИЛОВОЇ ЕЛЕКТРОНИКИ ТА ЕЛЕКТРОТЕХНІКИ

Діоди та містки, діодні, тиристорні, IGBT модулі, силові напівпровідники (SEMİKRON), конденсатори косинусні, імпульсні, моторні (ELECTRONICON)

Продаж, ремонт перетворювачів частоти, пристроїв плавного пуску (DANFOSS)

Для пошти: 04211, Київ-211, а/с 141
Тел./факс: (044) 458-47-66, 456-19-57
E-mail: tsdrive@ukr.net, Web: www.tsdrive.com.ua



Електронні компоненти Рознімачі З'єднувачі

ТЕХПРОГРЕСС
www.tpss.com.ua

ТОВ «КП «Техпрогрес»
04070, м. Київ,
вул. Ігорівська, 8/10-А, оф. 38

(044) 461-91-00



TMS PROJECT

Контрактне виробництво
Сертифіковано ISO9001
Постачання електронних компонентів

Україна, Київ
вул. Марії Капніст, 2а, оф. 114
тел./факс: (044) 501-9335
URL: www.tmsproject.com.ua
E-mail: sales@temys.kiev.ua



ELFA DISTRELEC
ПОСТАВКИ ЕЛЕКТРОННИХ КОМПОНЕНТІВ
ЗІ СКЛАДУ У ЄВРОПІ.

ТОК ЕЛЕКТРОНІКС
ОСІДНЬОЇ ДИСТРИБ'ЮТОР В УКРАЇНІ

04080, м. Київ
вул. Вікентія Хвойки, 18/14
склад: 10/8

www.distrelec.biz
e-mail: ulai@tok-el.com
oksanaj@tok-el.com

Tel. +38 066 781 56 11
+38 093 896 40 88



Trafaret

Полімерні трафарети для SMD монтажу

www.trafaret.net.ua
e-mail: order@trafaret.net.ua
тел. 063-851-12-76, 098-871-58-76



PHOENIX CONTACT

phoenixcontact.com




ФІЛУР ЕЛЕКТРИК

Електронні компоненти
Технологічне обладнання, інструменти, матеріали
Комплектуючі для HI-FI та HI-End

вул. Гетьмана Павла Полуботка, 22/14
м. Київ, Україна, 02100
www.flur.net

+38 (068) 496 75 75
+38 (044) 495 75 75
office@flur.net



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

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

KEYSIGHT TECHNOLOGIES
Авторизований дистриб'ютор



ЮСТАС

Електронні компоненти провідних світових виробників:
конденсатори всіх типів, транзистори, тиристорні,
мікросхеми, діоди, діодні мости, кварци,
індикаторна продукція всіх типів, вентилятори,
механічні елементи, кабельна продукція

Магазин "Електронних компонентів"
79018, м. Львів, вул. Героїв УПА, 40,
т/ф (032) 237-31-82, (032) 238-94-41
поведілок - субота з 10.00 до 18.00

http://justas-electronics.com.ua
+38 (093) 020-40-51



XXII МІЖНАРОДНИЙ ПРОМИСЛОВИЙ ФОРУМ-2024

МІЖНАРОДНІ СПЕЦІАЛІЗОВАНІ ВИСТАВКИ



МЕТАЛООБРОБКА



УКРЗВАРЮВАННЯ



УКРВТОРТЕХ



АВТОМАТИЗАЦІЯ
І РОБОТОТЕХНІКА



БЕЗПЕКА
ВИРОБНИЦТВА



ГІДРАВЛІКА
ПНЕВМАТИКА



ПІДШИПНИКИ



УКРЛИТВО



ЗРАЗКИ, СТАНДАРТИ
ЕТАЛОНИ, ПРИЛАДИ



ПІДЙОМНО-ТРАНСПОРТНЕ
СКЛАДСЬКЕ ОБЛАДНАННЯ

 ufi
Approved
Event



Генеральний
інформаційний партнер:

**ОБОРУДОВАНИЕ
И ИНСТРУМЕНТ**
для промышленности

28-30 травня



МІЖНАРОДНИЙ
ВИСТАВКОВИЙ ЦЕНТР
м. Київ, Броварський пр-т, 15
станція метро «Лівобережна»

+38 (095) 268-05-85, (096) 505-52-66

lilia@iec-expo.com.ua,

plast@iec-expo.com.ua

www.iec-expo.com.ua



Київ Травень 28-30
Україна 2024



Виставка систем охорони та безпеки

Expert Security

БЕЗПЕКА ЗОВСІМ ПОРЯД



МІЖНАРОДНИЙ
ВИСТАВКОВИЙ ЦЕНТР

м. Київ, Броварський пр-т, 15
станція метро «Лівобережна»

+38 (050) 403-66-91

+38 (050) 770-36-75

expert@iec-expo.com.ua

www.expert-security.com.ua



VII Міжнародна спеціалізована виставка технологій, обладнання та матеріалів для аддитивного виробництва та 3D друку



Addit EXPO 3D



Актуально
для 3D стоматології

28–30
травня
2024



МІЖНАРОДНИЙ
ВИСТАВКОВИЙ ЦЕНТР
м. Київ, Броварський пр-т, 15
станція метро «Лівобережна»



+38 (095) 268-05-87



plast@iec-expo.com.ua,
helen@iec-expo.com.ua



www.iec-expo.com.ua



ВИСТАВКИ 2024

Назва	Сайт	Організатор	Місто	Дата проведення*
Kyiv Maker Faire	https://kyiv.makerfaire.com/	ГО «Мейкер Хаб»	Київ	02.03.2024
GreenExpo	www.greenexpo.com.ua	Євроіндекс	Київ	23.05–24.05.2024
Міжнародний промисловий форум	www.iec-expo.com.ua/pf-2024.html	МВЦ	Київ	28.05–30.05.2024
Addit EXPO 3D	www.iec-expo.com.ua/addit-2024.html	МВЦ	Київ	28.05–30.05.2024
Expert Security	https://expert-security.com.ua/	МВЦ	Київ	28.05–30.05.2024
ELECTRO INSTALL	www.iec-expo.com.ua/ei-2024.html	МВЦ	Київ	15.10–17.10.2024
E-Comps+DigiTec	www.iec-expo.com.ua/ecom-2024.html	МВЦ	Київ	15.10–17.10.2024
EcoEnergy Expo	www.iec-expo.com.ua/ee-2024.html	МВЦ	Київ	15.10–17.10.2024
Енергетика в промисловості	www.iec-expo.com.ua/ep-2024.html	МВЦ	Київ	15.10–17.10.2024

* Інформація отримана від організаторів виставок. Можливі зміни в залежності від ситуації.

РОЗМІРИ РЕКЛАМНИХ БЛОКІВ

1 сторінка (200×270 мм)*
 2/3 сторінки (112×240 мм)
 1/2 сторінки (170×120/83.5×240 мм)
 1/3 сторінки (54×240/112×120/170×80 мм)
 1/4 сторінки (112×100 мм)
 1/6 сторінки (54×120/112×60/127×55 мм)
 «Візитка» (80×40 мм)

* Для усунення неточностей при обрізанні, розмір реклами, яка подається, повинен бути 210×280 мм (дообрізний формат з урахуванням «вильотів» по 5 мм з кожного боку, які краще заповнити основним фоном реклами). Значимі символи (текст, логотип та інші елементи оформлення, які гарантовано не повинні потрапити під обрізку) не повинні підходити до краю сторінки менш ніж на 10 мм (післяобрізний формат сторінки 200×270 мм).

Редакція журналу «CHIP NEWS» приймає до розміщення тільки повнокольорові рекламні блоки, розміри яких повинні в точності відповідати розмірам, наведеним у таблиці.

Текст реклами повинен бути виключно українською мовою.

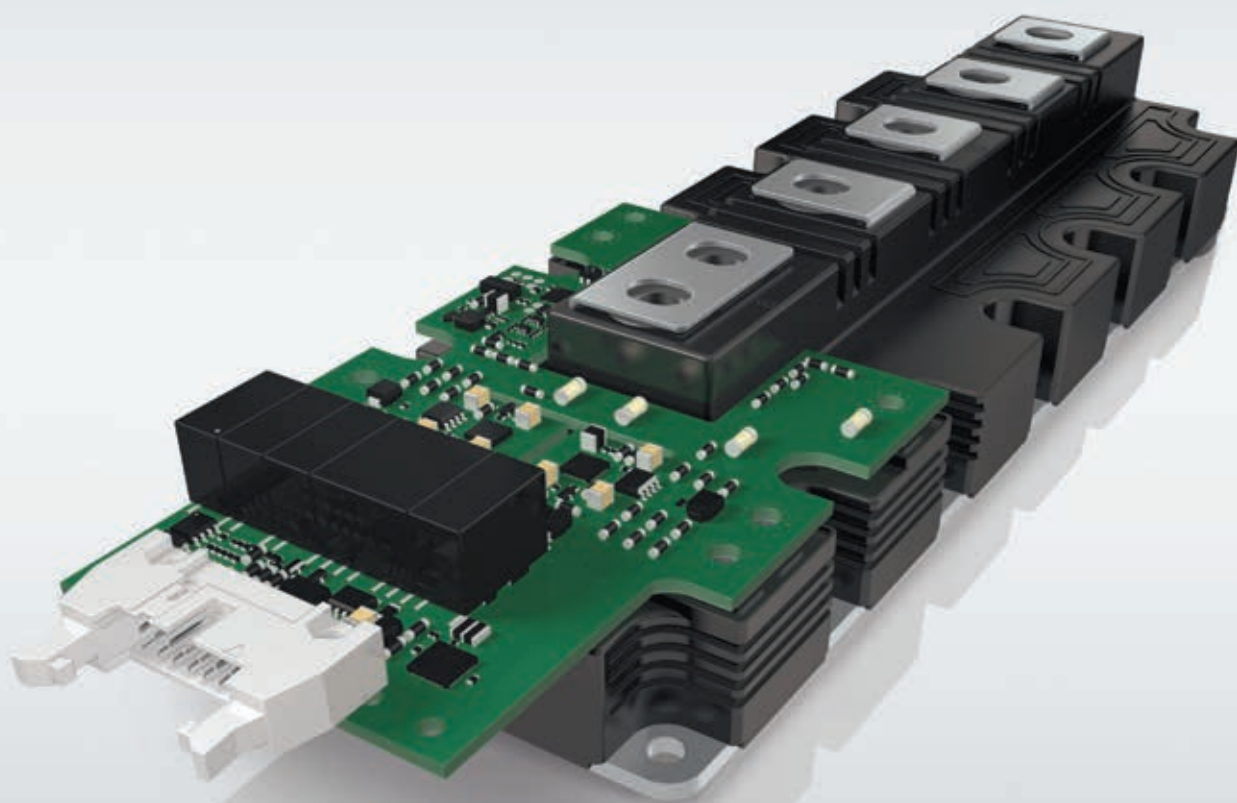
ВИМОГИ ДО РЕКЛАМНИХ І АВТОРСЬКИХ МАТЕРІАЛІВ

Рекламні матеріали приймаються **тільки українською мовою в форматах «.eps» або «.tif» (300 dpi)**. Кольорова модель — **СМΥК**. Сумарний процент фарб — не більше 300%. Якщо в форматі «.eps» є впроваджені растрові зображення, вони також повинні мати роздільну здатність 300 dpi і кольорову модель СМΥК. **Всі шрифти обов'язково повинні бути переведені в криві.**

Авторські матеріали. Текст статті приймається в форматі «.doc» (Microsoft Word). Всі рисунки повинні бути підготовлені **тільки в форматах «.eps»**, фотографії — в форматі **«.tif» (300 dpi)**, кольорова модель — **СМΥК** і надані окремими файлами. Кожен рисунок повинен мати підписуночний підпис і посилання на нього в статті. Якщо в статті є таблиці, то кожна таблиця повинна мати назву, посилання на неї в статті і надаватись в форматах «*.doc» або «*.xls».



Нове покоління модулів SEMITRANS 10
і цифрових драйверів SKYPER PRIME



Діапазон потужностей 500 кВт–1,5 МВт

Модулі IGBT в стандартному промисловому корпусі

Висока стійкість до термоцикування

Цифровий драйвер із наднизьким рівнем джиттеру та вихідним струмом 50 А

Два ізольованих канали передачі сигналів сенсорів з ШІМ-модуляцією

Волоконно-оптичний інтерфейс (опціонально)



Моторні
приводи



Альтернативні
джерела енергії



Перетворювачі
потужності



Електротранспорт



www.semikron-danfoss.com



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

Авторизований дистриб'ютор
WeEn в Україні

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

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