

CHIP NEWS

***ТРИМАЙМО
СТРІЙ!***

- Професійні інструменти ... стор. 12
- ADI Precision Studio від AD ... стор. 16
- Блоки FSP для телекому ... стор. 32
- Універсальні імпульсні БЖ ... стор. 37
- Сьоме покоління IGBT ... стор. 45
- Бездротові мікроконтролери ... стор. 52



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



**ПОЄДНУЄМО ВАШІ ІДЕЇ
З НОВІТНІМИ ТЕХНОЛОГІЯМИ**

№ 02 (212), 2022 р.

Науково-технічний журнал
Видається з 2001 р.
ТОВ «Булавів-Посад л.т.д.»Зареєстрований
Міністерством юстиції України.
Свідоцтво про державну реєстрацію
друкованого засобу масової
інформації
Серія КВ № 25055-14995Р
14.12.2021 р.**Головний редактор:**Сірич О. В.
E-mail: editor@chipnews.com.ua**Редакційна колегія:**Войналович М. Ю., Крючатов С. Д.,
Макаренко В. В., Мисак Т. В.,
Олещенко Н. І., Рентюк В. К.,
Стецюк Л. В., Чорний В. М.,
Шаріпова Т. В., Шевченко В. Л.**Розповсюдження, передплата**Руднева О. Ю.
E-mail: peredplata@chipnews.com.ua**Адреса редакції:**03061, Київ,
просп. Відродний, 10
тел./факс: (044) 490-74-99,
(044) 490-74-30
E-mail: info@chipnews.com.ua
http://www.chipnews.com.ua**Друк:**ТОВ «Типографія «Літера»»
тел./факс: (044) 502-68-08

Тираж — 1500 прим.

Передплатний індекс за каталогом
ДП «Преса» (Укрпошта) — 21934Передплата і доставка по Україні
за каталогами провідних
передплатних агенцій

© «CHIP NEWS».

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

ЗМІСТ

НОВИНИ

Новини світу електронних компонентів 4

CHIP CLUB

Вадим Чорний

Розбиті шибки чи вікно можливостей? 10

ДИСТРИБ'ЮЦІЯ

Огляд професійних інструментів KNIPEX.

Плоскогубці, кусачки (кліщі), інструменти

для зачистки дроту тощо 12

НА ДОПОМОГУ РОЗРОБНИКУ

Володимир Макаренко

ADI Precision Studio від компанії Analog Devices.

Частина 5 16

Тодд Філліпс (Todd Phillips)

Захист портів PoE/PoE+ 22

МЕДИЧНА ТЕХНІКА

SOM-6883 в медичному обладнанні 26

АЦП І ЦАП

Іман Чалабі (Iman Chalabi)

Вбудований АЦП чи окрема мікросхема? 28

ДЖЕРЕЛА ЖИВЛЕННЯ

Іван Гончаров, Олександр Леонов

Блоки FSP для телекомунікацій 32

Стів Робертс (Steve Roberts)

Доповнення: Володимир Рентюк

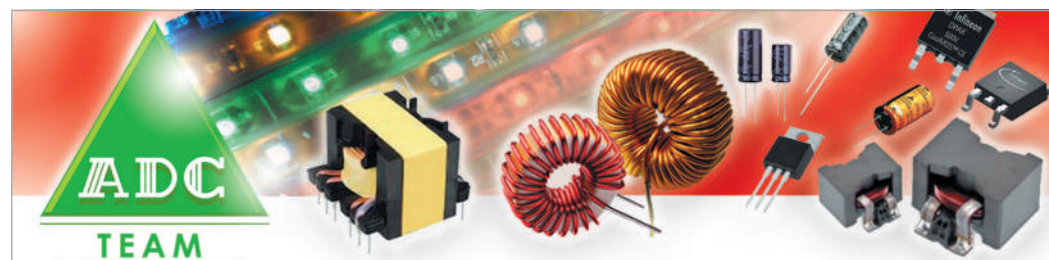
Пікова та середня потужність: як вибрати

джерело живлення правильно 34

Володимир Рентюк

Імпульсні блоки живлення універсального застосування

серій LM/LMF та LI/LIF компанії MORNSUN 37



КОМПЛЕКСНІ РІШЕННЯ ПО МОТОЧНИМ ВИРОБАМ

power
integrationsST
site augmented

infineon

ДЛЯ КОНТРОЛЕРІВ

S
SILERGYzapros@adcgr.com
www.adcgr.com
www.adc-team.comТОВ "АДС ТІМ"
Україна, 03124, м. Київ, пров. Радишева, буд. 3
+38 (044) 361-46-78, 206-22-52, (067) 249-77-58, (050) 464-22-52

Філ Девіс (Phil Davies)

Підвищення ефективності перетворення шляхом зміни схеми розподілу електроживлення 42

СИЛОВА ЕЛЕКТРОНІКА

Йохім Ламп (Joachim Lamp)

Переклад та коментарі: Андрій Колпаков

Адаптований переклад українською: редакція журналу «CHIP NEWS»

Технічний консультант: Тарас Мисак

Сьоме покоління IGBT у трирівневих перетворювачах 45

МІКРОКОНТРОЛЕРИ

Георгій Воронцов

Бездотові мікроконтролери. 52

ПЛІС

Ілля Тарасов

Огляд та перспективи застосування ПЛІС

Xilinx Versal AI Edge 58

ІНТЕРНЕТ РЕЧЕЙ

Ефективне вирішення питань забезпечення безпеки

у вбудованих системах Інтернету речей 63

ДРУКОВАНІ ПЛАТИ

Ілля Лейтес

Особливості виробництва високочастотних друкованих плат 68

ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНІ КОМПОНЕНТИ

З'єднувачі серії Freedom компанії Fischer Connectors

для портативної електронної апаратури 73

Крістіан Рем, Крістіан Дандл,

Бернхард Цехентнер, Райнхард Вагнер,

Адаптований переклад українською

та технічне редагування: Микола Першин

Дослідження експлуатаційних параметрів

та характеристик покриттів

для радіочастотних з'єднувачів 76

ЕЛЕКТРОМАГНІТНА СУМІСНІСТЬ

Володимир Рентюк

Додаткові конструктивні елементи

допомагають вирішувати проблеми ЕМС 83

ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЇ

Шахар Фельдман (Shahar Feldman)

Переклад: Володимир Рентюк

У чому різниця між Wi-Fi HaLow та традиційним Wi-Fi. 90

ІЗОЛЯТОРИ

Олександр Зейніков

Створення безпечних та надійних електричних систем

із оптичними ізоляторами. 94

ВІЗИТКИ 98

ІНФОРМАЦІЙНА СТОРІНКА. 104



ВИСОКОТЕХНОЛОГІЧНІ КОМПОНЕНТИ ДЛЯ ВАШИХ ІННОВАЦІЙ

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

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

Wilhelm Fleischhauer
Country Manager

Михайло Єлізаров
представник в Україні

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

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

Новини світу електронних компонентів

МІКРОКОНТРОЛЕРИ PIC і AVR

Смартфони, автономні транспортні засоби та бездротовий зв'язок 5G домінуватимуть у сфері вбудованих систем у 2022 році, забезпечуючи сприятливу ринкову кон'юнктуру для сімейств 8-розрядних мікроконтролерів PIC та AVR компанії **Microchip**. Протягом останніх 50 років ринок 8-розрядних мікроконтролерів неухильно зростає, і в даний час Microchip щорічно продає один пристрій на кожну людину в західній півкулі. Підтримуючи цю тенденцію, Microchip Technology оголосила про випуск п'яти нових сімейств продуктів і більше 60 нових окремих пристроїв, що надають розробникам вбудованих систем прості рішення їхніх найбільш поширених проблем.

Розробники, що створюють інноваційні проекти, звертаються до нових сімейств мікроконтролерів PIC та AVR від Microchip завдяки їхній обчислювальній потужності, здатності легко взаємодіяти з іншими мікросхемами та наявності аналогової периферії, які можуть гнучко конфігуруватися без необхідності внесення змін до друкованої плати. Функції, характерні для спеціалізованих мікросхем, поєднуються у цих пристроях з простою процесу розробки, що розширює можливості традиційних мікроконтролерів та дозволяє конфігурувати їх як інтелектуальні периферійні мікросхеми. Інтелектуальні периферійні пристрої, такі як програмно-керований операційний підсилювач сімейства PIC16F171, багатовольне введення/виведення (MVIO) і аналого-цифровий перетворювач з обчислювальним модулем (ADCC), підвищують ефективність додатків, в яких інакше не могли б використовуватися традиційні мікроконтролери.

Проблема охоплення кількох напруг є поширеною ситуацією в системах, що складаються з мікросхем, що використовують різну напругу живлення (наприклад, підключення 5-вольтового мікроконтролера до датчика, що живиться від 1.8 В). Для систем такого типу зазвичай потрібні схеми

зсуву рівня, що збільшує витрати. Багатовольтна периферія MVIO, що використовується в нових 8-розрядних мікроконтролерах Microchip, включаючи сімейство AVR DD, дозволяє одному порту мікроконтролера працювати з напругою, відмінною від інших портів мікроконтролера, що усуває необхідність у додаткових зовнішніх компонентах.

Деяким системам потрібні такі рівні швидкості та часу відгуку, яких важко досягти за допомогою програмної обробки. Незалежна від ядра периферія (Core Independent Peripherals, CIP), наявна в продуктових лінійках PIC та AVR компанії Microchip, може бути запрограмована за допомогою плагіна конфігуратора коду (Code Configurator, MCC) інтегрованого середовища MPLAB, щоб легко утворити апаратний ланцюжок обробки сигналу. Це дозволяє створювати спеціалізовані периферійні пристрої, що скорочують витрати програмних ресурсів. Наприклад, матричне адресованих світлодіодів WS2812, для правильного управління якої потрібні унікальні параметри синхронізації, можна легко керувати, налаштувавши периферійні пристрої, що складаються з широтно-імпульсного модулятора (ШИМ), інтерфейсу SPI і конфігурованих логічних осередків (CLC).

Оскільки ринок 8-розрядних мікроконтролерів PIC та AVR продовжує зростати, Microchip відповідає на довгострокові потреби своїх клієнтів, незмінно дотримуючись міцних основ у формуванні свого портфеля продуктів та структурі технічної підтримки. Мікроконтролери PIC та AVR найімовірно прості у використанні, а екосистема їхньої підтримки дозволяє клієнтам Microchip прискорити отримання прибутку. Сімейства 8-бітних мікроконтролерів сумісні за висновками, що дозволяє вибирати альтернативний мікроконтролер PIC або AVR, коли потрібні кращі характеристики або коли замовник хоче максимально збільшити доступність продукту за мінімальних вимог до модернізації.

Microchip надає повну екосистему інструментів для розробки апаратних та програмних засобів, включаючи інтегровані

середовища розробки MPLAB X та MPLAB Xpress та конфігуратор кодів MPLAB Code Configurator (MCC), які пропонують інтуїтивно зрозумілий графічний інтерфейс для створення готового до виробництва пристрою та коду програми проєктів на основі мікроконтролерів.

Усі п'ять сімейств продуктів випускаються дослідними партіями чи серійно. Для придбання мікросхем слід звернутися до торгового представника Microchip, авторизованого дистриб'ютора будь-якої країни світу або на веб-сайт відділу закупівель та обслуговування клієнтів Microchip.

www.microchip.com

МАЛОПОТУЖНИЙ ПРЕЦИЗІЙНИЙ ОПЕРАЦІЙНИЙ ПІДСИЛЮВАЧ

У зв'язку з нещодавнім придбанням Maxim Integrated лінійка продукції **Analog Devices** поповнилася унікальними мікросхемами, призначеними для застосування в приладах з батареями живлення і з рекордно низькими показниками з енергоспоживання, при цьому зберігаючи продуктивність на високому рівні. Яскравим прикладом таких пристроїв може бути операційний підсилювач MAX40108 з найнижчою в галузі напругою живлення 0.9 В і призначений для застосування в електрохімічних датчиках та інших портативних пристроях. Операційний підсилювач MAX40108 має діапазон робочої напруги від 0.9 до 3.6 В і може бути підключений безпосередньо до елементарної батареї напругою 1.5 В, при цьому забезпечуючи загальну економію споживання електроенергії до 40% в порівнянні з класичною схемою на основі попереднього перетворювача. Чудова точність вимірювань підсилювача MAX40108 досягається за рахунок низької вхідної напруги зміщення 1 мкВ, мінімального дрейфу зміщення 25 нВ/°C та низького вхідного струму зміщення менше <55 пА. Мініатюрний 6-вивідний корпус WLP розміром 1.22 × 0.92 мм

дозволяє створювати компактні пристрої.

www.analog.com

НОВА ПАЯЛЬНА СТАНЦІЯ

Компанія **Kurtz Ers** презентувала паяльну станцію Ers i-CON TRACE — першу в світі паяльну станцію з підключенням до мережі. Завдяки вбудованим інтерфейсам WLAN, Bluetooth і мережеві карті, станція може бути повністю інтегрована навіть у технологічні процеси, контрольовані MES-системою управління виробництвом (Manufacturing Execution System), що робить весь процес ручної пайки простежуваним і документованим.

i-CON TRACE — перша на ринку паяльна станція, спеціально розроблена та призначена для використання в цифровому мережевому оточенні для повного оперативного контролю (простежуваність) за ручною пайкою. З вбудованими інтерфейсами WLAN, Bluetooth і розширюваною мережевою картою, станція володіє вражаючими можливостями щодо інтеграції в мережу. Робоче програмне забезпечення Ers TRACE СОСРПІТ доступне для безкоштовного завантаження з сайту виробника і встановлюється один раз, централізовано, на сервері клієнта. Після інтеграції паяльної станції в корпоративну мережу всі мобільні пристрої в цій мережі можуть отримати до неї доступ і взаємодіяти через веб-браузер. Цю систему можна масштабувати до необхідної замовнику кількості станцій у виробничому ланцюжку. Ще одна суттєва перевага дана підходу — концепція зв'язку через сервер істотно спрощує управління окремими станціями по мережі: централізовано, з одного комп'ютера, можна оновлювати мікропрограми та інтервали калібрування, виконувати багато інших завдань і здійснювати моніторинг.

Уже сьогодні зрозуміло, що повне документування даних технологічних процесів — ключова особливість майбутнього електротехнічного виробництва. Станції i-CON TRACE закрива-

ють останній недолік, пов'язаний з ручною пайкою, і можуть бути повністю інтегровані в технологічні процеси, що ведуться під контролем MES-системи. Наприклад, запис всього завдання на пайку може бути завантажений у файл бажаного формату і збережений в системі управління більш високого рівня. Компанія Kurtz Ersa працює над тим, щоб клієнтам незалежно була доступна опція обміну даними в режимі реального часу між паяльною станцією i-CON TRACE і MES-системою клієнта.

Певні завдання на пайку можуть назначитися централізовано кожній паяльній станції — через MES-систему, персональний комп'ютер або мобільний пристрій. Всі необхідні параметри, такі як паяльне жало, що використовується, температура, тип припою та флюса, задаються централізовано кваліфікованим персоналом. Це значно підвищує надійність: кожен компонент паяється окремо, відповідно до своєї заданої специфікації. Оператор повністю концентрується тільки на процесі пайки, і ймовірність допустити помилку суттєво знижується.

Концепція роботи з паяльною станцією, у якій є тільки вимикач і три світлодіоди, істотно відрізняється від експлуатації всіх її промислових аналогів з їх складними інтерфейсами, опціями налаштування та дисплеями. Робота персоналу значно спрощується. Компонент, тип жала, припій і флюс реєструються за допомогою ручного сканера. Таким чином, система вже «знає», коли всі вимоги для виконання заданого завдання виконані.

Світлодіодний інтерфейс буквально включає оператора зелене світло після нагрівання паяльного жала до заданої температури. Ефективна міра, яка гарантує, що пайка кожного з'єднання відбувається з застосуванням правильного матеріалу, при правильній температурі. Система виявляє будь-які помилки (наприклад, несправний нагрівальний елемент чи некоректне для даного компонента паяльне жало) і повідомляє про них оператору. Якщо всі параметри коректні, запускається процес пайки. Під час пайки станція i-CON TRACE записує всі дані процесу. Це означає, що кожен процес пайки точно документується і може бути простежений і проконтрольований.

Під різні завдання Ersa пропонує паяльні жала різноманітних

форм і розмірів, включаючи спеціально спроектовані під особливі завдання клієнтів. Tip'n'Turn — запатентована концепція об'єднання нагрівального елемента і паяльного жала, яка дозволяє замінити жало за рекордно короткий час. Кожне жало оснащено байонетним замком, який разом з багатофункціональною підставкою дозволяє змінити його безпечно і надзвичайно швидко. Потрібно просто помістити паяльник в один з передбачених отворів і повернути його приблизно на 10° — і ви зможете зняти старе жало і встановити необхідне нове. Це можна зробити вручну без тримача, навіть у нагрітій стані.

Завдяки додатку для смартфонів і планшетів станцію i-CON TRACE можна використовувати навіть без підключення до корпоративної мережі, як традиційну автономну паяльну станцію. Програма для керування паяльною станцією запускається на мобільному пристрої. Важлива інформація, наприклад встановлена і фактична температура, передається на пристрій через Bluetooth або WLAN і виводиться на екран, де ці параметри можна змінити.

www.kurtzsa.de

DC/DC-ПЕРЕТВОРЮВАЧІ З ШИРОКИМ ВХОДОМ

Компанія **MORNSUN** розробила широку лінійку DC/DC-перетворювачів для застосування у залізничному транспорті. Перетворювачі сімейств URA1D/R3, URB1D/R3 та URF1D/R3 у загальному діапазоні потужності 6...250 Вт відносяться до останнього — третього покоління, відповідають вимогам стандарту EN50155, мають ширину входу 4:1 (40/43...160 В) та міцність ізоляції «вхід-вихід» 2250 В DC. Дані перетворювачі випускаються у різних корпусах від 1" x 1" до Half Brick. Є моделі як з однополярним виходом, так і з біполярним. У DC/DC-перетворювачах реалізовані всі види захистів, включаючи захист від зниженої вхідної напруги, є підстроювання вихідної напруги (TRIM) та можливість вибору моделі з функцією дистанційного вмикання-вимкнення (CTRL). Продукція призначена для використання в різному електронному обладнанні залізничного транспорту з напругою 72...110 В (ном.).

www.mornsun-power.com

OMRON



Індуктивні датчики E2E Next від Omron - прості в установці і безпечні



Electronic Components

TRANSFER MULTISORT ELEKTRONIK

ДИСТРИБ'ЮТОР ЕЛЕКТРОННИХ КОМПОНЕНТІВ

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

tme.eu

facebook.com/TME.eu
instagram.com/tme.eu
youtube.com/TMElectroniComponent

УНІВЕРСАЛЬНИЙ СТАБІЛІЗАТОР

Компанія **Mornsun** розробила універсальний знижувально-підвищуючий неізолюваний стабілізатор (DC/DC-перетворювач) з вихідним струмом до 10 А — KUB4836EB-10A. Цей стабілізатор можна використовувати при вхідній напрузі в діапазоні 9...60 В (ширин живлення з номінальним значенням напруги 12/24/48 В), а вихідну напругу можна підлаштовувати в діапазоні від 0 до 60 В. Перетворювач виконаний у корпусі 1/8 Brick з можливістю встановлення на друкованій платі, є варіант для монтажу на шасі — KUB4836EBF-10A. Стабілізатор характеризується високим ККД — до 95%; у ньому реалізовано захист від зниженої вхідної напруги, від КЗ виходу та від перегріву; робочий температурний діапазон -40 ... 105 °С. Захист від КЗ має режим обмеження вихідного струму із самовідновленням. Виріб підходить для живлення силових каскадів у схемах з розподіленим живленням, а також для електропостачання потужних вузлів та пристроїв у робототехніці, пристроях заряду-розряду акумуляторів, в системах зв'язку.

www.mornsun-power.com

КОМПАКТНІ АС/DC-МОДУЛІ

Компанія **RECOM** повідомила про випуск серії АС/DC-модулів RAC10E-K/277 потужністю 10 Вт для встановлення на плату в компактному корпусі 1.8 x 1 дюйм (45.7 x 25.4 мм). Модулі представляють бюджетну серію та доступні з одиночним повноцінно стабілізованим виходом 3.3; 5; 12; 15 або 24 В, вхідний діапазон напруги закриває номінали 100, 115, 240 і 277 АС (120-430 В DC).

Модулі оптимальні для роботи в жорстких умовах, таких як зарядні пристрої для електромобілів з рейтингом щодо перенапружень OVC III на висотах до 2000 м та широким діапазоном робочих температур -40...+90 °С. Перетворювачі також знайдуть застосування у промисловій автоматизації, аудіо- та відеотехніці та телекомунікаційному обладнанні завдяки сертифікації IEC/EN/UL/CSA 62368-1 та відповідності рейтингу OVC II на висотах до 5000 м. Модуль відповідає класу В за EMC без додаткових компонентів, а також відповідає

директиві ErP, споживаючи менше 10 мВт без навантаження.

ККД RAC10E-K/277 досягає значення 84% залежно від варіанта, що дозволяє забезпечити високу питому потужність, роботу на 100% навантаженні при температурі навколишнього середовища до +65 °С при вході 115-277 В АС. Забезпечено повноцінний захист від короткого замикання, перенапруги та перевантаження, а також посилена ізоляція 4 кВ АС/1 хв. Місткість ізоляції та струм витоку залишаються прийнятно малими — максимально 100 пФ та 50 мкА відповідно.

RAC10E-K/277 забезпечує відмінну надійність, а показник MTBF досягає 1.7 млн годин при +25 °С відповідно до стандарту MIL-HDBK-217F. Гарантія на модулі складає 3 роки.

www.recom-power.com

ІНТЕЛЕКТУАЛЬНІ ЗАРЯДНІ ПРИСТРОЇ 1700 ВТ

Невдовзі після запуску серії надійних та інтелектуальних універсальних зарядних пристроїв з ультрашироким діапазоном вихідних напруг NPB-450, NPB-750 та NPB-1200, компанія **MEAN WELL** запускає серійне виробництво нової серії NPB-1700. Це універсальні зарядні пристрої потужністю 1700 Вт, з широким діапазоном напруги, гнучким функціоналом, підвищеною безпекою та довговічністю. Ці зарядні пристрої оснащені вбудованим мікроконтролером та запатентованою технологією визначення діапазону заряду батареї, яка автоматично встановлює режим зарядження залежно від напруги батареї (підходить тільки для літій-іонних акумуляторів з BMS). Залежно від моделі, вихідна напруга NPB-1700 може бути 12 В (10.5 ~ 21 В), 24 В (21 ~ 42 В) та 48 В (42 ~ 80 В). Кожен із зарядних пристроїв можна використовувати з широким асортиментом акумуляторів, тому не потрібно купувати їх декілька через наявність різних акумуляторів. Це не тільки заощадить витрати, але і сприятиме збереженню навколишнього середовища.

На додаток до вищезгаданих функцій, NPB-1700 можуть бути підключенні до комп'ютера через програматор SBP-001 для роботи з такими параметрами, як вибір 2-х або 3-х ступенів зарядки,

регулювання напруги та струму зарядження, встановлення таймауту зарядного пристрою і т.д. Параметри зарядного пристрою також можна налаштувати вручну за допомогою DIP-перемикача на передній панелі для встановлення зарядного струму в діапазоні від 50 до 100% або вибору між чотирма пресетами кривих. NPB-1700 підтримують протокол CANBus, який дозволяє віддалено налаштувати та контролювати зарядний пристрій. З точки зору безпеки, зарядний пристрій визначає, чи правильну напругу має акумулятор та чи належним чином він підключений, перш ніж почати зарядку.

Зарядний пристрій має захист від зворотної полярності підключення. Він сертифікований відповідно стандартам IEC/EN/UL 62368-1 та EN60335-1/2-29. Універсальні інтелектуальні зарядні пристрої NBP-1700 мають трирічну гарантію та будуть чудовим вибором для зарядки електромотоциклів, скутерів, моноколес, роботів, медичних візків, електричних інвалідних візків, пересувних освітлювальних веж, яхт та іншого обладнання з акумуляторним живленням.

www.meanwell.com

РОЗШИРЕННЯ СІМЕЙСТВА LRS СЕРІЯМИ LRS-450 ТА LRS-600

Компанія **MEAN WELL** почала виробництво сімейства LRS ще у 2014 році. Відтоді сімейство LRS (LRS-35 ~ LRS-350) є найбільш продаваним промисловим стандартним блоком живлення в історії. Завдяки автоматизованому виробництву, надвисокій економічній вигідності та відмінній якості продукції, тільки у 2021 році було вироблено і продано більш ніж 23 мільйони одиниць блоків живлення LRS, що робить їх синонімом поняття індустріального джерела живлення в корпусі/кожусі. Щоб задовольнити потреби та очікування величезного ринку, MEAN WELL запускає серійне виробництво нових більш потужних серій в сімействі LRS, а саме LRS-450 і LRS-600.

В серіях LRS-450 та LRS-600 тепло виводиться назовні за допомогою вбудованого вентилятора. Така концепція значно покращує стабільність виробу. MEAN WELL подав заявку на патент схематехніки та дизайну корпусу. Вони повністю відповідають

міжнародним нормам безпеки, таким як TUV/UL/CE/BIS і т.д. Щоб покращити перехід на більш потужні серії, новинки мають такі ж габарити та дизайн, що і серії SE-450 та LRS-350. Крім того, в LRS-450 та LRS-600 реалізовано обмеження постійного струму на 3 секунди для захисту від перевантаження і підвищення гнучкості при роботі з індуктивними та емнісними навантаженнями.

www.meanwell.com

СЕРІЯ НАДІЙНИХ DC/AC-ПЕРЕТВОРЮВАЧІВ

Компанія **MEAN WELL** пропонує функціонально закінчені інвертори із правильною синусоїдою серії NTU-2200/3200. Ці моделі доповнюють раніше запущену серію DC/AC-перетворювачів із правильною синусоїдою серій NTS-250P/400P/300/450/750/1200/1700, а також NTS/NTU-2200/3200. Внаслідок цього сімейство інверторів MEAN WELL охоплює діапазон потужності від 250 до 3200 Вт. У порівнянні зі старим поколінням серії TS-3000 нові інвертори забезпечують: високу щільність потужності, менші габарити при одночасному збільшенні номінальної потужності на 200 Вт, спрощену панель управління, а також конкурентні ціни.

Інвертори MEAN WELL NTS/NTU-2200/3200 відрізняються від звичайних інверторів споживчого класу високою надійністю промислового класу, високою безпекою, високою якістю, ергономічним дизайном. Технічні характеристики нової серії забезпечують короткочасну дворазову пікову потужність, гнучке налаштування вихідного сигналу і режиму роботи, дистанційне керування включенням/вимкненням, множинний інтелектуальний захист (аварійне автоматичне відключення), роботу при температурах від -25 до +70 °С, електричні розетки Європи/Америки/Китаю, клемні колодки, міжнародна сертифікація, гарантійний термін 3 роки, і навіть більше.

Інвертори підходять для використання в будинку/офісі, автомобілі, яхті, віддалених районах без мережі змінного струму або мобільного джерела змінного струму, охоронного обладнання з ДБЖ та може використовуватися для живлення телевізора, комп'ютера, зарядки мобільного телефону, аудіо, освітлення, елек-

тричного вентилятора, мобільного медичного візка, мобільної світлової вежі тощо.

www.meanwell.com

КОМПАКТНІ AC/DC-ПЕРЕТВОРЮВАЧІ

Компанія **Traco Power** представила компактні герметизовані AC/DC-перетворювачі для промислового та медичного застосування — серії TRP 40E та TRP 65E. Нові джерела живлення поставляються у версіях для монтажу на друкованій платі та шасі.

Серії TRP 40E і TRP 65E мають потужність 40 і 65 Вт відповідно, вхідна напруга 85–264 В змінного струму та варіанти вихідної напруги: 5, 12, 15, 24, 36 та 48 В постійного струму. Нові джерела живлення оснащені посиленою подвійною системою ізоляції входу/виходу 2 × MOPP відповідно до стандартів медичної безпеки 60601-1, 3-тє видання. Діапазон робочих температур становить –40...+80 °С.

Перетворювачі серій TRP 40E та TRP 65E мають високий ККД (до 94%), високу питому по-

тужність, низький струм витоку <100 мкА та компактне виконання: 109.2 × 55.9 мм для монтажу на шасі та 81.3 × 55.9 мм для монтажу на друкованій платі.

www.tracopower.com

НОВІ КАРТИ ПАМ'ЯТІ

Компанія **Transcend** представила нові карти пам'яті SD та microSD промислового рівня, виконані на базі високоякісних мікросхем пам'яті 3D NAND, MLC та SuperMLC. Карти витримують від 3 до 100 тисяч циклів запису/стирання, не поступаючись за цим показником пристроям на базі пам'яті типу SLC NAND.

Карти пам'яті Transcend SD та microSD відповідають специфікаціям SD Specification Version 6.1 та UHS-I, а також вимогам найостаннішого стандарту продуктивності Application Performance Class 2 (A2), забезпечуючи швидкість читання та запису до 100 МБ/с та до 85 МБ/с.

Носії серії «Т» та «М» можуть використовуватися при екстремальних температурах від –25 °С до 85 °С, а картки пам'яті серії «І»

проходять тестування в широкому діапазоні температур від –40 до 85 °С.

Крім того, карти пам'яті є вологозахисними, ударостійкими та вібростійкими, а також захищені від рентгенівського випромінювання та статичної електрики. Вбудовані механізми коригування помилок ECC дозволяють виправляти більшість помилок у файлах, забезпечуючи можливість їхнього зчитування.

Промислові карти пам'яті SD і microSD пропонуються у варіантах ємністю від 2 ГБ до 512 ГБ. Карти є ідеальним рішенням для оснащення компактних промислових пристроїв, таких як вбудовані комп'ютери автоматизації, ручні сканери штрих-кодів, торговельні термінали, автомобільні системи, медична техніка та системи спостереження.

www.transcend-info.com

ПРОМИСЛОВІ РОЗ'ЄМИ

Компанія **Harting** анонсувала прямокутні гнізда нового розміру: L32. До цього часу для забезпечення відповідної кількості

контактів і вимог, які ставляться до роз'ємів щодо струму, використовувалися роз'єми розміру 32В. Це два роз'єми типу 16В, поміщені в один корпус. На жаль, через досить широкий корпус роз'єму 32В таке рішення не можна було використовувати в деяких застосунках. Виводячи на ринок компактний розмір L32, який містить вставку 157 × 32 мм, марка Harting вирішила цю проблему.

Роз'єми мають модульну конструкцію (рамка, вставка з контактами, корпус). Виготовлені з мідного сплаву контакти мають стійкість при струмових навантаженнях до 16 А (номінальна напруга до 500 В). Складовий конектор має клас захисту IP65 (повна пиленепроникність, захист від залиття) і термостійкість у широкому діапазоні (від –40 °С до 125 °С), що відповідає вимогам багатьох промислових застосувань. Корпуси роз'ємів виготовлені з алюмінію. У моделях, призначених для монтажу на кабелі (пропонуються варіанти для монтажу на панелі), розмір введення M40 або M50. Вставки розраховані на жили перетином від 0.75 мм² до 2.5 мм².

www.harting.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

Виготовлення моточних виробів згідно документації або за технічним завданням

Ми випускаємо різні трансформатори, датчики струму, синфазні фільтри, дроселі на сталевих і феритових магнітопроводах, а саме: кільцевих, стрижневих, броньових, типорозмірів E, EF, PQ, RM і т.п.

У виробництві використовуємо провід німецької компанії Elektrisola.

ТОВ «АДС ТІМ»

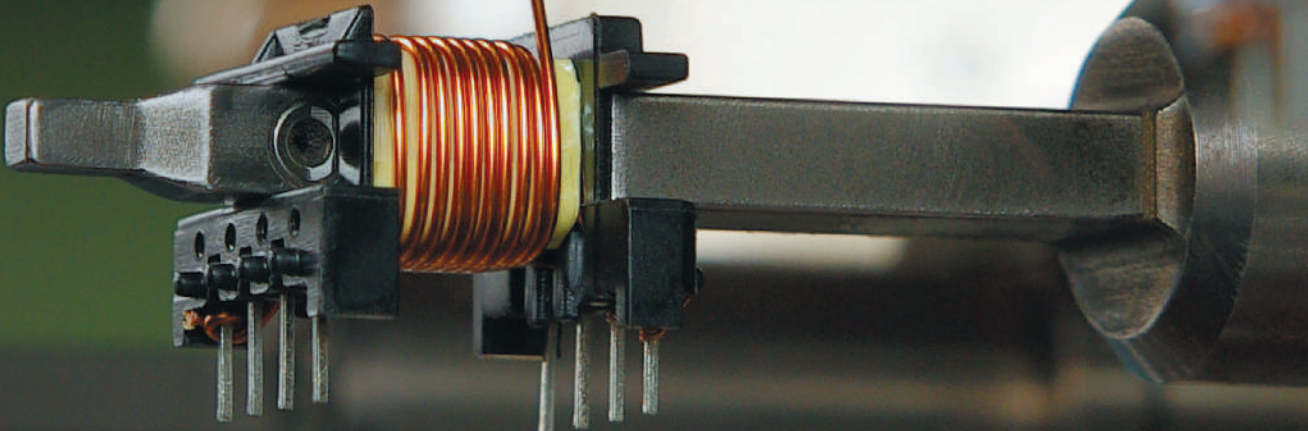
Контакти: тел. +38 044 2062252 моб. +38 067 2497758; +38 050 4642252

Адреса: Україна, м. Київ, пров. Радищева 3, оф. 126

www.adc-team.com



TEAM



Розбиті шибки чи вікно можливостей?

Вадим Чорний, Dipl.-Ing., MBA

E-mail: vadym@chorny.in.ua

Важко будувати прогнози та щось планувати, спостерігаючи за поточними викликами: аж надто калейдоскопічно трансформується навколишній світ. Від тих змін аж паморочиться у голові, кидає у розпач, мимоволі опускаються руки та уповільнюється крок. Втім, у часи невизначеності чи не найгірша стратегія — розгублено тупцювати на місці. Крок за кроком, мусимо рухатися далі.

Але куди? Куди йти? Як окреслити правильний напрямок руху, коли у димах згарищ не видно ані сяючих вершин, по яких ще вчора було ледь не камінцем поцілити, ані базового табору, що слугував початковим відліком маршрутів та безпечним прихистком на будь-який випадок? Що робити, коли не видно жодних орієнтирів навколо?

ТРИ ПРОСТИХ ПРАВИЛА

Перше. Треба заспокоїтись і почати думати тверезо та раціонально. Виходимо з того, що світ не зупинився, життя триває. Завтра зійде сонце. Вкотре. Обов'язково. Незважаючи ні на що. То ж, вже маємо якусь точку відліку. Люди народжуються, живуть та помирають. Так було, є і буде. Вони п'ють каву та пиво, слять, їдять, кохаються, сваряться та миряться. Вони їздять на авто чи велосипеді, прибирають та сміють, бігають вранці навколо озера чи сидять до ранку перед ноутбуком. Вони будують та руйнують, хворіють та одужують, читають книжки та протирають пальчики об смартфони. Вони просто живуть. Так само, як окремі люди, не здатні надовго завмирати і спільноти, бізнеси та цілі країни. Ніщо живе не зупиняється. За будь-яких умов та зсувів локального чи глобального характеру, доки існує життя, воно вируватиме, така його природа.

Друге. Світ вже ніколи не буде таким, як раніше. Змінюється політичний ландшафт, переформатується економіка, розвиваються технології, зміщується соціологія. Безліч подій, подекуди від-

верто неочікуваних, збивають з пантелику. Особливо в наш час наскрізного інформаційного доступу, коли від новин голова кругом йде. Часом здається, що світ геть збожеволів і рухається хаотично, без будь-якої системи. Але це не так. Загальні тренди антропосфери змінюються доволі повільно, якщо взагалі змінюються. Жорна богів обертаються повільно — пам'ятаєте? То ж, дивіться ширше, дійте локально, але думайте глобально. Орієнтир на глобальні тренди дозволяє побачити обриси майбутнього та задає основні напрямки руху. Підніміть погляд вище і побачите понад хмарами оті осяяні сонцем вершини. Аж доки існує людина, вона прагнетиме вершин, така її природа.

Третє. Але що робити тут і зараз? Є база для відліку, є бачення стратегічної мети, але як щодо тактики, де шукати орієнтирів поточного моменту? Здається, нам «пощастило» жити у часи змін та стати свідками (а для багатьох й безпосередніми учасниками) «ідеального шторму». Що робити, коли все навколо летить шкереберть? Правило просте — у будь-якій незрозумілій ситуації просто робіть свою справу. Якісно і з душею робіть те, що маєте робити. Якщо ви вчитель — вчіть. Якщо учень — вчіться. Лікар має лікувати, мислитель — мислити, розробник — розробляти, воїн — воювати. Натхненна фахова праця дозволяє людині вдосконалюватися самій і вдосконалювати світ навколо, дає змогу рухатися до мети, дає орієнтири — така її природа.

Чи гарантує рух до цілі її досягнення? Ні. Але вірогідність кудись прийти, взагалі не рухаючись, ще менша.

КРИЗА = МОЖЛИВОСТІ

Давайте подивимось, як працюють Доті прості правила на прикладах окремої країни, галузі/бізнесу та, звичайно ж, людини.

Ворог підступно напав на нашу маленьку Україну. Забрав та скалічив безліч життів, зруйнував економіку країни. Трагедія, яку навіть ніяково називати кризою. Втім, це і є криза. А саме слово (грецькою *κρίσις*) крім значень «занепад, розлад, загострення», має також значення «рішення, поворотний момент». Чи може стати війна з росією поворотним пунктом в історії України? На моє переконання — вже стала. Що ми мали до 24 лютого? Розколоте суспільство, здебільшого позбавлене усталеної національної свідомості, замість команди лідерів на чолі держави строкатий політичний звіринець із явним ухилом в популізм, невирішені проблеми корупції та олігархизації, незахищений бізнес, зневіру значної частини суспільства у майбутньому.

Війна мала б посилити оту зневіру, але ж ні. Як статистичні викладки так і суб'єктивні відчуття вказують, що смертельна небезпека згуртувала людей, які нарешті відчувли себе не просто громадянами, але українцями. Сотні тисяч українців усіх національностей взяли до рук зброю, мільйони тримають на плечах тил. Країна мала б посипатися, як картковий будиночок, але вона встояла. І все говорить про те, що стоятиме й надалі. І матиме більше, ніж будь-коли, можливостей для відбудови та економічного розвитку, інтеграції в глобальну економіку, побудови, нарешті, відповідального соціально-орієнтованого суспільства. Як каже один мій знайомий майор: «Якби москалі не напали — України не було б!» А тепер жодних сумнівів нема — усе буде Україна.

То ж наш «базовий табір» — суспільна свідомість та національна ідентичність, наша стратегічна мета — добробут громади та людини. А тактично:

робити свою справу. Комусь — сіяти жито, комусь — нищити ворога. Вчити, лікувати, мислити, будувати.

«Спустимося» рівнем нижче: від країни до бізнесу. Візьмемо, для прикладу, вам відому електронну галузь. До війни часто доводилося чути, що українська електроніка «вмерла». Можливо на тлі рефлексії по «золотих часах» надконцентрації підприємств радянської електроніки в УРСР, електронна галузь незалежної України обсягами не вражала. Але зважимо на те, що у ті часи головним напрямком розвитку радянської електроніки була розробка обладнання військового призначення, натомість у промисловій та, особливо, споживчій електроніці СРСР безнадійно відставав від загальносвітового рівня.

Після складнощів перехідного періоду електронна промисловість в Україні вижила і цілком впоралась із забезпеченням потреб країни як у якісній промисловій, комерційній і, частково, у споживчій електроніці, так і, з огляду на поточні виклики, у обладнанні військового призначення.

Так, у нас не виробляють для всього світу смартфони та планшети, але їх давно не виробляють і в розвинених країнах — для цього є виробничі кластери у локаціях із дешевшими ресурсами. Українська електронна галузь потенційно здатна на більше, і ми це бачили. Деякі українські виробники електроніки примудряються успішно працювати на експорт навіть зараз, в умовах воєнного часу.

На що орієнтуватися далі? Дивимось на глобальні тренди.

Вектор розвитку електронної галузі, серед іншого, передбачає постійне збільшення швидкості і гнучкості у виведенні на ринок усе більш досконалих виробів, при цьому за перманентного зменшення питомих витрат.

Одним з шляхів вирішення цих завдань стало поглиблення спеціалізації, коли виробники віддають частину функцій на аутсорсинг, зосереджуючись лише на ключових компетенціях. Так народилися сучасні моделі виробництва електроніки за OEM-контрактами, коли кінцевий виробник («бренд») лишає за собою функції розробки нового продукту (NPD, New Product Development) та його маркетингу, віддаючи виробництво постачальнику послуг з контрактного виробництва (EMS, Electronics Manufacturing Services).

Також досі використовується і більш пасивна ODM-модель, коли кінцевий виробник купує готовий виріб, випускаючи

його на ринок під власним брендом, лише приклеївши етикетку чи із меншими змінами (наприклад, у іншому корпусі, у фірмових кольорах тощо).

Подальше поглиблення спеціалізації зачепило процес NPD. За узагальненою (класичною) схемою розробка нового продукту складається з 7 стадій:

1. Генерація ідей (fuzzy front end).
2. Аналіз та відбір ідей.
3. Розробка та тестування концепції.
4. Економічний аналіз.
5. Розробка продукту.
6. Альфа- та бета-тестування, ринкова апробація.
7. Комерціалізація.

За сучасної схеми NPD виробник кінцевого продукту залишає за собою створення концепції, аналізує ринок для нового продукту (власними силами або з допомогою профільних агенцій з маркетингових досліджень), а потім віддає розробку третій стороні — контрактному розробнику електроніки.

На виході замовник отримує готовий дизайн нового продукту, комплект технічної документації, прототип(и), за умовами контракту також результати тестування, сертифікації та пілотну (установчу) партію. У подальшому фахівці контрактного розробника також можуть залучатися на етапах тестування для внесення змін у продукт, а також на етапі розгортання масового виробництва для з'ясування обмежень та інших технічних моментів. Часто-густо контрактний розробник та контрактний виробник працюють у зв'язці, або й навіть є підрозділами однієї вертикалі.

На моє переконання, контрактна розробка та контрактне виробництво електроніки мають стати ключовими напрямками повоєнного розвитку вітчизняної електронної галузі. Ключові фактори для цього — наявність в країні «мізків». Обладнання можна привезти і встановити. А от талановитих інженерів не вистачає в усьому світі. У нас вони є. Хоча багато з розробників електроніки сьогодні палять ворожі танки та гелікоптери на Сході, але ж вони повернуться, і роботи для них буде достатньо як на внутрішні замовлення, так і на експорт.

Особливо з огляду на повоєнну відбудову країни. Вже зараз можна з упевненістю казати про величезну потребу у найближчий час у електронних облікових та вимірювальних приладах, світлодіодному обладнанні, системах управління, автоматизації тощо. Вітчизняні виробники мають величезний досвід у цих напрямках, тож — і великі можливості.

Звичайно, багато виробничих потужностей знищено і перший час деякі ніші закраватимуть закордонні виробники, що жодним чином не означає відмову від власного виробництва.

У напрямках розвитку окрім будівництва та інфраструктурних проєктів керівникам вітчизняного бізнесу у електронній галузі слід вже зараз зважати на вибуховий розвиток електромобільної інфраструктури у повоєнній Україні. Очікувано не спадатиме інтерес до вітчизняних розробок у галузі вбудованої електроніки та систем IoT і IIoT.

Також, гадаю, слід очікувати і подальший розвиток військової електроніки. Як виявилось, вона в нас непогана — не на папері, а в дії. До війни були обмеження в фінансуванні цього напрямку, але після наочної демонстрації можливостей деяких українських розробок черга за ними буде довжелезна.

Зазначу також дещо «слизьку» думку: війна — випробування для бізнесу не менш жорстке, ніж для людей, але подолання її наслідків може дати шанс, якого могло не бути за мирного часу, для паростків нового і, можливо, кращого.

РОЗВИТОК = МОЖЛИВОСТІ

Як щодо переплавки криз у можливості для окремої людини? Тут, гадаю, можливих варіацій безліч і виявити якийсь паттерн важко. Головне у нинішніх умовах — не дати війні зупинити Ваш особистий розвиток. Усі бачили світліну професора, який з окопа читає лекції студентам? А я от знаю чимало студентів, які знаходять час на навчання між бойовими чергуваннями. Воїнів, які між нарядами встигають підтримувати спортивну форму, тому що після війни мріють повернутися у спорт. Людей, які, не зважаючи на великі навантаження, ще й встигають читати книжки класиків, щоб мозок всебічно розвивався.

І, знаєте що? Я от тільки-но подумав: а сама по собі криза не є автоматично можливістю. Можливості потребують дій, і саме дії перетворюють кризу на можливість: дії, спрямовані на розвиток як в масштабах країни, галузі, підприємства, так і в житті окремої людини.

То ж дійте! Розвивайтеся самі і розвивайте інших. Створюйте можливості. Не зупиняйтесь. У нашому спільному будинку повиносило вибуховою хвилею усі двері та потрощило шибки. Кепсько? Так. Але ті шибки було давно не чищено і вкрито шаром пилу. Нині ми краще бачимо сонце, що сходить!

Огляд професійних інструментів KNIPEX

Плоскогубці, кусачки (кліщі), інструменти для зачистки дроту тощо

Хоча TME в першу чергу відома як міжнародний дистриб'ютор електронних компонентів і вузлів для промислової автоматизації, у нашому каталозі ви також знайдете широкий асортимент механічних елементів та інструментів. Це вироби, призначені для використання професіоналами, а це означає, що вони довговічні, точні та призначені для конкретних завдань і видів робіт.

Нижче ви можете знайти деякі приклади з нашого асортименту інструментів. Це продукція компанії KNIPEX — відомого німецького виробника інструментів для електриків та спеціалістів з електроніки, необхідного обладнання для майстерень, ремонтних цехів і навіть промислових робочих місць. Продукція постачальника відома своєю функціональністю та хорошим співвідношенням ціни та якості.

ПЛОСКОГУБЦІ, КУСАЧКИ

Одним з основних інструментів у будь-якому професійному (а також у електриків-любителів (радіоаматорів, непрофесіоналів)) електрообладнанні є плоскогубці, особливо кусачки. Незважаючи на їх використання за основною функцією, доступно багато різних варіантів, кожен з яких адаптований до конкретних застосувань, оскільки в деяких випадках певна форма інструменту може виявитися незамінною.



Рис. 1. КНП.7406250. Плоскогубці призначені для різання (перекушування) дроту діаметром до 4,6 мм

Ізольовані плоскогубці або плоскогубці з ізоляцією

Усі види плоскогубців мають ручки, які в основному виготовлені з діелектричного матеріалу (рис. 1). Тим не менш, окрему категорію виробів становлять інструменти, призначені для роботи з електроустановками. Їх профільовані ручки мають обмежувач (гарду), який ускладнює сковзання вашої руки на неізольовану частину. Плоскогубці гарантують ізоляцію до 1000 вольт напруги. Щоб технік швидко не втомлювався під час монтажу, більшість плоскогубців мають високий коефіцієнт важеля, завдяки чому ними легше користуватися. TME також пропонує розширені варіанти ножів (лез), які полегшують перерізання проводів у важкодоступних місцях (наприклад, у глибокій коробці для прихованого монтажу).

Деякі вироби призначені для роботи як із суцільними, так і з багатожильними дротами. Окремі моделі (наприклад, 14 26 160) мають точно профільовані пази, завдяки чому ці плоскогубці можна використовувати для видалення ізоляції з дротів найпоширеніших перерізів (1,5 мм² та 2,5 мм²). Ці вироби виготовлені з кованої хромованої ванадієвої сталі, яка добре підходить для роботи з типовою мідною проводкою. Окрім

інструментів, які використовуються виключно для різання (перекушування), KNIPEX (через TME) також пропонує захватні плоскогубці — обценьки (кліщі) з лезами — призначені для роботи не лише з тросами, а й зі звичайними проводами (наприклад, при установці сітчастих огорож) із стійкими до скручування шестернями.

Торцеві та бічні плоскогубці (кусачки)

Робота з електропроводкою — не єдиний вид робіт, де вдалим вибором є плоскогубці. Вони також використовуються, серед іншого, при виготовленні арматури для бетонних конструкцій. Для цих важких робіт використовується інструмент з більшим передаточним числом і відповідним профілем — зазвичай це кусачки, які дозволяють розрізати дріт врівень. KNIPEX пропонує такі інструменти довжиною до 280 мм з лезами з фосфатним покриттям, які дозволяють як надійно захопити/скрутити сполучний дріт, так і відрізати дріт до потрібної довжини. Торцеві та діагональні кусачки також дозволяють максимально обрізати жили проводки, що підвищує безпеку монтажу. KNIPEX також постачає кусачки для дроту та кабелю — їх конструкція забезпечує чистий, перпендикулярний зріз, щоб жили дроту не



Рис. 2. КНП.9522165. Кусачки для дроту та кабелю — профіль леза запобігає роздавлюванню проводів



Рис. 3. КНП.7962125ESD. Крупний план конічних лез з невеликою фаскою — для різання врівень

були роздавлені та не зламані/заплетані (ненавмисне погіршення характеристик струму проводки через механічні пошкодження є одним із небезпечних наслідків використання неякісних інструментів, рис. 2).

Точні (прецизійні) плоскогубці

Особливою підгрупою плоскогубців є точні інструменти, які використовуються в основному в електроніці, а також у ювелірній чи слюсарній роботі. Як правило, ці інструменти оснащені пружинами, що відкриваються. Тут ми також пропонуємо обладнання з передніми та бічними лезами (рис. 3). Ці вироби мають ряд відмінних рис. До першої групи належать інструменти з так званою «малою фаскою», профіль якої дає можливість розрізати виводи компонентів ТНТ (скрізних отворів) майже врівень з поверхнею друкованої плати (або поверхню припою). Іншим типом є плоскогубці з гострою головою, чий конічний профіль дозволяє зручно працювати зі щільним монтажем (dense circuits), наприклад в сервісно-ремонтній майстерні. Крім того, деякі предмети мають ручки, виготовлені з матеріалів для запобігання електростатичних розрядів (ESD).

Тут варто звернути особливу увагу на кусачки серії Electronic Super Knips®, які дозволяють різати кабелі діаметром від 0.2 мм — завдяки механізму, який здійснює контрольоване мікроковзання губок при їх закритті. Важливо: ці інструменти можна використовувати для роботи з волоконно-оптичними кабелями.

ЗАТИСКАЧІ ДЛЯ КАБЕЛЬНИХ КЛЕМ І РОЗНІМАЧІВ (КРИМПЕРИ)

Як і у випадку з кусачками, інструменти для обтиску мають значний вплив на комфорт роботи та продуктивність робіт з монтажу. Тільки правильно обтиснене з'єднання дозволить досягти номінальних електричних та механічних характеристик. Ослаблене з'єднання призводить до відсутності стійкості до вібрацій/ривків, а також до збільшення

електричного опору (що, в свою чергу, може призвести до перегріву встановлених компонентів). Ще одним наслідком використання неякісних обжимних інструментів є часте пошкодження фіксуючих втулок, що (непомітно) призведе або до несправності, або до непоправного пошкодження рознімача або кабельної клеми. У довгостроковій перспективі купівля обжимного інструменту KNIPEX — це одночасно питання зручності та підвищення безпеки, а також інвестиція, яка заощадує гроші.

Обжимка кабельних клем

Обжимні кабельні клеми використовуються для виконання великопотужних з'єднань в промисловому обладнанні, а також побутовій техніці. Найпоширенішими серед них є вилочні та кільцеві клеми (кріпляться гвинтами/гайками) та затискні клеми. Іншим подібним рішенням є кабельні муфти, обтиснуті на багатожильних дротах, завдяки яким такі кабелі можна безпечно закріпити в затискних клемах (наприклад, у вимикачах максимального струму або диференційного струму). Третя і найрізноманітніша сфера застосування кримперів — це контакти для живлення та сигнальних роз'ємів.

KNIPEX пропонує широкий спектр інструментів для цих рішень. Сюди входять базові вироби з профільованими ручками та ізоляцією, придатні для установок середньої напруги. Однак виробник також постачає більш гнучкі елементи, такі як обжимні станки Crimp System, які підтримують змінні матриці, що дозволяє обтиснути буквально 1000 різних втулок і з'єднувачів за допомогою одного інструменту. У каталозі TME ви також можете знайти моделі з серії MultiCrimp®, наприклад КНП.973302, який доступний у комплекті зі зручним магазином для зміни матриць. Інші рішення KNIPEX вклю-



Рис. 4. КНП.975265DGA. Чотириконтактний обжимний інструмент з цифровим контролем робочих параметрів

НОВІ ТВЕРДОТІЛЬНІ РЕЛЕ



Нещодавно асортимент компанії **Crouzet** поповнився однофазними твердотілими реле SSR (solid state relay). Ці вироби поділяються на 4 серії: GN, GN+, GNA і GNS, які відрізняються напругою і способом перемикання, максимальним робочим струмом і значенням керуючої напруги. Всі реле мають клас захисту IP20, — це означає, що вони призначені для використання всередині приміщень, а їхня робоча температура знаходиться в діапазоні від -40 до 80°C . Залежно від моделі комутована напруга становить від 12 В АС до 660 В АС, а максимальний робочий струм — 25, 5, 75, 90 або 125 А (залежно від серії та моделі). Максимальна інтенсивність досягається при використанні відповідного радіатора. Напруга управління становить від 4 до 32 В при живленні постійним струмом або від 20 до 265 В при живленні змінним струмом.

Однофазні твердотілі реле знайдуть застосування у багатьох галузях промисловості. Вони використовуються, зокрема, у промислових вентиляторах, зварювальному і паяльному обладнанні, а також у системах управління освітленням.

Компанія Crouzet є французьким виробником електромеханічних і електронних компонентів для авіаційної і машинобудівної промисловості та наземного транспорту. Фірма Crouzet може пишатися безліччю сертифікатів, що підтверджують її турботу про високу якість, стандарти безпеки і захист навколишнього середовища.

Фірма TME пропонує, зокрема, мікроперемикачі, реле часу і програмовані реле, а також пневматичні аксесуари від цього постачальника. Це елементи, які можна використовувати для створення нових систем, а також технічного і сервісного обслуговування вже діючих виробничих і транспортних ліній і т. д.

www.crouzet.com

чають чотириштифтові інструменти з плавно регульованими розмірами затискачів (включаючи такі моделі, як KNP.975265DGA (див. рис. 4), оснащені дисплеєм для контролю значення налаштування).

Деякі з перелічених тут обжимних пристроїв доступні в наборах, які включають футляр, додаткові аксесуари та обтиски втулки — щоб дізнатися більше про ці вироби, прочитайте опис нижче.

Інструменти для обтиску (обжимання) коаксіальних і комунікаційних роз'ємів

Обжимні з'єднувачі використовуються в основному в областях, де потрібні коаксіальні кабелі (антени, вимірювальні прилади) і телекомунікації. Найпопулярніші роз'єми, які можна обтиснути на кабелі, — це роз'єми типу SMA, BNC і F, популярні в телевізійних установках, а також телефонні роз'єми RJ10 і Ethernet RJ45 (західного типу). В обох категоріях ми пропонуємо попередньо відкалібровані інструменти KNIPEX. Всі моделі мають механізм примусового блокування (який можна розблокувати). Асортимент інструментів для обжимання коаксіальних роз'ємів включає в себе варіант для роботи двома руками, який рекомендується професійним технікам (наприклад, тим, хто встановлює складні антени). Заслугує на увагу той факт, що обжимні кусачки (кліщі) KNIPEX для роз'ємів RJ оснащені різакром і ножом для зачистки дроту (з обмежувачем глибини та відстані), тому вони будуть єдиним інструментом під рукою, необхідним для роботи.

Запчастини, аксесуари та інші предмети

Системи інструментів KNIPEX надзвичайно широкі — це особливо актуально для обжимних інструментів, які мають бути пристосовані до широкого діапазону цілей з різними параметрами (формою, розміром). Отже, сумісні аксесуари



Рис. 5. KNP.974990. Приклад позиціонера. Ця модель призначена для роз'ємів HTS/Harting

включають, зокрема, матриці (губки) зі спеціальними профілями та позиціонерами (що сприяють, серед іншого, правильному, повторюваному монтажу контактів у певному типі роз'ємів, див. рис. 5). ТМЕ пропонує широкий асортимент цих аксесуарів, вказуючи сумісні плоскогубці та їх застосування — під час пошуку конкретного рішення найзручніше буде скористатися нашою пошуковою системою або фільтрами каталогу.

ІНСТРУМЕНТИ ДЛЯ ЗАЧИСТКИ ДРОТУ

Під час зняття зовнішнього покриття з кабелю та під час зняття ізоляції з окремих жил може виникнути механічне пошкодження кабелю. Тому зачистка ізоляції не тільки стомлює (особливо для складних робіт), але й вимагає точності. На щастя, тут на допомогу приходить бренд KNIPEX. Варто зазначити, що німецький постачальник пропонує як універсальні рішення з широким діапазоном параметрів, так і найпростіші і «традиційні» вироби (наприклад, знімачі гільз для круглих кабелів певного діаметру), які повністю задовольняють потреби монтажників, що працюють з різними видами кабелю.

Спеціалізовані знімачі дроту

Асортимент знімачів дроту KNIPEX дуже різноманітний (рис. 6). Він включає в себе популярні рішення, такі як плоскогубці або торцеві плоскогубці з отвором, що регулюється гвинтом, а також більш сучасні інструменти. Серед них, безумовно, є напівавтоматичні інструменти з точністю регулювання, які підтримують великий діапазон поперечних перерізів (наприклад, від 0.08 мм² до 16 мм² для KNP.1252195), які мають касету для запасних лез. Також варто відзначити інструменти серії 1212xx, в яких використовуються дві пари ножів (формувальних і опорних). Їх структура полегшує видалення оболонки з твердих або пластичних матеріалів, які важко обробляються, включаючи каптон, силікон і похідні тефлону (PTFE). Специфічною сферою застосування знімачів дроту є кабелі (силові, телекомунікаційні) з великим перетином.

Для роботи з такими кабелями KNIPEX виробляє спеціальний інструмент, який полегшує виконання кругових і поздовжніх розрізів. Модель KNP.1640 з регульованою глибиною різання (до 5 мм) розроблена для роботи з кабелями діаметром більше 25 мм.



Рис. 6. KNP.1280100. Зручний компактний знімач дроту з фіксуємим механізмом, функцією налаштування калібру та діаметра

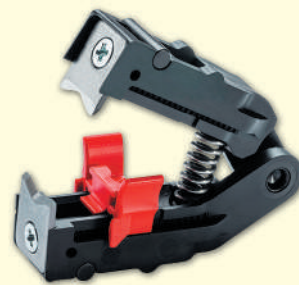


Рис. 7. KNP.124931. Завдяки змінним губкам інструменти KNIPEX можна використовувати протягом багатьох років

Запчастини та витратні матеріали

Це нормально (зазвичай), що всі знімачі ізоляції вимагають періодичної заміни леза. Оскільки продукти KNIPEX високостандартизовані, користувачі можуть легко знайти потрібні запасні частини в асортименті продукції ТМЕ. Сюди входять цілі набори губок, а також наконечники для захоплення та обмежувачі довжини (компоненти виготовлені з м'якого матеріалу і зношуються при тривалому використанні, див. рис. 7).

НАБОРИ ІНСТРУМЕНТІВ ТА АКСЕСУАРИ

Під час комплектації вашої майстерні, сервісного відділення чи домашньої валізи з інструментами подумайте про придбання набору інструментів. У випадку KNIPEX це спеціалізовані комплекти, які поставляються з футляром/контейнером, а в деяких випадках також із супутніми витратними матеріалами (наприклад, рукавами або кабельними клемми). Нижче ми наведемо два типи комплектів — однак рекомендуємо ознайомитися з повною пропозицією продукції виробника в нашому каталозі, де ви знайдете більш розширені набори інструментів.



Рис. 8. КНП.979103. Набір інструментів для монтажу та ремонту фотоелектричних систем



Рис. 9. КНП.979021. Кримпер в комплекті з ізольованими клемами та роз'ємами

Набори інструментів для монтажу фотоелектричних систем

Фотовольтаїка більше не є новинкою, яка тільки набирає популярності — вона вже знайшла своє місце серед стандартних установок у промисловості та побуті. Тому KNIPEX виробляє набори інструментів для роботи з сонячними енергетичними системами — ці вироби призначені як для спеціалізованих монтажників, так і для електриків, які бажають модернізувати своє обладнання. Зручний м'який кейс містить три основні інструменти: кусачки для дротів (для дротів перерізом до 50 мм²), знімач ізоляції (підходить для типових кабелів, наприклад, Radox) та обжимний пристрій із набором матриць, які підходять для більшості фотоелектричних роз'ємів (MC3, MC4, H4, Tусо, Sun Con тощо, див. рис. 8).

Набори з кримперами та кабельними клемами

Набори для затискачів поставляються у футлярах з відділеннями та порожниною для інструментів з пінопластовим покриттям. У комплект входять сумісні витратні матеріали, наприклад, ізольовані роз'єми та ізольовані кабельні муфти або клеми (кільцеві, вилючні або вставні — залежно від вибраного варіанту, див. рис. 9). У наборах використовується система TANOS MINI-Systainer®, яка дозволяє складати ящики у вежу та відкривати окремі контейнери без розділення.

Матеріал надано компанії TME, www.tme.eu

СІУ

↘ **gembird®**

Марочні кабелі та адаптери для передачі даних і зарядки



Electronic Components

TRANSFER MULTISORT ELEKTRONIK

ДИСТРИБ'ЮТОР ЕЛЕКТРОННИХ КОМПОНЕНТІВ

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

tme.eu

facebook.com/TME.eu
instagram.com/tme.eu
youtube.com/TMElectroniComponent

ADI Precision Studio від компанії Analog Devices

Частина 5

Володимир Макаренко, к. т. н.
E-mail: v.makarenko@vdm.ais.ua

В статті наведена інформація щодо програми **Virtual Eval** з набору веб-інструментів **ADI Precision Studio**. Розглянуто два приклади — аналіз роботи прецизійного АЦП та сенсора магнітного поля при використанні магнітів різної конфігурації.

Програма дозволяє отримати детальну інформацію про характеристики вихідних сигналів досліджуваних пристроїв при зміні великої кількості параметрів. Отримати результат при аналізі навіть дуже складних пристроїв можна не більш ніж за 5–10 секунд, що дозволяє провести аналіз роботи декількох пристроїв за короткий проміжок часу.

До складу веб-інструментів **ADI Precision Studio** [1] входить сім програм. З роботою перших з шести програм цього набору інструментів (рис. 1) можна ознайомитись у публікаціях [2–5].

Останньою програмою пакету **ADI Precision Studio** є **Virtual Eval** (рис. 2). Програма дозволяє отримати інформацію щодо характеристик аналого-цифрових та цифро-аналогових перетворювачів, спеціальних видів перетворювачів та сенсорів магнітного поля.

У нижній частині вікна виводиться інформація: «Перегляньте навчальне відео, щоб дізнатися про віртуальну оцінку. Хочете отримати інформацію щодо продукту, але не бачите його в списку? Спробуйте заглянути на сторінку наших товарів. У віртуальні оцінки завжди додаються нові деталі, так що заходьте частіше!».

Розглянемо декілька прикладів аналізу таких компонентів. Переглянемо аналіз характеристик прецизійних АЦП з частотою дискретизації менше 10 МГц. Для аналізу доступно 19 моделей АЦП. Для прикладу розглянемо як виглядає аналіз АЦП AD7124-4. Після вибору компонента відкривається головне вікно аналізу (рис. 3).

У головному вікні доступно 7 вкладок:

- функціональна схема (відкривається за замовчуванням);
- форма сигналу;
- гістограма;

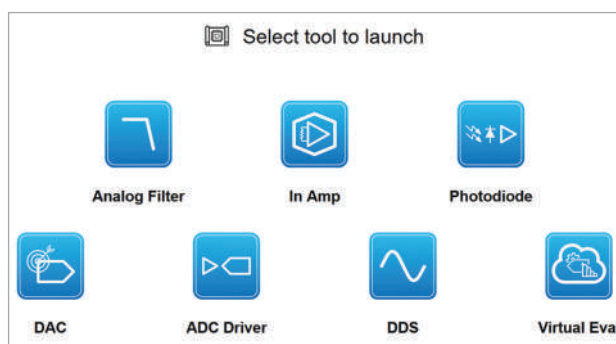


Рис. 1. Набір веб-інструментів **ADI Precision Studio**

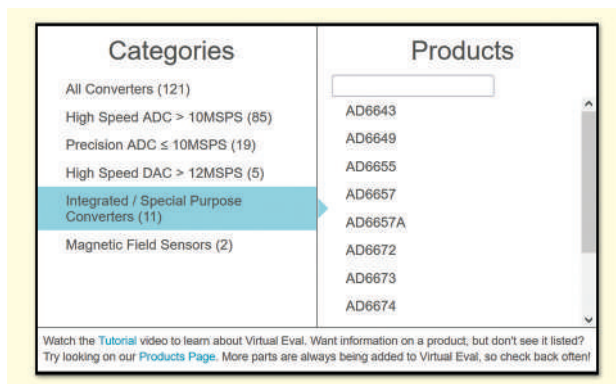


Рис. 2. Основне вікно програми **Virtual Eval**

- амплітудно-частотна характеристика;
- імпульсна перехідна характеристика;
- синхронізація (Timing);
- підказка.

На вкладці функціональної схеми задаються параметри аналізу. Це амплітуда вхідного сигналу по входах **AIN+** та **AIN-** (рис. 3).

Наступний параметр — вибір вхідного каналу у вікні **MUX** (рис. 4).

При відкритті пункту меню **AIN Buffers** (рис. 5) можна обрати пункти активний/відключений (enable/disable).

В наступному пункті **PGA Gain** (рис. 6) можна обрати коефіцієнт підсилення програмованого підсилювача.

Пункт меню **ADC/Filter** (рис. 7) дозволяє обрати тип фільтру.

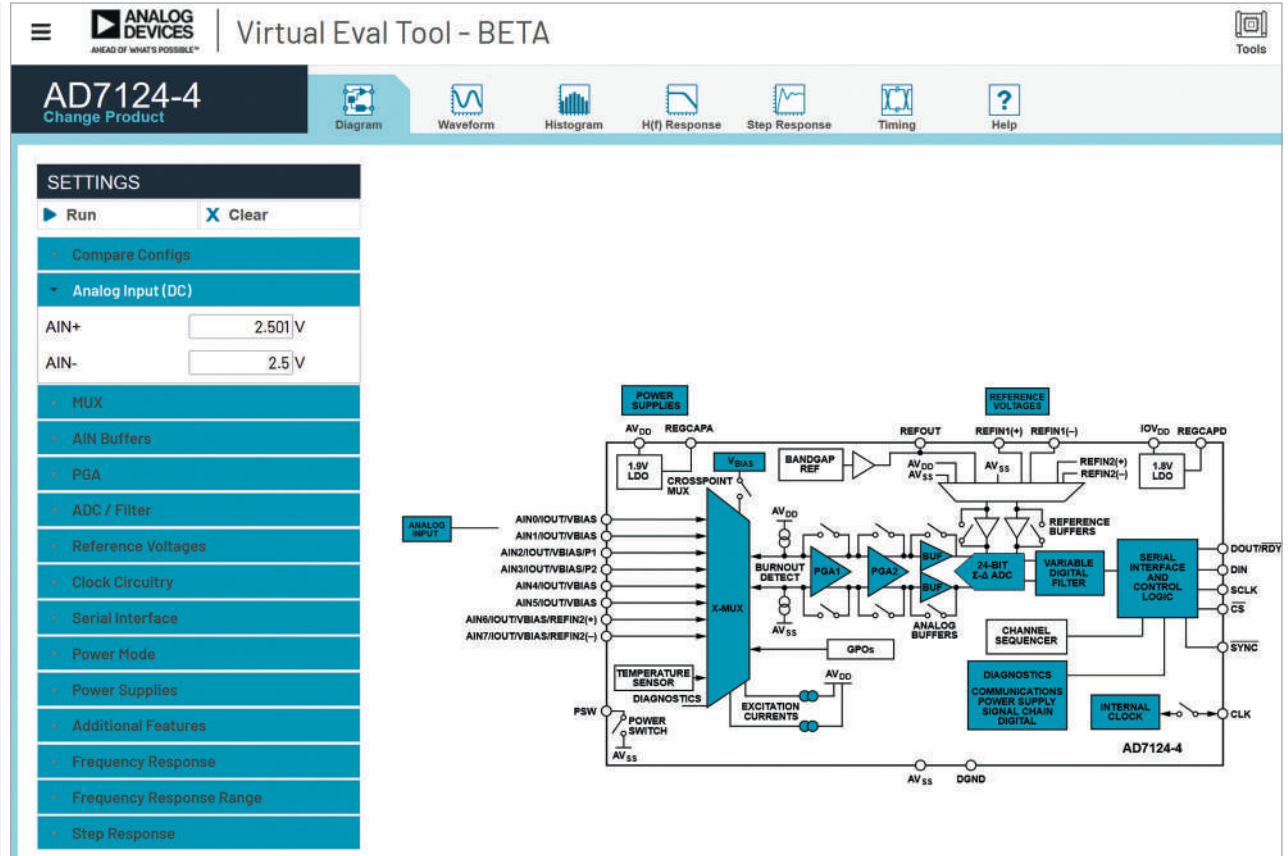


Рис. 3. Відображення параметрів синтезатора AD9914 у вікні Spur Table при частоті вихідного сигналу 100 МГц

Після вибору типу фільтра обирається частота дискретизації F_s , а також мож-

на включити режекторний фільтр 60 Гц (за замовчуванням він відключений) і режим однократного перетворення (Single Cycle), що відключений за замовчуванням (рис. 8). Якщо натиснути кнопку Run (рис. 8), то у правій частині у стовпчику RESULTS виводяться параметри вихідного сигналу АЦП. Змінюючи будь-який параметр, кожного разу треба натискати кнопку Run, щоб побачити як зміна параметру вплинула на кінцевий результат.

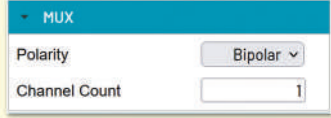


Рис. 4. Вибір каналу та полярності вхідної напруги

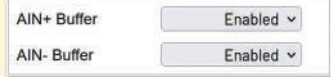


Рис. 5. Вікно активації буферних підсилювачів по входах AIN+ та AIN-

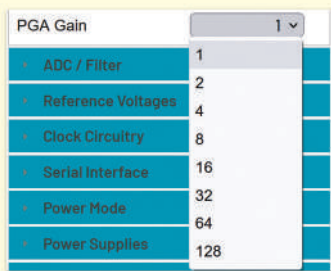


Рис. 6. Вікно вибору коефіцієнта підсилення програмованого підсилювача

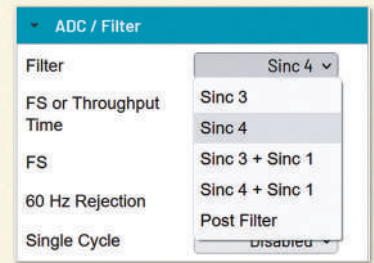


Рис. 7. Вікно вибору типу фільтру

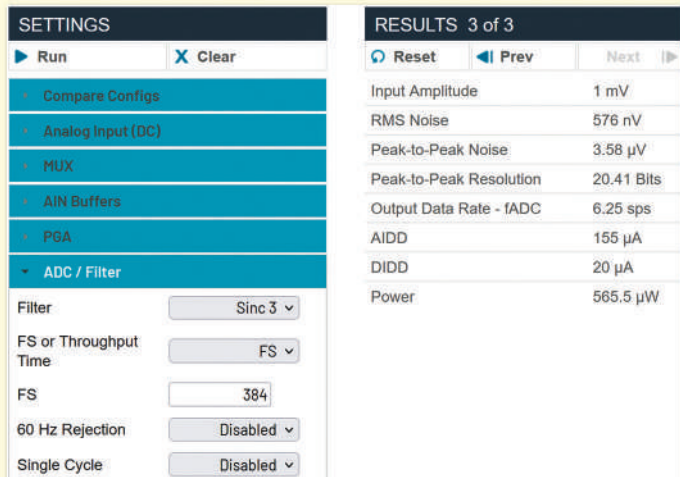


Рис. 8. Вікно вибору параметрів фільтру та частоти дискретизації

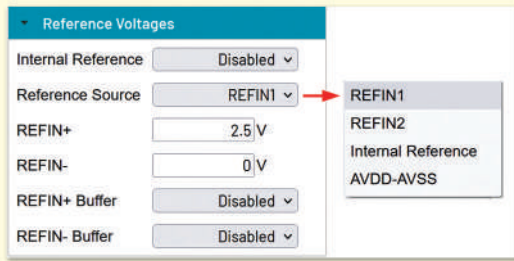


Рис. 9. Вікно вибору джерела та величини опорної напруги

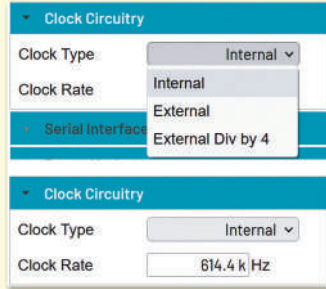


Рис. 10. Вікно вибору джерела тактового сигналу та частоти його сигналу

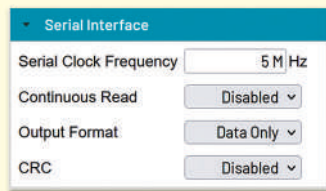


Рис. 11. Вікно задання параметрів послідовного інтерфейсу

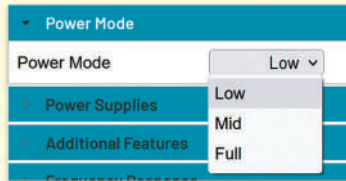


Рис. 12. Вікно вибору режиму енергоспоживання

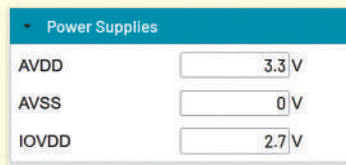


Рис. 13. Вікно задання напруги живлення

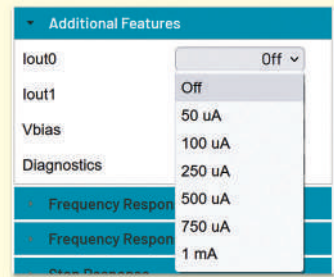


Рис. 14. Вікно задання струму на виходах АЦП

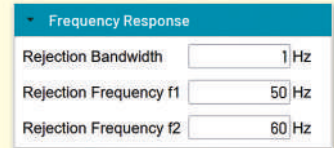


Рис. 15. Вікно вибору параметрів режекторних фільтрів

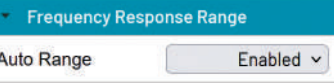


Рис. 16. Вікно вибору автоматичного встановлення діапазону частот аналізу

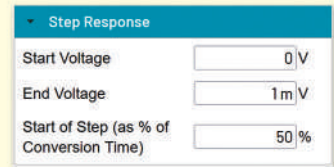


Рис. 17. Вікно вибору діапазону зміни вхідної напруги

ляє обрати джерело опорної напруги та його величину.

Тактовий генератор — зовнішній (напряму або через дільник частоти на 4) або внутрішній та частоту тактового генератора можна обрати в наступному пункті меню (рис. 10).

Пункт меню **Reference Voltages** (рис. 9) головного вікна аналізу (рис. 3) дозво-

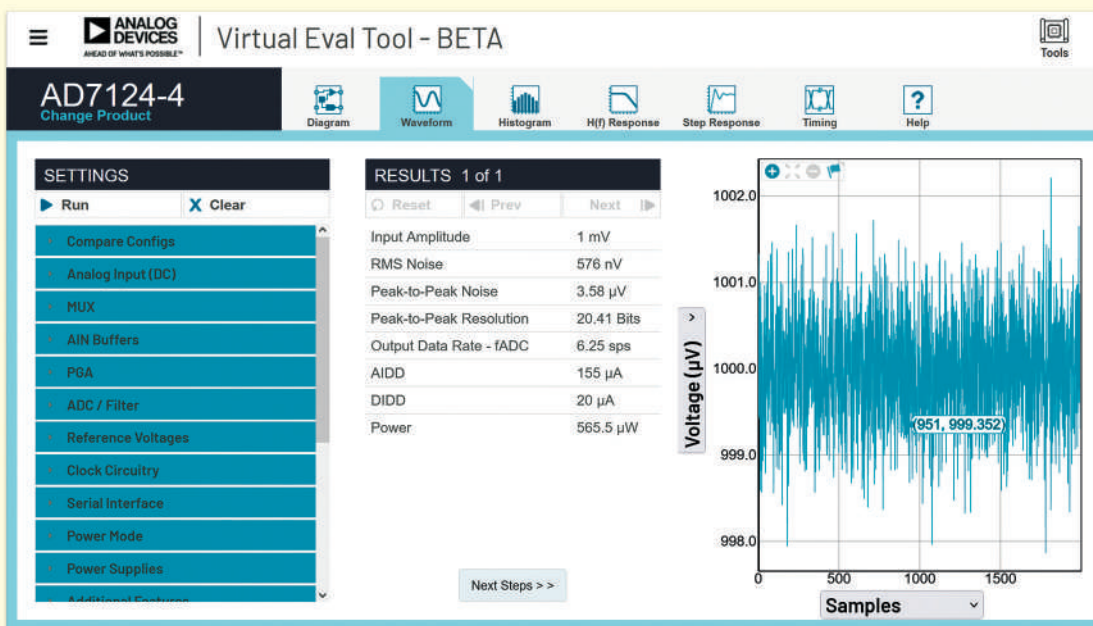


Рис. 18. Відображення параметрів синтезатора AD9914 у вікні Spur Table при частоті вихідного сигналу 100 МГц

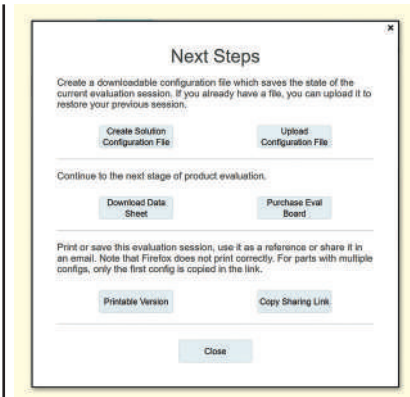


Рис. 19. Вікно Next Steps

На рисунках 11–17 наведені вікна інших пунктів меню, в яких задаються:

- тактова частота послідовного інтерфейсу, тип переданих даних, режим роботи та перевірка даних щодо наявності помилок (рис. 11);
- енергоспоживання (рис. 12);
- напруга живлення (рис. 13);
- струм кожного з виходів (рис. 14);
- параметри режекторних фільтрів (рис. 15);
- автоматичний вибір смуги частот аналізу (рис. 16);
- діапазон зміни вхідної напруги при аналізі перехідних процесів (рис. 17).

На рисунку 18 наведено часові діаграми шуму для різних відліків сигналу (*Samples*) у нижній правій частині вікна або від часу **Time (Seconds)**.

Після корегування всіх параметрів треба натиснути кнопку **Next Steps >>** і після цього відкривається вікно **Next Steps** (рис. 19), у якому можна завантажити на комп'ютер файл конфігурації (**Create Solution Configuration File**), завантажити збережений файл конфігурації (**Upload Configuration File**), завантажити файл опису АЦП (**Download Data Sheet**), (**Purchase Eval Board**), надрукувати результати при заданих параметрах (**Printable Version**) та скопіювати посилання для обміну копіями (**Copy Sharing Link**).

Після переходу у вікно **Histogram** (рис. 20) на екран виводиться гістограма рівнів шуму у мкВ (**Equivalent Voltage (μV)**) або у значеннях вихідного коду (**Output Codes**).

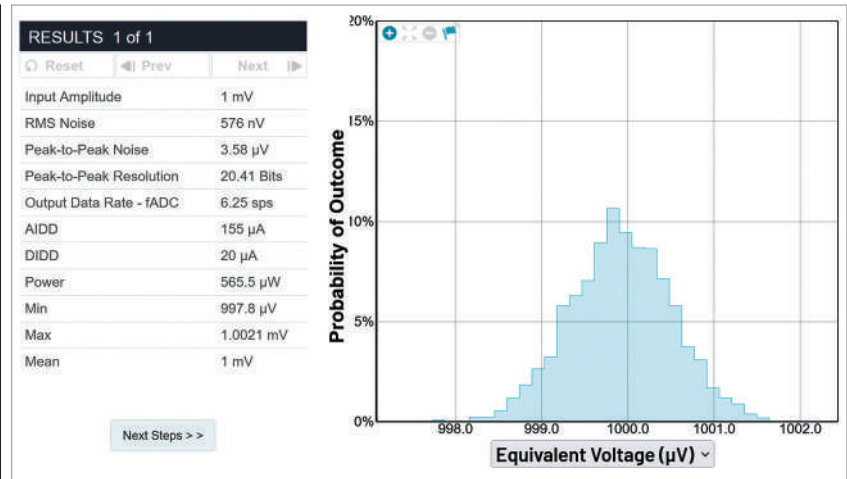


Рис. 20. Вікно Histogram

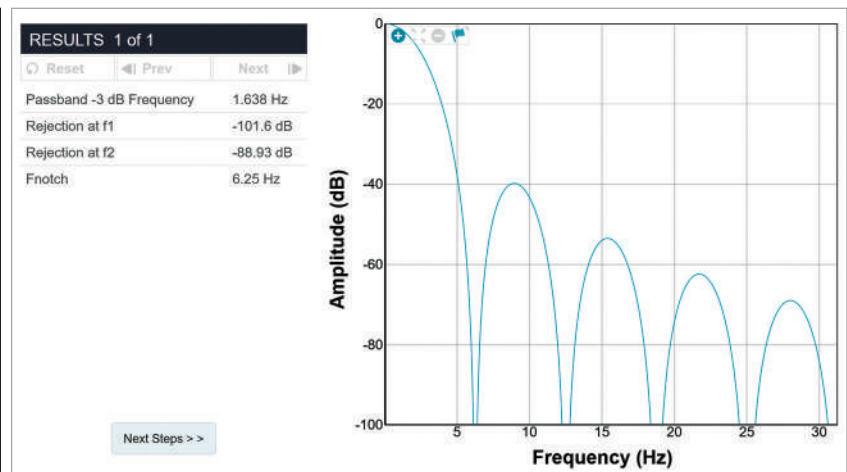


Рис. 21. Частотна характеристика режекторного фільтру у вікні H(f) Response

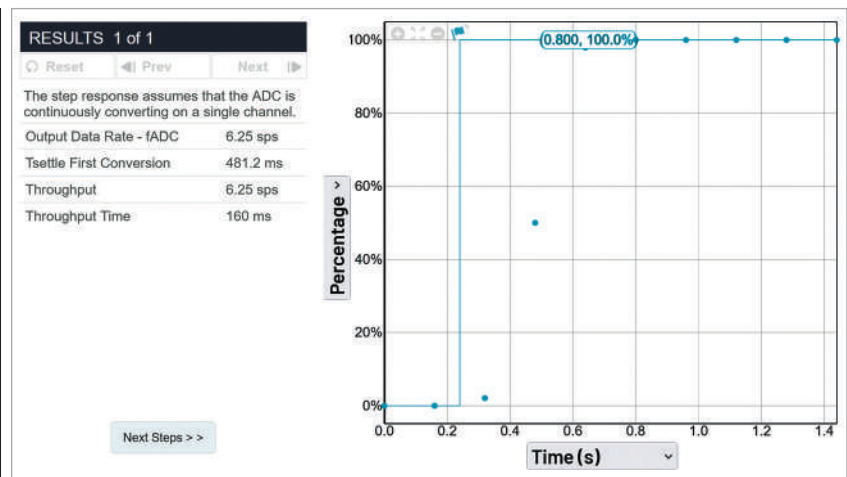


Рис. 22. Імпульсна перехідна характеристика у вікні Step Response

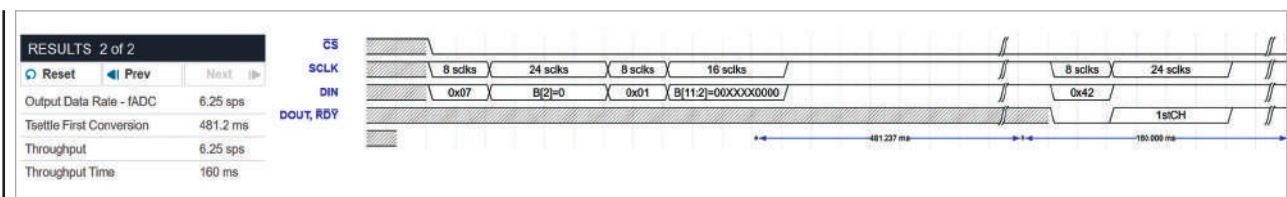


Рис. 23. Часові діаграми сигналів у вікні Timing

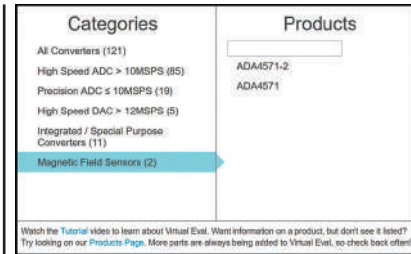


Рис. 24. Вікно вибору сенсорів магнітного поля

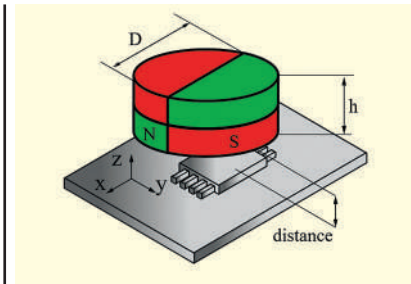


Рис. 26. Зовнішній вигляд розщепленого круглого магніту

У вікні **H(f) Response** (рис. 21) виводиться частотна характеристика та параметри режекторного фільтру на частоті 50 та 60 Гц.

Імпульсна перехідна характеристика виводиться у вікні **Step Response** (рис. 22). Суцільною лінією показана ідеальна характеристика, а точками — реальна (при заданих параметрах АЦП). Окрім того, у вікні виводиться частота дискретизації, час встановлення першого перетворення та час перетворення.

Часові діаграми сигналів управління та вихідного сигналу виводяться у вікні **Timing** (рис. 23).

Дуже схожі процедури реалізуються під час аналізу інших АЦП та під час аналізу ЦАП. Тому розглянемо аналіз роботи сенсорів магнітного поля ADA4571, що доступні при виборі пункту аналізу сенсорів магнітного поля — **Magnetic Field Sensors** (рис. 24).

Після вибору типу сенсора (ADA4571) відкривається вікно формування параметрів аналізу (рис. 25). У цьому вікні задаються:

- положення сенсора (Sensor Position) — End of Shaft (на кінці валу) або Linear Travel (лінійне переміщення);
- розміри магніту (Magnet Dimensions) — Rectangular (прямокутного), Diametric (круглого) або Split Axial (розщепленого круглого, наведеного на рис. 26);
- діапазон робочих температур;
- матеріал магніту (Magnet) — N35 Neodymium (неодимовий), Y32 Ferrite (феритовий), S3010 Samarium (з

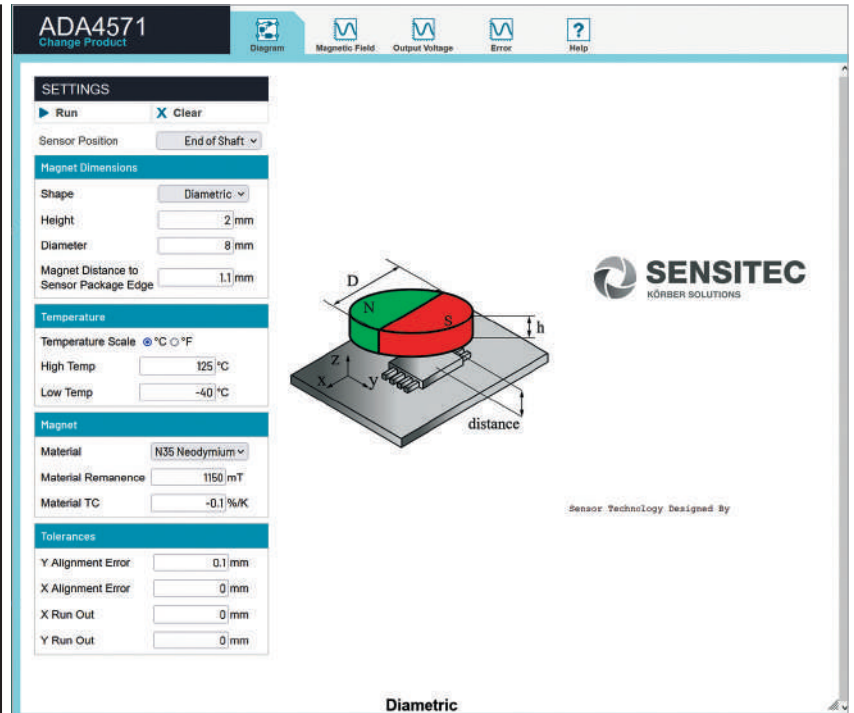


Рис. 25. Вікно формування параметрів аналізу сенсорів магнітного поля

самарію) або Bonded NdFeB (скріплений NdFeB);

- похибка вимірювання по осях (Tolerances).

При зміні будь-якого параметру необхідно натиснути кнопку Run для застосування змін параметрів. Переглянути результати аналізу можна у вікнах **Magnetic Field** (рис. 27), **Output Voltage** (рис. 28) та **Error** (рис. 29).

Як впливає з проведеного огляду, використання програми Virtual Eval з набору веб-інструментів ADI Precision Studio дозволяє швидко провести аналіз роботи багатьох пристроїв і обрати такі параметри, які забезпечать необхідні характеристики пристроїв, що проектується.

Додаткову інформацію щодо продукції компанії Analog Devi-

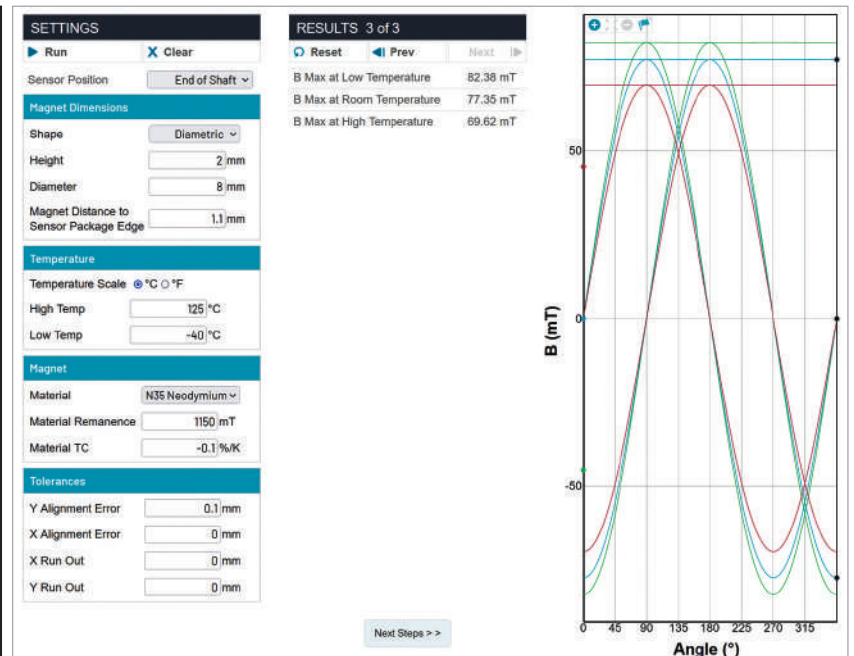


Рис. 27. Результати аналізу магнітного поля з використанням круглого магніту за температур 125, 27 та -40 °C

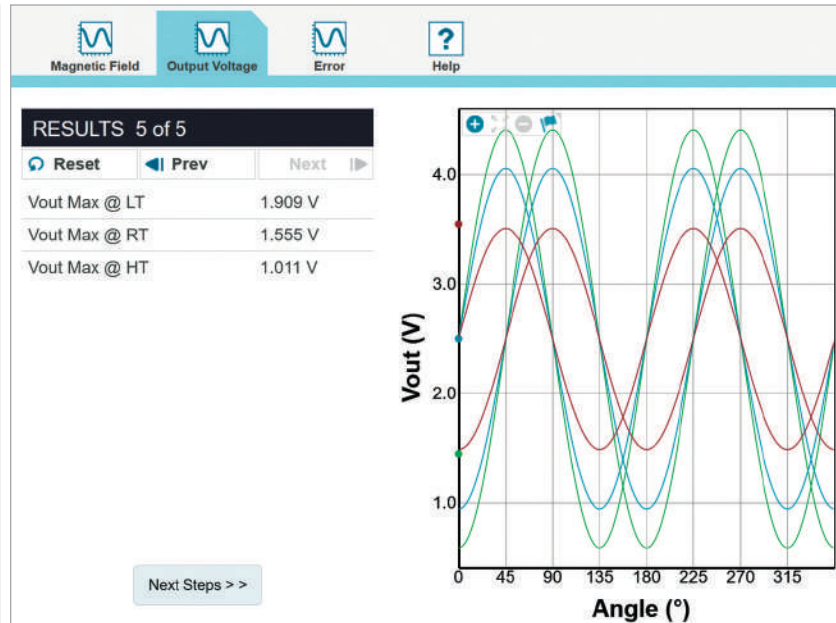


Рис. 28. Результат вимірювання вихідної напруги сенсора ADA4571 з використанням круглого магніту за температур 125, 27 та $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$

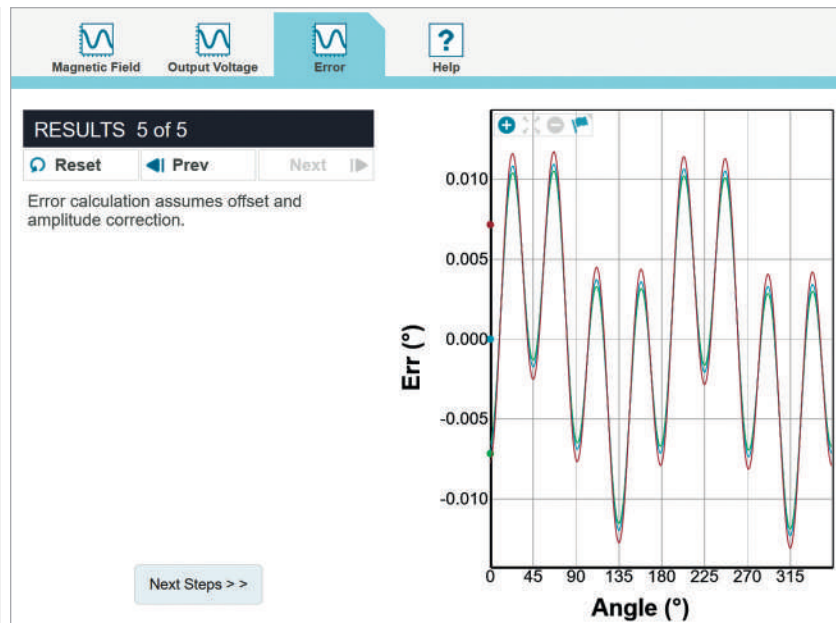


Рис. 29. Результати аналізу похибок сенсора ADA4571 з використанням круглого магніту за різних температур

ces можна отримати у офіційного дистриб'ютора в Україні — НВФ VD MAIS:

03061, м. Київ,
вул. Михайла Донця, 6,
тел./факс: (044) 201-02-02
(багатоканальний),
e-mail: info@vdmαιs.ua,
www.vdmαιs.ua

Література:

1. <https://tools.analog.com/en/precisionstudio/>

2. В. Макаренко ADI Precision Studio від компанії Analog Devices, частина 1 // CHIP NEWS Україна, 2021, № 8, с. 82–88.

3. В. Макаренко ADI Precision Studio від компанії Analog Devices, частина 2 // CHIP NEWS Україна, 2021, № 9, с. 22–18.

4. В. Макаренко ADI Precision Studio від компанії Analog Devices, частина 3 // CHIP NEWS Україна, 2021, № 10, с. 17–25.

5. В. Макаренко ADI Precision Studio від компанії Analog Devices, частина 4 // CHIP NEWS, 2022, № 1, с. 32–37. CN

3-КАНАЛЬНИЙ ІЗОЛОВАНИЙ БЛОК КЕРУВАННЯ З МІНІМАЛЬНИМ СПОЖИВАННЯМ

Компанія **Analog Devices** анонсувала високопродуктивний ізолюваний блок керування мікроживленням (PMU ADP1034), який поєднує в собі ізолюваний зворотногоходовий перетворювач постійного струму, інвертуючий понижувальний підвищувальний перетворювач постійного струму та понижувальний перетворювач постійного струму, що забезпечує три ізолювані електричні рейки.

ADP1034 має чотири високошвидкісних ізоляційних канали послідовного периферійного інтерфейсу (SPI) і три ізолятори загального призначення для міжканальних додатків, де потрібна низька потужність розсіювання та малий розмір рішення.

Працюючи в діапазоні вхідної напруги від 4.5 до 60 В, ADP1034 генерує ізолювані діапазони вихідної напруги від 6 до 28 В для VOUT1, від -24 до -2 В для VOUT3 і запрограмовану на заводі напругу 5 В для VOUT2. Крім того, є вивід PPC_IN для налаштування параметра VOUT1 за запитом за допомогою послідовної команди, що дозволяє підвищити ефективність у програмах на системному рівні.

За замовчуванням, зворотногоходовий регулятор ADP1034 працює на частоті перемикання 250 кГц, а понижувальний та інвертуючий регулятори працюють на частоті 125 кГц. ADP1034 може управлятися зовнішнім генератором в діапазоні від 350 до 750 кГц, щоб полегшити фільтрацію шуму в чутливих програмах.

Цифрові ізолятори, вбудовані в ADP1034, використовують технологію масштабних трансформаторів iCoupler® компанії Analog Devices, Inc., оптимізовану для низької потужності та низького випромінювання перешкод. ADP1034 доступний у 41-видному корпусі (LFCSP) розміром 9 мм × 7 мм і розрахований на робочий діапазон температур переходу від -40 до $+125\text{ }^{\circ}\text{C}$. Області застосування: промислова автоматизація та управління процесами, прилади та системи збору даних.

Користувачі можуть оцінити вимірювання пристрою ADP1034, такі як регулювання лінії, регулювання навантаження та ефективність за допомогою налагоджувальної плати ADP1034CP-1-EVALZ.

www.analog.com

Захист портів PoE/PoE++

Тодд Філіпс (Todd Phillips)

Стаття відкриває серію публікацій компанії Littelfuse, присвячених захисту портів комунікації [1]. У другій та третій статтях мова піде про захист високошвидкісних та низькошвидкісних інтерфейсів.

ВСТУП

Отримання та передача інформації між портами інформаційних каналів комунікаційного обладнання є одним із основних завдань під час проектування подібних систем. Крім того, система комунікації повинна мати високу надійність і забезпечувати тривале функціонування без втрат критично важливих даних і без обривів зв'язку. У процесі проектування таких систем необхідно враховувати можливий вплив зовнішніх факторів на функціонування комунікаційних портів. До таких факторів відносять електростатичний розряд, струмове навантаження, перенапругу — все це здатне вивести з ладу інтегральні схеми портів.

Розробник інколи стикається відразу з декількома завданнями, що часто суперечать одне одному, наприклад: забезпечити захист обладнання від зовнішніх впливів без внесення істотних змін або погіршення роботи основної схеми, зберігши габаритні розміри і забезпечивши достатньо прийнятну вартість готового рішення. Ця стаття є першою із циклу статей, що складається з трьох статей, покликаних допомогти розробникам вирішити ці завдання найбільш ефективним способом, пропону-

ючи різні схеми захисту стандартних портів та інтерфейсів.

PoE є технологією передачі даних разом з енергією кабелем Ethernet. Таким чином, один кабель здатний передавати дані та забезпечувати живленням різне обладнання — телефони VOIP, камери спостереження, підключені до Інтернету, бездротові точки доступу, роутери та комутатори у центрах обробки даних (ЦОД) та промислові системи управління.

Для пристроїв з PoE застосовується інженерний стандарт IEEE 802.3, який дорацьовувався декілька разів для збільшення потужності, що передається (див. табл. 1).

Ревізію стандарту 802.3bt від 2018 часто називають загальноприйнятим терміном PoE++: вона допускає потужність до 90 Вт на струмі 960 мА по лініях передачі даних. Крім того, стандарт передбачає передачу даних Ethernet на швидкостях до 10 Гбіт/с, 10GBASE-T. Тим не менш, передача великої потужності одночасно з низьковольтним цифровим сигналом покладає на схему PoE високі вимоги щодо захисту від струмових перевантажень та викидів напруги, які можуть виникати внаслідок впливу розрядів блискавки, електростатики та перешкод у лініях АС-електроживлення.

ЗАХИСТ ПОРТІВ POE++

На рисунку 1 показано приклад схеми PoE, що включає рекомендації захисту компонентів від струмового перевантаження і від сплесків напруги. Схема, розташована між роз'ємом RJ45 і фізичним рівнем PHY, покликана захистити елементи мережевого інтерфейсу разом з контролером живлення пристрою (PD controller).

Для захисту кожної з восьми ліній даних від перевантаження струмом рекомендується використовувати запобіжники. Тут бажані повільні запобіжники, щоб уникнути небажаного спрацьовування від сплесків струму при підключенні живлення або впливу розрядів блискавки. З іншого боку, запобіжник повинен забезпечити захист при неправильному з'єднанні лінії або замиканні провідників живлення. При цьому слід переконатися, що запобіжник відповідає вимогам стандартів IEC 62368-1, Telcordia GR-1089 та FCC 47 частина 8. Запобіжники, що відповідають перерахованим вимогам, мають робочий струм 2 А та менше.

Слід звернути увагу і на струм відключення, який має бути не менше 100 А, щоб запобіжник зміг спрацювати у найважчих умовах на великому струмі. Запобіжники, що відповідають перерахованим стандартам та вимогам, зазвичай відключають ланцюг протягом 1 с на струмі 250%. Для заощадження місця на друкованій платі рекомендується використовувати запобіжники для поверхневого монтажу.

Центральний відвід обмотки сигнального трансформатора зазвичай підключають на землю через захисний тиристор, щоб поглинути сплески напруги, що виникають при впливі розрядів блискавки, не допускаючи їх проходження через сигнальний трансформатор. Захисні тиристри, на зразок SiDACtor американської компанії Littelfuse, є шунтуючими елементами захисту з малим падінням напруги у відкритому стані і здатні відвести навіть великий струм від схеми, що захищається.

Таблиця 1. Версії стандарту 802.3 для різної потужності

		PoE	PoE+	PoE++	
		2003 р.	2009 р.	2018 р.	
		Стандарт IEEE 802.3af	Стандарт IEEE 802.3at	Стандарт IEEE 802.3bt	
Потужність, що передається (PSE)	Максимальна потужність, Вт	15.4	30	60	90
	Максимальний струм, мА	350	600	600	960
	Тип	1	2	3	4
Потужність, що отримується (PD), Вт		12.95	25.5	51	71.3
Кількість пар, що використовуються		2		4	
Відстань		100 м, кабель Cat5e			
Примітка. Більший струм і більша кількість пар потрібні для стандарту PoE++, щоб досягти 90 Вт.					

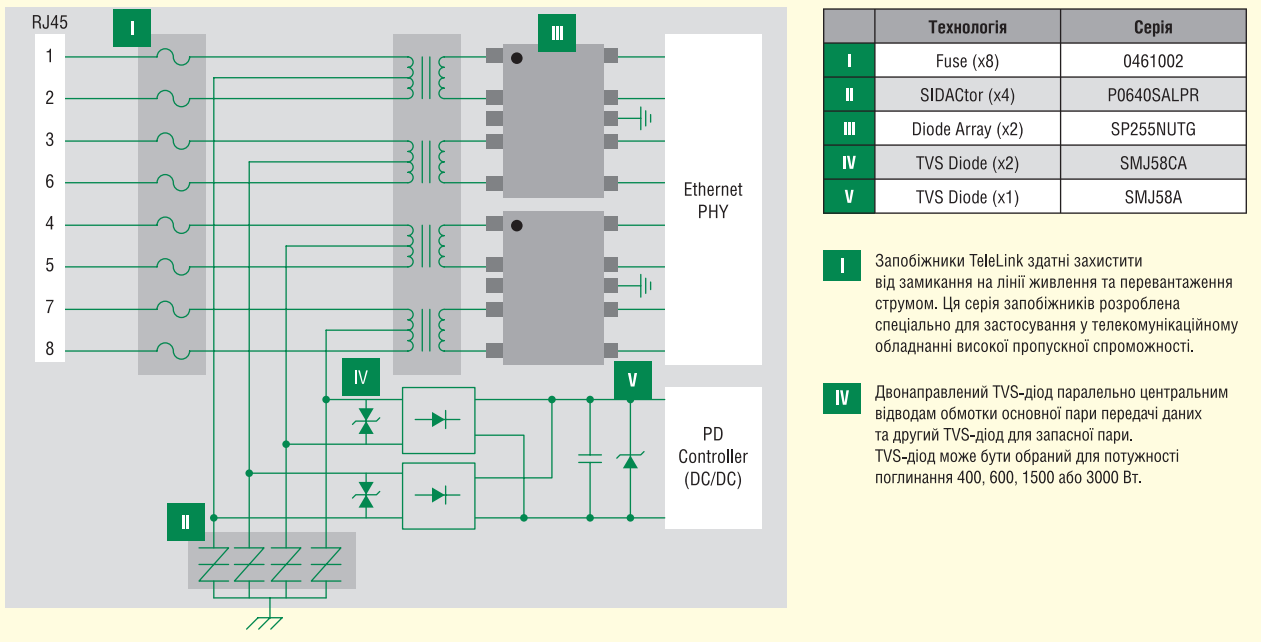


Рис. 1. Рекомендована схема захисту PoE++

Вимоги до тиристорного захисту:

- низька напруга спрацювання на рівні 6 В;
- здатність пропустити струм до 200 А;
- мінімальні сплески напруги;
- низька ємність на рівні 100 пФ;
- двополярне виконання;
- відсутність деградації параметрів за багаторазового спрацювання.

Застосування запобіжника спільно з тиристорним захистом відповідає вимогам міжнародних галузевих стандартів GR 1080 та IEC 62368-1 щодо захисту телекомунікаційного обладнання.

ЗАХИСТ ЧИПСЕТУ ETHERNET ФІЗИЧНОГО РІВНЯ

Для чипсету фізичного рівня основні небезпеки пошкодження можуть бути пов'язані з електростатичним розрядом ESD, розрядом ємності кабелю та перехідними процесами в лініях зв'язку. Пригнічувачі перехідних процесів на основі TVS-діодів і TVS діодні збірки можуть забезпечити потрібний захист в даному випадку. Для захисту всіх восьми ліній передачі даних рекомендується використовувати 4-канальну збірку з TVS-діодів, як показано на рисунку 2.

Переваги від застосування TVS діодної збірки:

- захист від статички: до ± 30 кВ;
- поглинання перехідних процесів: до 1000 Вт в імпульсі при струмі до 45 А;
- мінімальна затримка розповсюдження сигналу за ємності 2.5 пФ на «землю»;
- малий струм витоку на рівні: 0.5 мкА;
- займає мінімум місця на платі у корпусі μ DFN-10.

ЗАХИСТ КОНТРОЛЕРА ЖИВЛЕННЯ (PD CONTROLLER)

Контролер живлення є DC/DC-перетворювачем, який забезпечує живлення пристрою, що підключається по PoE.

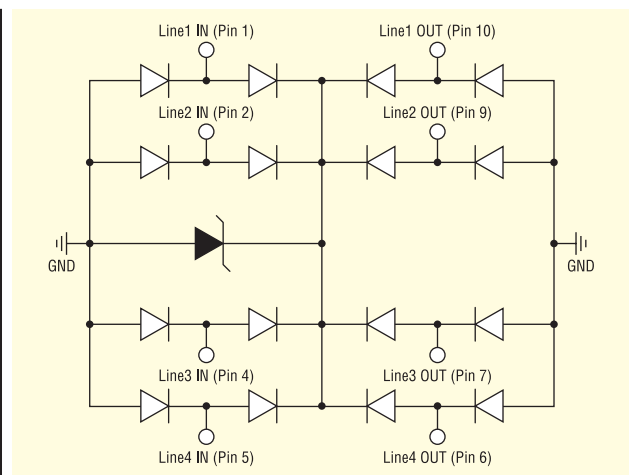
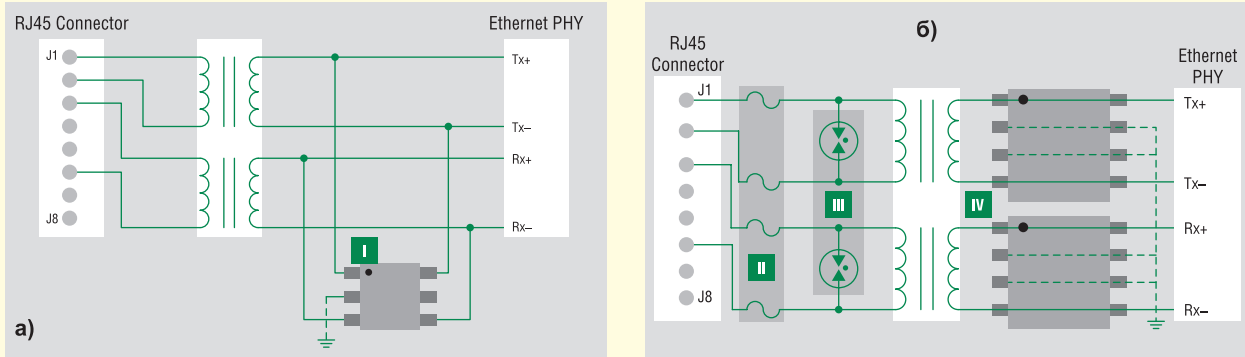


Рис. 2. 4-канальна TVS діодна збірка для захисту чипсету фізичного рівня Ethernet з двома напрямними діодними парами діодом Зеннера для додаткового захисту від сплесків

AC/DC-випрямляч показаний окремим блоком на схемі, наведений на рисунку 1. AC/DC-випрямляч підключений безпосередньо до конектора RJ45. Для захисту випрямляча від сплесків напруги рекомендується застосовувати двома напрямними TVS діодні збірки паралельно вхідним лініям. Версії даних діодних пар здатні поглинути до 1500 Вт в імпульсі при струмі до 200 А. TVS-діоди дуже швидко реагують на виникнення перехідних процесів, і їхній час реакції становить близько 1 пс. При цьому струм витоку схеми захисту дуже малий і становить близько 1 мкА.

Завершена схема захисту контролера живлення повинна також включати двома напрямними TVS-діоди на виході випрямляча та вході контролера живлення. При цьому потрібно приділити увагу правильному вибору напруги обмеження на підставі параметрів схеми, що розробляється. Також вибрані компоненти повинні забезпечувати швидку реакцію на перехідні процеси.



Примітка. Для швидкостей вище 1 Gbps потрібна додаткова кручена пара та необхідна заміна TVS діодної збірки

	Технологія	Функціональність та сфера застосування	Серія	Переваги	Особливості
I	Діодна TVS збірка	Захист від статички (ESD) та швидких перехідних процесів (EFT)	SRV05-04HTG-D	Відповідність всім регуляторним стандартам, гарантує цілісність сигналу	Низька ємність, малий струм витоку, малий розмір, захист 4 ліній
II	Запобіжник	Захист від перевищення струму	0461xxx	Відповідність всім регуляторним стандартам, малий розмір	Високий струм відключення, низька ємність, робота на високих швидкостях для телекомунікаційного обладнання
III	Газорозрядник	Захист від розрядів блискавки з використанням газорозрядника та TVS-збірки відповідає всім вимогам стандартів	SG, CG6, CG5	Відповідність всім регуляторним стандартам, малий розмір	Висока енергія поглинання, низька ємність, відповідність UL
IV	Діодна TVS збірка		LC03xx, SP40xx	Забезпечення високої надійності та безпеки обладнання, забезпечення вимог стандартів	Низька ємність та малий струм витоку

Рис. 3. Рекомендований захист мережі PoE для виконання всередині будівель та вуличного виконання: intra-building (a); outdoor and harsh environment (б)

ЗАХИСТ POE-МЕРЕЖ У БУДІВЛІ

Для мереж всередині приміщень характерне менш агресивне середовище експлуатації та PoE має забезпечити максимум 15.4 Вт або струм 350 мА. Тут рекомендується застосувати 2-канальні TVS діодні збірки для захисту контролера фізичного рівня від впливу статички.

На рисунку 3а показаний приклад захисту PoE-мережі всередині примі-

щення за допомогою діодної TVS збірки, встановленої на лінії входу та виходу контролера фізичного рівня.

На рисунку 4 наведено схему двоканальної TVS діодної збірки. Ця збірка здатна поглинути статичний розряд до ±30 кВ і струм до 40 А.

Щоб мінімізувати затримку розповсюдження сигналу прийому та передачі, рекомендується застосовувати корпуси з ємністю на «землю» не більше 2 пФ. Також слід звертати увагу на струм витоку збірки, який має бути якнайменше — бажано на рівні 1 мкА.

ЗАХИСТ POE-ОБЛАДНАННЯ ВУЛИЧНОГО ВИКОНАННЯ

Вуличне виконання є набагато більш вимогливим або жорстким, порівняно з виконанням для експлуатації в приміщеннях. Є набагато більший ризик виникнення замикань на лінії живлення, що призведе до значного аварійного струму, а також ризику сплесків напруги, індукованих близькими розрядами блискавки. Першим елементом захисту вуличного обладнання PoE++ повинен стати запобіжник із затримкою спрацьовування за часом, який рекомендується встановлювати на кожну лінію передачі даних, що повинен захистити

від замикань на силові лінії живлення. Приклад схеми захисту наведено на рисунку 3б. Для вуличного або іншого виконання з жорсткими умовами експлуатації рекомендується, крім запобіжників, встановити газорозрядники паралельно до ліній введення/виходу. Газорозрядник повинен забезпечити захист від розрядів блискавки або інших подібних процесів.

Газорозрядник повинен мати такі властивості:

- здатність поглинути сплески струму до 1 000 А;
- низька ємність: менше 1 пФ, незалежно від прикладеної напруги;
- виконання корпусу для поверхневого монтажу.

Зверніть увагу, що запобіжник і газорозрядник повинні відповідати вимогам, вказаним у стандартах для PoE++.

Додатково разом із переліченими компонентами необхідно встановити TVS діодну збірку для захисту чипсету фізичного рівня PoE. При цьому діодна збірка для вуличного виконання має бути більш високою потужності, ніж та, що застосовується всередині приміщень. Приклад такої 2-канальної TVS діодної збірки підвищеної потужності показаний на рисунку 5.

Компоненти, що застосовуються в даному випадку, повинні бути здатні по-

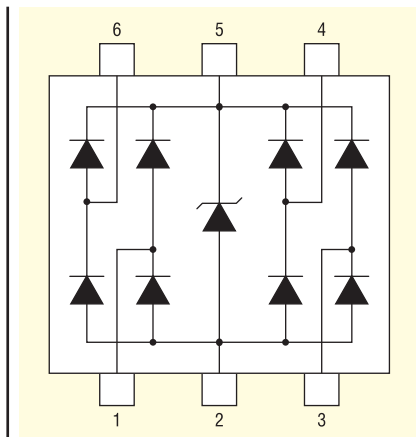


Рис. 4. Схема двоканальної TVS діодної збірки для захисту контролера фізичного рівня PoE від перехідних процесів

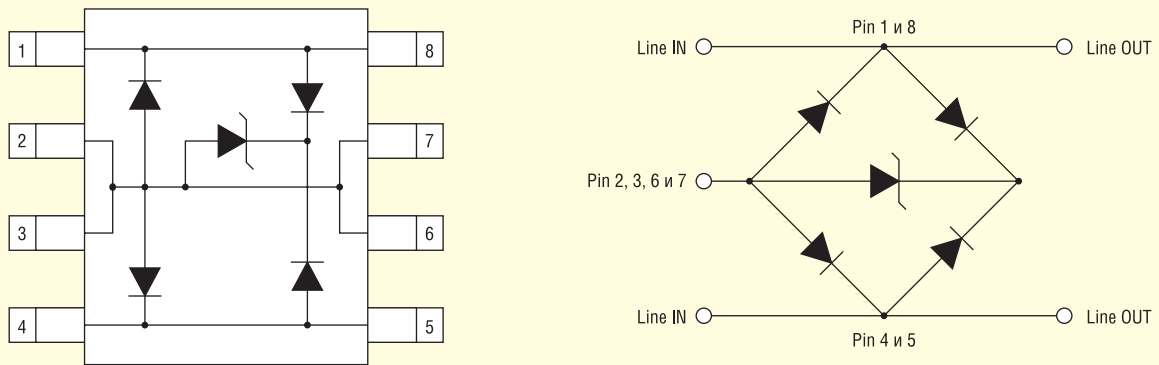


Рис. 5. Схеми корпусу та внутрішня конфігурація 2-канальної TVS діодної збірки підвищеної потужності

глинути до 3000 Вт в імпульсі та струм до 150 А. Вбудований діод Зеннера обмежує перехідні процеси на збірці, тоді як самі TVS-діоди забезпечують захист кожного каналу.

ОТРИМАННЯ ВИСОКОЇ НАДІЙНОСТІ НА ЕТАПІ ПРОЄКТУВАННЯ

Навність захисту від перевантаження струмом у системі передачі даних здатне запобігти відмовам при руйнів-

ному впливі навколишнього середовища. Вигодою такого рішення буде скорочення витрат та часу на сервісне обслуговування, а також репутація якісного виробника обладнання, що легко компенсує незначне подорожчання схем захисту.

Якщо ви закладаєте компоненти захисту на ранньому етапі, то витратите менше часу на проєктування. При цьому ви істотно скоротите загальний час розробки свого продукту, застосувавши захист від перевіреного виробника, який має значний досвід у цій галузі.

Виробник компонентів захисту може запропонувати як варіанти, оптимальні за співвідношенням ціна/якість, так і мінімальні за вартістю. При цьому репутація розробника надійного та якісного обладнання зрештою позитивно позначиться і на прибутковості компанії, і на вашій репутації.

Література:

1. www.allaboutcircuits.com/industry-articles/protecting-power-over-ethernet-poe-poe-communications/

CN

Офіційний дистриб'ютор

BETTERFUSE
You build electronics, We safeguard them!

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

Захист від високої температури
(серія запобіжників та серія термостатів)

Захист від перенапруги
(супресори обмежувачі електростатичного заряду та напруги)

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

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

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

SOM-6883 в медичному обладнанні

ВИМОГИ ДО СИСТЕМ УЛЬТРАЗВУКОВОЇ ДІАГНОСТИКИ (УЗД)

Ефективні медичні системи ультразвукової діагностики (апарати УЗД) завдяки точним та якісним зображенням прискорюють постановку діагнозу та допомагають лікарям приймати правильні та оперативні рішення щодо лікування пацієнтів. Для цього ультразвуковим апаратам потрібна виключно висока продуктивність обробки графіки та її наступної візуалізації. Окрім цього для адаптації до змінюваних медичних сценаріїв та тенденцій потрібна не тільки зручність використання, але й легкість переміщення такої апаратури.

ЗАДАЧА

В апаратах УЗД високого класу з високою обчислювальною продуктивністю, як правило, використовується програмована вентилярна матриця (FPGA), графічні карти чи модулі прискорювачів штучного інтелекту (ШІ). Для забезпечення високої обчислювальної та графічної продуктивності конструкція системи ускладнюється та стає більш вартісною через додаткову інтеграцію ядра GPU чи VPU. Більш того, через прагнення до екстремальної продуктивності ці системи неминуче зустрінуться із проблемами розсіювання тепла. Зазвичай ці проблеми лягають на плечі рішення для охолодження. Однак сучасні стильні ультразвукові апарати мають вкрай обмежений простір для розміщення охолоджувальних пристроїв і, крім того, повинні бути максимально безшумними для роботи в умовах лікарні.

Таке поєднання обмежень та вимог створює наступні проблеми:

- Додаткові витрати на інтеграцію апаратного та програмного забезпечення призводять до високих витрат на розробку, що збільшує ціну обладнання.
- Незважаючи на обмежений простір, ці рішення, крім точності, вимагають ще й високої надійності.
- Звичайні теплові модулі надто великі для компактних пристроїв, занадто гучні для використання в медичних

установах та погано підходять для мобільних ультразвукових апаратів.

ЧУДОВА ПРОДУКТИВНІСТЬ SOM-6883 ТА ТЕХНОЛОГІЯ QFCS

Система на модулі SOM-6883 від Advantech забезпечує чудову обчислювальну та графічну продуктивність завдяки процесорам Intel® Core™ 11-го покоління (Tiger Lake-UP3) та 96 виконавчим блоками графічного процесора з Intel iRIS® Xe. У порівнянні з попередніми поколіннями процесорних плат SOM-6883 дає триразове збільшення графічної продуктивності та дворазове збільшення результатів тестів моделі ШІ без використання додаткової відеокарти. Крім того, технологія охолодження QFCS (Quadra Flow Cooling System) від компанії Advantech з низькопрофільними та малощумними функціями дозволяє використовувати всю потужність TDP для забезпечення 100% продуктивності.

Ця модель пропонує не тільки визначну продуктивність, але й оперативну пам'ять DDR4, надшвидкісний інтерфейс PCIe Gen4 (16 Гбіт/с), інтерфейс USB 4 Type-C та інші вдосконалені входи/виходи. Рішення на основі SOM-6883 від компанії Advantech відкриває шлях для створення більш тонких та стійких до вібрації систем замовника.

Компактна 95×95 мм (3.74"×3.74") процесорна плата SOM-6883 від компанії Advantech є ідеальним рішенням для ультразвукових діагностичних апаратів медичного призначення.

РІШЕННЯ ADVANTECH

Процесор у цій потужній компактній платі повністю задовольнив вимоги клієнтів, забезпечуючи власну обчислювальну/графічну продуктивність і підключення дисплеїв з SDR при високій роздільній здатності 8K. Крім того, система на модулі SOM-6883 підтримує діагностику на основі штучного інтелекту без використання додаткової відеокарти.

Ці можливості SOM-6883 спрощують розробку, знижують витрати та прискорюють виведення ультразвуко-

вих систем на ринок. Advantech надала професійні послуги з проектування та консультацій щодо цілісності сигналів, електромагнітної сумісності (ЕМС), налаштування BIOS та готові до використання програмні утиліти. Набір інструментів Edge AI Suite від компанії Advantech надав зручне середовище для вибору SKU плат, а також понад 100 перевірених модулів ШІ із перетворювачами.

Запатентоване компанією Advantech теплове рішення QFCS сумісне зі стандартами тензодатчиків Intel®. Це безшумне, тонке та легке рішення ефективно відводить тепло від процесора та легко адаптується до потреб клієнтів. У поєднанні з SOM-6883 компактний QFCS товщиною всього 26 мм (1.02") забезпечує відмінну продуктивність із мінімальним рівнем шуму, що не перевищує 45 дБ, і повністю підходить для застосування в медичних закладах.

Ключові особливості:

- потужні 4-ядерні процесори Intel® Core™ 11 покоління з низьким енергоспоживанням, не більше 28 Вт;
- чудова графіка та штучний інтелект з Intel® iRIS Xe Graphics G7 та 96 виконавчими блоками графічного процесора;
- низькопрофільна плата зі стійкою до вібрації пам'яттю на нижній частині плати;
- чотири незалежні дисплеї 4K (до двох 8K);
- порт USB 4 Type-C slim I/O та Thunderbolt, що налаштовується;
- надшвидкісне розширення вводу/виводу: PCIe Gen4 (16 Гбіт/с), USB 3.2 Gen2 (10 Гбіт/с), 2.5GbE Slim;
- безшумне рішення відведення та розсіювання тепла QFCS.

ВИСНОВОК

Компанія Advantech використовує послуги з проектування апаратного та програмного забезпечення для створення інноваційних продуктів для медичних програм. Ми прагнемо допомогти клієнтам адаптуватися до AIoT та скоротити час виходу на ринок.

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

Доступні моделі

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



Вбудований АЦП чи окрема мікросхема?

Іман Чалабі (Iman Chalabi), Microchip Technology

У статті порівнюються вбудовувані АЦП і АЦП, вироблені як окремі мікросхеми. Досить докладно розглядаються переваги та недоліки кожного варіанту і надаються рекомендації щодо вибору.

ВСТУП

У будь-якій більш-менш складній електронній системі розробник, напевно, зіткнеться із завданням збору та обробки аналогових сигналів. Тому практично у складі будь-якого 32-біт мікроконтролера (МК) загального призначення знайдеться вбудований багатоканальний 12-біт АЦП послідовного наближення, іноді навіть два АЦП. У той самий час на ринку є найширший асортимент АЦП як окремих мікросхем. Якому варіанту віддати перевагу — вбудованому в МК АЦП або окремій мікросхемі? Ми спробуємо відповісти на це запитання. Почнемо наш невеликий аналіз з розгляду технології та продуктивності.

ВБУДОВУВАНІ АЦП

Оскільки вбудований АЦП відноситься до периферійних модулів МК, швидше за все, він буде розроблятися за тими ж проектними нормами. В даний час більшість 32-біт універсальних МК випускаються за нормами 28 нм, які відмінно підходять для цифрових модулів, забезпечуючи хорошу щільність розміщення транзисторів на кристалі. Однак для аналогових модулів подібні проектні норми навряд чи можна назвати ідеальним рішенням. Перерахуємо основні недоліки вбудовуваних АЦП.

- Через компоненти меншого розміру зростають внутрішні шуми в АЦП, зокрема тепловий шум.
- Конденсатори великої ємності, що використовуються для зменшення шуму, помітно ускладнюють проектування та виробництво. Справа в тому, що аналогові компоненти складно реалізувати за малих геометричних розмірів кристала.

- Конденсатори малої ємності реалізуються простіше, але через них виникають нелінійності і збільшуються струми витоків.
- За 28-нм технології помітно складніше реалізувати узгодження, ніж за 90- та 180-нм норм. У результаті під час виробництва можуть виникнути розкиди параметрів.
- Слід мати на увазі і збільшення вартості через зростання вартості 28-нм процесу в порівнянні з 98- або 180-нм техпроцесами.

Ще одна проблема при зменшенні проектних норм полягає у зростанні шуму $1/f$, який переважає в низькій смузі частот. Зазвичай він переважає у смузі 0–10 Гц. На більш високих частотах панує білий шум (див. рис. 1). Компенсувати білий шум (але не шум $1/f$) можна методами цифрової обробки сигналів, наприклад, передискретизацією та усередненням. На жаль, шум $1/f$ у такий простий спосіб компенсувати не можна.

При малих технологічних нормах зростає кутова частота, починаючи з якої білий шум починає переважати над шумом $1/f$. Таким чином, збільшуються шуми $1/f$ і зростає шум перетворення. Отже, для зменшення шумів доводить-

ся вдаватися до відносно складних алгоритмічних методів, що може знизити продуктивність системи.

Не слід забувати, що у безпосередній близькості до аналогових каналів АЦП на кристалі розташовані цифрові вузли, які створюють перешкоди під час комутації. Можна синхронізувати роботу АЦП з головною тактовою частотою процесорного ядра, але оскільки пам'ять та інші цифрові периферійні модулі працюють з іншою тактовою частотою, повністю уникнути завад не вдасться.

Ще одна проблема вбудовуваного АЦП породжена широким діапазоном зміни температурного режиму кристала. Процесор може переходити з максимального режиму енергоспоживання у режим глибокого сну. Відповідно, змінюється температура кристала, через що виникає температурний дрейф, який робить свій внесок у бюджет похибки. Схема температурної компенсації здебільшого є недозвальною розкішшю для МК загального призначення.

І, зрештою, останній етап виробництва — тестування готового компонента. Мікроконтролери тестуються цифровими платформами, які, зрозуміло, оптимізовані для вимірювання цифрових параметрів і використовують набір тестових векторів. Завдання цих платформ — забезпечити максимальну продуктивність. Платформи з високою продуктивністю, швидше за все, не містять або містять обмежені за можливостями елементи аналогового тестування.

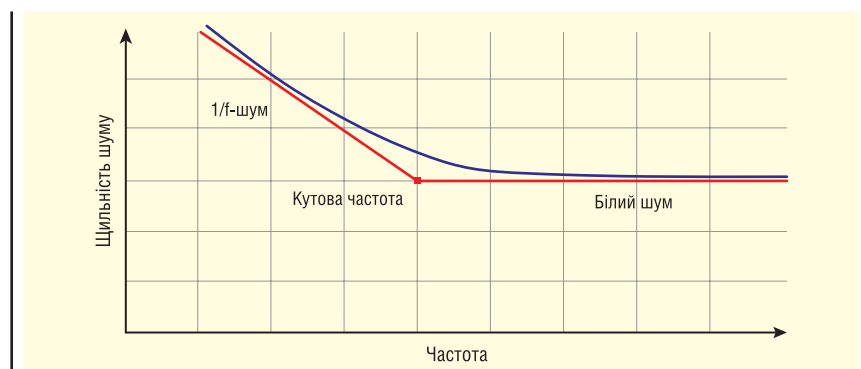


Рис. 1. Частотні характеристики шуму

З цієї причини виробник нерідко обмовляється, що характеристики аналогових модулів гарантуються або розробкою, або шляхом визначення параметрів. Подібний підхід навряд чи можна вважати задовільним. Є ще кілька обмежень, які слід знати розробникам.

- Нерідко цифрові платформи перевіряють функціональну працездатність аналогових модулів, але не мають можливості перевірити параметри модулів залежно від температури.
- Параметри тестера обмежують можливість перевірки параметрів АЦП. Наприклад, якщо в тестері передбачена можливість перевірки 8-біт АЦП з продуктивністю 100 Квиб/с, то не можна з його допомогою перевірити в повному обсязі 12-біт АЦП з продуктивністю 1 Мвиб/с.
- Виробники не поспішають додавати до платформ тестування функціонал точної перевірки аналогових модулів, оскільки це призведе до суттєвого подорожчання процесу. Перелічені проблеми посилюються, якщо в МК вбудовано 16-біт АЦП.

АЦП В ОКРЕМІЙ МІКРОСХЕМІ

Під час проектування АЦП в окремій мікросхемі можна використовувати 180-нм топологію. У цьому випадку вирішуються всі описані вище проблеми, що виникають при 28-нм процесі, зокрема з'являється можливість узгодити всі елементи АЦП. Тим не менш і застосування 180-нм топології не позбавлене недоліків. При збільшенні геометричних розмірів компонентів зменшується їхня щільність розміщення на кристалі. Отже, замість цифрових вузлів АЦП, що забезпечують цифрову обробку та комутацію, доводиться використовувати аналогові вузли, що збільшує вартість та у деяких випадках зменшує продуктивність. Однак у АЦП в окремій мікросхемі чимало переваг. Ми перерахуємо їх нижче.

Помітно спрощується і топологія кристала, оскільки відсутні інші функціональні вузли, які можуть вплинути на характеристики АЦП. Шум від комутації, створюваний тактовою частотою, легко виключається з допомогою рознесення фаз робочого циклу. Аналогове перетворення здійснюється у моменти, коли відсутнє перемикання імпульсів тактової послідовності.

При використанні окремої мікросхеми АЦП набагато легше вирішуються проблеми з температурним дрейфом. По-перше, на кристалі відсутні інші дже-

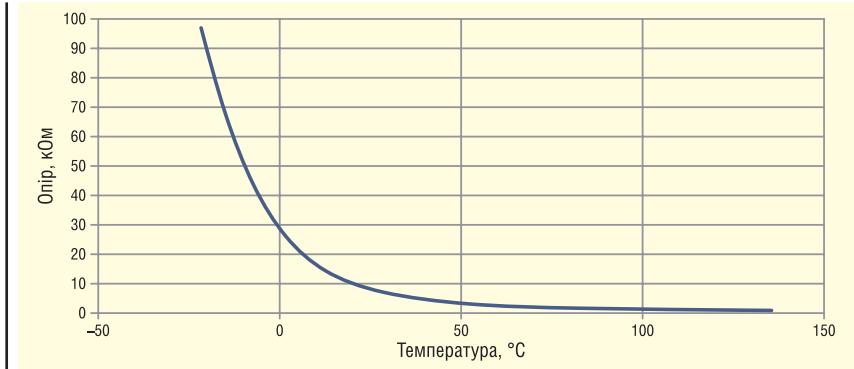


Рис. 2. Графік залежності опору термістора від температури

рела тепла, крім власне АЦП. По-друге, в аналоговий вузол простіше додати схему температурної компенсації.

Тестування АЦП як окремих мікросхем проводиться з допомогою аналогових тестових платформ з допомогою прецизійного аналогового вимірювального устаткування. З одного боку, ця обставина дає змогу з хорошою точністю виміряти всі параметри АЦП. З іншого, подібний тест обходиться дорожче через необхідність регулювання та калібрування випробувального обладнання. Крім того, потрібне постійне підстроювання, щоб на результати вимірювання не вплинув температурний дрейф.

ПОРІВНЯННЯ РІШЕНЬ

Розглянувши особливості вбудовуваних АЦП і АЦП, що випускаються в окремій мікросхемі, розумно порівняти характеристики цих перетворювачів. Розглянемо два найважливіші параметри — точність та прецизійність. Вони часто сприймаються як синоніми, але мають різні значення. Точність визначає можливість вимірювання величини, при якому відхилення виміряного значення від фактичного не перевищує заданого порогу. Прецизійність означає повторюваність вимірювань. Високопрецизійні прилади дозволяють визначити навіть дуже малу зміну вимірюваної величини.

Розглянемо найпростіший приклад. На різних терезах ви тричі зважуєте 1000 тройських унцій золота. Перші ваги показали результат 1000, 1001 та 1000. У цьому випадку можна говорити про високу точність — помилка після усереднення становитиме 0.03% — і високу прецизійність, оскільки стандартне відхилення становить 0.0005 унції. На інших вагах були отримані такі результати: 1018, 1017 та 1018 унцій. І на цих терезах ми отримали високу прецизійність виміру: як і в попередньому

випадку, стандартне відхилення склало 0.0005 унції, але про високу точність говорити вже не доводиться — помилка склала 1.8%. Що важливіше: точність чи прецизійність? Відповідь залежить від вимог конкретного проєкту, але найчастіше потрібно забезпечити високе значення для обох параметрів.

Таким чином, у загальному випадку не можна визначити, який із двох параметрів — точність чи прецизійність важливіша. Розглянемо ще один показовий приклад: вимірювання температури за допомогою термістора з негативним температурним опором (NTC). Графік залежності опору термістора від температури наведено на рисунку 2.

Відразу впадає у вічі нелінійність характеристики, що передбачає два підходи до вирішення завдання. Якщо потрібно вимірювати лише низькі температури, то через високу крутість характеристики достатньо використовувати АЦП з малою роздільною здатністю, тобто з малим числом розрядів; при цьому вдасться підтримувати прийнятну точність вимірів. Однак у випадку, коли необхідно вимірювати температуру в широкому діапазоні для підтримки високої точності вимірювання, потрібен АЦП з високою роздільною здатністю. Причини такого вибору криються в характеристиці термістора NTC — при зміні температури в діапазоні вище 20 °C опір термістора і, отже, зниження напруги на ньому змінюється незначно.

Отже, якщо йдеться лише про вимір поточного значення і не потрібно реєструвати невеликі зміни температури, то прецизійність (тобто повторюваність результатів вимірювання) не дуже важлива. За такої постановки питання точність важливіша за прецизійність. Але у випадку, коли температура включена в контур зворотного зв'язку системи керування, на перший план виходить вже прецизійність — саме вона дозволить підтримувати стабільність контуру

Таблиця 1. Порівняння вбудованого АЦП та АЦП в окремій мікросхемі

	Вбудований АЦП (приклад)	АЦП MCP33141-10 в окремій мікросхемі
Сумарна некоригована помилка	±1.8%	±0.06%
Точність	3.60%	0.12%
Прецизійність, ENOB	11.1 біт	11.8 біт

зворотного зв'язку, а отже, і системи керування загалом.

Важливими параметрами АЦП, що впливають на точність виміру, є: інтегральна нелінійність, диференціальна нелінійність, зміщення, дрейф зміщення, коефіцієнт посилення та дрейф коефіцієнта посилення. Саме ці параметри є джерелами помилки виміру. Щоб визначити точність АЦП, слід визначити вклад до бюджету похибок кожного із зозначених параметрів. Прецизійність визначається кількістю ефективних бітів (ENOB). Цей параметр вказує на відхилення від справжнього середнього значення. Іншими словами, 68.3% (одне стандартне відхилення) показань АЦП потраплять до ENOB. Нагадаємо, що стандартне відхилення STD визначається за такою формулою:

$$STD = \sqrt{[\sum (X_i - X_{AV})^2 / n]},$$

де X_i — i -е вимір у масиві з n вимірів; X_{AV} — середнє значення масиву з n вимірів.

Спростимо завдання. Допустимо, наш датчик температури відкалібрований і лінійний. Нам потрібно виміряти температуру в діапазоні $-40... 5$ °C, що відповідає діапазону вихідної напруги датчика $0-2.5$ В. Потрібна точність вимірювання 1 °C, що при повній шкалі 125 °C становить 0.8% або 200 мВ. Припустимо, що в нашому розпорядженні стандартний 12-біт АЦП із сумарною помилкою ± 1 МЗР (молодший значний розряд). У цьому випадку помилка складе $1/4096 = 0.024\%$, або в перерахунок на вхідний сигнал 610 мкВ помилка виявилася в 33 рази меншою за необхідну, і ми з запасом вклалися в вимоги.

Тепер розглянемо аналогічне вимірювання за допомогою АЦП, вбудованого МК. В одному із сучасних МК пропонується 12-біт АЦП з продуктивністю 400 Квиб/с та сумарною нескорегованою помилкою (total unadjusted error, TUE) $\pm 1.8\%$. Зауважимо однак, що величина цієї помилки перевищує помилку ± 1 МЗР у 6-біт АЦП, що становить 1.6% ! Таким чином, за несприятливих умов, коли помилка досягає максимальної величини, вимоги до точності вимірювання 1 °C не виконуються, незважаючи на високу розрядність АЦП. Така велика помилка є побічним результатом техноло-

гічного процесу, недоліки якого стосовно вбудованого АЦП ми розглянули вище.

Розглянуті приклади вкотре переконають у необхідності критичного підходу щодо технічної документації виробника. Тим більше, через те, що вбудоване джерело опорної напруги (ДОН) може мати високий температурний дрейф і шуми, в деяких випадках виробники вказують параметри АЦП при використанні зовнішнього ДОН. В цьому випадку виникає питання в доцільності використання вбудованого АЦП, якщо для його роботи потрібен зовнішній компонент.

Ще раз порівняємо вбудований АЦП із АЦП, який випускається як окрема мікросхема. В якості останнього використовуємо MCP33141-10 від Microchip Technology. Результат порівняння наведено у таблиці 1 та говорить сам за себе. Незважаючи на те, що кількість ефективних розрядів обох АЦП близька, вбудований АЦП не зміг забезпечити в нашому прикладі необхідну точність вимірювань.

Нерідко помилка розробників під час вибору АЦП у тому, що вони враховують лише прецизійність (число ENOB) і мало звертають увагу на інші параметри. Якщо АЦП точний і прецизійний, його можна використовувати у всіх випадках, а не лише в окремих рішеннях, приклад яких ми розглянули вище. Якщо від АЦП не вимагається висока точність вимірювань, краще зупинити свій вибір на вбудованому АЦП. При цьому спрощується проект, зменшується площа друкованої плати та знижується вартість виробу.

Однак якщо необхідна висока точність, прецизійність та узгодженість всіх компонентів системи у всьому діапазоні робочих параметрів, слід виявити обережність при виборі АЦП. Швидше за все доведеться вибрати АЦП в окремій мікросхемі. Дуже важливо звернути увагу на діапазон робочої температури. Усі параметри АЦП повинні збергатися у всьому діапазоні. Ця обставина має значатися у документації від виробника. Якщо таких вказівок немає, рекомендується утриматися від використання цих компонентів, тому що їх непередбачувана поведінка при зміні робочої температури в широкому діапазоні може стати неприємним сюрпризом. **CN**

МІКРОКОНТРОЛЕР З ПІДТРИМКОЮ БЕЗПЕЧНИХ РІШЕНЬ ДЛЯ НАДАННЯ КЛЮЧІВ

Компанія **Microchip Technology Inc.** оголосила про випуск першого в галузі мікроконтролера (MCU), який поєднує безпечну підсистему та технологію **Arm® TrustZone®** в одному корпусі. **PIC32CM LS60**, який інтегрує безпечну підсистему **Microchip Trust Platform**, полегшує розробку кінцевих продуктів за допомогою одного мікроконтролера, а не двох або більше напівпровідникових мікросхем. Тепер дизайнери можуть звернутися до одного надійного джерела, щоб знайти 32-розрядний мікропроцесор (MCU), призначений для захисту продуктів і кінцевого користувача від віддалених або фізичних атак на їхні розумні домашні пристрої, аксесуари для смартфонів або планшетів, портативні медичні пристрої, носії, підключені прилади та промислові роботи.

Оскільки індустрія IoT продовжує швидко розвиватися, потреба в тому, щоб периферійні пристрої були захищені високими стандартами захисту, стала важливою. **PIC32CM LS60** з поєднанням простої у використанні технології **Arm TrustZone** та безпечної підсистеми платформи **Trust Platform** із «високим» рейтингом **Common Criteria Joint Interpretation Library (JIL)** дозволяє розробникам впроваджувати перевірені в галузі методи безпеки та контрзаходи для захисту від широкого класу відомих дистанційних і фізичних атак. Ці типи проектів підтримуються такими інструментами, як **MPLAB® Code Configurator (MCC)**, **TrustZone Manager** і **Trust Platform Design Suite**, щоб спростити конфігурацію безпечної підсистеми. Служба надання послуг **Microchip Trust Platform** доступна для безпечного надання ключів і сертифікатів.

PIC32CM LS60 інтегрує вдосконалений периферійний сенсорний контролер з функцією **Driven Shield Plus**, яка запобігає помилковим дотикам через вологу і забезпечує високу стійкість до шумів, щоб забезпечити виняткові сенсорні інтерфейси.

Крім того, пристрій оснащено незалежними від ядра периферійними пристроями **SleepWalking** і системою подій. Ці периферійні пристрої утримують ядро MCU у сплячому режимі протягом тривалого періоду часу, щоб зменшити споживання енергії.

www.microchip.ua



Нові ПЛІС та СнК PolarFire® малої щільності

Статична потужність наполовину менша за мінімального тепловиділення порівняно з альтернативними пристроями

Периферійним обчислювальним системам потрібні компактні програмовані пристрої з низьким енергоспоживанням та малим тепловим слідом, щоб унеможливити використання вентиляторів й інших тепловідводів, забезпечивши надійний обчислювальний ресурс. ПЛІС та СнК PolarFire компанії Microchip вирішують це завдання, зменшуючи статичне енергоспоживання на 50%.

ПЛІС PolarFire та додаткові до них компоненти у вигляді СнК PolarFire перевершують за продуктивністю та енергоспоживанням будь-які запропоновані на ринку альтернативні ПЛІС або СнК ПЛІС з низькою щільністю завдяки швидкій матриці ПЛІС та обробці сигналів, найпродуктивнішим трансіверам та єдиній у галузі апаратній процесорній підсистемі прикладного класу на основі архітектури RISC-V з 2 Мбайт кеш-пам'яті 2-го рівня та підтримкою пам'яті LPDDR4 (Low-Power DDR4).

Ці пристрої дозволяють вирішити проблеми з енергоспоживанням, розміром системи, вартістю та безпекою в різних додатках з обмеженнями щодо теплового режиму, включаючи інтелектуальні системи технічного зору, що вбудовуються, та автомобільну електроніку, системи промислової автоматизації, зв'язку, безпеки та Інтернету речей, в яких не можна пожертвувати ні продуктивністю, ні енергоефективністю.

Ключові особливості

- число логічних елементів у СнК сімейств виробів: від 25 тис.; у ПЛІС — від 50 тис.
- найменший форм-фактор: розмір корпусу становить 11×11 мм
- 12.7-Гбіт/с приймачі-передавачі, підтримка декількох протоколів зі швидкістю 10 Гбіт/с
- найменша статична потужність, миттєва готовність до роботи під час увімкнення
- підвищений допуск на тепловиділення за більшої обчислювальної потужності
- найкраща у своєму класі безпека та надійність



microchip.com/lowpowerFPGAs



Назва компанії Microchip, її логотип та PolarFire є зареєстрованими торговими марками. Усі інші торгові марки, згадані у цій публікації, є власністю зареєстрованих власників.
© 2022 Microchip Technology Inc. Всі права захищені.
DS00004279A, MEC2405A

Блоки FSP для телекомунікацій

Іван Гончаров, інженер із вбудованих систем, Rutronik Elektronische Bauelemente GmbH
Олександр Леонов, інженер із джерел живлення, Rutronik Elektronische Bauelemente GmbH
 E-mail: rutronik_ua@rutronik.com

Джерела живлення для серверів і телекомунікаційного обладнання використовуються повсюдно у всіх сегментах ринку, що активно розвиваються. Розробки в цій галузі ведуться постійно, і кожен новий виріб має найкращі параметри та надійність. У статті ми хочемо представити кілька останніх новинок від компанії FSP.

Сільникові станції та телекомунікаційне обладнання — дуже складна продукція, до якої ставляться підвищені вимоги щодо надійності, терміну експлуатації та стабільності параметрів. День у день мільярди байт інформації проходять мережами за частку секунди без втрат з максимальною швидкістю в дуже жорстких умовах. У різних кліматичних зонах, починаючи з пустель і до Крайньої Півночі, де від якості зв'язку може залежати життя і безпека людей.

З цих причин галузеві стандарти дуже жорстко прописують параметри та характеристики компонентів та блоків, що входять до складу обладнання.

Одними з таких блоків є джерела живлення, від надійності яких, по суті, залежить стабільна робота решти всіх систем. І саме до джерел живлення висуваються найсуворіші вимоги, які мають забезпечити стабільне живлення за високої температури навколишнього середовища, мати запас потужності, резервування та захист від позаштатних ситуацій.

Давайте розглянемо блоки живлення для телекомунікаційної галузі, які пропонує один із світових лідерів з виробництва блоків живлення — компанія FSP Group.

Найбільш цікавими та популярними моделями блоків живлення є FSP800-20FL (див. рис. 1), YVIC0600AH-5A00P20 (рис. 2) та FSP500-50FDB (рис. 3).

Почнемо огляд з блоку живлення FSP800-20FL (рис. 1) потужністю 800 Вт, зібраного у стандартному форм-факторі CRPS, з живленням від шини постійної напруги номіналом -48 В, яке є стандартом для телекомунікаційного обладнання з

діапазоном напруг -36...-75 В. На виході блок забезпечує до 65 А по 12-В шині живлення. Блок оснащений вентилятором для примусового охолодження і працює в діапазоні температури 0-55 °С навіть при 90% вологості на висоті до 5000 м.

Як і всі промислові блоки FSP Group, FSP800 пройшов тести на прискорене старіння і тривалу роботу при 50 °С. За температури 45 °С і навантаженні до 75% напрацювання на відмову дорівнює 250 тис. год, тобто майже 30 років!

Блок має всі сертифікати для пристроїв такого класу, а також CB 62368-1 та CB 60950-1. Але найцікавіше у ньому — шина PMBus 1.2. Ймовірно, це найбільш сучасний механізм дистанційного керування. За допомогою PMBus 1.2 можна

контролювати рівні напруги та струму, температуру, швидкість обертання вентилятора та інші параметри, а також зчитувати список помилок, межі напруги по кожній шині живлення, при перевищенні яких блок автоматично виводить попередження на хост. За допомогою керуючої шини можна запускати та відключати блоки, зокрема після спрацьовування захисту.

Як стандарт, всі промислові блоки від FSP Group FSP800-20FL мають захист від перегріву, напруги, струмового перевантаження та короткого замикання. Крім того, блок автоматично відновлює подачу живлення після вирішення проблеми. Блок можна використовувати як резервний у системах N+1.

Наступний блок живлення — YVIC0600AH-5A00P20 (див. рис. 2). Цей блок живлення в корпусі 1U має два вбудовані модулі потужністю 600 Вт з функцією гарячої заміни. Модулі працюють у режимі резервування та розподілу навантаження, тобто поки один блок працює, другий його страхує, перебуваючи в режимі очікування і практично не споживаючи при цьому енергії. Джерело



Рис. 1. Блок живлення FSP800-20FL потужністю 800 Вт у форм-факторі CRPS

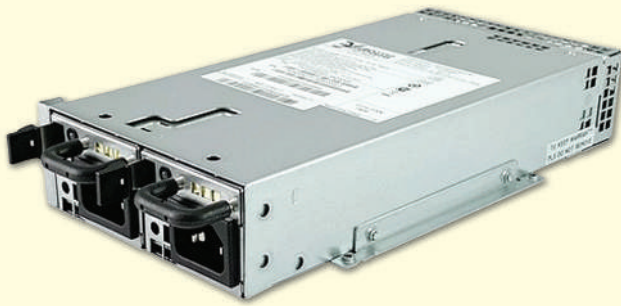


Рис. 2. Блок живлення YVIC0600AH-5A00P20 (80 PLUS Platinum) із резервуванням у корпусі 1U

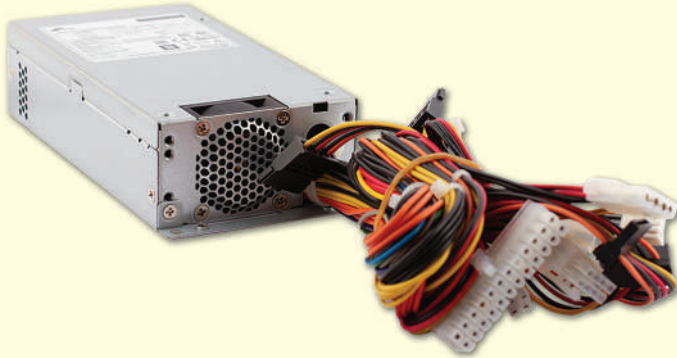


Рис. 3. Блок живлення FSP500-50FDB (80 Plus Gold) потужністю 500 Вт у корпусі 1U

живлення YVIC0600AH, як і FSP800, підтримує шину PMBus 1.2 з аналогічною повністю сумісною системою команд та зчитуванням телеметрії. YVIC0600AH має універсальний комп'ютерний роз'єм для живлення материнських плат з кількома вихідними напругами завбільшки 3.3; 5; 12; -12 В; 5Vsb.

За ефективністю блок стандартизовано по 80 PLUS Platinum. YVIC0600AH має всі захисти, аналогічно FSP800-20FL, та всі необхідні сертифікати. Діапазон робочої температури: 0–55 °С при вологості 5–90% на висоті до 5000 м над рівнем моря.

Блок живлення дуже щільно сконфонований і здатний витримувати без наслідків перевантаження в 10G.

У цьому ж конструктивному виконанні і габаритних розмірах, існують менш потужні версії цього джерела живлення з блоками по 450 і 300 Вт.

Остання модель блоку живлення – FSP500-50FDB (див. рис. 3). Це промисловий блок живлення у корпусі 1U. Його характеристики допускають застосування у телекомунікаційному обладнанні. Як легко здогадатися з назви, блок має потужність 500 Вт. FSP500-50FDB (див. рис. 3) працює в широкому діапазоні напруги 90–264 В при частотах 47–63 Гц. Діапазон робочої температури: 0–50 С за відносної вологості до

90% і висоті до 5000 м. Рейтинг ефективності пристрою: 80 Plus Gold.

Пристрій пройшов стандартний тест Burn-in 50 °С при 100% завантаженні; при 25 °С напруцювання на відмову дорівнює 100 тис. год, що становить близько 11 років.

Блок живлення має кілька вихідних напруг: 3.3; 5; 12; -12 В. До того ж, у нього є вихід 5Vsb. Цією лінією живлення подається навіть за вимкненого блоку, що зручно для живлення зовнішніх ланцюгів управління. І, звичайно ж, FSP500 має захист від перегріву, перенапруги, перевищення струму та короткого замикання; блок живлення автоматично перезапускається та відновлює подачу живлення після усунення проблеми.

Виріб сертифікований за новим стандартом EN62368.

Широкий вибір моделей, починаючи з бюджетних та закінчуючи моделями високого рівня, дозволяє компанії FSP задовольняти потреби багатьох виробників телекомунікаційного обладнання протягом більше десяти років, зберігаючи лідируючі позиції у галузі.

Більш детальну інформацію можна отримати у представника компанії Rutronik в Україні – Михайла Єлізарова:

тел.: +38 (050) 312-01-07. CN

КОМПАНІЯ FSP АНОНСУВАЛА ПЕРШИЙ У СВІТІ БЛОК ЖИВЛЕННЯ SFX 12VO 750W

Компанія **FSP Group** представила перший у світі ATX12VO-сумісний блок живлення типорозміру SFX 12VO потужністю 750 Вт, модель FSP750-27SCB, який дозволяє ПК ефективно знизити енергоспоживання в режимі очікування та відповідає стандарту ефективності CEC Tier 2, установленому 1-го липня 2021 року енергетичним кодексом Каліфорнії. Він також відповідає вимогам процесорів нового покоління та енергоемності, що робить його кращим вибором для компактних та потужних ПК.

Сучасні центральні процесори та графічні процесори вимагають високостабільного та надійного блока живлення, щоб забезпечити відповідну роботу системи. Це особливо важливо для кіберспортсменів, коли кожна мить важлива і може призвести до перемоги.

У порівнянні з традиційними блоками живлення з декількома шинами живлення (multi rails), блок живлення 12VO, який використовує схему з однієї потужною шиною (single rail) та використовує схему 12V+ 12Vsb як DC/DC-перетворювач, є більш ефективним. Також є можливість контролювати стабільність вихідної напруги та зменшити втрати на перетворення енергії.

Блок живлення SFX 12VO, у порівнянні з наявними Multi Rails, демонструє значні відмінності в конструкції проводів. Шина живлення для системної плати має меншу кількість проводів – 10 замість 24. Збережені оригінальна шина живлення процесора 4+4 пін, додаткова шина живлення PCIe 8 пін або 6+2 пін, яка передбачена для відеокарт. Таким чином, з точки зору конструкції дротів, SFX 12VO має значні переваги: менша кількість дротів, легший ремонт і збірка, хороша тепловіддача в системному просторі тощо. Він підходить для використання в сучасних потужних ПК та кіберспортивних ПК.

Компанія FSP, як перший у світі постачальник блоку живлення SFX 12VO, слідує за пульсом ринку та розробляє сучасні рішення заздалегідь, що підтримує не тільки компанії, які впроваджують нові тренди, а й ті, хто задає їх.

www.fsp-group.com

Пікова та середня потужність: як вибрати джерело живлення правильно

Стів Робертс (Steve Roberts)

Доповнення: Володимир Рентюк

Одне з питань, що потребують вирішення на ранніх етапах, звучить приблизно так: яка концепція електроживлення буде використана в проєкті? Потім, коли основні вузли (каскади) спроектовані та його енергоспоживання відомо, необхідно зробити вибір конкретної реалізації системи електроживлення під обрану концепцію. І тут розробник стикається з дилемою, який варіант джерела живлення вибрати: потужний і переплатити або більш доступний, але менший за потужністю, а значить, у випадку чого, такий, що виключає свободу для маневру. У цій статті компанією Recom представлений аналіз ситуації і пропонується рішення.

Нерідко, вибираючи джерело живлення, інженери сильно перестраховуються і вибирають його з дворазовим запасом за потужністю — наприклад, при реальному споживанні 5 Вт використовують дорожчий і габаритний 10-Вт. Такий вибір обґрунтований певним коефіцієнтом безпеки, а не лише резервом для додаткового навантаження чи подальшого додавання функцій, зокрема масштабу-

вання. Часто це робиться безпідставно, за принципом «в житті всяке буває і дуже часто» або «всі так роблять», особливо якщо раніше обпикався на молоці, то починаєш дмухати і на воду. Якщо і резерв для додаткового навантаження, наприклад, у разі масштабування системи, реальний, це, безсумнівно, досить вагомих аргумент, однак такий підхід не завжди раціональний та ефективний.

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

Залежність ККД у діапазоні навантажень понад 20% виглядає плоскою кривою, проте при споживанні 5 Вт ККД залежно від напруги на вході змінюється в межах 77–81% (рис. 1, помаранчева лінія). При 100% навантаженні ККД становить 83% незалежно від напруги живлення (рис. 1, блакитна лінія). Відмінність може здатися несуттєвою, проте економія 6% у втратах, які перейдуть у тепло, вже є значною величиною. При заміні модуля RAC10-12SK/277, наприклад, на менший за габаритами і більш дешевий RAC05-12SK/277 потужністю 5 Вт [2], його ККД буде вже постійним, незалежно від вхідної напруги, оскільки ми знаходимося в робочій точці 100%-го навантаження (рис. 2). Ще раз звернемо увагу, що габаритні розміри та вартість 5-Вт модуля RAC05-12SK/277

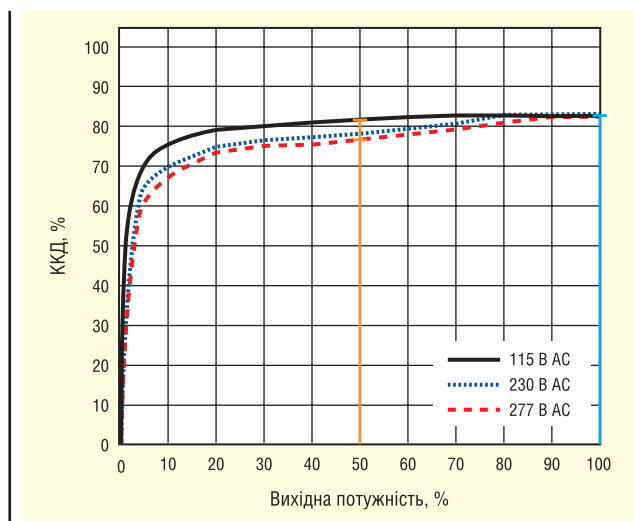


Рис. 1. Графік залежності ККД від навантаження для 10-Вт AC/DC-перетворювача RAC10-12SK/277 компанії Recom

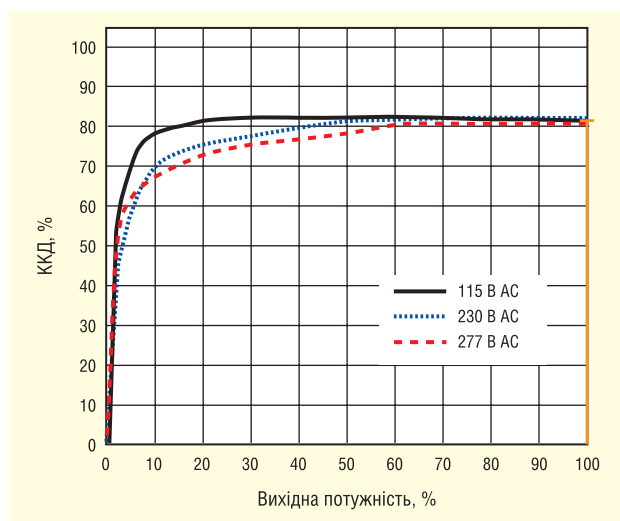


Рис. 2. Графік залежності ККД від навантаження для 5-Вт AC/DC-перетворювача RAC05-12SK/277 компанії Recom

Пікове навантаження

Розрахунок пікового навантаження

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

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

$$P = 1.2 \times P_{\text{ном}}$$

$$t_1 \leq 30 \text{ с}$$

$$t_2 \geq 2 \times t_1$$

Практичний приклад:

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

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

P_p = пікова вихідна потужність, Вт

P_r = відновлена потужність, Вт

t_1 = тривалість пікового навантаження, с

t_2 = час відновлення, с

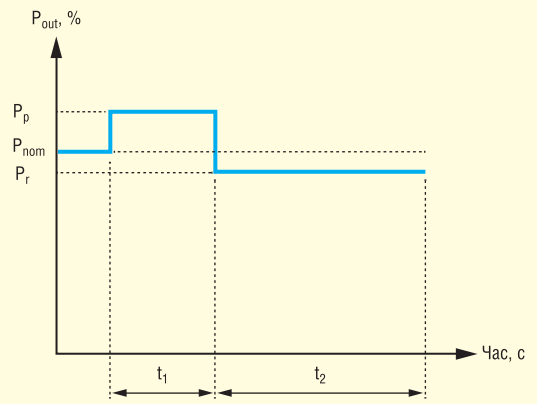


Рис. 3. Розрахунок пікової потужності для 5-Вт AC/DC-перетворювача RAC05-12SK/277 компанії Recom

значно менші, а це призводить до додаткової економії, тобто ми маємо виграш не лише від менших втрат, а й від меншого виділення тепла.

ПІКОВА ТА СЕРЕДНЯ ПОТУЖНІСТЬ

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

Ключовою фразою є «найгірший сценарій» — під час нормальної роботи навантаження зазвичай менше. Навіть якщо конвертер функціонує за постійної великої потужності, він зможе витримати короткочасне навантаження, оскільки має конструктивно запас на тепловиділення в режимі роботи з перевантаженням. Наприклад, у документації на RAC05-12SK/277 дається розрахунок визначення максимально допустимої потужності, представлений на рисунку 3 [2].

Важливим показником є РР — пікова вихідна потужність. Для модуля RAC05-12SK/277 номінальна становить 5 Вт, хоча він може видавати 6 Вт без спрацьовування захисту від перевантаження. Для перевантаження менше 120% від номінального ключовим моментом є внутрішня температура компонентів модуля. Якщо давати перетворювачу достатньо часу для охолодження між перевантаженнями, він здатний без збоїв працювати в режимі багаторазових циклічних перевантажень, підтримуючи стабільну напругу на виході.

При короткочасних, але суттєвіших перевищеннях потужності для забезпечення вихідного струму і недопущення спрацьовування захисту від перевантаження можна встановити зовнішній конденсатор. Такий підхід доцільно ви-

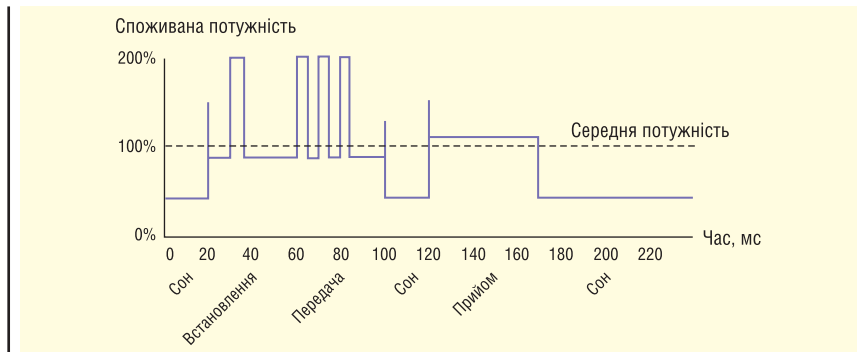


Рис. 4. Типовий профіль споживання живлення датчика з бездротовим підключенням до мережі

користувати для мікроконтролерів з бездротовим підключенням, де піковий струм під час передачі досягає великих значень, проте середня споживана потужність залишається на значно нижчому рівні (рис. 4). В даному випадку модуль живлення вибирають, виходячи із середньої, а не пікової потужності.

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

Як правило, тут взагалі слід уникати підходу з великим запасом потужності і використовувати, наприклад, 10-Вт DC/DC-перетворювач при 5-Вт навантаженні, хоча іноді немає іншого способу забезпечити необхідний діапазон робочих температур, беручи до уваги деградацію вихідної потужності при зростанні температури (derating). Так, серія DC/DC-перетворювачів RS12-Z [3] забезпечує 12 Вт

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

ЗАХИСТ ВІД ПЕРЕВАНТАЖЕННЯ СТРУМОМ

Безліч бюджетних AC/DC- та DC/DC-перетворювачів обладнано найпростішим захистом від перевантаження струмом, що базується на вимірі падіння на внутрішньому шунті (рис. 6).

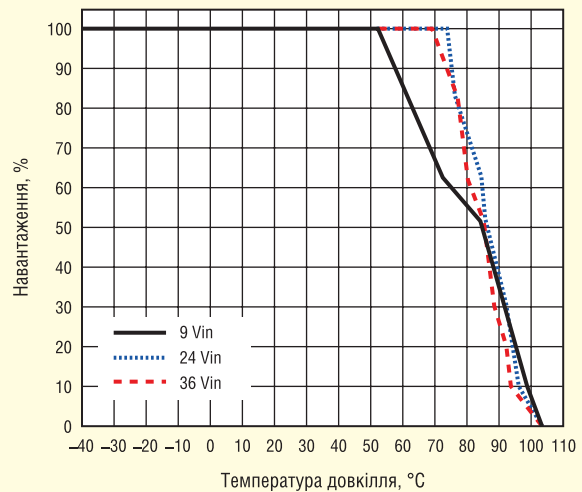
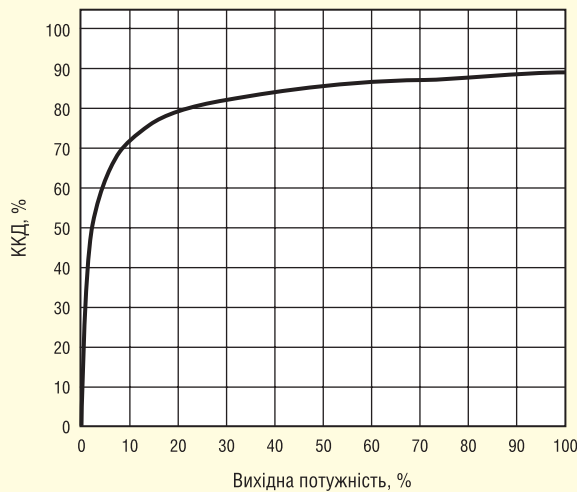


Рис. 5. Графік залежності ККД від навантаження для 5-Вт DC/DC-перетворювача RS12-2412SZ компанії Recom та графік зниження номінальної потужності в залежності від температури

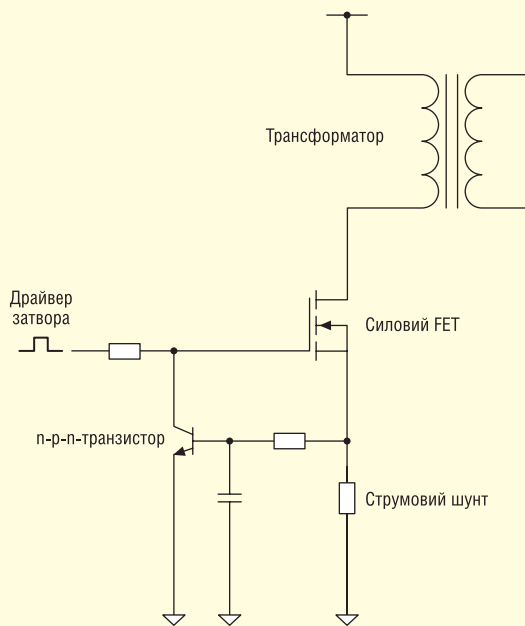


Рис. 6. Захист від перевантаження струмом (при падінні більше 0.7 В n-p-n-транзистор відкривається і, замикаючи затвор польового транзистора на загальний провід, вимикає його)

Дана схема захисту досить ефективна та просто реалізована, однак має широкую межу спрацьовування через допуски шунтуючого резистора і порогової напруги база-емітер V_{BE} спрацьовування n-p-n-транзистора. Значення компонентів розраховуються на підтримку роботи при 100%-му навантаженні і максимальній робочій температурі. Однак це дає 140%-й поріг відключення при кімнатній температурі. Тим не менш, подібні конвертери надійно функціонують за повного навантаження і мають необхідний запас для роботи в режимі навантаження.

Винятком тут стають імпульсні стабілізатори у вигляді неізовольованих DC/DC-перетворювачів, які зазвичай діють при значно більших частотах перемикавання. Мінімізація габаритних розмірів (а для понижуючого перетворювача збільшення частоти зменшує як котушку індуктивності, так і

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

ВИСНОВОК

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

Література:

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

Імпульсні блоки живлення універсального застосування серій LM/LMF та LI/LIF компанії MORNSUN

Володимир Рентюк

ОСОБЛИВОСТІ ТА ПЕРЕВАГИ ІМПУЛЬСНИХ БЛОКІВ ЖИВЛЕННЯ СЕРІЙ LM/LMF ТА LI/LIF

Блоки живлення серій LM/LMF та LI/LIF, крім загальних високих характеристик у частині ККД, стабільності та відповідності вимогам стандартів, мають інші особливості. Серед них — стійкість до нестабільності електромережі, яка може бути викликана проблемами генерації або наявністю на лінії електроживлення потужних навантажень, що комутуються, причому не обов'язково індуктивних. Індуктивністю тут проявляють себе дроти лінії електропередачі. Внаслідок цього виникає картина, представлена на рисунку 4 [12].

Як можна бачити з наведених раніше таблиць, частина блоків живлення серій LM/LMF і LI/LIF спочатку розраховані на більш широкий (85–305 В змінного струму), ніж звичайний (85–264 В змінного струму), номінальний діапазон вхідної напруги. Відповідно, ці блоки

безвідмовно працюватимуть априорі. Частина блоків живлення розраховані на умови нормальної електромережі, але витримують навантаження по входу до рівня 305 (AC) протягом 5 с. Крім того, їх вхідні конденсатори обрані на робочу

напругу не 400 В, як завжди, а на 450 [3]. Порівняння наведено на рисунку 5.

Ще одне питання стосується трактування діапазону робочих температур. Найчастіше розробники дивляться на верхню межу температури і це правиль-



Рис. 4. Вплив нестабільності електромережі на елементи блоку живлення, причини та наслідки

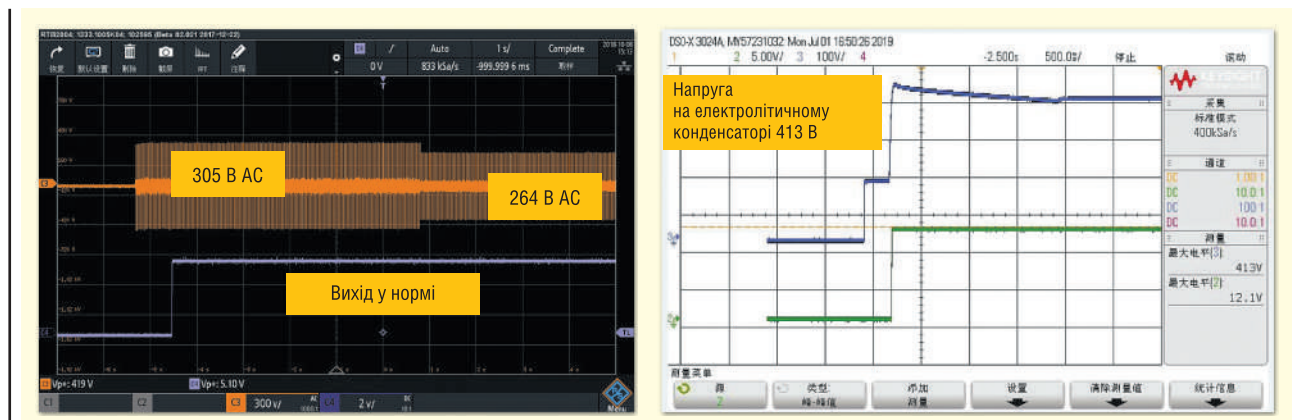


Рис. 5. Поводження блоків живлення серій LM/LMF та LI/LIF компанії MORNSUN під час перевантаження по входу

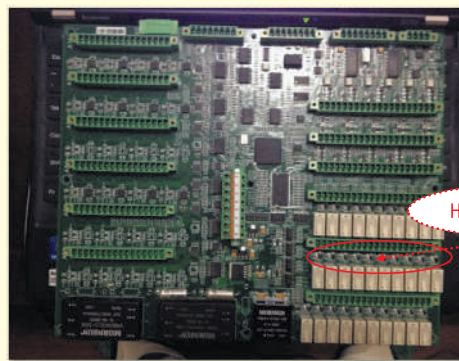
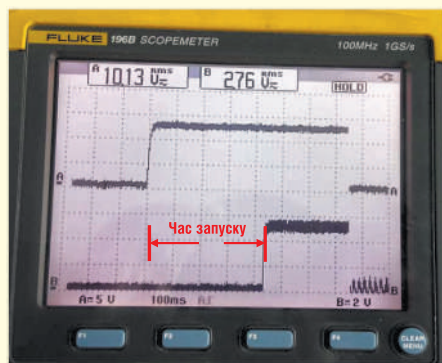


Рис. 6. Відмова реле через затягнутий час запуску блока живлення



Рис. 7. Блоки живлення компанії MORN SUN показують стабільні характеристики кондуктивних електромагнітних перешкод як при кімнатній, так і за високої температури

но, але що з нижнім? Деякі виробники, нормуючи цей параметр, не вказують кілька важливих моментів — наприклад, час готовності та запуску блока живлення за низьких температур. А тут не все просто. У системі може бути кілька джерел живлення, а крім цього, реле, плата збору сигналів, контролер, дисплей, зарядне обладнання і тощо. Всі ці пристрої вимагають ініціалізації для управління, відображення та роботи. Беручи до уваги тимчасову послідовність встановлення кожного набору вихідної напруги (яскравий приклад — включення блоку ATX [13], де відіграє роль затримка в 300 мс), блок управління необхідно швидко ініціалізувати за будь-якої заявленої для нього температури. В іншому випадку пристрій вийде з ладу і видасть сигнал тривоги, як показано на рисунку 6.

Отже, виникає ситуація на кшталт «Хьюстон, у нас проблема!». Що перше спадає на думку розробнику: помилка запуску, помилка системного часу? І після аналізу та вимірювань з'ясується: винний блок живлення, і закрадається думка: а чи не використати нам допоміжний обігрів? «І відповідь жахливо проста і відповідь єдина» — потрібно було вибрати блок живлення з чесно нормованими характеристиками. Так, блоки живлення серій LM/LMF та LI/LIF компанії MORN SUN (за декількома винятками) нормовані для роботи при -30°C та гарантують швидкий запуск за цієї низької температури (для одних — за 2 с, для інших — за 4.5 с) [3, 12]. І ніякого головного болю, і додаткового нагрівання не потрібно.

Але це ще не все. Є ще один підводний камінь, про який знають не всі розробники: рівень ЕМП блоку живлення також може залежати від температури! Ілюстрація сказаного — на рисунку 7. Це ж стосується і випромінюваних ЕМП (детальніше в [3, 12]).

Якщо порівнювати в цілому, то з діапазоном робочих температур ситуація наступна: більшість блоків живлення

широкого застосування призначені для роботи в діапазоні $-20 \dots +60^{\circ}\text{C}$, блоки індустріального класу — в діапазоні $-25 \dots +70^{\circ}\text{C}$, компанія MORN SUN пропонує пристрої, що працюють у діапазоні температур $-30 \dots +70^{\circ}\text{C}$.

ІМПУЛЬСНІ БЛОКИ ЖИВЛЕННЯ: ПРАКТИЧНІ ПРИКЛАДИ ЗАСТОСУВАННЯ

Програмований логічний контролер (ПЛК) системи розподіленого управління, проблема живлення вирішена

Для реалізації системи управління технологічним процесом на основі ПЛК, такої як розподілена система управління, одному з клієнтів знадобилося закрите джерело живлення потужністю 200 Вт або 240 Вт відповідно до ідеології конструкції — з монтажем на DIN-рейку. Спочатку вибір упав на блок живлення LRS-200-24 компанії Mean Well, але в системі були збої під час роботи, які не вдалося усунути. Проведений фахівцями компанії MORN SUN аналіз показав, що проблема з програмно-апаратною частиною, що відповідає за функціонування системи, пов'язана з наявністю кількох модулів ПЛК та велике некорельоване за часом навантаження. Після перемикання системи живлення на блок LM200-10B24/LIF240-10B24 компанії MORN SUN проблему вдалося вирішити. Блок-схему рішення показано на рисунку 8.

Газова сигналізація, протипожежний моніторинг, детектор безпеки тощо

Шафа управління централізовано керує внутрішнім обладнанням, при цьому використовує шину 24 постійного струму в якості внутрішнього детектора збору даних для

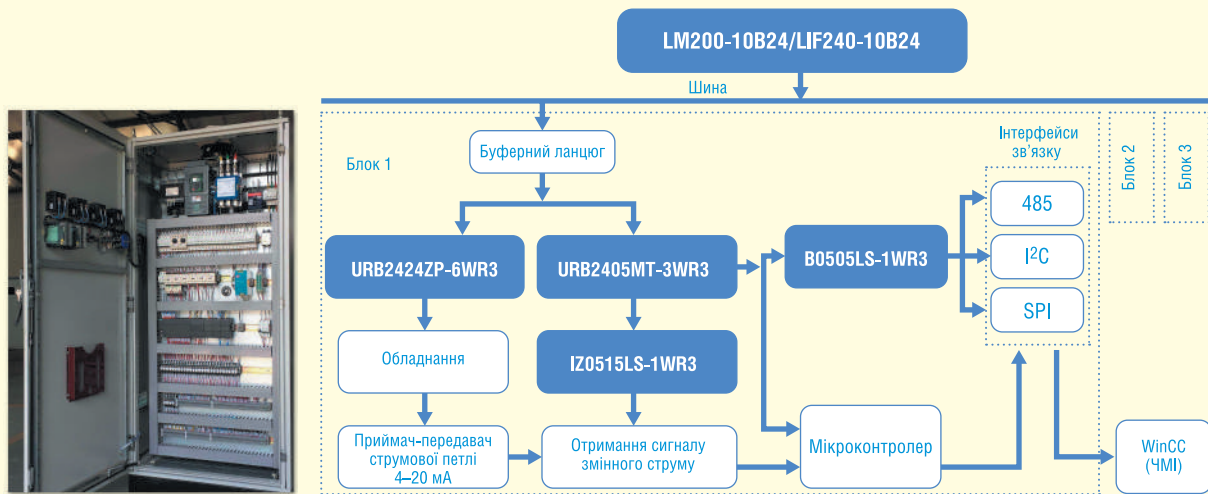


Рис. 8. Блок-схема рішення компанії MORNSUN для забезпечення стабільного функціонування розподіленої системи керування технологічним процесом на основі ПЛК

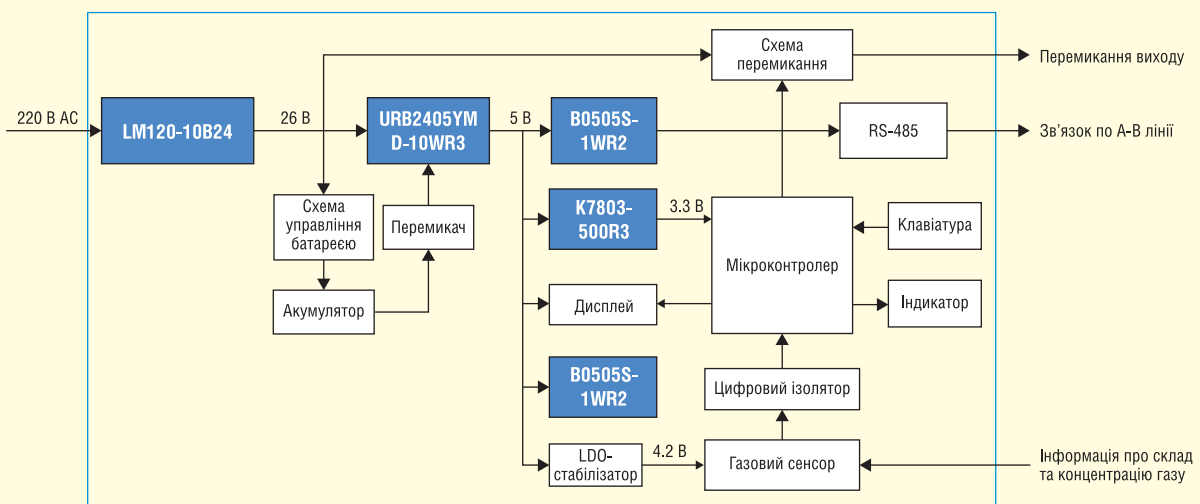


Рис. 9. Рішення компанії MORNSUN для систем газової сигналізації, протипожежного моніторингу, детекторів безпеки тощо, з використанням блоків живлення, що випускаються компанією, і модулів DC/DC-перетворювачів

централізованого електроживлення. Отже, залежно від кількості внутрішніх детекторів збору даних вимоги до живлення AC/DC різняться. Крім того, необхідно забезпечити заряд резервного акумулятора, а вихідна напруга має регулюватися. Рішення компанії MORNSUN на основі блоку живлення LM120-10B24 з використанням ряду модулів DC/DC-перетворювачів, що випускаються компанією, представлено на рисунку 9.

Низьковольтний статичний генератор змінного струму (SVG)

Блок живлення LM50-20B15 подає напругу на привід та детекторну частину SVG, де вимоги до потужності основного джерела живлення варіюються залежно від його потужності. Як правило, тут застосовується метод примусового повітряного охолодження. Завдяки тому, що блок живлення LM150-20B24 по EMC відповідає класу 4, має надійну ізоляцію між входом і виходом, що витримує 3000 В змінного струму, він може призначатися для живлення вентилятора разом з живленням всього пристрою в цілому. Рішення ком-

панії MORNSUN на основі блоків живлення LM150-20B24, LM50-20B15 і модуля DC/DC-перетворювача, що випускається компанією, представлено на рисунку 10.

Верстати з числовим програмним управлінням (ЧПУ)

Для живлення дисплея верстата з ЧПУ потрібно рішення електроживлення від мережі енергопостачання з можливими викидами напруги до 300 В тривалістю до 5 с, при цьому повинні бути вжиті заходи, що гарантують виконання вимог по EMC і стійкість до зовнішніх ЕМП. Пропоноване компанією MORNSUN рішення для живлення дисплея верстата з ЧПУ наведено на рисунку 11.

Для живлення дисплея був використаний блок живлення у вигляді AC/DC-перетворювача другого покоління LI60-20B24PR2 розміром 92.66×52×58 мм (стандарт DIN43880) з установкою на DIN-рейку. Блок живлення має високу напругу ізоляції: 4000 В змінного струму та, крім стійкості до перевищення напруги мережі до 300 В, відповідає вимогам щодо стійкості до електростатичних розрядів ступеня жорсткості 3

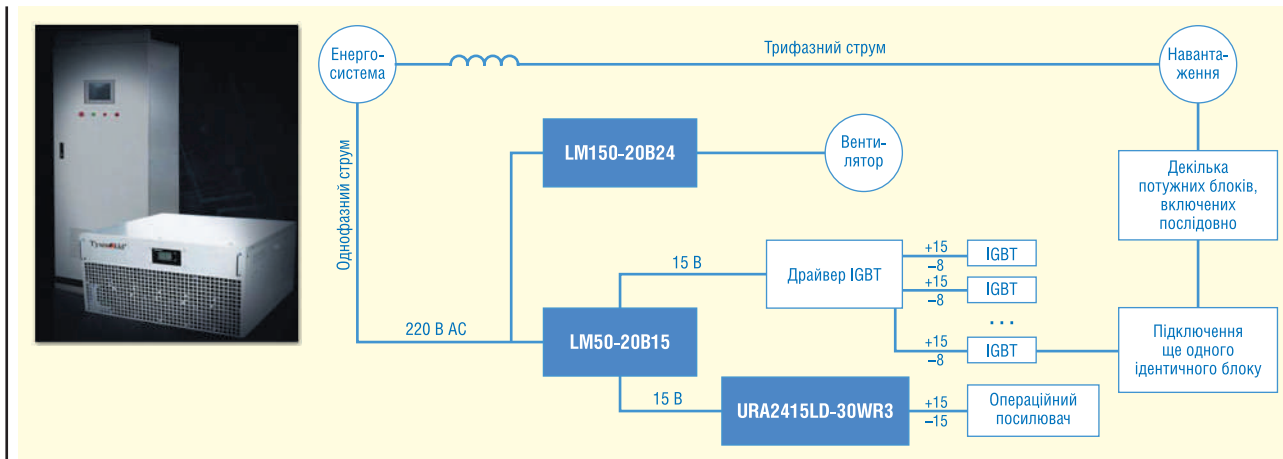


Рис. 10. Блок-схема рішення компанії MORNSUN для забезпечення стабільного функціонування розподіленої системи керування технологічним процесом на основі ПЛК

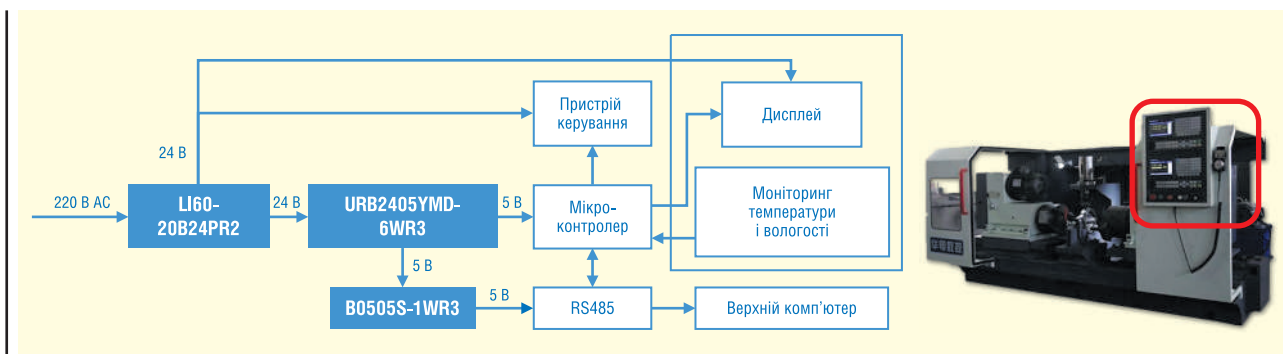


Рис. 11. Пропоноване компанією MORNSUN рішення для живлення дисплея верстата з ЧПУ

(контактний розряд ± 6 кВ/повітряний розряд ± 8 кВ) та за рівнем випромінювання ЕМП класу В.

Література:

1. www.youtube.com/watch?v=aY32-kXf8QY
2. www.edgeelectronics.com/media/pdf/mornsun_enclosed_acdc_flyer.pdf
3. AC DC Enclosed Power Supply (з PFC) // MORNSUN, Overseas FAE Dep. 2020. No. 1.
4. www.mornsun-power.com/html/support-detail/516.html
5. Enclosed AC DC Converter Introduction and Typical Application. MORNSUN Science & Technology Co., Ltd.
6. Enclosed Switching Power Supply Selection Guide (2021). [www.mornsun-power.com/public/uploads/enfiles/mornsun_enclosed_switching_power_supply_selection_guide_\(2021\).pdf](http://www.mornsun-power.com/public/uploads/enfiles/mornsun_enclosed_switching_power_supply_selection_guide_(2021).pdf)
7. MORNSUN Enclosed & DIN-rail AC DC Converter Application Guide (2020). [www.mornsun-power.com/public/uploads/enfiles/mornsun_enclosed_&_din-rail_acdc_converters_application_guide_\(2020\).pdf](http://www.mornsun-power.com/public/uploads/enfiles/mornsun_enclosed_&_din-rail_acdc_converters_application_guide_(2020).pdf)
8. AC/DC Enclosed SMPC. www.mornsun-power.com/html/products/19/enclosed-smps.html
9. MORNSUN LI AC-DC introduction AC DC-LI series // MORNSUN, 2020.
10. www.mornsun-power.com/html/products.html
11. www.mornsunpower.ru/html/products.html
12. AC DC Enclosed Power Supply (without PFC). MORNSUN, Overseas FAE Dep. 2021.
13. Рентюк В. Организация питания промышленных компьютеров от шин напряжения постоянного тока // Компоненты и технологии. 2015. №2.

ВИСНОВОК

Компанія MORNSUN має у своєму розпорядженні повний цикл виробництва та постачає на ринок модульних блоків живлення широкий спектр якісних рішень, збалансованих за ціною та якістю: AC/DC- та DC/DC-перетворювачі, мініатюрні трансформатори, EMC/EMI-фільтри та інше. Продукція компанії користується заслуженим попитом та застосовується багатьма відомими компаніями-виробниками, такими як Siemens, Honeywell, General Electric, ABB та іншими. Компанія MORNSUN націлена на подальший розвиток своєї продукції та її просування як на світових ринках, так і на ринку України.

Як висновок звернемося до корпоративної філософії компанії — «культури верблюда» (camel culture). Справа в тому, що засновник і президент компанії Інн Сян'ян любить порівнювати себе з верблюдом, який твердо стоїть на землі і невпинно крокує вперед. Дотримуючись цього принципу, компанія MORNSUN намагається: «Заявляти менше, робити більше, твердо стояти на землі і самовіддано трудитися». Цілком можливо, що продукція компанії дозволить і вам твердо стояти на ногах і досягати успіхів, не без праці, без якої, як відомо, не витягнеш і рибку зі ставка. До цього нам не звикати. І точно вам немає необхідності проектувати і виготовляти власний блок живлення, якщо, звичайно, ви не плануєте його як ринковий виріб.

Повна інформація щодо продуктів компанії доступна на її сайті в англійській та російськомовній версіях [10, 11].

Закінчення. Початок див. «CHIP NEWS», № 1, 2022 р.

MORNSUN®



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

IGBT Driver · LED Driver · EMC Auxiliary Device

MORNSUN®

MORE THAN RELIABILITY

Офіційні поставки в Україні від компанії «НВП ЄВРОКОМ КОМПОНЕНТС»



EUROCOM COMPONENTS

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

Підвищення ефективності перетворення шляхом зміни схеми розподілу електроживлення

Філ Девіс (Phil Davies), корпоративний віце-президент зі збуту, Vicor

Розподілена система живлення (PDN) застосовується у більшості електронних пристроїв. Тенденції розвитку електроніки сприяють збільшенню навантаження на систему електроживлення PDN та підвищенню вимог до її параметрів. Збільшення функціональності та обчислювальної потужності пристроїв призвели до зростання споживаного струму, що викликало підвищення втрат електроенергії у традиційних розподілених системах живлення. У статті розглянуто факторизовану архітектуру системи живлення компанії Vicor, що дозволяє вирішити ці проблеми.

Втрати потужності можна зменшити двома способами.

- Перший полягає в збільшенні перерізу провідників, шарів шин живлення плати і виводів роз'єму, що збільшує масогабаритні показники і, ймовірно, вартість виробу.
- Другий спосіб передбачає підвищення напруги на шинах живлення; при цьому знижується сила струму через шини. Відповідно, зменшується переріз провідників та розмір плат. І тут, можливо, скорочується і вартість рішення.

Протягом багатьох років розробники великих систем використовували перший спосіб. Вони застосовували однофазні AC/DC-перетворювачі та 12-В DC/DC-перетворювачі. Однією з причин прийняття такого рішення була відсутність DC/DC-конверторів, здатних ефективно перетворювати велику за величиною напругу безпосередньо у напругу живлення електронних компонентів системи. Застосування цього способу помітно підвищувало вартість PDN-системи.

Однак збільшені вимоги змушують відмовитися від використання першого способу на користь другого. Наприклад, у центрах обробки даних (ЦОД) впрова-

дження штучного інтелекту, машинного навчання та нейронних мереж призвело до збільшення споживаної потужності на 200%. Наприклад, одна стійка може споживати до 20 кВт. Споживана стійками суперкомп'ютерного сервера потужність наближається до 100 кВт, інколи ж і перевищує цю величину. Подібне зростання енергоспоживання спонукає розробників систем живлення переглянути методи проектування. Тепер вони змушені використовувати архітектуру PDN-мережі і всередині стійки, і навіть на надкомпактних серверах (так званих блейд-серверах). При споживанні менше 5 кВт стійки живилися від однофазної мережі змінного струму, потім AC/DC-перетворювачі формували шину 12 В, яка розподілялася по блейд-серверах. Оскільки сумарний струм 12-В шини досягав 416 А, розведення живлення здійснювалося кабелями з провідниками великого перерізу.

АДАПТАЦІЯ ДО ВИМОГ НОВИХ ПРИКЛАДНИХ ЗАВДАНЬ

У 2015 році, у зв'язку зі збільшенням енергоемності споживачів, стандарт-

ну споживану потужність стійки збільшили до 12 Вт. Відповідно, струм 12-В шини всередині стійки зріс до 1000 А, що зробило колишні рішення непридатними. Спільнота OCP (Open Compute Project), в яку входять багато хмарних і серверних компаній, запропонувала змінити конструкцію стійки, замінивши кабелі шинами і розмістивши 12-В перетворювачі таким чином, щоб зменшити відстань до блейд-серверів і, відповідно, зменшити довжину провідників. Проте головною відмінністю нової технології стало живлення стійок від трифазної мережі змінного струму, що дозволило збільшити потужність. Щоб зменшити струм шини і потужність, що розсіюється в мережі PDN, компанії-виробники замість 12-В шини стали формувати 48-В шини. Збільшення напруги вчетверо дозволило зменшити потужність втрат у 16 разів. Сумарний струм 12-кВт стійки зменшився до 250 А. Однак ускладнилося завдання створення перетворювачів для блейд-серверів. Подальше збільшення споживаної потужності призвело до появи стійок з енергоспоживанням 20 кВт та вище. Були досить успішні спроби зберегти для споживачів недорогого 12-В екосистему, але після появи процесорів штучного інтелекту середній струм споживання зріс до 500–1000 А; при цьому пікові струми досягли 2000 А. У цьому випадку зберегти 12-В шини стало практично неможливо, і консорціум OCP прийняв рішення про перехід PDN-систем на 48-В шини.

ПЕРЕХІД НА 48-В СИСТЕМУ ЕЛЕКТРОЖИВЛЕННЯ

Ще раз нагадаємо, що збільшення напруги в чотири рази дозволило зменшити споживаний струм у стільки

ж разів ($P = VI$), а втрати у розподільній системі — у 16 разів ($P_{\text{втрат}} = I^2R$). 48-V система почала швидко поширюватися в результаті переходу додатків автомобільної електроніки, 5G, світлодіодного освітлення, а також промислового обладнання на архітектуру PDN з 48-V шиною. Перехід на напругу 48 V обумовлений очевидними економічними причинами. Він дозволяє розробникам на свій вибір використовувати або 12-, або 48-V шини в залежності від потужності споживачів. Однак не слід забувати, що топології та принципи побудови 48-V перетворювачів можуть сильно відрізнятися один від одного, та їх ефективність слід враховувати у кожному конкретному випадку.

Для живлення потужних високопродуктивних стійок багато компаній використовують трифазну мережу змінного струму з прямим перетворенням в напругу постійного струму 48 V, призначену для подальшого розподілу. Іншим варіантом є випрямлення напруги трифазної мережі змінного струму з подачею в стійку напруги 380 V за принципом електропередачі постійного струму (HVDC). Для високопродуктивних обчислювальних систем (HPC) у стійках потужністю до 100 кВт зазвичай використовують електропередачу HVDC.

Переведення розподільної мережі на 48 V вимагає змін у схемах перетворення напруги в більш низьку в блейд-серверах. Це дуже цікавий процес, тому що існують численні альтернативні підходи до архітектури, топології та форм-факторів перетворювачів.

ЗНАЧИМІСТЬ АРХІТЕКТУРИ ТА ТОПОЛОГІЇ СИСТЕМ ЕЛЕКТРОЖИВЛЕННЯ СИСТЕМ HPC

Якщо для серверів ЦОД використаня 48-V архітектури в новинку, то в апаратурі зв'язку електроживлення, наприклад, маршрутизаторів або мережних комутаторів давно здійснюється від джерел з такою напругою, оскільки в установках живлення, що резервуються, використовуються свинцево-кислотні акумулятори з номінальною напругою 48 V.

У телекомі ця архітектура отримала назву архітектури із проміжною шиною (IBA). Вона складалася з нерегульованого шинного перетворювача -48/12 V з гальванічною розв'язкою, який генерує напругу 12-V шини. До цієї шини підключаються багатофазні понижуючі перетворювачі, що формують напругу

живлення споживачів. Деякі компанії, що займаються хмарними та високопродуктивними обчисленнями, скопіювали цю архітектуру для своїх 48-V систем, але в міру збільшення споживаної потужності та зниження напруги живлення у точках споживання енергії до 1 V і нижче їм довелося шукати альтернативні архітектурні рішення та топології.

Архітектура системи електроживлення, топологія комутації та конструктивне оформлення надзвичайно важливі для розробок із високою щільністю та продуктивністю, що забезпечують зростання обчислювальної потужності. Збільшення сили струму, споживаного процесорами та системами штучного інтелекту, призвело до того, що одним із найважливіших параметрів системи живлення стали розміри мережі електроживлення, що впливають на опір ланцюга PDN між перетворювачами та споживачами.

ПРАВИЛА ГРИ ЗМІНЮЮТЬСЯ

Отже, найновіші процесори для додатків ШІ споживають у статичному режимі до 1 000 A, а пікове споживання досягає 1 500–2 000 A. Типовий опір шини PDN від кінцевого ступеня перетворення до споживача становить 200–400 мкОм. Неважко підрахувати, що на цьому опорі постійно розсіюється потужність 200–400 Вт ($P = I^2R$), що звичайно непринятно для будь-якої системи. Втрати PDN стають домінуючим фактором при розрахунку ККД і продуктивності системи DC/DC-перетворення.

На жаль, неможливо використати, здавалося б, очевидне рішення збільшити вихідну напругу PoL-перетворювачів. Справа в тому, що за законом Мура напруга живлення мікросхем постійно зменшується, тому єдина можливість полягає у зниженні опорі PDN. Отже, регулятори необхідно встановлювати безпосередньо поблизу процесора. При використанні багатофазних регуляторів може знадобитися від 16 до 24 фаз для забезпечення великої сили струму, необхідної для процесорів, що застосовуються в системах ШІ. При цьому питома потужність знижується, тому завдання зменшення втрат в PDN-системі залишається невирішеним.

ФАКТОРИЗОВАНА АРХІТЕКТУРА СИСТЕМИ ЖИВЛЕННЯ

Альтернативою архітектурі IBA є факторизована архітектура (Factorized

Power Architecture, FPA), розроблена компанією Vicor. Вона складається з каскаду попереднього регулювання (pre-regulation module, PRM) та наступного за ним каскаду перетворення напруги (voltage transformation module, VTM).

Подібна специфічна архітектура FPA дає змогу оптимізувати параметри кожного каскаду. При цьому перетворювач PRM регулює і стабілізує напругу без гальванічної розв'язки (оскільки 48 V є безпечною величиною напруги), залишаючи функцію зниження напруги до величини, бажаної для живлення споживачів, модулю VTM з фіксованим коефіцієнтом перетворення K.

Робочі характеристики цього рішення значно покращені завдяки використанню у модулях PRM та VTM топологічних рішень, спеціально розроблених фірмою Vicor. PRM-перетворювач використовує комутацію силових каскадів під час переходу напруги через нульове значення. Модуль VTM, що забезпечує перетворення напруги до величини, необхідної для кінцевого споживача, базується на фірмовій топології т.зв. високочастотного резонансного перетворювача амплітуд синусоїдальних коливань (Sine Amplitude Converter, SAC), в якому перемикання відбувається за нульових значень струму та напруги. Модуль VTM можна розглядати як понижувальний в K раз трансформатор постійного струму з коефіцієнтом трансформації 1/K. Відповідно, в K разів збільшується вихідний струм модуля. Тому модуль VTM іноді називають помножувачем струму. Такий PoL-перетворювач з високою щільністю струму (величина якої в найновіших виробках досягає 2 A/мм²) завдяки технології компонування модуля та високого ступеня інтеграції магнітних моточних компонентів можна встановлювати безпосередньо поблизу процесора.

Висока щільність струму надає значну свободу дій проектувальнику. Залежно від струму споживання, можна вибрати горизонтальний або вертикальний варіант подачі електроенергії до процесора. При горизонтальній топології (Lateral Power Delivery, LPD) модуль VTM розташовується в безпосередній близькості від процесора ШІ або на тій же підкладці, або на материнській платі на дуже малому (не більше кількох мм) віддаленні від нього, що дозволяє зменшити опір PDN приблизно до 50 мкОм.

Для підвищення ефективності застосовується вертикальний метод по-



Рис. 1. Загальний принцип побудови факторизованої архітектури

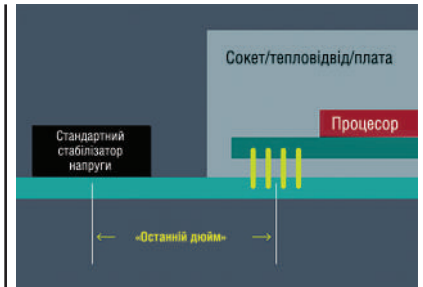


Рис. 2. Традиційне рішення PDN-схеми

дачі електроживлення (Vertical Power Delivery, VPD), у якому помножувач струму VTM встановлюється безпосередньо під процесором. При цьому розташування виводів перетворювача відповідають розташуванню входів електроживлення процесора над ним. У корпус такого модуля інтегровані високочастотні конденсатори великої сумарної ємності, які зазвичай розташовуються під процесором на материнській платі або підкладці. Такий тип модуля отримав назву GCM (Geared Current Multiplier). Вертикальна топологія скорочує довжину провідників шин живлення до мінімуму, за якого їх опір знижується до 5–7 мкОм. Настільки низьке значення опору забезпечує процесор максимальним струмом, завдяки чому вдається повністю реалізувати його обчислювальні можливості.

Надзвичайна складність завдання розробки системи електроживлення з подібними параметрами потребує комплексного підходу до її вирішення задля досягнення високих показників.

Для виконання вимог, що постійно підвищуються, і вирішення системних проблем, що ускладнюються, потрібні інноваційні підходи, що дозволяють поліпшити архітектуру системи розподіленого живлення, топологію модулів цієї системи, а також конструктивне виконання цих модулів.

Збільшення вхідної напруги PoL-перетворювачів спрощує проектування систем, але без підвищення питомої потужності та ККД оптимальне рішення отримати неможливо. Тільки зниження опору підвідних провідників PDN дозволяє вийти на нові горизонти в області високопродуктивних обчислювальних пристроїв і систем штучного інтелекту.

ІДЕАЛЬНА СИСТЕМА ЕЛЕКТРОЖИВЛЕННЯ КІНЦЕВОГО СПОЖИВАЧА

Для побудови оптимальної системи електроживлення кінцевого навантаження (див. рис. 1) слід врахувати, що:

- регулюючий каскад має найвищий ККД, коли $V_{вх} = V_{вих}$;
- загальний ККД системи максимальний при мінімальній відстані, на яку передається великий струм, споживаний кінцевим навантаженням, тобто втрати у провідниках мінімізовані.

«ОСТАННІЙ ДЮЙМ»

Вирішуючи проблеми, створювані високими струмами споживання сучасних процесорів великої потужності на ділянці так званого «останнього дюйма» (див. рис. 2), технологія Vicoг не просто підвищує ефективність системи та спрощує конструкцію материнської плати, а ще й забезпечує процесорам якісно нові, недосяжні раніше обчислювальні можливості, необхідні для сучасних додатків (наприклад, систем штучного інтелекту).

ГОРИЗОНТАЛЬНА ТОПОЛОГІЯ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОЖИВЛЕННЯ

Підведення струмів великої величини здійснюється модулями MCM, які можуть розташовуватися в безпосередній близькості від процесора і материнської плати, і безпосередньо на підкладці (див. рис. 3). Останній варіант знижує втрати у PDN-з'єднанні та дозволяє зменшити кількість кулькових виводів у масиві (BGA), зайнятих на підкладці під електроживлення.

ВЕРТИКАЛЬНА ТОПОЛОГІЯ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОЖИВЛЕННЯ

Вертикальна топологія (VPD) ще більшою мірою знижує втрати в підвідних провідниках і зменшує площі, що займаються на друкованій платі системою електроживлення (див. рис. 4). Вона відрізняється від горизонтальної побудови інтеграцією інтерфейсних ємностей з помножувачем струму (модуль GCM) **СН**

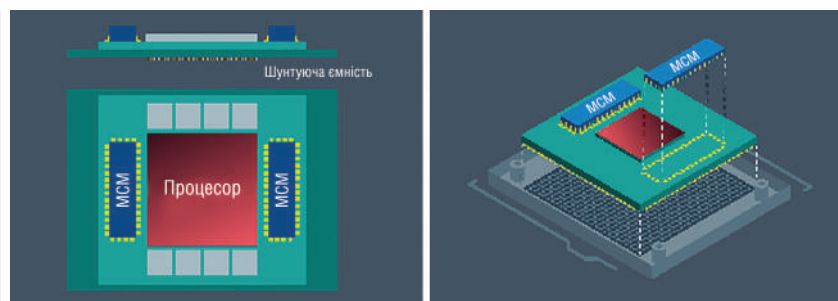


Рис. 3. Факторизована архітектура, горизонтальний варіант побудови (LPD)

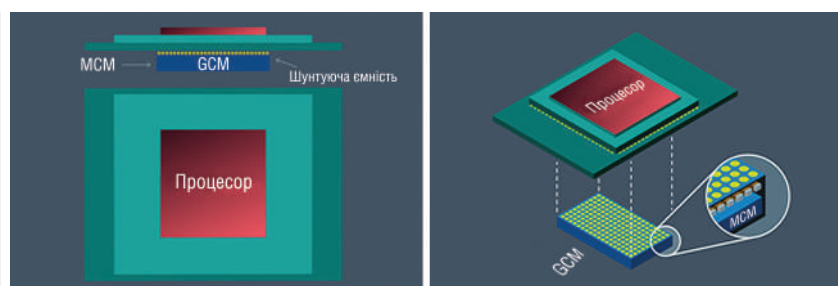


Рис. 4. Факторизована архітектура: варіант побудови з вертикальним розташуванням перетворювача (VPD)

Сьоме покоління IGBT у трирівневих перетворювачах

Йохім Ламп (Joachim Lamp)

Переклад та коментарі: Андрій Колпаков

Адаптований переклад українською: редакція журналу «CHIP NEWS»

Технічний консультант: Тарас Мисак, к. т. н.

Стаття продовжує тему, розпочату в «CHIP NEWS» № 1, 2022 р. Принцип роботи багаторівневої схеми простий: модулі або інверторні комірки з'єднуються послідовно, за рахунок цього напруга живлення пристрою може бути вище за блокуючу здатність окремих силових ключів. Подібне рішення дозволяє формувати багатоступінчасту вихідну напругу перетворювача, знизити рівень її гармонійних спотворень, зменшити габарити або взагалі відмовитися від дорогих та громіздких вихідних фільтрів.

ВСТУП

Типові схеми 2L- та 3L-інверторів наведено на рисунку 1. У першому випадку вихідна напруга може приймати лише два значення, рівні за амплітудою $-V_{DC}$ або $+V_{DC}$. Топологія 3L дозволяє сформувати сигнал, кожна із напівхвиль якого складається з трьох рівнів ($0, \pm V_{DC}/2, \pm V_{DC}$).

Трирівневі перетворювачі використовуються в джерелах безперебійного

живлення (UPS) та інверторах сонячних енергетичних станцій, що викликано високими вимогами щодо ККД та якості вихідного сигналу даних пристроїв. Зниження рівня гармонійних спотворень у 2L-схемах досягається за рахунок збільшення частоти комутації f_{sw} , що у свою чергу веде до зростання динамічних втрат. Багаторівнева схема дозволяє при відносно малому значенні f_{sw} вирішити цю проблему і, крім того, зменшити

вимоги до синусоїдального фільтра, габарити та вартість якого роблять істотний внесок у показники всього виробу.

Оскільки у фазному ланцюгу комутації трирівневої схеми беруть участь чотири напівпровідникові ключі, втрати провідності даної схеми дещо вищі, ніж у традиційної дворівневої. Однак істотне зниження втрат перемикачів дозволяє зменшити загальне значення розсіюваної потужності приблизно на 40%, і ця перевага особливо яскраво проявляється на високих частотах.

Компанія SEMIKRON випускає широку гаму трирівневих модулів у конфігурації MLI. У потужних центральних перетворювачах сонячних станцій (750 кВт і більше) можуть використовуватися модулі SEMITRANS 10 MLI в конструктиві PrimePack. Для управління ними призначений адаптер SEMITRANS 10 MLI Driver Board, здатний працювати в трирівнево-му інверторі з розділеною схемою (Split

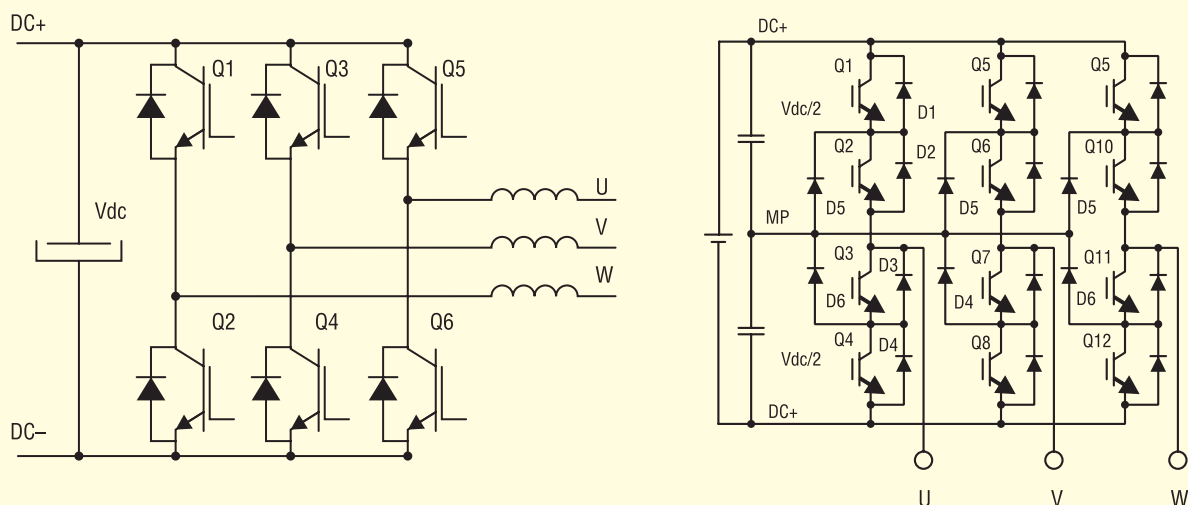


Рис. 1. Схеми дворівневого та трирівневого трифазного інвертора. Обидва пристрої працюють у режимі модуляції частоти та напруги

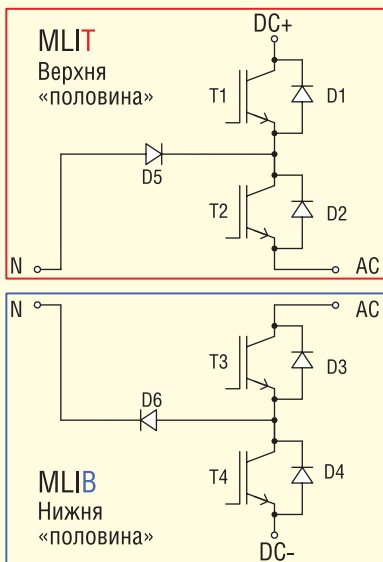


Рис. 2. Розділена трирівнева схема на модулях SEMITRANS 10 (MLIT та MLIB)

MLI, рис. 2) при напрузі DC-шини до 1 500 В на частоті до 30 кГц. Верхня та нижня частини стійки інвертора побудовані на модулях 12-го класу з номінальним струмом 1 200 А.

З появою нового покоління IGBT Gen.7 виникла потреба у розробці адаптованої версії адаптерної плати, яка отримала назву SEMITRANS 10 MLI M7 Driver Board. На платі управління встановлено два стандартні драйвери SKYPER42 LJ, один контролює ключі T1 та T2, інший — T3 та T4. Схема захисту аналізує напругу насичення всіх чотирьох IGBT (T1–T4) та сигнали із вбудованих у модулі термодавачів. Вихід із насичення призводить до миттєвого відключення відповідного IGBT та формування сигналу помилки. Наявність ланцюга активного обмеження дозволяє безпечно блокувати IGBT будь-якої миті часу без дотримання певної послідовності.

Якщо сигнал вбудованого давача температури перевищує задане значення (порог встановлюється користувачем), IGBT негайно відключається та драйвер видає повідомлення про помилку.

У режимі MLI логіка управління сигналами несправності налаштовується за допомогою резисторів, встановлених у SKYPER 42. Драйвер може генерувати повідомлення про помилку у вторинному каскаді, але не блокувати IGBT. При цьому він не реагує на зовнішній сигнал помилки та не змінює свій вихідний стан доти, доки не буде вимкнений по входу ШІМ. Докладно це питання розглянуто далі.

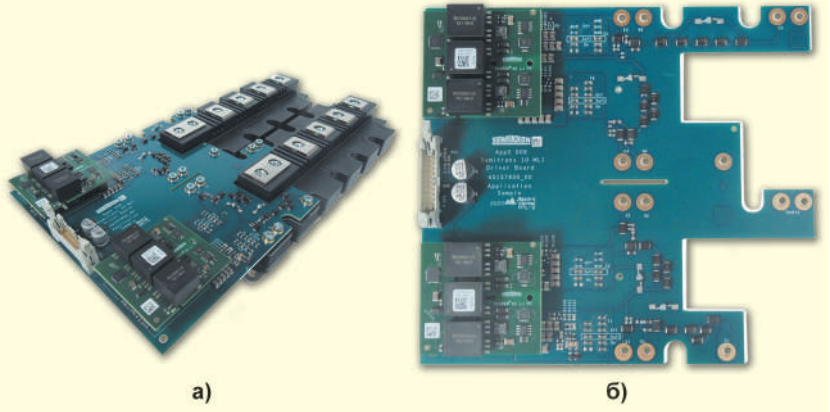


Рис. 3. Зовнішній вигляд плати адаптера з модулями SEMITRANS 10 MLI (а); адаптер SEMITRANS10 MLI M7 Driver Board (б)

АДАПТЕР SEMITRANS 10 MLI M7 DRIVER BOARD

Адаптер SEMITRANS 10 MLI M7 призначений для управління модулями фазної стійки трифазного інвертора: SKM1400 MLI 12TM7 (верхня половина) та SKM1400 MLI 12BM7 (нижня половина). Обидва ключі створені із застосуванням чипів IGBT 7 з робочою напругою 1 200 В та номінальним струмом 1 400 А.

Порівняно з компонентами, виконаними за технологією Trench 4 (SKM1200 MLI12TE4 та SKM1200 MLI12BE4), модулі 7-го покоління замість давача температури на транзисторі T3 мають додатковий «сигнальний» вивід колектора. Відповідно, вимірювання температури проводиться тільки на IGBT T1. Це найпотужніший на ринку трирівневий модуль у корпусі SEMITRANS 10 (PrimePack). Ядро драйвера SKYPER 42 LJ PV (L5073102), яке використовується в адаптері, здатне працювати за напруги DC-шини до 1 500 В, піковий вихідний струм при цьому становить 35 А.

На платі SEMITRANS 10 MLI M7 Driver Board (номер для замовлення 45157901) встановлено резистори затворів, схему активного обмеження та інші елементи налаштування. Плата монтується на сигнальні виводи модулів SEMITRANS 10, має конектори для установки драйверів SKYPER42 LJ і роз'єм інтерфейсу користувача.

Конструкція забезпечує відстань між корпусами силових ключів 4 мм, таким чином отвори кріплення (правий «верхнього» модуля і лівий «нижнього» модуля) знаходяться на відстані 20 мм. На платі передбачена можливість підбору резисторів затвора, налаштування напруги обмеження та регулювання порогів схеми захисту. Гербер-файл для

самостійного виготовлення адаптера можна запросити в офісі технічної підтримки SEMIKRON.

Блок-схема та електричні характеристики

Блок-схема пристрою (рис. 4) складається з двох частин: блакитним кольором виділено плату з роз'ємами для SKYPER42 LJ (зелені прямокутники), резисторами затворів, ланцюгом обмеження, схемою термозахисту та моніторингу V_{CEsat} . Силові модулі трирівневого силового каскаду виділені червоним кольором.

Відповідно до технічних вимог плата SEMITRANS 10 MLI Driver Board призначена для роботи в наступних граничних режимах:

- напруга DC-шини: $V_{DCmax} = 1\,500$ (не більше 750 В на кожен «половину» ланки постійного струму);
- вихідна (лінійна) напруга: $V_{ACmax} = 1\,000$ В;
- частота комутації: $f_{sw} = 30$ кГц;
- температура навколишнього середовища: $T_a = 0 \dots +40$ °C;
- порівняльний індекс трекінгу: $CTI > 175$

Електрична ізоляція між інтерфейсом користувача (вхідний каскад) і високовольтними ланцюгами (вихідний каскад) забезпечується драйвером SKYPER42 LJ. Ізоляційний зазор по поверхні плати становить 30 мм, по діелектрику — 29 мм (між первинним і вторинним каскадом). Розміри пристрою з урахуванням SKYPER42 LJ — 193.3 × 178 × 28.5 мм.

Для надійної фіксації драйверів SKYPER 42 LJ PV на платі адаптера є монтажні отвори, в які встановлюються опорні стійки. Плата кріпиться до силових модулів за допомогою гвинтів M4, додаткову інформацію можна знайти в інструкції з монтажу SEMITRANS 10.

SEMTRANS 10 MLI M7 плата драйвера

SEMTRANS 10 MLI M7

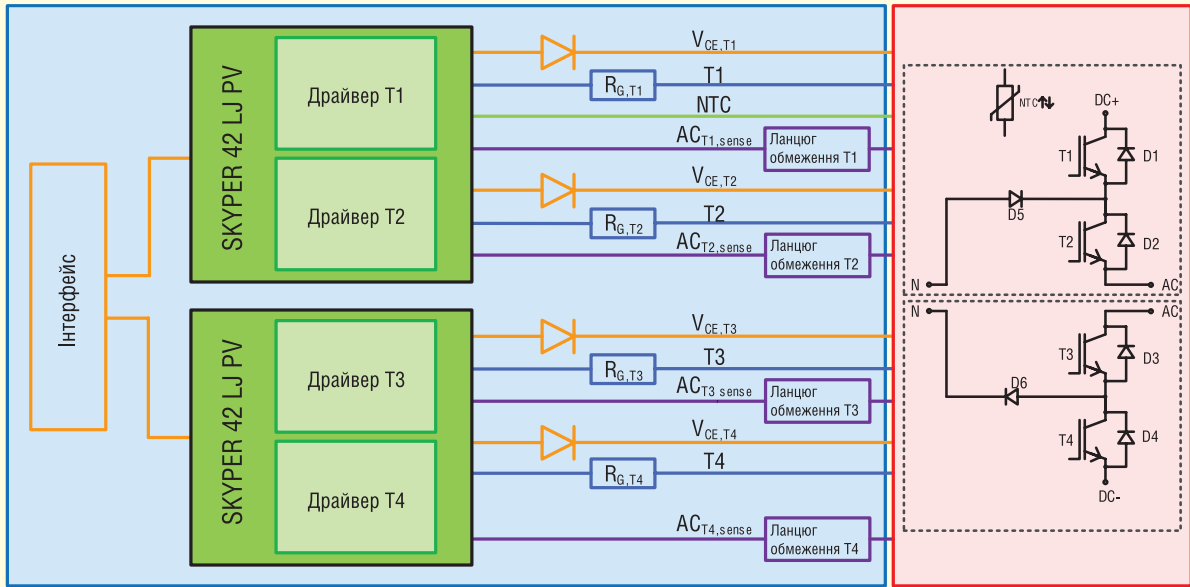


Рис. 4. Блок-схема адаптера Driver Board SEMTRANS 10 MLI M7

Схема захисту

Вбудовані NTC-давачі (терміки) модулів SEMTRANS 10 пов'язані з відповідним входом драйвера IGBT T1. При досягненні граничної температури (встановлюється користувачем) транзистор T1 негайно відключається, сигнал несправності транслюється на вхід драйвера. При цьому інші IGBT також блокуються, оскільки виводи драйверів ERROR об'єднані.

Схема управління проводить моніторинг напруги насичення $V_{CE,sat}$ всіх чотирьох ключів (T1–T4), при досягненні порогового значення (перевантаження струмом або K3) генерується сигнал помилки. Транзистори T1–T4 захищені від небезпечних перенапруг схемою активного обмеження. Поріг її включення повинен бути обраний нижче за блокувальну здатність IGBT, в той же час ланцюг не повинен впливати на нормальну робо-

ту інвертора. Під час активації схеми обмеження зворотний зв'язок блокує вихідний каскад SKYPER 12, запобігаючи надходженню імпульсів управління на затвори IGBT.

Налаштування плати

Ряд компонентів плати призначений адаптації інвертора до умов експлуатації. Елементи виділені на рисунку 5, їхнє призначення описано далі.

- 0805 елементи уставки V_{CE} (C_{CE} та R_{CE})
- 4x MiniMELF / 1206 резистори/конденсатори включення
- 5x MiniMELF / 1206 резистори «м'якого» відключення
- 2x MiniMELF / 1206 резистори «м'якого» відключення
- G-E SMB=діоди-супресори
G-E резистор, G-E конденсатор
- R140 і R141, підключення NTC-датчика модуля до входу вимірювання температури SKYPER42 LJ
- R143 налаштування порога перегріву
- R1102, R1202, R1302, R1402, переривання ланцюга, якщо немає активного обмеження
- 5x SMB діод-супресор ланцюга активного обмеження
- Конденсатор фільтра ланцюга V_{ce}
- SKYPER 42LJ Елементи первинного каскаду
- R10, з'єднання виходів сигналу помилки двох драйверів SKYPER

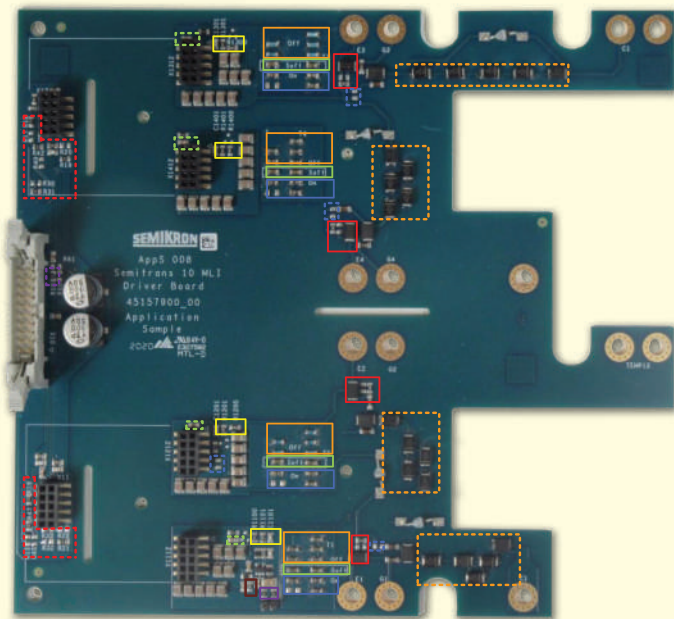


Рис. 5. Верхня сторона плати, елементи для налаштування виділені рамками

Термозахист

Температура модулів SEMITRANS 10 вимірюється вбудованим NTC-сенсором, у разі перегріву компаратор передає лог. «0» на вхід драйвера ERROR SKYPER, який формує сигнал помилки (рис. 6). Для налаштування порога спрацювання термозахисту використовується резистор R143 (виділений коричневою рамкою на рис. 5).

Стандартна величина опору R143 становить 332 Ом і відповідає порогу відключення +115 °С. Захист від перегріву можна блокувати, для цього резистори R140, R141 не встановлюються. Вибір опору R143 (типорозмір 0805) проводиться за допомогою графіка залежності R_{NTC} від температури (рис. 7), на якому найбільш важливим є інтервал +70...+150 °С. Подібні криві, а також формули для розрахунку надаються в технічних специфікаціях SEMITRANS 10.

Термозахист відключає зовнішні IGBT T1 або T4 у довільні моменти часу. Видалення R140, R141 дозволяє користувачеві реалізувати роздільний моніторинг температури по ключах та блокувати їх у безпечній послідовності.

Резистори затвора

На контактній платі змонтовано затворні резистори вмикання (R_{Gon}), вимикання (R_{Goff}) та м'якого вимикання (R_{soft}) типорозміру MiniMELF або 1206. Для коректної роботи пристрою всі ці елементи повинні бути встановлені користувачем. Додатковий резистор між драйвером та емітерами паралельних модулів знижує рівень паразитних осциляцій при перемиканні.

Для монтажу R_{Gon} передбачено чотири посадкових місця (блакитна рамка на рис. 5), R_{Goff} — п'ять посадкових місць (помаранчева рамка на рис. 5), R_{soft} — два посадкові місця (зелена рамка на рис. 5). При виборі номіналів необхідно враховувати не тільки тип і режими роботи IGBT, але й імпульсну потужність резистора в режимі комутації.

На платі передбачені елементи захисту ланцюга затворів IGBT: одне посадкове місце типорозміру SMB та два місця типорозміру 0805 (червона рамка на рис. 5). SEMIKRON рекомендує використовувати один майданчик 0805 для монтажу опору 10 кОм, а SMB для розміщення двополярного діода-супресора (TVS) з напругою 15 В. Ще один майданчик 0805 призначений для встановлення конденсатора C_{GE} . Крім того, на платі є два посадкові місця MiniMELF або 1206 для монтажу емітерних резисторів IGBT.

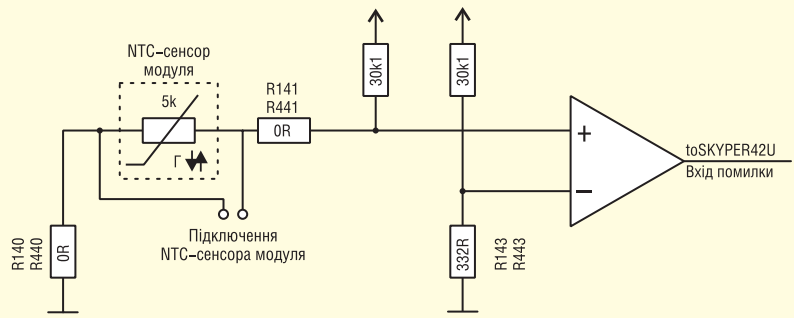


Рис. 6. Схема термозахисту з NTC-сенсором

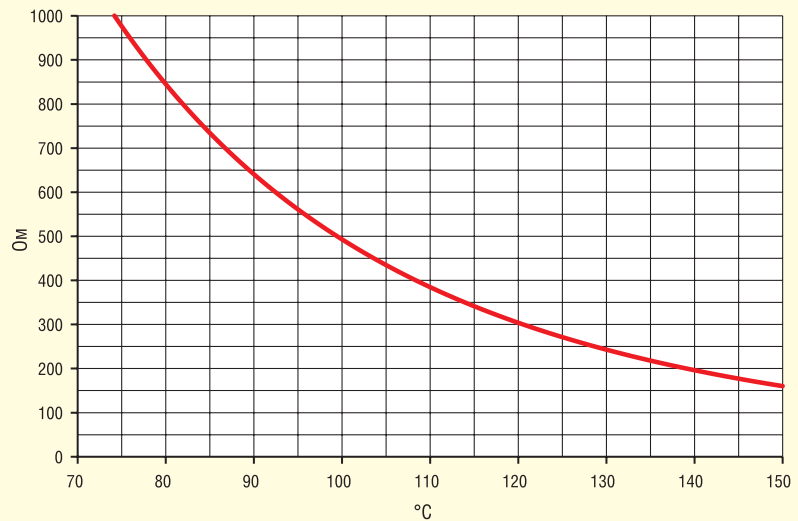


Рис. 7. Характеристика NTC-сенсора

Активне обмеження

Схему активного обмеження наведено на рисунку 8. Для розміщення TVS-діодів призначено п'ять майданчиків розміру SMB на кожен IGBT (V60–V64, V70–V74, V80–V84 та V90–V94, пунктирна коричнева рамка на рис. 5). На схемі також показаний резистор (R63, R71, R81, R91) обмеження струму заряду ємності затвора і TVS-діод, який захищає затвор від імпульсних перенапруг. Як і в попередніх випадках, сигнал

зворотного зв'язку подається через резистор на вхід драйвера для притуплення імпульсів керування в режимі обмеження. У режимі обмеження каскад драйвера від'єднується від затвора, щоб процес заряджання не порушував роботу схеми керування.

Моніторинг V_{CEsat}

На рисунку 9 показано схему моніторингу напруги насичення V_{CEsat} IGBT з ланцюгом фільтрації (конденсатор

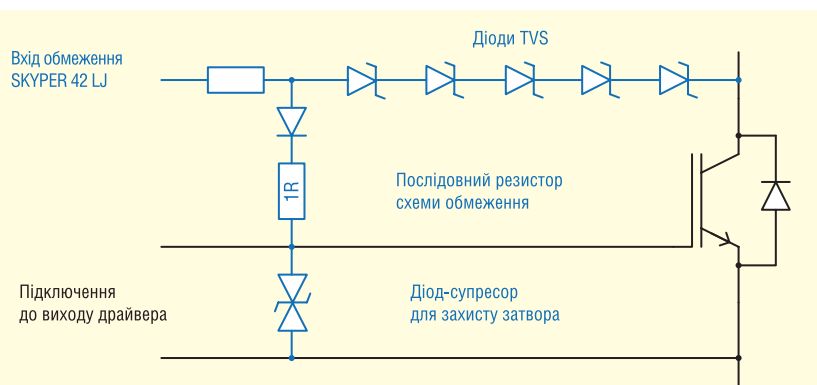


Рис. 8. Схема активного обмеження

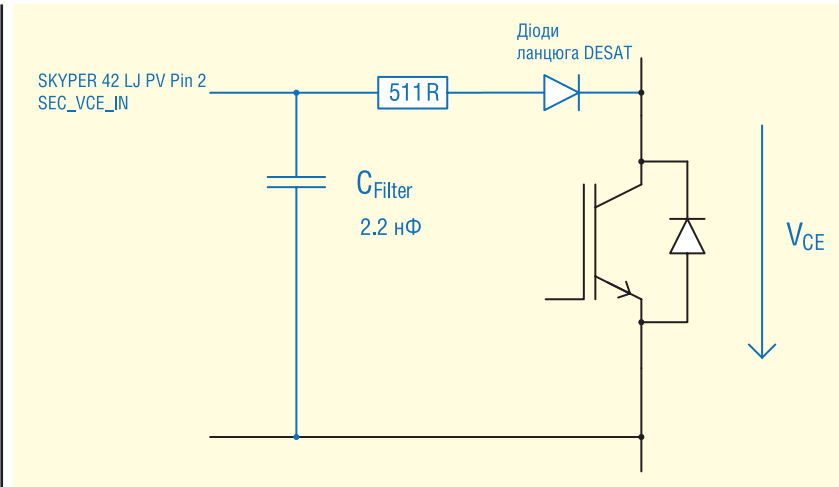


Рис. 9. Фільтрування сигналу V_{CE}

фільтра виділений зеленою пунктирною рамкою на рис. 5). Це необхідно для запобігання помилковим спрацюванням схеми захисту від перевантаження на внутрішніх IGBT (T2 та T3).

Ідея у тому, що вмикання T1 відбувається лише тоді, коли T2 вже відкрито і час блокування t_{bl} цього ключа закінчився. Висока швидкість зміни струму di/dt (наприклад, при ємнісному навантаженні) може призвести до утворення сплеску напруги сигналу V_{CE} T2 і, як наслідок, до паразитного спрацювання схеми DESAT. Вищезазначене є справедливим і для ключів IGBT T3/T4.

Схема контролю помилки SKYPER 42 LJ PV

Опір R10 (0805, виділений пунктирною фіолетовою рамкою на рис. 5) може бути відсутнім або замінюватися перемичкою (0 Ом). У другому випадку (рекомендація SEMIKRON) виходи/входи сигналу помилки двох SKYPER 42LJ виявляються з'єднаними. Якщо R10 не встановлено, сигнал з виходу ERROR одного драйвера не буде негайно надходити на вхід ERROR іншого драйвера.

Резистори R15–R18 (0805, виділені пунктирною червоною рамкою на рис. 5) вибирають відповідно до таблиці 1. Елементи R15, R16 встановлюють зв'язок каналів помилки драйвера ERROR, керуючого T1 і T2, R17 і R18 — драйвера T3 і T4. Будь-які інші комбінації (наприклад, всі резистори = 0 або всі резистори відсутні) можуть призвести до відмови системи.

Захисні функції SKYPER 42 LJ PV

Якщо входи та виходи драйверів ERROR з'єднані один з одним (R42 = R47 = 0 Ом), вони використовують

єдиний ланцюг сигналу помилки. У цьому випадку при виявленні несправності в одному каналі блокуються всі пов'язані пристрої. За відсутності такого зв'язку виникає можливість незалежного контролю стану каналів. Тоді виходи ERROR слід підключити до керуючого контролера, який блокує при необхідності відповідні входи драйверів.

У триврівневій схемі функція Interlock (заборона одночасного включення тран-

зисторів напівмосту) має бути вимкнена, оскільки обидва IGBT (T1/T2 або T3/T4) можуть відкриватися одночасно.

Призначення резисторів R19, R20, R21, R22 описано у таблиці 2. Призначення елементів R30–R33 (типорозмір 0805, виділені червоною пунктирною рамкою на рис. 5) описано в таблиці 3. Резистори R30 та R31 встановлюють параметри вхідних фільтрів драйверів T3 та T4, R32 та R33 — драйверів T1 та T2. Використання будь-якої іншої комбінації (наприклад, всі опори = 0 або не встановлені) веде до збою або відмови системи.

РЕКОМЕНДАЦІЇ ТА ОБМЕЖЕННЯ

Захист із детектуванням короткого замикання

Плата драйвера забезпечує захист від перевищення струму (метод DESAT) та активне обмеження його по всіх IGBT (T1–T4). Транзистори можуть бути заблоковані в будь-який момент часу без дотримання певної послідовності відключення, яка зазвичай потрібна в триврівневих схемах. Необхідні установки наведено у таблиці 4.

Таблиця 1. Призначення резисторів R15, R16 (R17, R18 каналами T3 і T4)

R15 (R17)	0	Не встановлений
R16 (R18)	Не встановлений	0
Функція	Драйвер формує сигнал ERROR при надходженні інформації про помилку з вихідного каскаду, але IGBT не блокується. Драйвер не реагує на зовнішній сигнал ERROR і залишається в попередньому стані до вимкнення вхідним ШІМ-імпульсом (за наявності несправності використовується резистор R_{Soft}). Безперервна подача сигналу ERROR блокує увімкнення драйвера	Драйвер формує сигнал ERROR та негайно блокує IGBT через резистор R_{Soft} при надходженні інформації щодо помилки з вихідного каскаду. При подачі зовнішнього сигналу драйвер ERROR відключає обидва IGBT. Безперервна подача сигналу ERROR блокує увімкнення драйвера. Налаштування за замовчуванням (рекомендоване)

Таблиця 2. Призначення резисторів R19, R20 (канали T3 та T4) та R21, R22 (канали T1 та T2)

R19 (R21)	0	Не встановлений
R20 (R22)	Не встановлений	0
Функція	Функція Interlock заблокована, T3 та T4 можуть включатися одночасно. Налаштування за замовчуванням (рекомендоване)	Функція Interlock активна, час блокування складає 2 мкс

Таблиця 3. Призначення резисторів R30, R31 (вхідний фільтр каналами T3 і T4) і R32, R33 (вхідний фільтр каналами T1 і T2)

R30 (R32)	0	Не встановлений
R31 (R33)	Не встановлений	0
Функція	Встановлено цифровий вхідний фільтр. Час фільтрації 375 нс, типовий час затримки 0.7 мкс, джиттер — 30 нс у всьому діапазоні температур	Встановлено аналоговий вхідний фільтр. Час фільтрації 180 нс, типовий час затримки 0.4 мкс, джиттер — 2.5 нс. Налаштування за замовчуванням (рекомендоване)

Таблиця 4. Установки у режимі детектування K3

R10 = 0	Встановлено зв'язок сигналів помилки SKYPER 42 LJ
R42 = R47 = 0	Входи та виходи ERROR драйверів SKYPER 42 LJ з'єднані між собою
R16 = R18 = 0	Драйвер відключає IGBT при аварії та реагує на вхід ERROR
R19 = R21 = 0	Немає функції Interlock
$R_{Soft} = R_{Goff}$	Резистор режиму «плавного відключення» повинен мати значення R_{Goff} для відключення IGBT без затримки у разі K3
C1202 = C1392 = 2.2 нФ	Фільтруючі ємності входу моніторингу напруги насичення

Таблиця 5. Установки без режиму детектування КЗ

R10 = x	Резистор може бути відсутнім або замінюватися перемичкою
R42 = R47 = 0	Входи та виходи ERROR драйверів SKYPER 42 LJ з'єднані між собою
R15 = R15 = 0	Драйвер не відключає IGBT при несправності та не реагує на вхід ERROR
R19 = R21 = 0	Немає функції Interlock
R1102 = R1402 = 0	Вимкнено активне обмеження на T1 та T4
C1102 = C1202 = C1302 = C1402 = 0	Встановлення перемички замість конденсаторів відключає моніторинг V_{CEoff}
R_{Soft} = R_{Goff}	Опір визначається параметрами схеми

Таблиця 6. Список елементів прототипу тривісного інвертора

Елемент	Значення для T1 і T4	Значення для T2 і T3
R _{Gen}	1.2 Ом	1.4 Ом
R _{Goff}	1 Ом	5 Ом
R _{Soft}	0 Ом	0 Ом
C _{GE}	–	–
C _{Filter}	2.2 нФ	2.2 нФ
Active Clamping	4 x SMBJ188 + 1 x SMBJ64	
R _{CE}	10 кОм (R1100, R1101, R1400, R1401)	10 кОм (R1200, R1201, R1300, R1301)
C _{CE}	820 пФ (C1102, C1402)	820 пФ (C1202, C1302)
R _{temp_th}	332 Ом (R143)	

При використанні зазначених значень вихід із насичення будь-якого IGBT веде до його негайного блокування та формування сигналу помилки. Всі інші транзистори також миттєво відключаються, оскільки входи/виходи ERROR всіх каналів об'єднані. Коли внутрішні IGBT T2/T3 блокуються раніше (при виявленні несправності або подачі зовнішнього сигналу), активується схема активного обмеження.

Захист без детектування короткого замикання

Якщо захист від КЗ не потрібний, то діоди V101, V201, V301 та V401 не встановлюються. TVS-супресори зазвичай потрібні на внутрішніх IGBT для їх захисту від перенапруги через довгий ланцюг комутації (велика реактивна потужність). Необхідні установки наведено у таблиці 5.

Якщо стан перевантаження детектується у вихідному каскаді (керуючому T1), сигнал помилки транслюється на вхід (термінал 15 роз'єму X10), тоді драйвер на нього не реагує. Транзистори повинні відключатися по ШІМ-сигналу контролера, при цьому зовнішній IGBT блокується першим, а внутрішній — за кілька мкс потім. Детальні пояснення роботи схеми управління MLI наведено в SEMIKRON AN11001 [2].

Існує можливість паралельного включення кількох драйверів задля підвищення потужності інвертора. Завдяки цифровому способу передачі даних забезпечується достатньо мале відхилення сигналів керування від бажаного синхронного їх надходження, тому входи паралельних плат управління можна

об'єднати. При цьому ШІМ-імпульси та сигнали помилки передаються по одному кабелю.

У трифазних системах драйвери не об'єднані за сигналом помилки, цей зв'язок повинен забезпечуватися користувачем або шляхом прямого з'єднання ланцюгів ERROR, або замиканням через контролер.

Резистори затворів

Мінімальне значення R_G визначається перепадом напруги управління при комутації та навантажувальними характеристиками драйвера по максимально допустимих величинах його вихідного струму. Наприклад, при $V_{Gon/off} = +15/-8$ В різниці становить 23 В. З урахуванням пікового струму SKYPER 42 LJ PV (35 A) мінімальний сумарний опір затвора $R_{Gmin} = 0.65$ Ом. Ця величина складається з внутрішнього опору R_{Gint} двох модулів (наводиться в технічній специфікації), емітерних опорів та зовнішніх резисторів затвора R_{Gon} та R_{Goff} .

Вибираючи величину R_{Gr} необхідно обчислити рівень потужності, що розсіюється, з урахуванням омичного опору, щоб виключити перегрів. Особливістю роботи резисторів затвора є високе імпульсне навантаження, при цьому чип-компоненти типорозміру 1206 мають меншу потужність та стійкість до перевантажень, ніж MiniMELF. Більш детальну інформацію щодо вибору резисторів затворів можна знайти в посібнику AN-7003 [7].

Активне обмеження

Налаштування рівня активного обмеження напруги IGBT T1–T4 здійсню-

ється шляхом вибору типу та кількості послідовно з'єднаних SMB-супресорів (TVS). Сумарне значення V_{br} з урахуванням всіх допусків та температурної залежності має бути нижчою за блокуючу здатність IGBT.

Схема активного обмеження не повинна впливати на роботу інвертора, навіть за максимальної напруги DC-шини (з урахуванням допусків та комутаційних перенапруг), щоб не збільшувати втрати перемикання. Режим обмеження в жодному разі не слід використовувати для вирішення проблем, пов'язаних з поганою конструкцією та високою індуктивністю ланки постійного струму та іншими з вадами топології силової частини.

ПЕРЕЛІК ЕЛЕМЕНТІВ

Пристрій управління SEMITRANS 10 MLI M7 Driver Board пройшов випробування у складі макета 3L-інвертора розділеної конфігурації з силовими модулями SEMITRANS 10 (SKM1400MLI12TM7 та SKM1400MLI12BM7), перелік використаних при цьому елементів наведено у таблиці 6.

Література:

1. Lamp J. Technical Explanation SEMITRANS 10MLI M7 Driver Board. SEMIKRON, 2021.
2. Staudt I. 3L NPC & TNPC Topology. SEMIKRON Application Note, AN-11001 — rev. 05, 2015.
3. Колпаков А. SEMISEL V3.1 — новые возможности, новые перспективы // Силовая электроника. 2008. № 3.
4. Колпаков А. 3L-инверторы: специализированные модули и тепловой расчет // Компоненты и технологии. 2011. № 5.
5. Nicolai U. SKYPER 12 (T)MLI Driver Board. Technical Explanation. SEMIKRON, 2018.
6. Rabl I., Nicolai U. SEMITOP E2 1200V MLI Inverter Board. Technical Explanation. SEMIKRON, 2018.
7. Hermwille M. Gate Resistor — Principles and Applications. SEMIKRON Application Note, AN-7003 — rev. 00. 2007.
8. Hermwille M. GBT Driver Calculation. SEMIKRON Application Note, AN-7004 — rev. 00. Nuremberg, 2007.
9. Krapp J. Technical Explanation SKYPER12 — rev. 5. SEMIKRON Technical Explanation, 2017.
10. Agostini R. Technical Explanation SEMITOP — rev. 5. SEMIKRON Technical Explanation, 2017.

CN

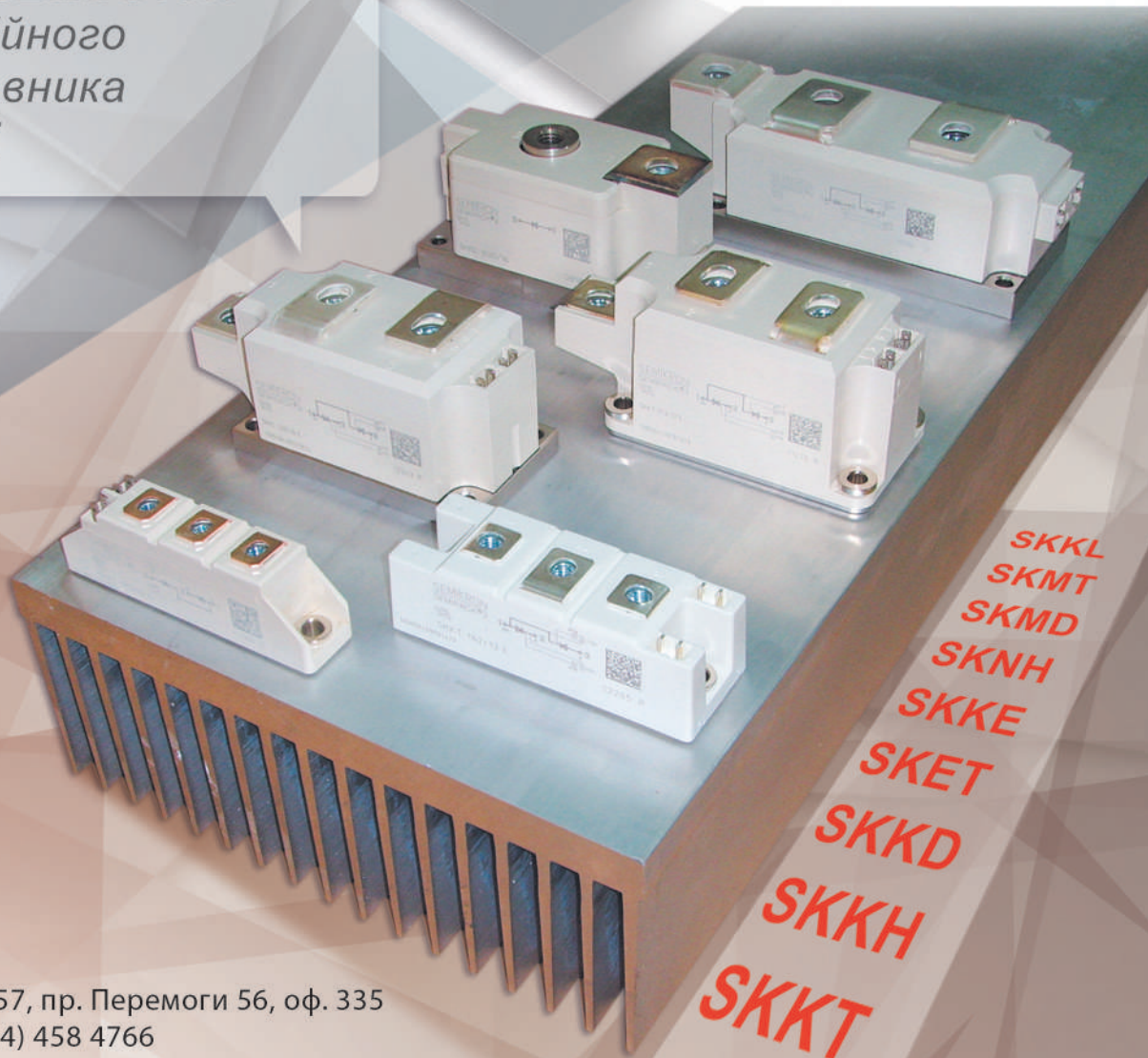
НВП "ТЕХНОСЕРВІСПРИВІД"

Офіційний представник Semikron в Україні

www.tsdrive.com.ua

SEMİKRON
innovation+service

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



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

тел/факс (044) 458 4766

E-mail: sales@semikron.com.ua

www.semikron.com.ua

Бездротові мікроконтролери

Георгій Воронцов

У статті розглядаються бездротові мікроконтролери компаній Renesas та Dialog Semiconductor. Ці прилади підтримують стандарти Bluetooth Low Energy 5.0 та Bluetooth Low Energy 5.1. Наводяться короткі описи МК та параметри РЧ-трансиверів.

У цій статті ми розглянемо бездротові мікроконтролери (МК) компанії Renesas та Dialog Semiconductor. Враховуючи, що відносно недавно Dialog Semiconductor увійшла до складу Renesas, фактично у статті розглядаються чотири бездротові МК від Renesas. МК, що описуються, відповідають вимогам стандартів Bluetooth Low Energy 5.0 і 5.1.

Всі МК, що розглядаються, мають вузьку спеціалізацію — у їх складі немає будь-яких унікальних периферійних пристроїв, і вони не вражають обчислювальною потужністю. З цих причин ми не розглядатимемо МК у всіх подробицях, але лише коротко перерахуємо їх основні параметри. Невеликий виняток зробимо для МК RE01B при описі нової технології зниженого енергоспоживання SOTB. Див. попередні статті, присвячені бездротовим МК, [1–6].

МІКРОКОНТРОЛЕРИ DA14530 ТА DA14531 КОМПАНІЇ RENESAS (DIALOG SEMICONDUCTOR)

МК DA14530 та DA14531 відповідають вимогам стандартів Bluetooth Low Energy 5.1 та практично ідентичні. Головна їхня відмінність полягає в енергоспоживанні: МК DA14530 виробник характеризує як МК з малим енергоспоживанням (Low Power), а DA14531 — як МК з дуже малим енергоспоживанням (Ultra Low Power). Рештою невеликих відмінностей цих МК у рамках нашої статті можна знехтувати. У таблиці 1 наводяться параметри енергоспоживання та РЧ-модуля. Структурна схема обох МК однакова (див. рис. 1).

МК, що описуються, базуються на ядрі Arm Cortex-M0+. Оскільки воно добре відоме і безліч разів описане, згадаємо лише, що його продуктивність

становить 0.9 DMIPS/МГц, а тактова частота — 16 МГц. Пам'ять ROM об'є-

мом 144 Кбайт містить стек протоколів BLE та завантажувач. 32-Кбайт пам'ять OTP містить профіль BLE, програмне забезпечення користувача, а також конфігурацію системи та калібрувальні дані. Системна пам'ять SysRAM використовується для завантаження програмного коду з пам'яті OTP та зберігання проміжних змінних та даних.

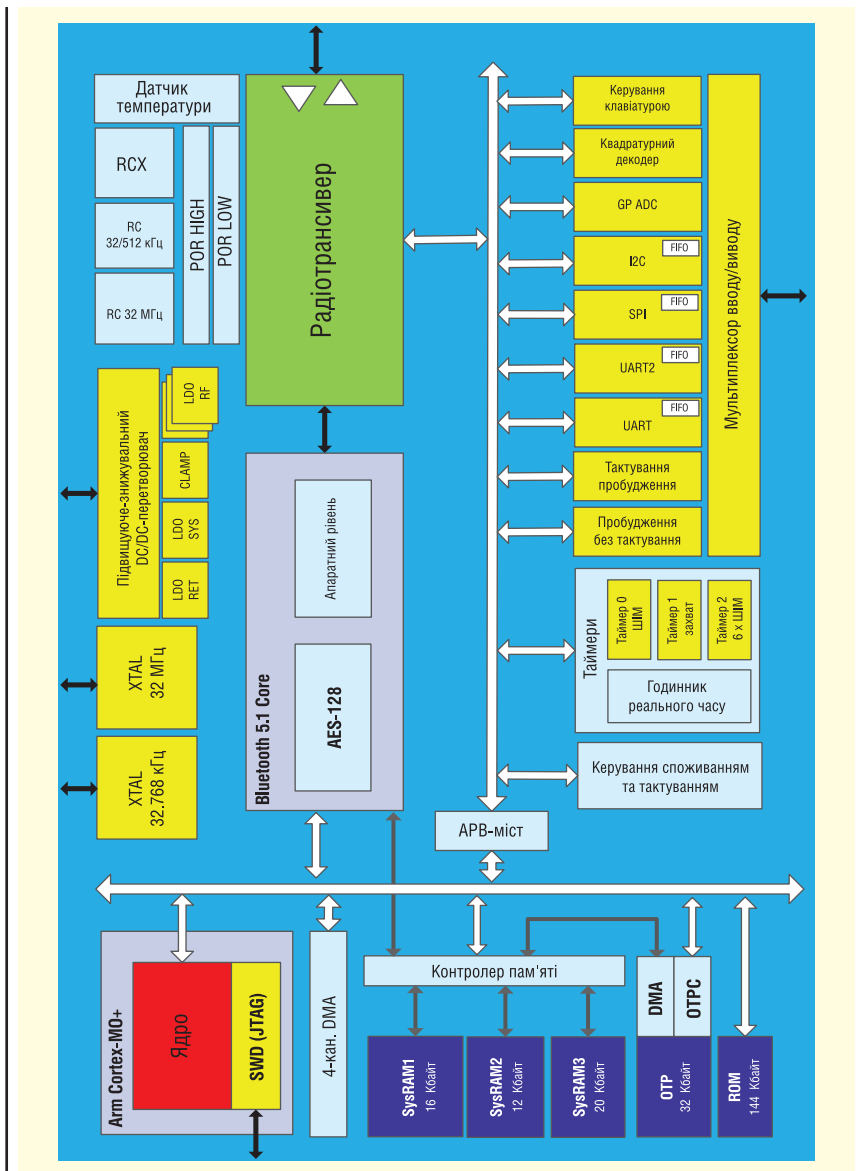


Рис. 1. Структурна схема МК DA14530 та DA14531

Таблиця 1. Параметри енергоспоживання та РЧ-модулів МК DA14530 та DA14531

Найменування МК	Струм споживання в режимі глибокого сну, нА	Струм споживання в режимі передачі даних, мА	Струм споживання в режимі прийому даних, мА	Вихідна потужність трансивера, дБм	Чутливість приймача трансивера, дБм	Тип корпусу
DA14530	240	3.5	2.2	-19.5...2.5	-94	WLCSP 17 (2.2×3.4 мм); FCGQFN 24 (2.2×3.04 мм)
DA14531	300	9	5	-19.5...2.5	-94	FCGQFN 24 (2.2×3.04 мм)

З периферійних модулів МК згадаємо квадратурний декодер, призначений для роботи з енкодером, що обертається. Модуль здатний обчислити положення та напрямок обертання по трьох осях. Крім того, відзначимо контролер клавіатури, який програмно компенсує дзвін зовнішніх перемикачів та формує переривання.

У модуль керування живленням PMU МК DA14530 входять LDO-стабілізатори, а в модуль PMU МК DA14531 крім LDO-стабілізаторів інтегрований підвищуваче-знижувальний DC/DC-перетворювач, вихідна напруга якого задається програмно. Передбачені дві зовнішні шини живлення: VBAT_HIGH та VBAT_LOW та внутрішня шина VDD. Напруга

шини VBAT_LOW, призначеної для живлення більшості внутрішніх модулів, знаходиться в діапазоні 1.1–3.3 В. Напруга шини VBAT_HIGH змінюється в межах 1.8–3.0 В. До цієї шини підключається пам'ять OTP та порти вводу/виводу.

Існують три режими живлення: підвищувач, знижувач та байпасний. Модуль PMU автоматично вибирає режим залежно від підключеної батареї та її напруги.

МІКРОКОНТРОЛЕРИ RA 4W1 КОМПАНІЇ RENESAS

Структурна схема МК RA 4W1 наведена на рисунку 2. Основу МК утво-

рює процесорне ядро Arm Cortex-M4 з модулем FPU для операцій із числами з плаваючою комою. Ядро Arm Cortex-M4 тактується частотою 48 МГц. Воно добре відоме і багато разів описане у спеціальній літературі, тому ми не заглиблюватимемося в його опис. Інтегровані в МК периферійні модулі та комунікаційні інтерфейси дозволяють будувати на його основі системи збирання та обробки даних, а також системи керування. Особливо відзначимо досить широкий набір аналогової периферії.

- До 14-біт АЦП послідовного наближення підключається до восьми вхідних каналів. Сім із них мають високу точність, а 11 каналів — стандарт-

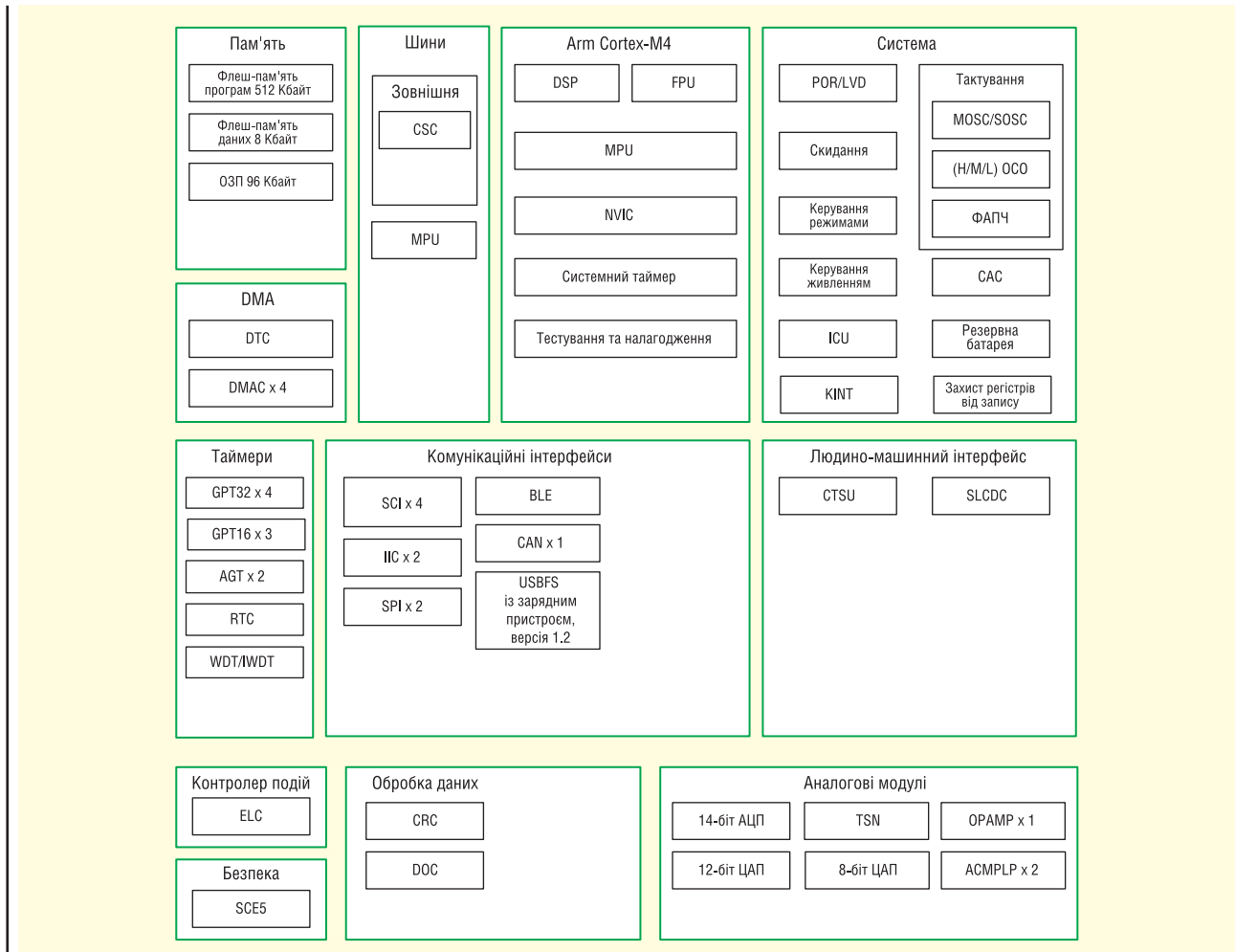


Рис. 2. Структурна схема МК RA 4W1

ну. АЦП може працювати в режимі 14- або 12-біт перетворення. До складу модуля АЦП входить схема порівняння, що дозволяє порівняти два виміри або результат виміру із заданим значенням. Типовий час перетворення становить 0.5 мкс, максимальний час — 2 мкс.

- 12-біт одноканальний ЦАП. Максимальна диференціальна нелінійність ЦАП не перевищує ± 1 МЗР, інтегральна нелінійність дорівнює ± 4 МЗР. Час перетворення 50 мкс при зовнішній ємності навантаження: 20 пФ. До складу ЦАП входить вихідний операційний підсилювач.
- У 8-біт ЦАП вихідний операційний підсилювач не передбачено.
- Вихідний сигнал датчика температури, що змінюється лінійно пропорційно температурі, підключений до АЦП.
- Одноканальний аналоговий компаратор із низьким енергоспоживанням порівнює зовнішній вхідний сигнал із опорним значенням від вбудованого джерела опорної напруги.
- Операційний підсилювач може працювати в режимі диференціального підсилювача або підсилювати несиметричний вхідний сигнал.

Згадаємо і модуль людино-машинного інтерфейсу, до складу якого входить контролер управління сегментним РК-дисплеєм та контролер сенсорної клавіатури. При описі МК неможливо не згадати вбудовану пам'ять. У МК RA 4W1 інтегрована флеш-пам'ять програм ємністю 512 Кбайт та флеш-пам'ять даних об'ємом 8 Кбайт. Якщо

пам'ять тактується частотою нижче 32 МГц, звернення до пам'яті за умови потрапляння в кеш займає один цикл. Якщо частота тактування вище 32 МГц, при попаданні в кеш звернення займає також один цикл, а при промаху кеша на очікування знадобляться вже два-три цикли. Обсяг інтегрованої у МК ОЗУ становить 96 Кбайт. Читання та запис в ОЗУ займають два цикли. У перших 16 Кбайт ОЗУ реалізується код корекції помилок ECC. У решті області пам'яті захист виробляється за допомогою перевірки на парність.

Для зменшення енергоспоживання передбачено три режими живлення:

- режим сну (Sleep mode);
- режим програмної зупинки (Software Standby mode);
- режим будильника (Snooze mode).

Змінюючи частоту тактування та напруги живлення, можна регулювати енергоспоживання у кожному з перерахованих режимів. На вибір пропонуються п'ять режимів тактування:

- високошвидкісний режим (Highspeed mode);
- режим середньої частоти (Middle-speed mode);
- низькошвидкісний режим (Low-speed mode);
- режим зниженої напруги (Low-voltage mode);
- субосциляторний режим (Subosc-speed mode).

Модуль BLE відповідає стандарту Bluetooth Low Energy 5.0. Структурна схема РЧ-трансивера, що входить до складу модуля, наведена на рисунку 3. Його живлення здійснюється від

DC/DC-перетворювача або LDO-стабілізатора. Основні параметри модуля:

- частота: 2402–2480 МГц;
- довжина пакета даних (макс.): 1 650 байт;
- швидкість передачі даних: 125 Кбіт/с; 500 Кбіт/с; 1 Мбіт/с; 2 Мбіт/с;
- потужність вихідного сигналу (макс.): 6 дБм;
- помилка частоти вихідного сигналу: ± 10 ppm;
- рівень вхідного сигналу (макс.): 4 дБм;
- чутливість приймача: -92 дБм (2 Мбіт/с); -95 дБм (1 Мбіт/с); -100 дБм (500 Кбіт/с); -105 дБм (125 Кбіт/с).

МК випускається у корпусі QFN-56 розміром 7 × 7 мм. Діапазон температури: -40...85 °С.

МІКРОКОНТРОЛЕРИ RE 01В КОМПАНІЇ RENESAS

Мікроконтролери RE 01В компанії Renesas виробляються за пропрітарною технологією з тонким заглибленим шаром оксиду (Thin Buried Oxide, SOTB). Ця технологія дозволяє значно знизити енергоспоживання. Перш ніж перейти до опису МК, коротко опишемо цю нову технологію.

Як відомо, споживану потужність цифрової мікросхеми можна розділити на дві складові: динамічну та статичну. Перша обумовлена перезарядками внутрішніх ємностей КМОП-ключів при комутації, а друга — струмом витоків. Динамічні втрати можна зменшити за рахунок введення режимів енерго-

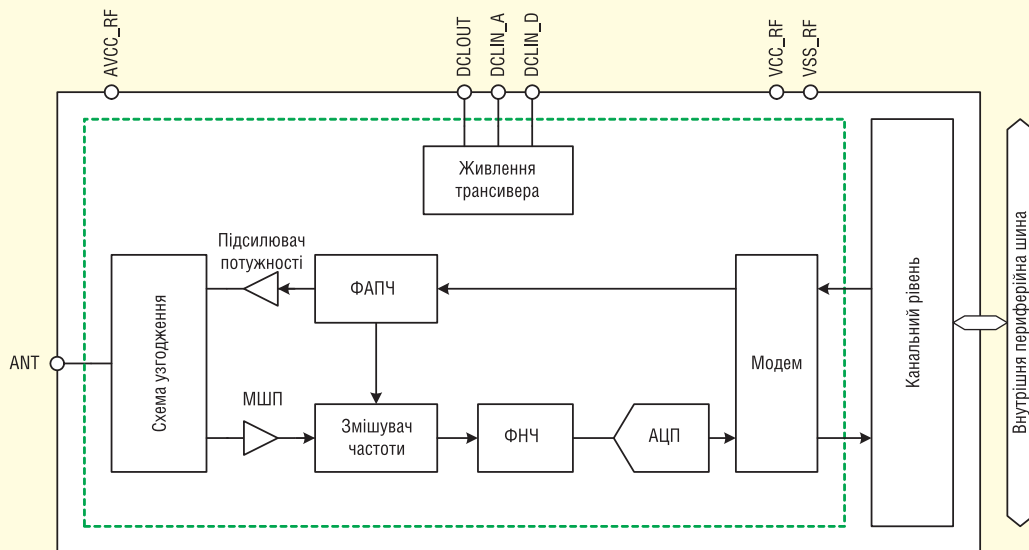


Рис. 3. Структурна схема РЧ-трансивера МК RA 4W1

збереження, під час яких знижується напруга та зменшується частота тактування, а в окремих випадках тактування повністю відключається. Струми витоку зменшити такими способами не вдається. У випадку втрати потужності в цифровій НВІС показані на рисунку 4.

Технологія SOTB дозволяє зменшити втрати і в динамічному, і статичному режимах. Причому зменшення втрат досягається не за рахунок програмних або схемотехнічних хитрощів, а за допомогою технологічного процесу створення транзисторів. Структурна схема транзистора SOTB наведена на рисунку 5. Особливістю цього транзистора є провідний канал без домішки, який дозволяє знизити граничну напругу та зменшити її розкид. Планарна структура з подвійним затвором дозволяє керувати напру-

гою зсуву затвора на нижній стороні транзистора, зменшивши, таким чином, струм витоку в низькошвидкісних режимах і режимах зупинки.

Окрім нової технології SOTB у МК RE 01B використовуються і традиційні методи — режими зниженого енергоспоживання. МК розділено на чотири домени, кожен з яких можна окремо відключити від шини живлення. Коротко опишемо режими живлення доменів:

- в режимі ALLPWON живлення надходить у всі домени, доступні всі ресурси та функції МК;
- у режимі EXFPWON зменшення споживаного струму відбувається за рахунок відключення домену флеш-пам'яті;
- у режимі MINPWON всі модулі вимкнені за винятком модулів, що

«МЕЙНСТРИМОВИЙ» МІКРОКОНТРОЛЕР

Компанія **STMicroelectronics** випустила «мейнстрімовий» мікроконтролер **STM32G474RB**, який базується на високопродуктивному 32-розрядному RISC ядрі **Arm® Cortex®-M4**. Мікроконтролер працює на частоті до 170 МГц. Ядро Cortex-M4 оснащено блоком одиначної точності з плаваючою комою (FPU), який підтримує всі інструкції обробки даних одиначної точності Arm і всі типи даних. Він також реалізує повний набір інструкцій DSP (цифрової обробки сигналів) і блок захисту пам'яті (MPU), який підвищує безпеку програми.

В нього вбудовано високошвидкісну пам'ять — 128 Кбайт флеш-пам'яті та 128 Кбайт SRAM (саме ж сімейство STM32G474Rx, x — В/С/Е має флеш-пам'ять 128/256/512 Кбайт), гнучкий контролер зовнішньої пам'яті (FSMC) для статичної пам'яті (для пристроїв з корпусами від 100 контактів і більше), Quad-SPI — інтерфейс флеш-пам'яті, а також широкий спектр розширених ввідів-виводів і периферійних пристроїв, під'єднаних до двох шин APB, двох шин AHB і 32-розрядної матриці шини з багатьма AHB.

У контролер також вбудовано кілька механізмів захисту для вбудованої флеш-пам'яті та SRAM: захист зчитування, захист від запису, захищена область пам'яті та захист власного коду зчитування.

В STM32G474RB вбудовані периферійні пристрої, що дозволяють прискорювати математичні/арифметичні функції (CORDIC для тригонометричних функцій і модуль FMAC для функцій фільтра). Мікроконтролер має на борту п'ять швидких 12-розрядних АЦП (4 Msps), сім компараторів, шість операційних підсилювачів, сім каналів ЦАП (3 зовнішніх і 4 внутрішніх), внутрішній буфер опорної напруги, малопотужний RTC, два 32-розрядних таймери загального призначення, три 16-розрядні ШІМ таймери, призначені для керування двигуном, сім універсальних 16-бітних таймерів і один 16-розрядний малопотужний таймер і таймер високої роздільної здатності з роздільною здатністю 184 пс.

Підтримуються деякі незалежні джерела живлення, включаючи аналоговий незалежний вхід живлення для АЦП, ЦАП, операційних підсилювачів і компараторів.

www.st.com



Рис. 4. Втрати потужності в цифровій НВІС

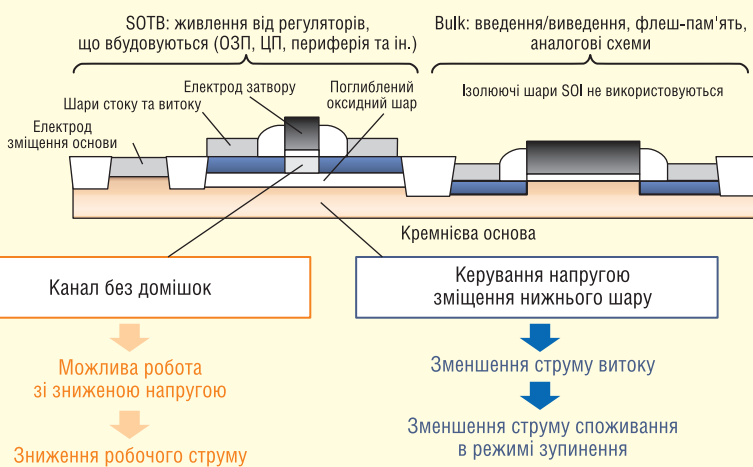


Рис. 5. Структурна схема транзистора SOTB

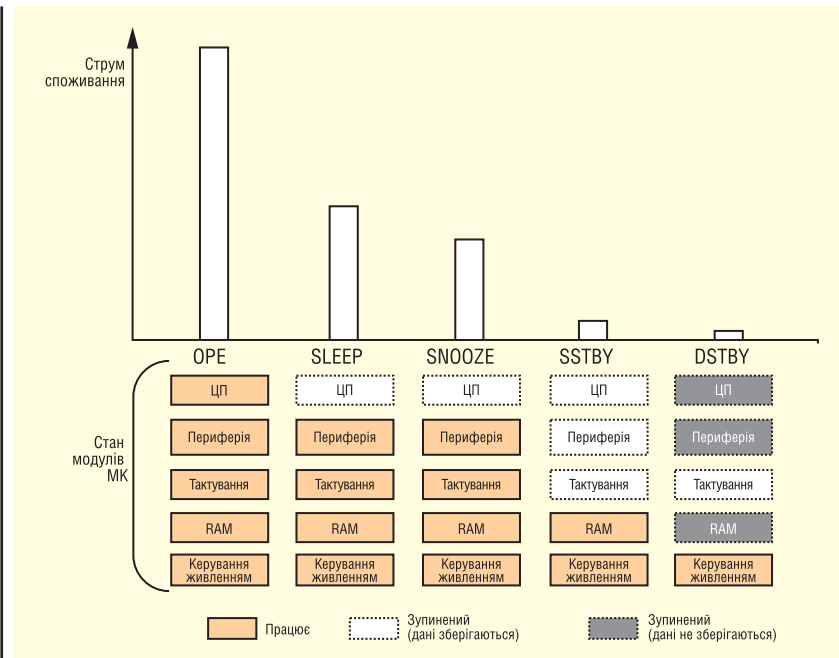


Рис. 6. Режими зниженого енергоспоживання МК RE 01B

Особливості кожного режиму, включаючи активний режим (OPE), показано на рисунку 6. Завдяки гнучкій структурі режимів енергоспоживання та технології SOTB в активному режимі можна знизити струм споживання до 12 мкА/МГц і до 100 мкА — в режимі очікування. Показання під час випробування МК RE 01B за тестом EEMBC's ULPMark-CP склали 705 од.

Ми не дарма приділили таку увагу енергоспоживанню МК RE 01B. Його низьке споживання дозволяє використовувати як живлення пристрою накопичення енергії. Для реалізації цієї можливості в МК інтегровано спеціальний контролер ЕНС для роботи з накопичувачами енергії. Його структурна схема представлена на рисунку 7. Зовнішній пристрій накопичення енергії G застосовується також для підзаряду батареї та накопичувальних конденсаторів.

Тепер коротко розглянемо власне МК RE 01B. Його структурна схема наведена на рисунку 8. МК базується на тому ж, що і МК DA14530 і DA14531, добре відомому процесорному ядрі Arm Cortex-M0+. Крім перелічених вище особливостей можна назвати дуже характерний для звичайних бездротових МК набір параметрів. Йдеться, насамперед, про великий обсяг пам'яті, людино-машинний інтерфейс та аналогову периферію. З останньої і почнемо наш короткий опис МК.

До 14-біт АЦП послідовного наближення підключаються до 18 вхідних

беруть участь у виконанні конкретної операції.
Крім відключення доменів від живлення, знизити енергоспоживання можна шляхом зменшення частоти тактування. У МК RE 01B передбачені такі режими частоти тактування:

- Високошвидкісний режим. У ньому частота тактування максимальна і становить 32 МГц.
- Низькошвидкісний режим. За його використання частота тактування знижується до 2 МГц.

- Субосциляторний режим. І тут частота тактування мінімальна — 32.768 кГц.
- Крім перерахованих вище режимів, у мікроконтролера RE 01B передбачені додаткові режими зниженого енергоспоживання:
 - режим сну (Sleep mode);
 - режим програмної зупинки (Software Standby mode);
 - режим будильника (Snooze mode);
 - режим глибокої програмної зупинки (Deep software standby mode).

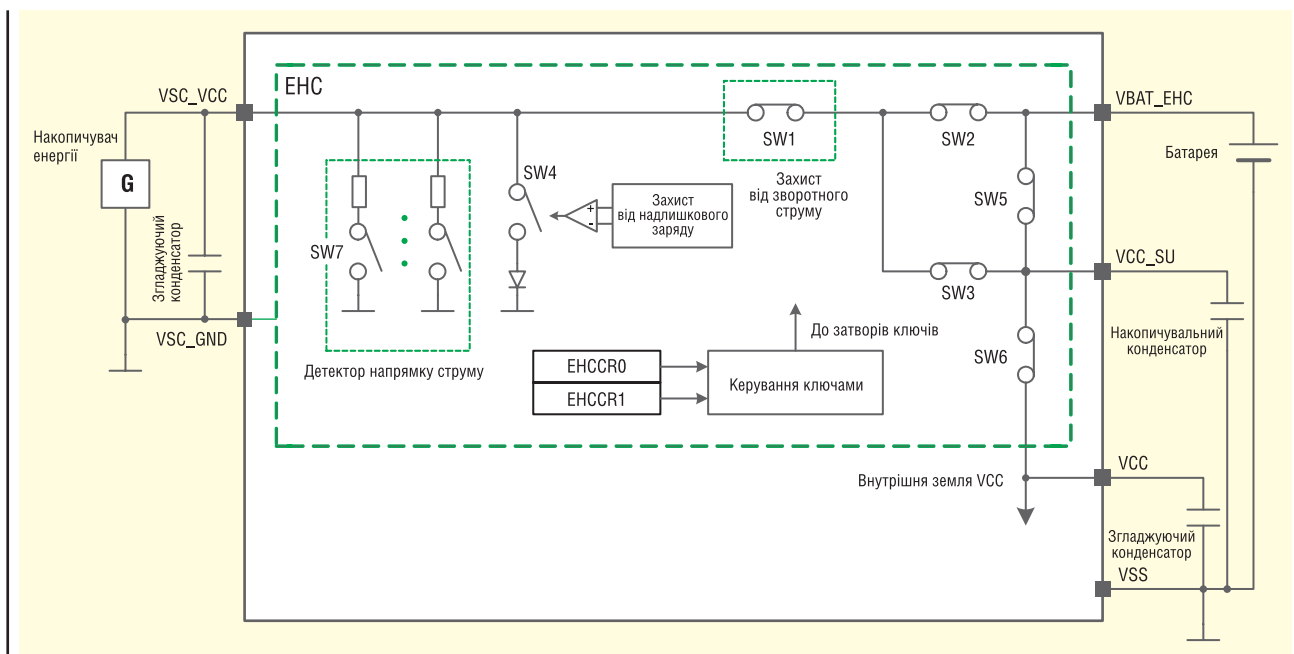


Рис. 7. Структурна схема контролера ЕНС

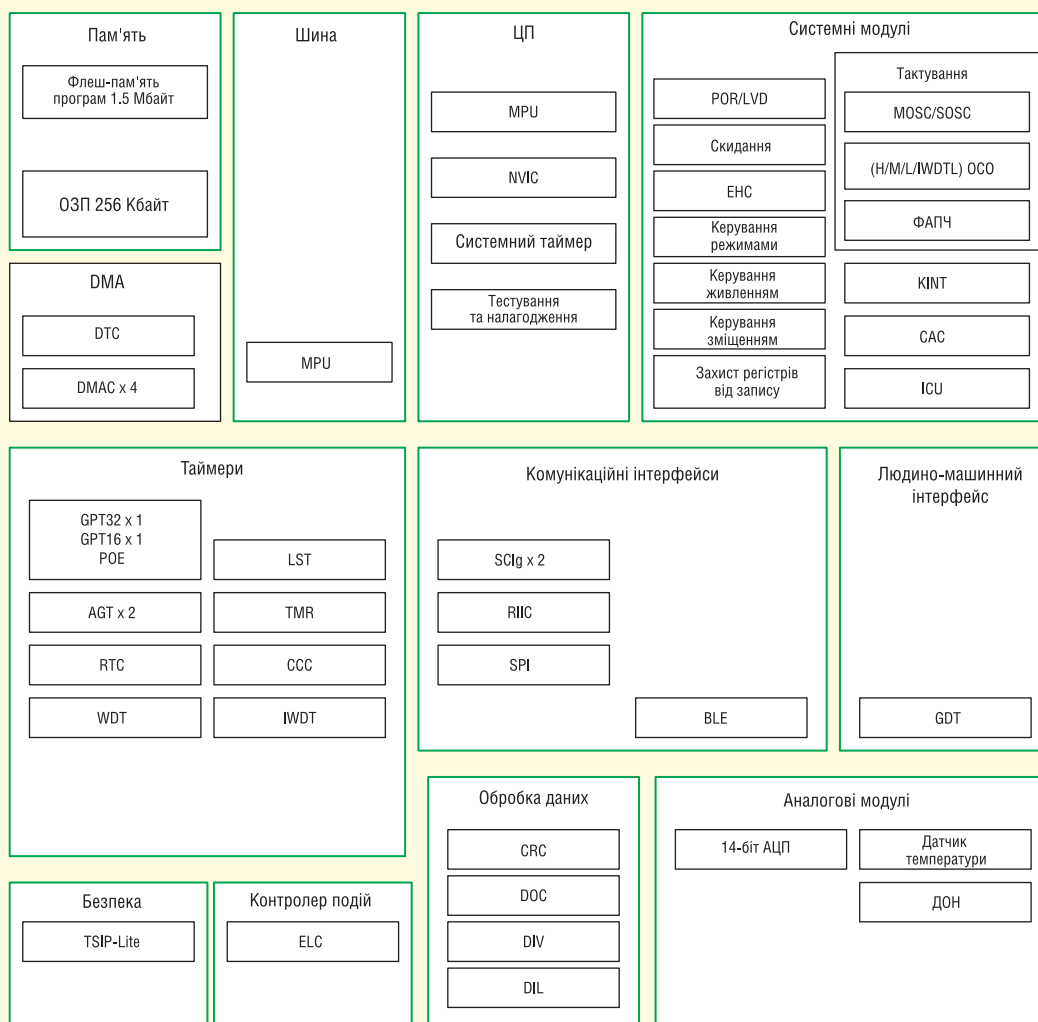


Рис. 8. Структурна схема МК RE 01B

каналів. Сім із них мають високу точність, а 11 каналів — стандартну. АЦП може працювати в режимі 14- або 12-біт перетворення. До складу модуля АЦП входить схема порівняння, що дозволяє порівняти два виміри або результат виміру із заданим значенням. Типовий час перетворення становить 0.5 мкс, максимальний час — 2 мкс.

- Джерело опорної напруги, що формує напругу 1.25 або 2.5 В.

У МК RE 01B інтегрована флеш-пам'ять програм місткістю 1.5 Мбайт. Якщо тактується частотою нижче 32 МГц, цикли очікування при зверненні до пам'яті відсутні. Якщо частота тактування перевищує 32 МГц, то в часовій діаграмі пам'яті з'явиться один цикл очікування. Обсяг інтегрованої у МК ОЗУ становить 256 Кбайт. Читання та запис в ОЗУ займають два цикли.

Згадаємо і модуль людино-машинного інтерфейсу, до складу якого вхо-

дить контролер управління РК-дисплеєм та вузол обробки 2D-графіки. Додамо, що в цей невеликий мікроконтролер інтегровано багато периферійних вузлів, які є в старших моделях МК компанії Renesas. Йдеться, перш за все, про контролер подій ELC та контролер передачі даних DTC. Описаний набір пристроїв і параметрів дозволяють створити на базі МК системи збору та обробки даних, а також системи управління.

Модуль BLE відповідає стандарту Bluetooth Low Energy 5.0. Оскільки в МК RE 01B використовується той же РЧ-трансивер, що і в МК RA 4W1 (див. рис. 4), всі характеристики радіоканалу такі самі, що були описані в попередньому розділі.

На закінчення додамо, що мікроконтролер RE 01B випускається у корпусі PVQN0064LE-A розміром 8 × 8 мм. Діапазон робочої температури становить −40 ... 85 °С.

Література:

1. В. Сенников. Микроконтроллеры беспроводной связи CC26x0 и CC13x0 семейства SimpleLink//Электронные компоненты. № 4. 2017.
2. В. Сенников. Мультимедийные SNK семейств DRA7xxP от Texas Instruments// Электронные компоненты. № 7. 2018.
3. А. Чистохвалов. Беспроводной микроконтроллер AXM0F243 от ON Semiconductor//Электронные компоненты. № 4. 2019.
4. А. Чистохвалов. Беспроводные микроконтроллеры с процессорным ядром Cortex-M33//CHIP NEWS Украина. № 8. 2019.
5. Г. Воронцов. Беспроводные микроконтроллеры семейства STM32WB55xx от STMicroelectronics//CHIP NEWS Украина. № 8. 2019.
6. Г. Воронцов. Беспроводные микроконтроллеры//CHIP NEWS Украина. № 8. 2020.

Огляд та перспективи застосування ПЛІС Xilinx Versal AI Edge

Ілля Тарасов, д. т. н.

У червні 2021 року відбувся анонс запланованого раніше сімейства нової апаратної платформи ПЛІС Xilinx. Це частина нової серії ПЛІС Versal, яка випускається з дотриманням 7-м технологічних норм на виробничих потужностях TSMC. Позначення Edge відсилає до концепції граничних (edge) обчислень, які мають на увазі виконання цифрової обробки даних ближче до їхнього збору. Такий підхід вимагає компактною і при цьому високопродуктивної елементної бази, яка має властивості системи на кристалі, забезпечуючи вирішення всього набору завдань, характерних для збору, обробки і передачі даних. В статті розглядаються характеристики ПЛІС Versal AI Edge, що представляє інтерес у тому числі завдяки наявності апаратних процесорних ядер AI-ML, орієнтованих на реалізацію завдань машинного навчання.

ВСТУП

Мікросхеми сімейства Versal AI Edge позиціонуються як ПЛІС недорогого сегмента порівняно з іншими продуктами Versal, що зокрема зазначено в назві. Термін edge computing («граничні обчислення») відсилає до підходу в області побудови обчислювальних систем, коли основна частка обробки даних виконується ближче до місця їх виникнення, тобто «на межі», або «на краю». Важливість цього підходу підвищується з поширенням систем збору даних, зокрема бездротових. Якщо проєктувати систему, розглядаючи кінцеві пристрої тільки як постачальників вихідних даних, сумарний обсяг інформації, що передається при масштабуванні системи рано чи пізно стане занадто великим, перевантажуючи канали зв'язку і центральний обчислювальний вузол. Натомість концепція розподілених обчислень, серед яких можна назвати граничні (edge), туманні (fog) та росисті (dew), передбачає, що попередня обробка даних проводиться безпосередньо у місці їх отримання. Цікаво, що перераховані терміни, що з'явилися останніми роками, побічно підтверджують інтерес, який проявляється до розподілених обчис-

лень, що виконуються в рамках гетерогенних систем.

Наприклад, якщо визначення параметрів сигналу виконується за допомогою спектрального аналізу, то в розподіленій системі очевидно можна зробити наступне: за допомогою АЦП зібрати достатню кількість цифрових відліків і передати їх у центральний обчислювальний вузол, який і виконає перетворення Фур'є. Однак це вимагає постійно передавати «сирі дані» від плати із встановленим АЦП до центрального вузла. Альтернативою стає виконання перетворення Фур'є безпосередньо біля АЦП, а в центральний вузол передаються результати обробки, які зазвичай значно менші за обсягом. В цьому випадку ПЛІС є цілком підходящим рішенням, оскільки дозволяє і ввести дані із зовнішніх АЦП (використовуючи широкий перелік підтримуваних інтерфейсів), і обробити їх із застосуванням великої кількості вбудованих блоків DSP, та організувати обмін даними з центральним вузлом за допомогою вбудованого процесора (апаратного ядра), або так званого софт-процесора, що реалізується на основі конфігурованих комірок). Цей перелік означає, що ПЛІС має містити відповідні компоненти, а також відпові-

дати сучасним вимогам щодо продуктивності. Слід зазначити, що у поточній ситуації не завжди можна обмежитися цифровою фільтрацією чи виконанням швидкого перетворення Фур'є.

Серед сучасних підходів до обробки даних можна відзначити статистичну обробку та нейромережі. За всієї складності та неоднозначності їх застосування слід визнати, що розвиток елементної бази та методології використання нейромережевих алгоритмів сприяє появі нових успішних прикладів їх впровадження. У сімействі Versal AI Core вже реалізована нова для ПЛІС підсистема спеціалізованих процесорних ядер, що містить 128–400 ядер, тобто йдеться не про один процесор або навіть чотириядерну підсистему, а про сотні ядер, які в Versal орієнтовані на обробку даних у бездротових системах зв'язку та реалізацію алгоритмів машинного навчання.

Дуже цікаво, що в сімействі AI Edge, яке позиціонується як відносно недорого, також додані ядра AI, причому їхня підсистема дещо модифікована (отримавши при цьому позначення AI-ML). Навіть ПЛІС мінімального логічного обсягу містить вісім таких ядер, що вводить її на досить високі показники продуктивності — близько 7 трлн операцій з цілочисловими даними формату INT8. При цьому продуктивність старших мікросхем сімейства перевищує 200 трлн операцій.

Можна також відзначити, що всі ПЛІС Versal є, по суті, продовженням Zynq архітектури, оскільки містять апаратні ядра ARM. Комбінація з двох ядер Cortex-A і двох ядер Cortex-R дозволяє перетворити ПЛІС на різновид процесорної системи на кристалі, проте найважливішою відмінністю ПЛІС у цьому випадку стає непорівнянна різниця у продуктивності. Якщо для мікросхем, що позначаються як СНК, часто можна бачити периферійні пристрої, що конфігуруються, зібрані навколо ядра ARM,

то в ПЛІС процесор грає суто допоміжну роль, оскільки його продуктивність в десятки і сотні разів менше, ніж сумарна продуктивність програмовних ресурсів ПЛІС.

ОГЛЯД СІМЕЙСТВА XILINX VERSAL AI EDGE

Анонсоване сімейство є вже четвертим у лінійці продуктів Versal. На рисунку 1 показана діаграма випуску окремих сімейств, де видно, що три із шести сімейств плануються до випуску з підсистемою ядер AI, у тому числі і майбутнє сімейство AIRF, яке міститиме високочастотні АЦП і ЦАП. Очевидно, що це сімейство призначене для цифрової обробки даних у системах програмно-визначеного радіо, у тому числі в системах 5G. Можна додати, що в процесі підготовки матеріалів статті компанія Xilinx випустила прес-реліз про ще одне сімейство — Versal HBM, основна відмінність якого полягає в динамічній пам’яті з декількома незалежними інтерфейсами доступу, що забезпечують високу пропускну здатність (High Bandwidth).

Компоненти ПЛІС Versal AI Edge показано на рисунку 2. Вони включають такі основні підсистеми:

- процесорна підсистема (PS), що містить двоядерний процесор Cortex-A72, двоядерний Cortex-R5 і набір периферії, підключеної до цієї підсистеми і не вимагає для роботи залучення конфігурованих логічних осередків;
- матриця FPGA, що містить логічні осередки, блоки пам’яті, тактові ресурси та блоки DSP, які через їх значущість для досягнення високої продуктивності в задачах цифрової обробки сигналів показані окремо;
- процесори AI-ML (спеціальна модифікація VLIW-ядер AI для сімейства AI Edge);
- програмована мережа на кристалі (NOC, Network-On-Chip);
- апаратні ядра контролерів пам’яті DDR4, PCI Express, Ethernet та ін.

Порівняльні характеристики різних сімейств ПЛІС Versal наведено в таблиці 1. Усі сімейства мають однакову процесорну підсистему та програмовну мережу на кристалі (за-

Таблиця 1. Порівняльні характеристики різних сімейств ПЛІС Versal

Характеристики	AI Edge	AI Core	Prime	Premium
Процесорна система	Двоядерний Cortex-A72, двоядерний Cortex-R5F			
Програмовна мережа на кристалі (NetworkOnChip)	Так			
Сумарна продуктивність з даними INT8, трлн операцій/с	7–228	57–228	8–57	36–206
Логічних комірок, тис.	44–1 139	540–1 968	329–2 233	1575–7 352
Пам’яті, Мбайт	40–177	90–191	54–282	198–994
Блоків DSP	90–1 312	928–2968	464–3 984	1 904–14 352
Процесорних ядер AI Core	8–304	128–400	–	–
Блоків MGT	0–44	8–44	8–48	48–168
Сумарна пропускну здатність блоків MGT, Тбіт/с	2.9	2.9	5.2	18.1
Програмовних виводів	114–530	478–770	316–770	586–780
Контролерів пам’яті	1–3	2–4	1–4	3–4

сновану на шині AXI4). Можна звернути увагу на параметри сумарної продуктивності, які є максимальними у сімейств з процесорами AI. Продуктивність у цьому випадку виміряна для даних у форматі int8 і перевершує навіть сімейство Premium, що має понад 7 млн логічних осередків та 14 тис. блоків DSP. Очевидно, що за інших умов вимірювання продуктивності такий вигравш AI Core вже не буде спостерігатися, проте можливість отримання високопродуктивної апаратної платформи для завдань машинного навчання та програмно-визначуваних бездротових мереж представляє великий інтерес.

Характеристики анонсованих на момент підготовки статті ПЛІС Versal AI Edge показані у таблиці 2.

На рисунках 3, 4 показані діаграми, що дозволяють наочно уявити співвідношення між основними ресурсами в актуальних сімействах ПЛІС Xilinx. Можна бачити, що для 16-нм сімейств Ultra Scale+ (Kintex і Virtex) співвідношення між обсягом пам’яті та логічною ємністю осередків ПЛІС практично те саме, що й для Versal. Явним винятком із загального тренду стала найбільша ПЛІС сімейства Virtex Ultra Scale+, яка, втім, призначена і для прототипування HVIC. Також видно, що сімейства Versal AI Edge, Versal Prime і Versal Premium займають зони, що частково перекриваються, на діаграмах по логічній ємності. У частині цифрової обробки сигналів Versal має меншу питому вагу блоків DSP на одиницю логічної ємності, що у осередках. При цьому відмінності від сімейств ПЛІС початкового рівня досить суттєві (ПЛІС цих сімейств на діаграмах не показані), і відносний обсяг виділених ресурсів — пам’яті та DSP — у сімействах Artix, Spartan-7 та Zynq менше, ніж у Versal або Kintex/Virtex.



Рис. 1. Плани випуску сімейства ПЛІС Xilinx Versal

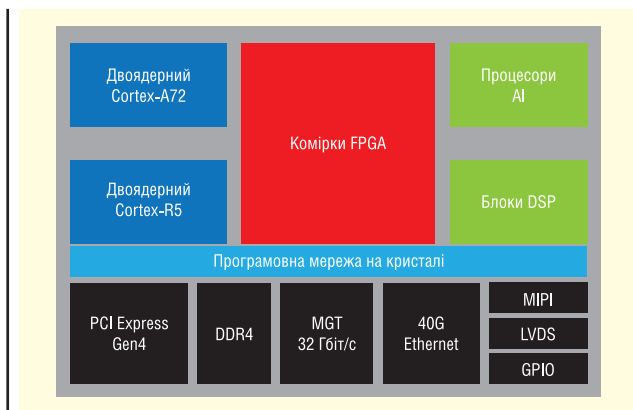


Рис. 2. Архітектура ПЛІС Versal AI Edge

АРХІТЕКТУРА ПЛІС VERSAL AI EDGE

Сімейство Versal AI Edge належить до відносно недорогих ПЛІС (у межах продуктів Versal). Проте вони не відрізняються в архітектурі основних програмовних ресурсів, як це спостерігалось в серіях Virtex і Spartan. Вже починаючи з 28-нм серії 7 компанія Xilinx уніфікувала архітектуру конфігурованих ресурсів своїх FPGA, щоб перенесення проєктів між серіями не супроводжувалося суттєвими коригуваннями схеми.

Основою матриці конфігурованих логічних ресурсів у всіх сімействах Versal служить конфігурований логічний блок (КЛБ), що містить 32 логічні генератори (Look-Up Table) і 64 тригери. Це істотне укрупнення КЛБ у порівнянні з ранніми серіями, що містили, наприклад, чотири LUT і вісім тригерів. Досяжним ефектом є збільшення частини FPGA, для якої можливе використання внутрішніх комутаційних ресурсів. Так, для з’єд-

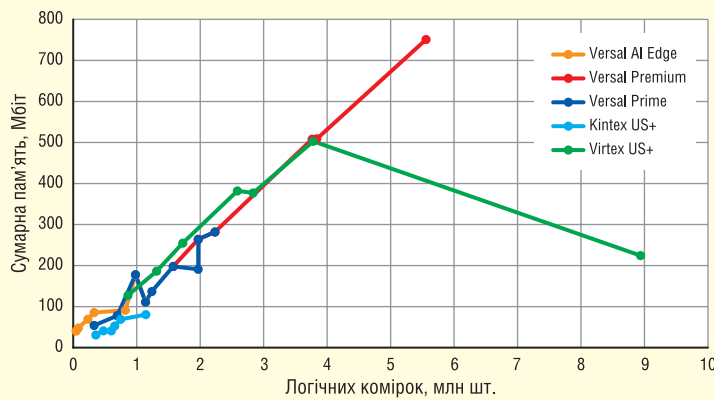


Рис. 3. Діаграма співвідношення між логічними осередками та загальним обсягом пам'яті в деяких сімействах ПЛІС Xilinx

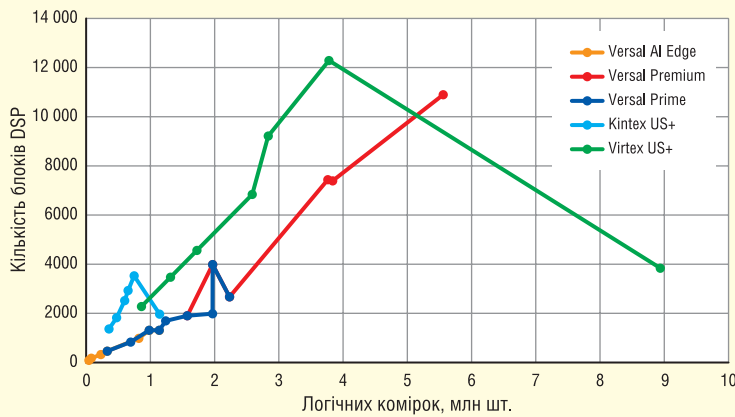


Рис. 4. Діаграма співвідношення між логічними осередками та кількістю блоків DSP у деяких сімействах ПЛІС Xilinx

нання LUT всередині одного КЛБ Versal передбачені виділені лінії. З 32 LUT в режимі розподіленої пам'яті або зсувного регістру (SRL32) можуть працювати 16. Для LUT зберігається можливість роботи двох п'ятиходових LUT, або двох 16-розрядних зсувних регістрів. Для групи з 64 тригерів реалізовані чотири тактові сигнали, чотири сигнали скидання/установки та 16 сигналів роздільної здатності запису. Це відповідає тенденції скорочення можливих варіантів керуючих сигналів для тригерів всередині одного КЛБ — наприклад, керуючих наборів (controlsets). Насправді дійсно виявляється, що індивідуальні сигнали дозволу запису і скидання/установки кожного окремого тригера використовуються нечасто. Скажімо, для 16-розрядного регістру відрізняться лише лінії даних, а всі сигнали керуючого набору (clock, set/reset, en) будуть одними і тими ж. Таке рішення дозволяє скоротити апаратні витрати на реалізацію надлишкового набору трасувальних ресурсів, які використовуються рідко, залишаючи водночас можливість для трасування найбільш уживаних схем. Для розробника подібне обмеження не

приводить до видимих обмежень, оскільки при необхідності використовувати інший керуючий набір, для якого вже немає місця в КЛБ, відповідні компоненти будуть автоматично перенесені в інший КЛБ. Цей підхід не є оригінальним рішенням у серії Versal і вже застосовувався у попередніх серіях ПЛІС Xilinx.

Компонент «секція DSP» служить основою задач цифрової обробки сигналів. Операція «множення з накопиченням» застосовується не тільки в таких добре відомих пристроях, як цифрові фільтри, спектро- і вейвлет-аналізатори, але й у задачах обробки відео та нейромережах, що отримують все більше поширення. Операція множення може бути реалізована і на базі КЛБ, однак у цьому випадку використання ресурсів FPGA виявляється неефективним. Компонент помножувача буде мати значно кращі параметри, якщо продати його непрограмовним, що і робиться в FPGA, починаючи ще з сімейства Xilinx Virtex-II. Протягом еволюції архітектури ПЛІС характеристики помножувача зазнавали змін, перетворивши його спочатку в компонент «множення з накопиченням»

(додаванням апаратного акумулятора), а в кінцевому підсумку в компонент «секція DSP», що налаштовується.

Основою блоку цифрової обробки сигналів служить апаратний помножувач 27×24 біт і 58-бітний акумулятор. Розрядність акумулятора тривалий час дорівнювала 48, що визначалося практичними потребами зберігання накопиченого результату множень. У ранніх сімействах розрядності операндів становили 18 біт, що давало 36-бітний результат множення. Додаткові розряди акумулятора призначені для того, щоб розмістити результат, що збільшується в розрядності, при послідовних складаннях. Додаткові 12 розрядів дозволяють накопичувати не менше 2^{12} доданків.

У міру підвищення розрядності операнд запас акумулятора зменшувався. Забезпечення роботи з числами формату short float спричинило збільшення розрядності до 25, а потім до 27 біт. Однак множення 27 і 18 біт дає в результаті 45-бітне число, що залишає невеликий запас у 48-розрядному акумуляторі. В кінцевому підсумку для ПЛІС Versal 27 і 24 біт означають 51-бітний результат, що дозволяє послідовно накопичувати не менше $2^7 = 128$ доданків.

Множення з накопиченням не є єдиним режимом роботи компонента DSP58. Два 58-бітні операнди можуть бути подані на арифметико-логічний пристрій, у тому числі в режимі SIMD (два набори 24-бітних або чотири набори 12-бітових операндів). Як і в попередніх сімействах, використовується попередній суматор, що дозволяє реалізувати на одному блоці DSP два відведення фільтра з симетричними коефіцієнтами, а також виділені лінії для каскадування блоків, що знаходяться в одній колонці ресурсів на кристалі. Додатковою можливістю є підтримка операцій над комплексними числами, а також операцій множення та складання над числами з плаваючою точкою у форматах fp32 та fp16.

ОСОБЛИВОСТІ ПІДСИСТЕМИ ПАМ'ЯТІ В ПЛІС VERSAL AI EDGE

У таблиці 2 можна помітити рядок «пам'ять прискорювача», що описує компонент, якого не було не тільки в попередніх сімействах ПЛІС, але і в інших сімействах Versal. Загалом, розробникам хотілося б бачити в ПЛІС якнайбільше пам'яті, оскільки робота з накристаліною пам'яттю істотно відрізняється на краще по цілому ряду

Таблиця 2. Характеристики ПЛІС Versal AI Edge

Характеристики	VE2002	VE2102	VE2202	VE2302	VE2602	VE1752	VE2802
Ядер AI ML	8	12	24	34	152	0	304
Ядер AI	0	0	0	0	0	304	0
Пам'ять підсистеми AI, Мбайт	4	6	12	17	76	76	152
Блоків DSP	90	176	324	464	984	1312	1312
Логічних комірок	43750	80080	229688	328720	820313	981120	1139040
Тригерів КЛБ	40000	73216	210000	300544	750000	897024	1041408
Блоків LUT	20000	36608	105000	150272	375000	448512	520704
Розподілена пам'ять, Мбайт	0.6	1.1	3.2	4.6	11.4	13.7	15.9
Блоків пам'яті BRAM/ об'єм пам'яті, Мбайт	24/0.8	47/1.7	108/3.8	155/5.4	476/16.7	954/33.5	600/21.1
Блоків пам'яті UltraRAM/ об'єм пам'яті, Мбайт	24/6.8	47/13.2	108/30.4	155/43.6	224/63	462/129.9	264/74.3
Пам'ять прискорювача, Мбайт	32	32	32	32	0	0	0
Портів NoC	2	2	5	5	21	21	21
Розрядність даних DDR	64	64	64	64	192	192	192
Контролерів пам'яті DDR	1	1	1	1	3	3	3
Контролерів PCIe з DMA та CCIX	-	-	-	-	1 x Gen4x16		
Контролерів PCIe у підсистемі програмовної логіки	-	-	1 x Gen4x8				
Блоків MAC Ethernet 40G	-	-	1	1	2	2	2
Виводів XPIO	216	216	216	216	486	486	486
Виводів HDIO	0	0	22	22	44	44	44
Приймачів-передавачів GTY	-	-	-	-	-	44	-
Приймачів-передавачів GTYP	-	-	8	8	32	-	32
Блоків відеодекодера	-	-	-	-	2	-	4

показників, якщо порівнювати її із зовнішньою мікросхемою. Накристална пам'ять, яка розбита на невеликі блоки, має величезну сумарну пропускну здатність. Її характеристики не залежать від якості трасування друкованої плати, до того ж зовнішня пам'ять зазвичай не може забезпечити синхронні операції за один такт, як це робить розподілена або блокова пам'ять ПЛІС. Також важливо, що моделювання накристалної пам'яті підтримується в САПР ПЛІС, що полегшує процес проектування.

Істотним недоліком статичної пам'яті є її відносно малий обсяг. Розробники звикли до пам'яті комп'ютерів і навіть смартфонів розміром десятки гігабайт, що може забезпечити лише динамічна пам'ять. Однак сучасні технології не дозволяють реалізувати динамічну пам'ять разом із цифровими вентилями. Для цього можна використовувати мікроскладання або більш сучасну технологію чиплетів, попередником якої був підхід Stacked Silicon Interconnect, реалізований Xilinx в ПЛІС Virtex-7. У будь-якому випадку, розміщення в одному корпусі мікросхеми та пластини з цифровими компонентами, та пластини з динамічною пам'яттю збільшує вартість такого рішення. Прикладом може

бути ПЛІС Xilinx з компонентами НВМ (High Bandwidth Memory), що відносяться до верхнього цінового сегмента.

У зв'язку з цим цікавим є додавання нового типу компонента пам'яті — Accelerator RAM. Це великий блок розміром 4 Мбайт (32 Мбіт), що є у чотирьох молодших ПЛІС Versal AI Edge. Блок розділений на три банки і підключений як до процесорної підсистеми (за допомогою 128-розрядної шини AXI), так і підсистеми FPGA (два інтерфейси AXI з розрядністю даних 256 біт). У трьох старших ПЛІС обсяг блокової пам'яті перевищує 32 Мбіт, тому застосування Accelerator RAM для них не таке актуальне.

Блокова пам'ять (BRAM), як і в попередніх сімействах ПЛІС Xilinx, являє собою синхронну статичну двопортову пам'ять ємністю 36 кбіт. Кожен порт пам'яті може бути налаштований як 4k x 9, 2k x 18, 1k x 36 або 512 x 72, при цьому режим адресації для портів може не співпадати. Блоки підтримують режим truedual-port, у якому операції з двох інтерфейсів не залежать один від одного і не мають обмежень. Альтернативою є режим simpledual-port, в якому тільки один порт виконує операції читання та запису, а другий — лише операції читання. Однопортовий режим, звичай-

но, також підтримується. Для підвищення тактової частоти проекту виходи даних можуть бути конвеєризовані вбудованим в блок пам'яті регістром.

Режим truedual-port надзвичайно важливий для сучасних умов з дедалі ширшим поширенням архітектури GALS (Globally Asynchronous, Locally Synchronous). Починаючи з ПЛІС Ultra Scale, тактові сигнали більше не можуть бути розведені по всьому кристалу великого обсягу, що аж ніяк не є недоліком продукції Xilinx. Насправді особливості технологічного процесу, з норм 28 нм і менше, дуже ускладнюють трасування тактових ланцюгів по кристалу великої площі. Тому регіони, в яких проведено таке трасування, локалізуються, утворюючи незалежні фрагменти великої схеми. Необхідно особливо звернути увагу, що жодні обхідні шляхи та налаштування САПР не дозволяють досягти сталої роботи проекту, розміщеного в кількох тактових регіонах ПЛІС. Важлива методологічна проблема проектування полягає в тому, що розробники мають можливість виконати RTL-опис великого проекту та провести його поведінкове моделювання у припущенні, що всі компоненти проекту синхронізовані. Формально навіть опис двох незалежних тактових сигналів не виявить проблему на рівні поведінкового моделювання, оскільки задані розробником тактові сигнали будуть виглядати ідентичними і збігаються по фазі, чого не спостерігається на практиці при підключенні реальних тактових генераторів і формуванні двох тактових підмереж різними PLL, встановленими на кристал.

Ось чому дуже важливим є застосування спеціальних схем для передачі сигналів з одного тактового регіону в інший. Для таких схем передбачений спеціальний термін CDC (Clock Domain Crossing), а найбільш простим і надійно працюючим рішенням є саме двопортова пам'ять із інтерфейсами, що незалежно тактуються. Тому такі компоненти становлять значний інтерес для організації стійких схем передачі між підсистемами великого проекту.

Іншим варіантом компонента пам'яті є більший блок Ultra RAM ємністю 288 кбіт. Цей блок також двопортовий, з однією важливою відмінністю — обидва порти використовують один і той же тактовий сигнал. В іншому можливості Ultra RAM подібні до можливостей BRAM — підтримуються режими 32k x 9, 16k x 18, 8k x 36, 4k x 72, обидва порти можуть виконувати операції читання і запису незалежно, є додатковий конвеєрний регістр для виходу даних.

Загалом ієрархія пам'яті в ПЛІС Versal тепер містить чотири рівні:

- розподілена пам'ять логічних осередків (distributed RAM);
- блочна пам'ять BRAM;
- блоки Ultra RAM;
- блоки Accelerator RAM.

Така ієрархія дозволяє гнучкіше планувати розміщення оброблюваних даних серед ресурсів ПЛІС, орієнтуючись при необхідності як на розподілені по кристалу дрібні блоки, так і на більші компоненти, що не висувають жорстких вимог до планування взаємного розташування щодо інших ресурсів ПЛІС, як це буває при розміщенні великих обсягів даних у розподіленій або блоковій пам'яті.

ОБЛАСТІ ЗАСТОСУВАННЯ ПЛІС VERSAL AI EDGE

Поєднання логічної ємності, реалізованих підсистем та функціональних можливостей дозволяє окреслити коло застосувань, у яких нове сімейство ПЛІС могло показати хороші результати. Очевидно, що найбільший інтерес викликає розміщення у недорогому сімействі процесорних ядер AI-ML. На відміну від секцій DSP, які є, по суті, апаратним компонентом для операції множення з накопиченням, ядра AI-ML є повноцінними процесорами з архітектурою VLIW.

Таким чином, застосування платформ Versal AI Core і Versal AI Edge базується на використанні чотирьох підсистем, що принципово розрізняються за архітектурою, які схематично показані на рисунку 5. Серед представлених підсистем найбільш широким спектром функціональних можливостей мають процесори загального призначення, проте їх кількість невелика, і вони не виступають як елемент, що визначає

загальні показники продуктивності. Для виконання основного обсягу обчислень можуть використовуватися секції DSP, осередки ПЛІС, а для сімейств AI Core та AI Edge — ядра AI.

Системи допомоги для водія автомобіля

Системи допомоги для водія автомобіля (ADAS and Automated Drive) мають на увазі використання комплексу датчиків для відстеження параметрів руху автомобіля, які передбачають як моніторинг автомобільних систем, так і відстеження зовнішньої обстановки — перешкод, пішоходів, інших транспортних засобів, дорожніх знаків та розмітки тощо. Для таких застосувань ПЛІС мають наступні можливості:

- реалізація на базі логічних осередків комбінації інтерфейсів для підключення датчиків (радарів, лідарів, відеокамер, ультразвукових та ІЧ-далекомірів);
- реалізація на основі секцій DSP попередньої цифрової обробки сигналів;
- застосування ядер AI для обробки зображень, реалізації алгоритмів машинного навчання та ін.;
- застосування процесорних ядер Cortex-R для систем ухвалення рішення;
- застосування процесорних ядер Cortex-A для управління системою та реалізації інтерфейсних та мультимедійних функцій.

Системи класу Collaborative robots

Системи класу Collaborative robots («взаємодіючі роботи») передбачають взаємодію людини та робота в одному середовищі діяльності (наприклад, застосування роботизованих маніпуляторів, що доповнюють дії людини-оператора). Для такої взаємодії необхідно

реалізувати суттєво інший рівень безпеки, оскільки на відміну від промислових роботів, що виконують операції у свідомо ізольованому від людини середовищі, колаборативний робот повинен у реальному часі враховувати дії людини.

Завдання окремих підсистем AI Edge у робототехніці загалом подібні до завдань у системах ADAS.

Управління БПЛА

Управління БПЛА на базі Versal AI Edge є перспективним через можливість створення високоінтегрованого рішення. Для БПЛА необхідно реалізувати комплекс завдань управління в режимі реального часу, які істотно різняться за складністю алгоритмів, обсягом обчислень та вимог до часу реакції. Наприклад, управління двигунами БПЛА має проводитися з гарантованим часом реакції (хоч і не надто маленьким). Для цього можна використовувати процесори реального часу або спеціалізовані софт-процесори, що реалізуються на базі логічних осередків матриці FPGA. На базі осередків та секцій DSP можна створити необхідні інтерфейси для датчиків та виконавчих пристроїв БПЛА. Ядра AI можуть бути як основою нейромережових алгоритмів, так і компонентами цифрового радіозв'язку.

ВИСНОВОК

Можна констатувати, що випуск нового сімейства ПЛІС підтверджує анонси та плани компанії Xilinx. Це вже четверте сімейство платформи Versal, що випускається за технологічним процесом 7 нм, що дає підстави позитивно оцінювати загальні перспективи Xilinx. Цікавим є орієнтація нового сімейства на відносно дешеві пристрої. Це розширює коло розробників та організацій, які могли б бути залучені до практичних проєктів на базі платформи Versal.

Література:

1. ACAP на Edge with Versal AI Edge Series. www.xilinx.com/support/documentation/white_papers/wp518_ai-edge-intro.pdf
2. Versal Architecture and Product Data Sheet: Overview. www.xilinx.com/support/documentation/data_sheets/ds950_versal-overview.pdf
3. Xilinx AI Engines and Their Applications. www.xilinx.com/support/documentation/white_papers/wp506_ai-engine.pdf CN

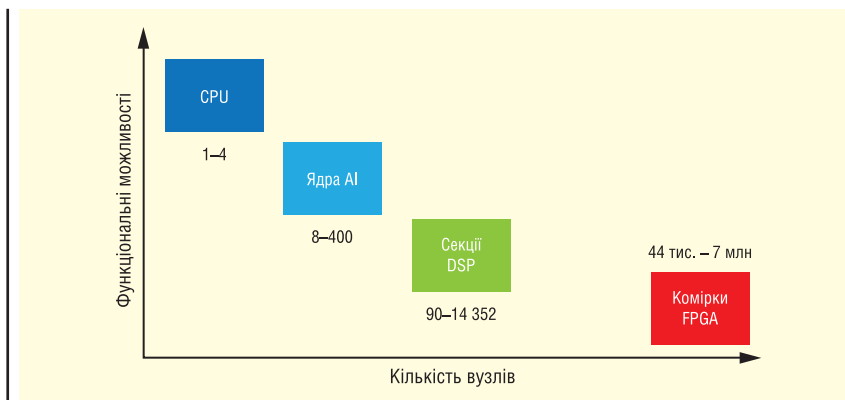


Рис. 5. Співвідношення кількості та функціональних можливостей елементів, що входять до окремих підсистем ПЛІС з архітектурою ACAP

Ефективне вирішення питань забезпечення безпеки у вбудованих системах Інтернету речей

Забезпечення безпеки вбудованих систем Інтернету речей може виявитися досить складним та трудомістким завданням навіть для досвідчених розробників. Ми розглянемо кілька найбільш часто виникаючих питань проєктування цих систем та ознайомимося з рішеннями компанії Renesas з безпеки на основі платформ, в яких використовуються всі переваги останніх досягнень у сферах апаратного та програмного забезпечення. Ці рішення дозволяють реалізувати всебічний захист на кількох рівнях.

ПРОБЛЕМИ БЕЗПЕКИ ПРИСТРОЇВ В ІНТЕРНЕТІ РЕЧЕЙ

На кінець 2020 р. кількість пристроїв Інтернету речей становила близько 31 млрд од. Багато з них недостатньо добре захищені, що робить їх легкою здобиччю для хакерів. Значною мірою багато вбудованих систем уразливі, тому що їх захист — складне завдання. Розробники повинні добре розбиратися в картині загроз, що швидко змінюються, а також враховувати вимоги стандартів безпеки, що постійно вдосконалюються. Буває, у разі проєктування складних програм необхідно виконати вимоги кількох стандартів, що ускладнює роботу над забезпеченням сумісності та функціональної гнучкості пристроїв. У багатьох випадках створення захисту вищого рівня супроводжується збільшенням фінансових витрат та енергоспоживання, що негативно впливає на конкурентоспроможність кінцевих пристроїв. Ми розглянемо кілька найбільш поширених питань, що виникають при розробці вбудованих систем, а також надамо рекомендації, які допоможуть підвищити безпеку пристроїв, прискорити виведення на ринок виробів, сервісів і систем. Отже, до найпоширеніших питань із забезпечення безпеки систем, що вбудовуються, відносяться такі:

1. Як захистити проєктований пристрій?
2. Як запобігти появі на ринку несанкціонованих копій пристроїв?

3. Як спростити керування безпекою?
4. Як захистити ідентифікаційну інформацію щодо пристрою?
5. Що робити тим розробникам, які не є експертами у сфері забезпечення безпеки виробів?
6. Як забезпечити відповідність стандартам, отримати техпідтримку від постачальників та реалізувати конкурентоспроможний проєкт?

ПИТАННЯ 1: ЯК ЗАХИСТИТИ ПРОЄКТОВАНИЙ ПРИСТРІЙ?

Кілька років тому розробникам додатків не доводилося хвилюватися про те, як забезпечити безпеку своїх виробів, оскільки пристрої та програми не були настільки тісно пов'язані один з одним так, як тепер. В даний час навіть найпростіші електронні пристрої, починаючи зі світлодіодних ламп і закінчуючи радіонянями та контейнерами з рецептурними препаратами, підключені до Інтернету або хмари. Занадто часто питання безпеки ігноруються або вирішуються, коли стає занадто пізно. Наразі захист даних та функціональних можливостей програм Інтернету речей від кіберзагроз є дуже гострою проблемою для розробників. Пристрої необхідно оснащувати функціями безпеки на етапі проєктування і на апаратному, і на програмному рівнях. Платформенний метод передбачає кілька рівнів захисту за рахунок використання останніх до-

сягнень в апаратному та програмному забезпеченні.

До ефективних апаратних засобів забезпечення безпеки належать такі:

- Пристрій повинен безпечно генерувати та зберігати ключі (зокрема закриті ключі), щоб унеможливити заміну та несанкціонований доступ до налаштування пристрою.
- Апаратно прискорене шифрування, хешування та генерація істинно випадкових чисел, завдяки чому прискорюються криптографічні операції у пристрої. Така апаратна підтримка заощаджує час та енергоспоживання.
- Захищений доступ до пам'яті для захисту певних областей ОЗУ та флеш-пам'яті від несанкціонованого доступу. Окремі області пам'яті ізолюють конфіденційний код та дані від небезпечного коду та даних; при цьому пам'ять з одноразовим записом захищає код та дані від внесення змін або перепрограмування.
- Захищений доступ до програмування та налагодження, що знижує ризики використання хакерами інтерфейсів відлагоджувача та програматора для атак.

До програмних засобів належать такі:

- Інтегроване та оптимізоване ПЗ з перевіреними середовищами розробки додатків та стандартними API-інтерфейсами.
- API рівня драйверів для взаємодії з апаратними засобами безпеки.
- Криптографічні бібліотеки з набором API інтерфейсів, які забезпечують широкий ряд засобів безпеки, включаючи функції безпеки макrorівня, корінь довіри (root-of-trust), а також здатність розпізнавати довірені джерела та код.
- Вбудована підтримка стандартних протоколів зв'язку та засобів передачі даних, наприклад, протокол захищеної передачі гіпертекстової інформації (HTTPS), безпека на

транспортному рівні (TLS) та інші спеціальні хмарні протоколи.

Компанія Renesas вже багато років є лідером у галузі вбудованих засобів захисту інформації і добре зарекомендувала себе у сфері безпеки сучасних пристроїв, що підключаються. Компанія Renesas пропонує платформну методику для забезпечення безпеки систем, що вбудовуються. Ця методика передбачає багаторівневу інфраструктуру розробки, яка гарантує всебічний захист широкого ряду вбудованої продукції.

Renesas Synergy є комплексною професійною платформою для розробки, до складу якої входить програмне забезпечення виробничого рівня та масштабоване сімейство сумісних за выводами мікроконтролерів, що інтегрують протестовані апаратні засоби захисту на декількох рівнях. Платформа Synergy гарантує розробку програм Інтернету речей на основі безпечної та надійної технології.

Synergy надає кілька варіантів генерації ключів за допомогою модуля Secure Crypto Engine (SCE) (див. рис. 1). Модуль SCE генерує унікальну криптографічну апаратну ідентифікаційну інформацію про пристрій, що безпечно зберігається у внутрішній флеш-пам'яті завдяки безпечному блоку захисту пам'яті (SMPU) та вікнам доступу до флеш-пам'яті (FAW). Ці засоби захисту пам'яті, якими оснащені мікроконтролери Synergy, також використовуються для зберігання коду захищеного завантаження, сертифікатів та ключів поряд з іншими конфіденційними даними. Крім того, модуль SCE зберігає ключі в безпечі, щоб уникнути розкриття конфіденційної інформації навіть у небезпечній пам'яті. Ізоляція ключів досягається за допомогою симетричного шифрування ключів, унікальних для мікроконтролера; оскільки воно виконується окремо для кожного мікроконтролера, доступ до ключів здійснюється тільки всередині модуля SCE того мікроконтролера, який виконав симетричне шифрування.

Платформа також повинна встановлювати безпечне та просте з'єднання з хмарою. У міру ускладнення програм Інтернету речей та посилення вимог до безпеки зростає потреба у збільшенні обчислювальної потужності для обробки даних. Підключення до хмари повинні бути безпечними, тому що дані системи все більше залежать від хмарних ресурсів з інфраструктурою, що гіпермасштабується, обчислень і зберігання даних Інтернету речей. Мікроконтролери Synergy забезпечують підключення до

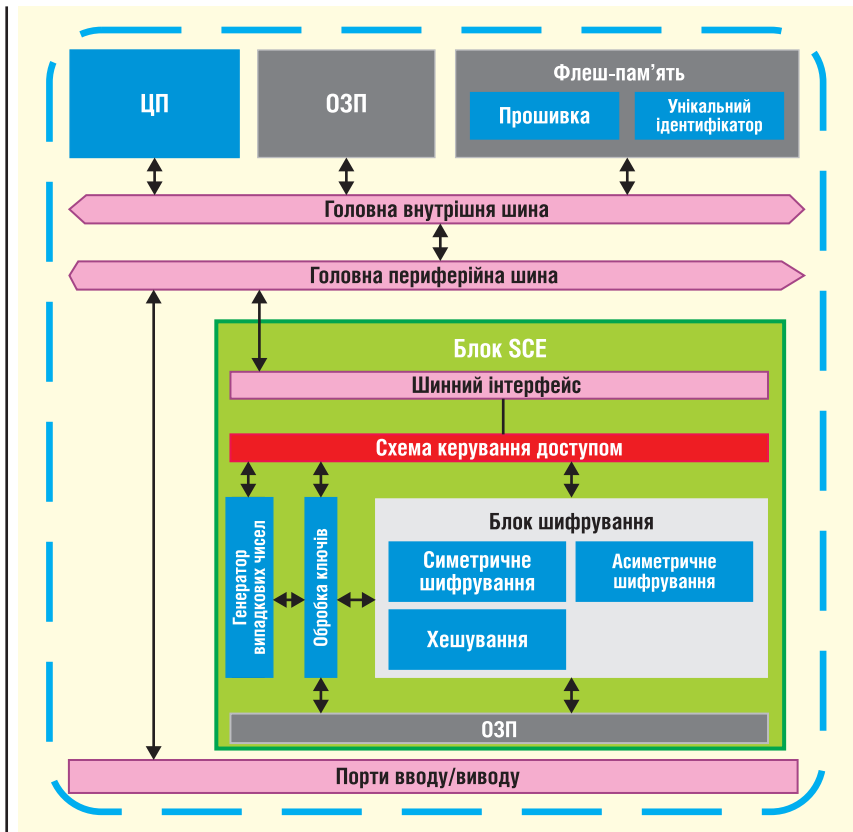


Рис. 1. Ізольована підсистема Secure Crypto Engine у МК

хмари за допомогою вбудованих модулів MQTT і TLS, а програми Synergy надають безпечне з'єднання з провідними хмарними середовищами, включаючи веб-сервіси Amazon (AWS), хмару Google Cloud та Microsoft Azure.

ПИТАННЯ 2: ЯК ЗАПОБІГТИ ПОВ'Я НА РИНКУ НЕСАНКЦІОНОВАНИХ КОПІЙ ПРИСТРОЇВ?

Щоб уникнути несанкціонованого клонування розроблених компанією виробів, необхідно оснастити їх фірмовими функціями. В даний час глобальні ланцюжки поставок вимагають більш уважного ставлення та посиленої безпеки для підтримки цілісності, а також автентичності продукції на етапі створення та виробництва. Щоб досягти цього, слід організувати безпечне виробництво, зменшивши ризик крадіжки інтелектуальної власності та зберігши цілісність виробничих процесів. Менеджер захищеного завантаження Synergy надає рішення, що дозволяє надійно та безпечно вбудувати авторизоване ПЗ у флеш-пам'ять мікроконтролерів Synergy на віддалених виробничих майданчиках (див. рис. 2). В результаті вбудоване програмне забезпечення отримує захист від

незаконного копіювання, внесення змін або його встановлення на скопійоване апаратне забезпечення.

Менеджер захищеного завантаження Synergy також забезпечує надійний довірчий механізм, який надає унікальну ідентифікаційну інформацію, апаратно-захищені ключі, безпечну програму початкового завантаження, безпечний модуль оновлення флеш-пам'яті та криптографічні API для взаємодії з апаратним забезпеченням мікроконтролерів. Код довірчого механізму попередньо завантажується в пристрій захищеного з'єднання на етапі масового виробництва. Конфігурований кристал зберігає дані в ізольованій області та здійснює ретельний контроль доступу до цих даних. Після введення виробів в експлуатацію менеджер захищеного завантаження може при необхідності безпечно оновити авторизоване вбудоване програмне забезпечення у флеш-пам'яті МК Synergy за допомогою вбудованого в кристал довірчого механізму (root-of-trust), що виконує перевірку достовірності та дешифрування мікропрограми до її запису у флеш-пам'ять. Програмування здійснюється за допомогою безпечної хмарної інфраструктури, яка стала ще надійнішою завдяки рішенням компанії Renesas для хмарних підключень.

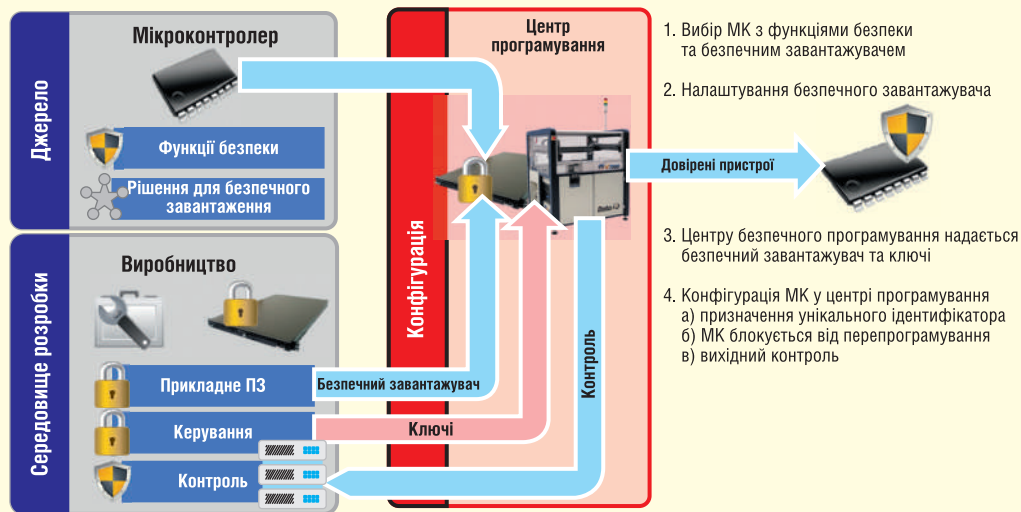


Рис. 2. Renesas Synergy Secure Boot Manager – безпечне запатентоване рішення для програмування флеш-пам'яті

ЗАПИТАННЯ 3: ЯК СПРОСТИТИ УПРАВЛІННЯ БЕЗПЕКОЮ?

Проектування всебічного багаторівневого захисту для систем, що вбудовуються, може виявитися трудомістким завданням. Один із способів зменшення витрат полягає у використанні в платформі розробки останніх досягнень і протоколів безпеки. Завдяки платформі Synergy розробнику немає потреби вивчати нові та актуальні протоколи, а також інші засоби забезпечення безпеки для створення захищеної програми.

Пакет прикладних програм Synergy спрощує реалізацію складних функцій, що застосовуються для розробки вбудованих систем, що підключаються. Це програмне забезпечення захищає області пам'яті, в яких створюються та зберігаються частини коду, захищені від зчитування та запису у флеш-пам'ять та статичне ЗП з довільною вибіркою (SRAM). Завдяки цьому можна створювати області пам'яті, що настроюються, для зберігання тимчасових і секретних ключів, інших конфіденційних даних.

Платформа Synergy підтримує інфраструктуру відкритих ключів (PKI) — криптографічну методологію, яка забезпечує аутентифікацію за допомогою цифрових сертифікатів, а також надає загальний ключ (PSK) — модель шифрування, при якій обидва однорангові вузли в цифровому з'єднанні визначають один і той же ключ. PSK-ключ здійснює спрощене шифрування та захист на відповідних рівнях, наприклад, використовується для контролю доступу невеликої кількості користувачів. Незважаючи на більш складну ініціаліза-

цію та управління, ключ PKI є формою асиметричного шифрування, яке дозволяє аутентифікувати користувачів, створювати та розподіляти сертифікати, а також підтримувати сертифікати, керувати та відкликати їх. PKI інфраструктура з відкритими та закритими ключами, яка вважається безпечнішою моделлю шифрування, застосовується для аутентифікації у великих системах шифрування.

Платформа Synergy надає оптимізоване комерційне програмне забезпечення зі стандартними API, що спрощує створення інтерфейсів з апаратним захистом і засобами безпеки. Засоби розробки програм допомагають усунути складності інтеграції бездротових драйверів за допомогою однорідного інтерфейсу між кодом програми та драйверами нижнього рівня. Такий рівень абстракції спрощує інтеграцію мережевих стеків, видалення або додавання драйверів у разі потреби.

ПИТАННЯ 4: ЯК ЗАХИСТИТИ ІДЕНТИФІКАЦІЙНУ ІНФОРМАЦІЮ ЩОДО ПРИСТРОЮ?

Для захисту пристрою від зломисників необхідний захист ідентифікаційної інформації щодо пристрою шляхом генерації апаратного ключа. Її можна безпечно зберігати в внутрішній флеш-пам'яті, ефективно використовувати для формування довірчого доступу та забезпечення конфіденційності при додаванні до системи та налаштуванні цільових програм.

Формування достовірної ідентифікаційної інформації щодо пристрою

дозволяє ідентифікувати та аутентифікувати кожен пристрій Інтернету речей як унікальний. Завдяки цьому з'являється можливість захистити кожен пристрій окремо, встановити зашифрований зв'язок з іншими захищеними пристроями та службами. Достовірна ідентифікаційна інформація щодо пристрою забезпечує багаторівневий захист Інтернету від загроз безпеки за рахунок наступних характеристик.

- **Довіра.** Після підключення до мережі пристрій обов'язково повинен пройти аутентифікацію для формування довіри між іншими пристроями, службами та користувачами так, щоб він міг безпечно обмінюватися зашифрованими даними та інформацією. Довіра починається з аутентифікації пристрою для підтвердження того, що він є справжнім, а не підробкою.
- **Конфіденційність.** Дані та інформація, що збираються та передаються всередині Інтернету речей, часто включають конфіденційні, особисті або фінансові дані, які повинні зберігатися в таємниці і бути захищені відповідно до нормативних вимог. Захищена ідентифікаційна інформація про пристрій формує основу для конфіденційності, коли пристрій Інтернету речей і системи встановлюють зв'язок для обміну даними.
- **Збереження (цілісність).** Гарантія того, що дані, які передаються всередині мереж, не були змінені, є ключовим елементом багаторівневого захисту. Збереження даних — вимога, що часто не береться до уваги, але безпека з'єднаних пристроїв і систем заснована саме на

Таблиця 1. Апаратні засоби захисту SCE мікроконтролерів Renesas Synergy за серіями

		Функції	Упаковка ключів	NIST CAVP	S7	S5	S3	S1
Ідентичність та обмін ключами (асиметр.)	RSA	Генерація ключів, підпис/перевірка ¹	Y	Y ⁵	1024/2048/4096	1024/2048/4096		
	ECC ⁴	Генерація ключів, ECDSA, ECDH ²	Y	WIP	NIST P192/P224/P256/P384	NIST P192/P224/P256/P384		
	DSA	Підпис/перевірка			L2048/1024, N.256/226/160	L2048/1024, N.256/226/160		
Конфіденційність (симетр.)	AES	ECB, CBC, CTR	Y	Y	128/192/256	128/192/256	128/256	128/256
		GCM		Y	128/192/256	128/192/256	128/256	
		XTS, CCM			128/256	128/256	128/256	
	3DES	ECB			192	192		
		CBC			192	192		
	CTR			192	192			
Цілісність даних	Хеш	GHASH		Y	Y	Y	Y	
		SHA1/224/256		Y	Y	Y		
	TRNG	Апаратне середовище з DRBG-AES-128		Y	Y	Y	Y	Y
	Унікальний ID				Y	Y	Y	Y
Захист даних	MPU	Арт, контролер шини, виконавець шини			Y	Y	Y	Y
	MPU	Безпека				Y	Y	Y ³
	FAW	Захист від програмування/стирання			Y	Y	Y	Y
	SCE	Криптомодуль			SCE7	SCE7	SCE5	
	SCE	Встановлення та пакування ключів			Y	Y	Y	

¹ 4096-біт верифікація, тільки шифрування.

² Через скалярне множення.

³ Недоступно для S124.

⁴ Для драйверів низького рівня потрібний SSP v1.5.0.

⁵ Для драйверів низького рівня потрібний SSP v1.6.0.

справжності (достовірності), конфіденційності і збереженні інформації, що передається.

Захист цифрових даних також має найвищий пріоритет для запобігання загрозам порушення безпеки. Дані, що зберігаються, не передаються між пристроями або мережами — вони завжди знаходяться в НОЗП (надоперативний запам'ятовуючий пристрій) або енергонезалежному запам'ятовуючому пристрої. Для захисту даних, що зберігаються, мікроконтролери Synergy оснащені засобами контролю доступу, включаючи захист від зчитування, запису, читання/запису, одноразового запису (див. табл. 1). Контроль доступу до даних, що зберігаються, зменшує можливості атаки і підвищує безпеку системи.

Крім того, мікроконтролери Synergy можна віддалено оновлювати на місці експлуатації для забезпечення захисту від нових кіберзагроз.

ПИТАННЯ 5: ЩО РОБИТИ ТИМ РОЗРОБНИКАМ, ЯКІ НЕ Є ЕКСПЕРТАМИ В ГАЛУЗІ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ БЕЗПЕКИ ВИРОБІВ?

Для забезпечення всебічного захисту програм із вбудованими при-

строями потрібна високоінтегрована оптимізована платформа, що підтримує багато протоколів та засобів захисту, які працюють спільно для забезпечення безпеки на декількох рівнях.

Платформа Renesas Synergy надає комплексне середовище розробки з унікальним набором апаратних та програмних засобів безпеки. Вони засновані на загальному довірчому механізмі, який відповідає вимогам захисту вбудованих пристроїв та Інтернету речей. Платформа Renesas Synergy також розширює можливості безпечного виробництва та захисту інтелектуальної власності.

Крім того, розробники також можуть скористатися онлайн-бібліотеками проектів додатків від Renesas для отримання поетапних інструкцій та посібників з реалізації рішень із наскрізною безпекою.

Крім того, проекти, виконані на платформі Synergy, отримують підтримку з боку великої спільноти Renesas та екосистеми асоційованих партнерів. Мережа навчених та сертифікованих партнерів із проектного обслуговування Renesas надає підтримку на кожному етапі проектування. Ефективна допомога партнерів Renesas дозволяє прискорити процес розробки, а також значно розширити та поглибити знання у галузі проектування рішень з безпеки.

ПИТАННЯ 6. ЯК ЗАБЕЗПЕЧИТИ ВІДПОВІДНІСТЬ СТАНДАРТАМ, ОТРИМАТИ ТЕХПІДРИМКУ ВІД ПОСТАЧАЛЬНИКІВ ТА РЕАЛІЗУВАТИ КОНКУРЕНТОСПРОМОЖНИЙ ПРОЄКТ?

Перед початком розробки слід вибрати відповідне рішення щодо мікроконтролерів, яке забезпечує високоінтегровану платформу з функціями, що гарантують безпеку та захист на кількох рівнях. Зловмисники можуть скористатися вразливістю у системі, що вбудовується, якщо відмінності в протоколах проектування та безпеки мають слабкі місця. Ці відмінності особливо небезпечні, коли апаратне забезпечення, програмне забезпечення мікроконтролера, комунікаційні стеки та драйвери не стандартизовані в повністю інтегрованій структурі.

Комплексна, повністю інтегрована платформа розробки забезпечує максимальною простий захист проектів. Необхідно вибрати інтегроване середовище, яке попередньо об'єднане з ключовим програмним забезпеченням, функціональними можливостями, стеками та драйверами, що вже є у платформі. Такий вибір звільняє від необхідності працювати з нижніми рівнями інтеграції, дозволяючи зосередити зусилля на сто-

ронах проєкту, які створюють конкурентні переваги кінцевого виробу.

Крім того, слід переконатися, що обраний постачальник рішень має активну і комплексну партнерську екосистему. Можливість аутсорсингу для розробки певних засобів захисту або функцій довіреними фахівцями заощадить час та підвищить якість продукції.

Renesas Synergy — комплексна професійна платформа розробки, яка включає ПЗ виробничого рівня, масштабоване сімейство сумісних по виводах мікроконтролерів, середовища розробки додатків, функціональні бібліотеки, драйвери HAL (абстрактний апаратний рівень), розширені програмні інструменти та пакети. Вона забезпечує розробку програм для Інтернету речей на основі безпечної та надійної технології. Завдяки вбудованому багаторівневому захисту кожен пристрій можна ідентифікувати та автентифікувати унікальним чином для захищеного зв'язку з іншими пристроями, службами та користувачами.

Платформа оснащена функціями безпеки від Renesas, дозволяє розробникам більшою мірою займатися розв'язаннями завдань вищого рівня, які відповідають можливостям ринку Інтернету речей, що швидко змінюються, і відповідають поточному попиту. Завдяки попередній інтеграції, тестуванню та високій кваліфікації інженерів компанії Renesas можна розпочати розробку прикладного ПЗ на рівні API, заощадивши чимало часу, відведеного на проектування.

Розробники також можуть розраховувати на досвідчених партнерів Renesas, які готові допомогти при розробці певних засобів або функцій захисту, надати підтримку або поділитися цінними навичками.

Компанія Renesas допомагає розробникам вбудованих систем вирішити завдання проектування засобів безпеки, пропонуючи платформну методичку на основі останніх досягнень у галузі апаратної та програмної безпеки. Платформа Renesas Synergy заснована на загальному довірчому механізмі захисту пристроїв, служб та Інтернету речей на глибокому рівні для забезпечення безпечного та масштабованого виробництва, а також захисту інтелектуальної власності протягом усього життєвого циклу виробів.

Література:

1. *whitepaper.pdf*. www.renesas.com/eu/en/doc/whitepapers/iot-security/iot-security

MASTEK
VISSA GROUP

АВТОРИЗОВАНИЙ ДИСТРИБ'ЮТОР

NXP
founded by Philips

В УКРАЇНІ

Мікроконтролери LPC
ІННОВАЦІЇ



**Широкий вибір мікроконтролерів
з винятковою простотою використання
та гнучкістю дизайну**

Авторизований дистриб'ютор
NXP, STMicroelectronics, Ampleon, WeEn в Україні

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

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

Особливості виробництва високочастотних друкованих плат

Ілля Лейтес

Обсяг інформації, що передається бездротовими мережами, різко збільшився зі значним зростанням доступу в Інтернет та розвитком техніки IoT, збільшенням кількості мобільних телефонів та інших портативних пристроїв, а також у зв'язку зі збільшенням різних військових та аерокосмічних застосувань, що використовують високочастотні друковані плати (ВЧ ДП) у жорстких умовах експлуатації. Передача високошвидкісного радіосигналу все частіше потрібна у друкованих платах для обробки великого обсягу даних. Швидкість передачі сигналів усередині систем також збільшилася. Це вплинуло на виникнення підвищеної зацікавленості фахівців до організації виробництва ВЧ ДП. Розглянемо основні особливості виробництва високочастотних друкованих плат.

Останнім часом у практиці спілкування з колегами-фахівцями доводиться часто обговорювати та порівнювати різні методи виконання операцій у техпроцесі виготовлення друкованих плат. Водночас найпоширеніше питання: «Назвіть найкращий спосіб виконання операцій». Відповідь на нього для себе я знайшов давно: «Не існує панацеї в техніці друкованих плат, так само як, втім, її не існує й у всьому іншому житті. У кожного з альтернативних методів є свої переваги, тому він має право на існування, але має і свої недоліки». Крім того, слід зазначити, що в нашій галузі швидкість науково-технічного прогресу дуже велика і будь-який догматизм, аналізуючи нові технології, а також посиляючись на думки авторитетів, неприпустимі.

Виходячи з цього, під час вибору якогось технологічного методу необхідно:

- по-перше, чітко уявляти всі його переваги і всі недоліки;
- по-друге, враховуючи конкретні умови виробництва та номенклатуру друкованих плат і електронних модулів (ЕМ), що випускаються, — за обсягами, конструктивною складністю тощо, вибрати такий метод, який дозволив би повною мірою реалізувати його переваги і одночасно

мінімізувати вплив наявних у нього недоліків.

Це дуже непросто, але дуже захоплює завдання, і при його вирішенні повною мірою може проявитися творчий та професійний потенціал технологів, проте не варто чекати на чудеса — працюють лише фундаментальні закони, в основному фізики та хімії, трошки математики та біології. Причому використання фірмових концентратів — це світова практика, що вже міцно склалася, особливо у високотехнологічних виробництвах. Технологу необхідно лише суворо дотримуватися технологічного регламенту, прописаного постачальником. Вся відповідальність за результат лягає на постачальника концентратів. Виробникам необхідно лише розібратися, яка хімія та обладнання краще, не занурюючись в подробиці хімічних складів та конструктивних особливостей.

Усі організації, однак, мають відношення до проектування для виробництва (DFM — design for manufacturing). Шляхом кількох ітерацій відбувається «приробіток» замовника до стороннього (контрактного) виконавця.

Основні джерела проблем, що виникають на цьому шляху:

1. Під час розробки точно не визначено виробника.

2. Якщо виробник визначений, розробник не враховує можливості виробництва (причини різні, одна з поширених — елементарно лінки знайомитися з технологічними параметрами виробництва та нерозуміння, навіщо взагалі це необхідно, — «диктат розробника»).
3. Виробник не сформував конструкторсько-технологічні норми (КТН) своєї виробничої бази або сформував їх не повно та/або не чітко. Отже, коротко про деякі аспекти існуючі проблеми, які дозволять розробникам та виробникам ДП та ЕМ більш ефективно використовувати DFM-технології:

1. Для вирішення завдань DFM необхідне знання всіх інфраструктурних складових та розуміння їх взаємовпливу та взаємодії. Адже розробка будь-якого проекту зводиться до вирішення наступних основних завдань: забезпечення функціональності, мінімізація вартості виробництва, надійність в експлуатації.
2. DFM має сенс як комплексна система для всіх інфраструктурних складових. Повне або часткове випадання будь-якої з інфраструктурних складових призводить до істотної деградації всієї системи та невиконання будь-якого зі згаданих вище головних завдань (найчастіше останніх двох).
3. Однією з головних оман розробників, з якими я стикався у своїй практиці, є переконання, що проблеми DFM (технологічності) значущі лише на стадії серійного виробництва. У реальному житті це призводить до необхідності кардинальної переробки проектів після їх прийняття на стадії прототипування та під час підготовки серійного або навіть дрібносерійного виробництва з відповідним збільшенням термінів. До речі, більшість проектів спецтехніки розраховані на серії в кілька десятків штук, які

навіть серіями в повному розумінні не можна назвати. Насправді проблеми DFM повинні повною мірою враховуватися і вирішуватися вже на стадії дослідних зразків, а ще краще прототипів та макетів.

4. Нормативно-технічна база — ще одна із складових інфраструктури, що стримує використання DFM через свою недорозвиненість.
5. Істотною частиною інфраструктури DFM є освоєння передових перспективних технологічних операцій, що дозволяють розробникам реалізувати нові функціональні характеристики електронних модулів, як правило, у частині збільшення конструктивної щільності, швидкості передачі сигналу тощо. Маю на увазі такі актуальні на сьогодні операції, як:
 - пряме формування малюнка, лазером або за допомогою струменевих принтерів;
 - виготовлення ДП методом шарового нарощування (SBU— Subsequent Building — Up);
 - планаризація шляхом заповнення отворів гальванічними методами та органічними складами;
 - вбудовування пасивних та активних компонентів усередину БДП (у тому числі в рамках систем-в корпусі та мікросбірок).

У вітчизняній, а найчастіше у зарубіжній технічній літературі зустрічаються такі міркування: «На сьогодні проектування з урахуванням технологічних вимог часто не проводиться, щоб проекти були передані у виробництво в більш короткі терміни. Однак це виливається у виробництво важкорезалізованих виробів. Якби було впорядковано та впроваджено технологію введення у виробництво нового виробу з урахуванням вимог DFM, це дозволило б проводити готові проекти з урахуванням технологічних можливостей конкретного виробництва відповідно до повних проектних вимог, а також це значно підвищило б якість виробів. Результатом стало б створення більшої кількості оптимізованих проектів, які потраплятимуть на ринок швидше та з меншою кількістю редакційних ітерацій».

Насправді, як правило, завдання «проекування для виробництва» зводиться до того, куди перерозподілити трудомісткість:

- на стадію проектування;
- або на стадію виробництва (підготовку виробництва, узгодження правок проекту, трудомісткість ви-

готовлення з урахуванням кількох ітерацій, трудомісткість виправлення технологічних дефектів, трудомісткість гарантійного обслуговування).

Вирішення цього питання повністю в компетенції організаторів і керівників розробки та виготовлення сучасної радіоелектронної апаратури (РЕА).

Розвиток галузі відбувається з дуже високою швидкістю, і, можливо, наведені вище міркування частково застаріли. Але незмінною залишається основне завдання DFM — функціональність, мінімізація вартості виготовлення, забезпечення надійності ДП в експлуатації.

Основним завданням під час виготовлення ВЧ ДП є мінімізація затрат, що забезпечує ефективність передачі ВЧ-сигналу.

Втрати радіочастотного сигналу, що вносяться, являють собою погіршення потужності сигналу в результаті включення пристрою в лінію передачі. Виражені в децибелах, втрати, що вносяться, стають значними на друкованій платі на більш високих частотах ГГц.

Розглянемо основні фактори, що призводять до втрат.

Втрати під час передачі можна розділити на діелектричні втрати та втрати у провіднику.

Повна втрата лінії передачі називається внесеною втратою та є сумою кількох інших втрат.

Спрощений вид цих втрат:

$$\alpha_T = \alpha_C + \alpha_D + \alpha_R + \alpha_L$$

Загальні втрати (внесені втрати, α_T) складаються з втрат у провіднику (α_C), діелектриці (α_D), втрат випромінювання (α_R) та втрат від витоку (α_L).

На втрати у провіднику впливають розмір або вид провідника, і вони збільшуються пропорційно до квадратового кореня з частоти (f). Що більше збільшується частота, то більше сигнал концентрується на поверхні міді. Отже, область проходження струму обмежена (втрата за рахунок скін-ефекту). Крім того, якщо поверхня провідника шорстка, втрати передачі на високій частоті будуть більшими, ніж для гладкої поверхні. Це пов'язано з тим, що перебігу струму перешкоджає шорсткість поверхні провідника (втрата за рахунок ефекту шорсткості поверхні).

На діелектричні втрати впливають діелектричні властивості — діелектрична проникність (ϵ або Dk) та коефіцієнт розсіювання ($\tan\delta$ або Df) — ізоляційних матеріалів, і вони збільшуються пропорційно до частоти (f). Діелектричні втрати, пов'язані з коефіцієнтом розсіювання

(Df) підкладки, що використовується для виготовлення друкованої плати, мають мале значення, так як більшість високо-частотних схемних матеріалів мають Df менше 0.005 і слабкий вплив на діелектричні втрати.

Крім того, матеріали, що використовуються в технології друкованих плат, зазвичай мають дуже високий об'ємний опір, і завдяки цій властивості втрати від витоку також мінімальні.

Товщина скін-шару є основною причиною втрат у провіднику, а це параметр провідника, яким тече електричний струм. За постійного струму (0 Гц) електричний струм використовує всю площу поперечного перерізу провідника. У міру збільшення частоти струм використовуватиме тільки зовнішній шар провідника, і при високих частотах глибина скін-шару часто набагато менше 2 мкм. Так, глибина скін-шару в мідному провіднику з частотою 1 ГГц становить 2.08 мкм, при 10 ГГц — 0.66 мкм, а при 50 ГГц \approx 0.28 мкм.

Математичне співвідношення для глибини скін-шару виглядає так:

$$\delta = \sqrt{1/(\pi \times f \times \mu \times \sigma)},$$

де δ — глибина скін-шару; f — частота; μ — магнітна проникність; σ — провідність.

Магнітна проникність є властивістю матеріалу при зміні магнітних полів, більшість діелектриків, що використовуються в індустрії друкованих плат, мають проникність вільного простору.

Провідність металу може впливати на глибину скін-шару, і чим нижча питомая електропровідність (резистивніша), тим більша глибина скін-шару.

До певних частот хороший ефект дає використання фінішних безнікелевих покриттів (EPIG, ENPIG, RAIG). З одного боку, вони дозволяють зменшити втрати за рахунок значно нижчого питомого опору міді, паладію, золота, ніж нікелю. А з іншого — добре захищають поверхню провідників, не вимагаючи додаткового діелектричного покриття із високою Dk .

Іншою проблемою, пов'язаною із втратою у провіднику, є шорсткість поверхні провідника. Коли поверхня провідника шорстка, це викличе довший шлях розповсюдження хвилі та створить більше втрат. Коли глибина скін-шару приблизно дорівнює розміру шорсткої поверхні міді, шорсткість матиме значний вплив на втрати у провіднику (рис. 1).

Останнім часом виробники розробили нові типи мідної фольги, щоб вирішити проблеми втрати сигналу че-

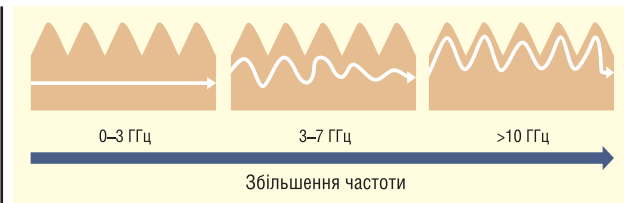


Рис. 1. Залежність шляху протікання ВЧ-сигналу від шорсткості та частоти (скін-ефект)

рез шорсткість, — VLP (фольга з дуже низьким профілем шорсткості) та HVLP (фольга з наднизьким профілем шорсткості).

Крім того, якщо раніше під час підготовки мідної поверхні перед пресуванням робили робочі розчини, які збільшували шорсткість для поліпшення механічного зв'язку з діелектриком і одночасно формували адгезійний шар для збільшення хімічного зв'язку, то під час виготовлення ВЧ ДП для мінімізації втрат тепер користуються робочими розчинами, що формують в першу чергу адгезійний шар (наприклад, компанія Dow — DuPont рекомендує в робочому розчині Bond Film Treatment замість співвідношення складів для розвитку шорсткості та формування адгезійного шару 100%: 100% використовувати співвідношення 60% : 100%).

Три найбільш поширені лінії мікрохвильової передачі показані на рисунку 2.

Мікросмужкова лінія передачі, показана у верхньому лівому куті рисунка 2, є простою двошаровою схемою з сигналом провідника зверху і площиною заземлення знизу. Ця структура, ймовірно, є найбільш поширеною в друкованих платах НВЧ, проте часто це лише зовнішній шар багатощарової друкованої плати.

Мікросмужкові схеми мають три механізми втрат, які обговорювалися раніше і становлять загальні втрати. Кожна з цих втрат буде більш або менш значною залежно від товщини плати. Для тонкої плати втрати у провіднику домінуватимуть, але якщо це груба мідь, втрати у провіднику виявляться дуже значними.

Якщо мікросмужкова схема використовує більш товсту підкладку, втрати у провіднику менші.

Іншим фактором збільшення втрат у провіднику є ступінь трапецієподібності поперечного перерізу провідників ВЧ ДП. Для кращого розуміння цього фактора слід запровадити поняття «фактор травлення» (рис. 3).

За необхідності формування прецизійних провідників та зазорів (75/75 мкм, а тим більше 50/50 мкм за товщини міді 30 мкм і більше) стає актуальною проблематика технологічного забезпечення малих допусків на ширину провідників та зазорів (забезпечення рівномірності травлення по всьому робочому полю) та можливість формування провідників із високим фактором травлення 4–5 і більше — тобто формування провідників із вертикальними бічними стінками (рис. 4).

Особливості процесу лужного травлення не дозволяють отримати фактор травлення більше 2.5–3, тоді як кислотним травленням вдається отримати фактор травлення в діапазоні 4–6. Здатність формування прецизійних (40/40 мкм) провідників/зазорів з високим (світ 5) фактором травлення на інноваційному устаткуванні компанії Schmid або аналогічному відкриває перед виробниками можливість застосування технології «тентинг». Це особливо актуально під час виробництва ВЧ ДП. Справа в тому, що практично все обладнання АТІ дозволяє виміряти лише максимальну ширину поперечного перерізу провідника. У зв'язку з цим формування провідників з високим фактором травлення забезпечить мінімізацію провідникових втрат у ВЧ ДП. Цей процес забезпечує встановлення прецизійного травлення Infinity Line з технологією NEO.

Як приклад інноваційного обладнання, що вирішує подібні завдання, можна навести травильні машини компанії Schmid, оснащені новими оптиками травлення (NEO — new etching options) (рис. 5):

- додатковим модулем інтермітуючого травлення;
- системою вакуумного травлення (рис. 6а);
- оптимізованою конструкцією розпилювальних форсунок із розширеним до 4 бар інтервалом робочого тиску (рис. 6б);

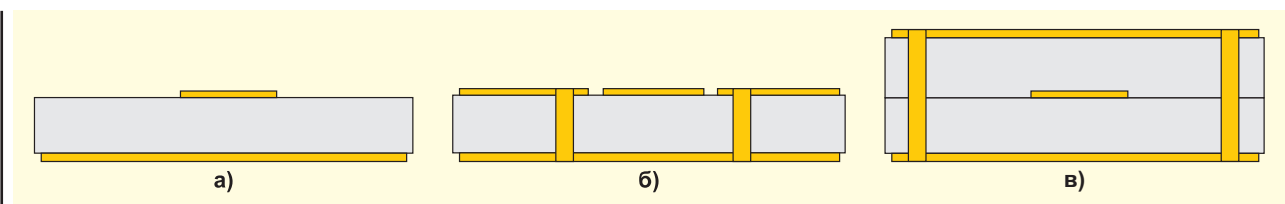


Рис. 2. Вид поперечного розрізу трьох ліній передачі: мікросмужкова (а); копланарна (б); полоскова (в)

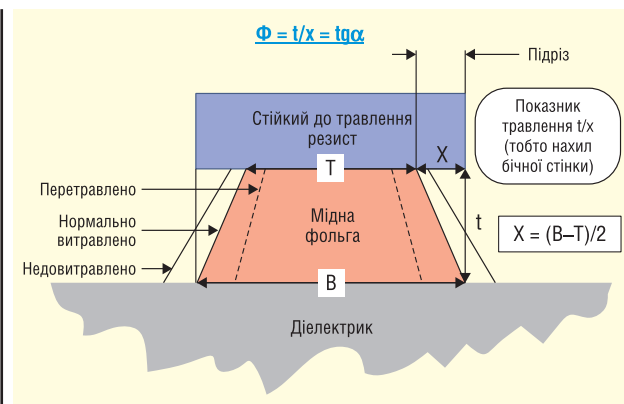


Рис. 3. Фактор травлення (Φ)

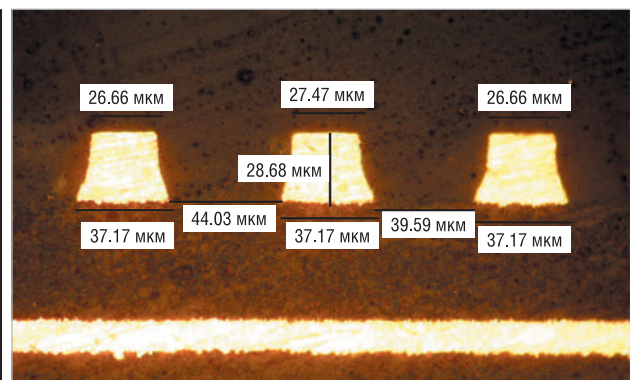


Рис. 4. Фольга 30 мкм, провідник/зазор — 40/40 мкм, реалізовані на обладнанні компанії Schmid



Рис. 5. Установка прецизійного травлення Infinity Line з технологією NEO

- оновленою системою керування динамікою потоку травильного розчину;
- удосконаленою транспортною системою.

Зазначені опції дозволяють на горизонтальній конвеєрній машині стабільно отримувати результат 40/40 мкм із фактором травлення 5 і більше. Пристиковка до цих машин систем регенерації вирішує завдання забезпечення екологічності та замкнутого водообігу (рис. 7). Крім того, система регенерації дозволяє протягом тривалого часу підтримувати стабільні параметри травильного розчину за вмістом міді (щільності) та рН.

Регенерація також дозволяє організувати замкнутий виробничий цикл і, маючи на виході процесу добре ліквідну чисту мідь, значно компенсувати виробничі витрати.

Ще кілька слів про технологію тентингу (кислого травлення).

Раніше позитивний (напівадитивний) метод вважався здатним формувати більш прецизійний малюнок, ніж негативний (тентинг) метод. Однак з появою травильних машин, що забезпечують високий фактор травлення (до 5–6 на товщинах міді 30 мкм і більше) та високу рівномірність травлення по полю заготовки (Infinity NEO компанії Schmid та аналогічних), а також у зв'язку з широким використанням наскрізних отворів малого діаметру позитивний метод (особливо з огляду на його багатоопераційність) втратив свої переваги порівняно з тентингом.

Можливість отримання високих значень «фактора травлення» робить кисле травлення (а разом з ним негативний метод і «тентинг», як один з його різновидів) дуже привабливим для отримання прецизійного (у тому числі в частині формування прямокутного поперечного перерізу) малюнку, що проводить. Нагадаю, що при цьому негативний метод («тентинг») має ще низку незаперечних переваг.

1. Короткий техпроцес. Це пов'язано, головним чином, з відсутністю в технологічному ланцюжку операцій нанесення, а потім зняття металорезистів.
2. Висока якість гальванічного осаду. При тентингу процес гальванічної металізації відбувається по всій поверхні

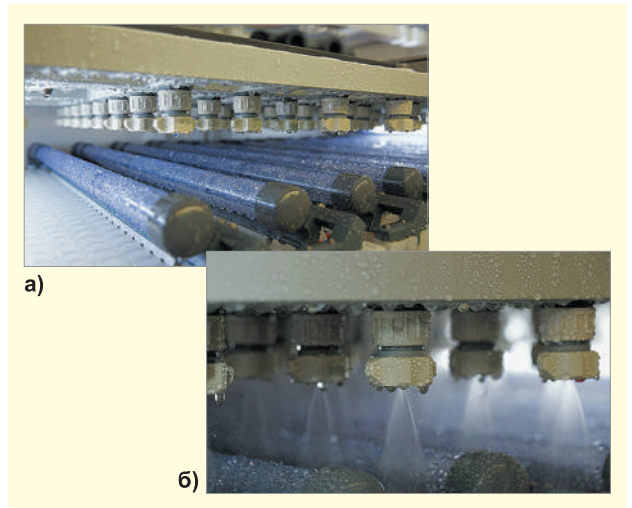


Рис. 6. Система вакуумного травлення та оптимізована конструкція розпилювальних форсунок установки травлення компанії Schmid: система вакуумного травлення (а); оптимізована конструкція розпилювальних форсунок із розширеним до 4 бар інтервалом робочого тиску (б)

заготівлі, коли на ній немає фоторезиста. Відсутність великих мас органічної речовини у ваннах гальванічної металізації дозволяє легко формувати високопластичний мідний осад у металізованих отворах, що істотно підвищує надійність друкованої плати, особливо при груповому паянні, прийнятому в технології поверхневого монтажу.

3. Постійна величина струму при гальванічній металізації визначається постійною площею металізації через відсутність малюнка. Це дуже зручно в умовах багатонаменклатурного виробництва та зменшує ймовірність виникнення суб'єктивних помилок оператора (при встановленні режимів лінії гальванічної металізації), а також тех-



Рис. 7. Система регенерації травильного розчину компанії Sigma

нологів (при підготовці виробництва та розрахунку площі металізації та вирівнюючих рамок).

- Єдина методика формування внутрішніх та зовнішніх шарів. Внутрішні шари завжди виготовляються негативним (субтрактивним) методом. Використання єдиної техніки виготовлення зовнішніх і внутрішніх шарів значно полегшує організацію виробництва.
- Одна програма свердління. Те, що металізація отворів при тентингу відбувається за суцільної заготівлі, дозволяє до металізації просвердлити як металізовані, так і неметалізовані (як правило, кріпильні) отвори. Згодом при фотолітографічному формуванні малюнка отвори, які повинні мати металізацію, не тентуються (у фотшаблоні зовнішнього шару), і металізація їх видаляється при операції травлення. Це скорочує техпроцес і збільшує точність суміщення масивів неметалізованих та металізованих отворів із малюнком зовнішнього шару.
- У порівнянні з позитивним процесом, в якому як металорезист використовується сплав олово-свинець, істотною перевагою тентингу є відсутність свинцю в стоках. Останнім часом цей металорезист повсюдно витісняється чистим оловом.
- Відсутність ванни металорезистів (зниження витрат на придбання компонентів робочих розчинів, олов'яних або олово-свинцевих анодів тощо) та обладнання для зняття металорезистів.

Головним недоліком тентингу (а саме цей варіант негативного методу конкурує з комбінованим позитивним процесом) є гірша порівняно з позитивним методом точність. Вище я спробував довести, що можливість отримання великих значень фактора травлення у поєднанні з використанням передового технологічного обладнання робить тентинг дуже привабливим (з урахуванням усіх його позитивних властивостей) для виготовлення ВЧ друкованих плат з високою точністю малюнка.

Зворотне свердління (back drilling) та ефект випромінювання. Ще одним фактором, що впливає на мінімізацію втрат у ВЧ ДП, що формується технологічним методом, є ліквідація місць можливого відображення сигналу за рахунок виконання операцій на свердильному верстаті з опцією зворотного свердління (backdrilling).

Для того, щоб зменшити випромінювання в лінії передачі, виробники друкованих плат розробляють техніку зворотного свердління. При випромінюванні сигнал проходить довшу зворотну дорогу, ніж повинен. Операція полягає у видаленні металізації наскрізних отворів на ділянках, що не лежать на шляху прямої передачі ВЧ сигналу. Зворотне свердління може усунути індуктивність на додатковому шляху і поліпшити характеристики втрат.

ВИСНОВКИ

Загальнофілософський підхід до розробки ВЧ ДП полягає у забезпеченні функціональності, мінімізації вартості виготовлення, забезпеченні надійності ВЧ ДП в експлуатації. Вирішення цього питання повністю перебуває у компетенції організаторів та керівників розробки та виготовлення сучасної РЕА, у тому числі високочастотної, і багато в чому залежить від глибини та ефективності взаємодії розробників та технологів.

Основним завданням під час виготовлення ВЧ ДП є мінімізація втрат, що забезпечує ефективність передачі ВЧ сигналу.

Технологічно це завдання вирішується такими способами:

- Використання безнікелевих фінішних покриттів (ERIG, ENEPIG, RAIG).
- Мінімізація шорсткості за рахунок застосування ламінатів зі спеціальною низькопрофільною фольгою та/або активізація при підготовці провідної поверхні насамперед процесу формування хімічного адгезійного шару.
- Використання виготовлення ВЧ ДП матеріалів з малими Dk і Df .
- Застосування процесів травлення, що дозволяють формувати провідники з високим фактором травлення (наприклад, кисле травлення тентингом із регенерацією робочих розчинів).
- Застосування зворотного свердління.

Реалізація всіх вищезгаданих процесів дозволить ефективно вирішувати завдання розробки та виготовлення високочастотної радіоапаратури.

Література:

- Chen A. *Why Signal Always Be Loss in a High Speed High Frequency Transmission Line*. Elite Material Co., Ltd. Taiwan, ROC. www.circuitinsight.com/pdf/signal_loss_high_speed_high_frequency_ipc.pdf
- Coonrod J. *Insertion Loss Comparisons of Common High Frequency PCB Constructions*. Rogers Corporation. www.circuitinsight.com/pdf/insertion_loss_comparisons_pcb_constructions_ipc.pdf
- Milad G., Bengston J., Gruenwald A. *Eliminating Ni Corrosion in ENIG/ENEPIG Using Reduction-Assisted Immersion Gold in Place of Standard Immersion Gold*. Uyumura International Corporation, Southington, CT, USA. www.uyumura.com/pdfs/Eliminating-Ni-Corrosion-in-ENIG-ENEPIG-Using-Reduction-Assisted-Immersion-Gold.pdf
- Лейтес И. *Оборудование для многономенклатурного мелкосерийного изготовления сложных и прецизионных МПП // Технологии в электронной промышленности. 2016. № 8.*
- Лейтес И., Мусин А., Кочетков С. *Особенности производства печатных плат 6–7-го классов точности. Как изготавливать. На что обращать особое внимание // Технологии в электронной промышленности. 2015. № 6.*

З'єднувачі серії Freedom компанії Fischer Connectors для портативної електронної апаратури

У виробничих програмах провідних компаній, зайнятих виготовленням з'єднувачів, органічно поєднуються вибори для універсального застосування та спеціалізовані компоненти, розроблені з урахуванням унікальних вимог конкретної галузі — для медичних приладів, автомобільної техніки, хімічної промисловості та інших галузей. Свої особливості є і в портативної апаратури, що носить, — персональних засобів радіозв'язку, навігації, засобів спостереження і т.д. Насамперед, це вимога високої ергономічності: з'єднувачі не повинні сковувати дії оператора, наносити шкоду його організму з урахуванням тривалого застосування, повинні забезпечувати легкість, надійність і безпомилковість з'єднання навіть наосліп. Дуже важливими є і конструктивні показники з'єднувачів: мініатюрність, мала маса, висока стійкість до зовнішніх впливів. До подібних виробів можна віднести серії мініатюрних циліндричних з'єднувачів Freedom компанії Fischer Connectors (Швейцарія).

Не так давно компанією Fischer Connectors було запущено виробництво низькопрофільних з'єднувачів для апаратури, що носить, та портативної апаратури LP360 серії Freedom, що реалізують концепцію LPWC — Low Profile Wearable Connector. Ці з'єднувачі мають ряд переваг у порівнянні з традиційно використовуваними (табл. 1).

Використання в якості контактів розеток концентричних плоских кілець замість гнізд, що накопичують забруднення, і мініатюрних, ізольованих, пружних мембран, розташованих на певних відстанях від осі вилки, замість штирів, які можуть бути зламані, забезпечує унікальні характеристики щодо легкості з'єднання та очищення.

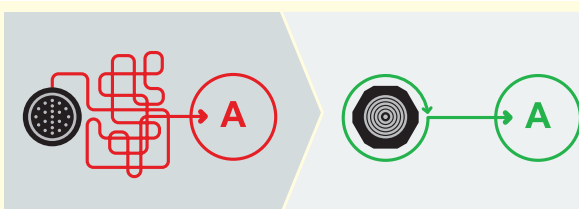


Рис. 1. Зручне з'єднання, забезпечене з'єднувачами Freedom

Завдяки цим рішенням полегшується укладання кабелів у жилеті оператора: відсутні переплетення кабелів та повороти, кабелі завжди з'єднують блоки по найкоротшій відстані (див. рис. 1).

Основні характеристики з'єднувачів LP360 (сім контактів) серії Freedom наведено у таблиці 2.

З'єднувачі LP360 серії Freedom конструктивно виконуються у вигляді розеток або вилок, для монтажу на кабелі та на блокові панелі (табл. 3).

У зв'язку зі складністю монтажу кабельних вилок компанія Fischer Connectors в даний час окремо їх не постачає, а пропонує використовувати готові кабельні збірки (табл. 4), що виготовляються на автоматизованому прецизійному устаткуванні.

При виготовленні з'єднувачів використовуються різноманітні високоякісні матеріали. Наприклад, корпус кабельної вилки P01 виконаний з електротехнічної міді з покриттям (антрацит, нікель), затискні елементи, а також корпус блокової розетки R01 — з нержавіючої сталі, контакти — з латуні та міді з покриттям (золото), захисний ковпачок — з термопластичного еластомеру.

Номенклатура з'єднувачів LP360 серії Freedom розширено: крім кабельних вилок P01 і блокових розеток R01/R03 з сімома контактами з'явилися блокові вилки P50/P51, кабельні вилки P02, а також з'єднувачі з алюмінієвих корпусів, заглушки для захисту з'єднувачів від пошкоджень.

Як наступний крок у розвитку кабельних систем інженери компанії Fischer Connectors пропонують інтегрувати дроти в структуру професійного екіпірування операторів (фахівців у будівництві, енергетиці, нафтогазовій галузі, на транспорті та ін.), виводячи назовні тільки з'єднувачі, на яких розміщуються

Таблиця 1. Порівняння з'єднувачів Freedom зі звичайними з'єднувачами		
Тип	Звичайні з'єднувачі (з механічним ключем)	Низькопрофільні з'єднувачі (без ключа)
Зовнішній вигляд		
Особливості	<ul style="list-style-type: none"> • можлива єдина орієнтація кабелю щодо блоку; • менш ергономічні; • потреба у довших кабелях; • велика маса з'єднувача та кабелю загалом; • труднощі при з'єднанні через наявність ключа, особливо наосліп. 	<ul style="list-style-type: none"> • можливість орієнтації кабельного з'єднувача під будь-яким кутом щодо блокового; • легкість очищення від забруднень як вилки, так і розетки; • захист IP68 у з'єднаному та роз'єднаному стані; • відсутність рухомих частин; • легкість використання.

Таблиця 2. Основні характеристики з'єднувачів LP360 серії Freedom		
Параметр		Значення
Кількість контактів (7)	силові	3 (струм до 5 А)
	сигнальні	4 (струм до 1 А; допускають передачу даних USB 2.0 і 100 Мбіт/с Ethernet)
Опір контактів		менше 50 мОм
Опір ізоляції		більше 1010 Ом
Електромагнітне екранування		360°
Маса	вилки	біля 30 г
	розетки	біля 13 г
Герметичність у з'єднаному стані		IP68, занурення на глибину 20 м/24 год
Герметичність в роз'єднаному стані	розетка	IP68
	Вилка (з заглушкою/без заглушки)	IP68/IP67
Діапазон робочих температур		-55...+135 °С
Вібростійкість		середньоквадратичне значення віброприскорення — 9.26g
Удароміцність		30g (300 м/с ²)
Зусилля роз'єднання		40 Н (типове значення)
Стойкість до корозії		5%-й соловий розчин, температура +35 °С; соловий туман протягом 1000 год
Кількість циклів змикання-розмикання		10000 циклів/5000 повних обертів

Таблиця 3. Варіанти з'єднувачів LP360 серії Freedom	
Кабельні вилки	
P01	P02
Блокові розетки	
R01 (встановлюється всередині)	R03 (встановлюється зовні)
Блокові вилки	
P50 (встановлюється зовні)	P51 (встановлюється всередині)

відповідні пристрої (радіостанції, навігаційні приймачі тощо (рис. 2). Таким чином, з'єднувачі частково виконують функції елементів кріплення пристроїв.

Відповідні ідеї знайшли своє відображення у концепції інтелектуальної платформи Eleksen для робочого екіпі-

рування, що розробляється компанією Fischer Connectors у партнерстві з фірмою Wearable Technologies Ltd. Концепція поєднує переваги бездротових та кабельних розподілених систем обробки даних. Наприклад, з одного боку, це відсутність численних дротів, що провисають, переплутуються та зачіплюються, з іншого — реалізація ефективної централізованої системи електроживлення. З'єднувачі серії Freedom в рамках даної концепції дозволяють створити інтелектуальний жилет, що є концентратом для декількох пристроїв, що носяться, підключених до загальної шини даних та електроживлення (рис. 3). В результаті підвищується зручність використання обладнання, зменшуються його масогабаритні показники, спрощується налаштування.

Перелічені особливості платформи Eleksen відкривають додаткові можливості для реалізації принципів Інтернету речей (Internet of Things, IoT). Адже IoT — це завжди обробка даних, які мають навіть більш важливе значення, ніж «речі». Концепція інтелектуальної платформи Eleksen на основі з'єднувачів Freedom

Таблиця 4. Характеристики кабельної збірки		
Параметр		Значення
Робоча напруга		до 100 В
Довжина кабелю		1 м
Діаметр кабелю номінальний		5.35 мм
Колір кабелю		чорний (RAL9005)
Герметизація		Захисний ковпачок або заливка полімером під тиском (overmolding)
Рекомендований радіус вигину	статичний	не менше 40 мм
	динамічний	не менше 60 мм
Робоча температура		-40...+90 °С

дозволяє оптимізувати збір даних під час реалізації IoT.

Відповідно до концепції Eleksen на основі з'єднувачів Freedom створено ряд моноблочних пристроїв (рис. 4): флеш-накопичувачів, світлодіодних ліхтарів, адаптерів інтерфейсів, мініатюрних USB 2.0 веб-камер та інших рішень.

Слід зазначити, що інноваційний характер ідей, реалізованих інженерами компанії Fischer Connectors у з'єднувачах серії Freedom, знайшов визнання у міжнародному професійному середови-



Рис. 2. Реалізація концепції Eleksen за допомогою з'єднувачів Fischer Connectors

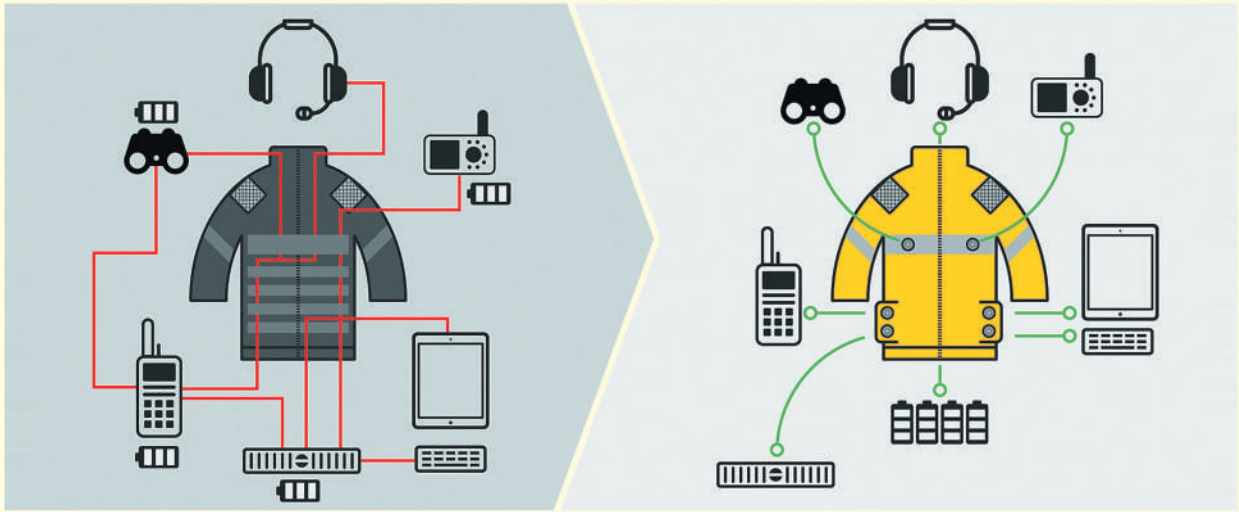


Рис. 3. Інтелектуальна платформа робочого екіпірування Eleksen



Рис. 4. Моноблочні пристрої на основі з'єднувачів Freedom для використання в екіпіровці Eleksen: флеш-накопичувачі (а); світлодіодні ліхтарі (б); адаптери інтерфейсів (в); мініатюрні USB 2.0 веб-камери (г)

щі. З'єднувачі LP360 вибороти дві престижні нагороди за технологічні інновації: нагороду LEAP (Leadership in Engineering Achievement Program) від редакції журналу «Design World» та



Рис. 5. Міжнародні нагороди за технологічні інновації, які здобули з'єднувачі LP360 серії Freedom

Премію інноваторів (Innovators Award) від журналу «Military & Aerospace Electronics» (рис. 5).

Великий потенціал, закладений інженерами компанії Fischer Connectors при створенні з'єднувачів серії Freedom (зручність використання, інтегрованість рішень, захищеність від зовнішніх впливів та інші їх переваги), сприяє тому, щоб портативні та пристрої, що носяться, ставали все мініатюрнішими, легшими, швидшими і ефективнішими, і, в кінцевому підсумку втілювали у життя принципи «розумного» екіпірування. **CN**

Мікродіс Електронікс ГмБХ —
офіційний дистриб'ютор
Fischer Connectors в Україні



MICRODIS

Роман Прокопець
Менеджер з продажу

Microdis Electronics GmbH
Rheinauer Straße 1
68766 Hockenheim
Germany

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

fischer
CONNECTORS

www.microdis.net

Дослідження експлуатаційних параметрів та характеристик покриттів для радіочастотних з'єднувачів

Крістіан Рем, HUBER+SUHNER

Крістіан Дандл, Бернхард Цехентнер, Райнхард Вагнер, Rosenberger

Адаптований переклад українською та технічне редагування: Микола Першин, старший викладач, кафедра прикладної радіоелектроніки, РТФ, НТУУ «КПІ»

У статті наведено результати досліджень контактної опору, зносостійкості, гнучкості, паяності та інтермодуляційних властивостей матеріалів, що використовують для покриття радіочастотних з'єднувачів. В ході випробувань аналізувалися експлуатаційні параметри та характеристики п'яти різних матеріалів покриття: срібла, білої бронзи, олово-нікелю, хімічного нікель-фосфору та інноваційного матеріалу SURO720.

ВСТУП

Компанії HUBER+SUHNER AG та Rosenberger Hochfrequenztechnik GmbH & Co. KG є провідними постачальниками радіочастотних та оптичних компонентів зв'язку: з'єднувачів [1–2], кабелів та збірок для телекомунікацій, приладів та пристроїв космічної галузі, захисту, тестування та вимірювань. Оскільки покриття є одним з вирішальних факторів, що визначає параметри та характеристики рознімних радіочастотних з'єднувачів, обидві компанії серйозно займаються науково-дослідними роботами у сфері розробки нових покриттів. Для цього компанії мають відповідне обладнання і матеріали.

Щоб надавати споживачам детальну інформацію про різні покриття та їх характеристики, компанії HUBER+SUHNER та Rosenberger дуже тісно співпрацюють. Результатом цієї співпраці стала ця стаття, яку можна використовувати як короткий довідник при виборі рознімачів з кращим варіантом покриття.

У даній статті оцінюються як традиційні сучасні покриття, так і нове запатентоване покриття SURO720, розроб-

лене HUBER+SUHNER у партнерстві з Rosenberger.

Щоб отримати більш докладні характеристики різних покриттів, що використовуються в радіочастотних з'єднувачах, в рамках дослідження оцінювалася стійкість до корозії при випробуванні в соляному тумані протягом 720 годин [3]. Під час тесту аналізувалися експлуатаційні якості п'яти різних покриттів: срібла, білої бронзи, SURO720, олово-нікелю та хімічного нікель-фосфору, а також досліджувалися контактний опір, зносостійкість, гнучкість, придатність до паяння та пасивні інтермодуляційні властивості. Попередні результати досліджень показали:

- **Контактний опір.** Найкращі результати продемонстрували срібні покриття. Трохи гірші показники у білої бронзи, SURO720 та олово-нікелевих покриттів. Хімічне нікель-фосфорне покриття показало найбільший контактний опір.
- **Зносостійкість.** Найкраща у покриття нікель-фосфор, отриманого шляхом хімічного відновлення. Покриття зі срібла надмірно зношується, тому цей матеріал не рекомендується для застосування з великою кількістю

циклів з'єднань та роз'єднань. Нестача твердості та зносостійкості була відзначена і у нікель-фосфорного покриття — покриття виявилось дуже крихким.

- **Придатність до паяння.** Придатними для паяння виявилися покриття зі срібла, SURO720 та білої бронзи. Нікель-фосфорне покриття має погану змочуваність при паянні стандартними припоями. Погана змочуваність викликає проблеми під час паяння, особливо у виробках, чутливих до пасивної інтермодуляції (ПІМ). Олово-нікелеве покриття можна паяти, але це потребує дуже строгого контролю під час нанесення покриття та паяння деталей, крім того, проблеми можуть виникнути і під час зберігання. Тому олово-нікель не завжди є ідеальним покриттям.
- **Корозія.** Здійснювалось моделювання протягом 720-годинного перебування в соляному тумані [3]. Срібні покриття з подальшим обробленням проти тьмяніння на основі тіолу та хімічне нікель-фосфорне покриття показали задовільні результати. У той же час, нікель-фосфорні покриття краще справляються з корозією. Срібні покриття майже не показують погіршення контактної опору. Олово-нікелеві покриття змінюють колір, при цьому у них підвищується контактний опір. Стандартне біле бронзове покриття піддається корозії, помітній навіть візуально, без прямого контакту з алюмінієм. У той же час нове покриття SURO720 майже не зношується.

Крім вищевказаного, контактний опір SURO720 змінюється після випробування на корозію незначно. Таким чином, SURO720 відповідає найвищим вимогам з погляду стійкості до корозії, придатності до паяння та електричних характеристик, зберігаючи при цьому значну економічну перевагу звичайних покриттів перед покриттям із білої бронзи.

На ринку мобільного зв'язку сформувався тренд на використання з'єднувачів з підвищеними вимогами до характеристик покриття, особливо з високою корозійною стійкістю. З'єднувачі, що експлуатуються на відкритому повітрі, наприклад, у виносних радіоголовках та антенах, піддаються екстремальному зовнішньому впливу і повинні витримувати значні температурні перепади. Для цих з'єднувачів необхідні покриття з винятковою корозійною стійкістю, тільки такі з'єднувачі відповідатимуть жорстким механічним та електричним вимогам.

В даний час в конструкції з'єднувачів використовується безліч різних типів покриттів, тому необхідне детальне порівняння їх переваг та недоліків, щоб з'ясувати, яке з них забезпечує оптимальну корозійну стійкість. Так, компанії HUBER+SUHNER AG і Rosenberger провели широкі порівняльні дослідження найпопулярніших покриттів радіочастотних з'єднувачів. У цих дослідженнях брали участь також зовнішні партнери, що гарантувало ефективне управління спеціальними процедурами тестування та нейтральне ранжування результатів тестування. Результати цих досліджень, що представлені у статті, можуть слугувати коротким посібником під час вибору покриття для кожного конкретного застосування.

ПОКРИТТЯ

Найбільш поширені покриття з товщиною від 3 до 6 мкм для зовнішніх радіочастотних з'єднувачів:

Срібло (Ag)

Срібне покриття відоме визначними електричними характеристиками. Як благородний метал срібло має відмінну корозійну стійкість, але згодом може потьмяніти. Проте зміна кольору поверхні спричинена наявністю сполук сірки, зокрема, сірководню (H_2S). У більшості випадків не впливає на технічні властивості і може бути зведена до мінімуму за допомогою додаткового оброблення проти тьмяніння. Срібне покриття від-

різняється відмінною провідністю, придатністю до паяння та високими характеристиками ПІМ. Тому цей матеріал найчастіше вибирають для нанесення покриття на центральні та зовнішні контакти радіочастотних з'єднувачів, таких як 7/16, 4.3-10, 4.1-9.5 та NEX10. У деяких випадках матеріал також використовується як покриття поверхні для корпусування з'єднувачів та інших компонентів.

Біла бронза (CuSnZn)

Біла бронза — потрібний сплав міді, олова та цинку. Цей матеріал відомий під різними торговими назвами, наприклад, Susorplate або Optalloy. Біла бронза — економічне покриття з покращеною зносостійкістю порівняно із покриттям зі срібла. Біла бронза є чудовою і недорогою альтернативою сріблу з точки зору провідності та характеристик ПІМ. Бронза — більш дешевий варіант покриття для корпусів радіочастотних з'єднувачів, таких як 7/16, 4.3-10, 4.1-9.5 та NEX10.

SURO720

HUBER+SUHNER та Rosenberger розробили покращену версію білого бронзового покриття для застосування при високих вимогах до корозійної стійкості. Це покриття має такий же зовнішній вигляд, електричні та механічні властивості, як і стандартна біла бронза, але при цьому має набагато кращу корозійну стійкість. Таким чином, нове покриття SURO720 може замінити всі існуючі покриття з білої бронзи, забезпечуючи при цьому стійкість до корозії, стабільну пайку та характеристики ПІМ без значного збільшення вартості.

Олово-нікель (SnNi)

Через стійкість до корозії рознімачі з олово-нікелевим покриттям доступні на ринку під різними торговими марками, їх широко використовують при виробництві радіоелектронних засобів. Олово-нікелеве покриття винайдено ще в 1950-х роках, проте воно не отримало визнання на ринку комерційних коаксіальних електричних з'єднувачів. Цей сплав складається приблизно з 65% олова та 35% нікелю. Незважаючи на вміст нікелю, матеріал не має магнітних властивостей. Використання олово-нікелевого покриття потребує обережності і дотримання технології виробництва. У дешевих версіях для підвищення стійкості до корозії використовується хром. Оскільки комерційне використання хрому (особливо шестивалентного)

суворо регламентовано, олово-нікелеве покриття слід перевіряти на наявність цього хімічного елемента.

Хімічний нікель-фосфор (NiP)

Нікель-фосфор, нанесений методом хімічного відновлення, є одним із найпоширеніших матеріалів покриття радіочастотних з'єднувачів. Вміст фосфору має бути меншим за 10%, щоб покриття залишалось немагнітним. Покриття з нікелю з високим вмістом фосфору демонструє чудову корозійну та зносостійкість, проте відносно високий контактний опір може перешкоджати використанню цього покриття за умови високих вимог до провідності.

HUBER+SUHNER і Rosenberger провели масштабні випробування кожного зі згаданих матеріалів щодо відповідності робочим характеристикам коаксіальних радіочастотних з'єднувачів. Результати цих випробувань наведено нижче.

ОПІР КОНТАКТІВ

Контактний опір — один із найважливіших параметрів, який може суттєво вплинути на високочастотні характеристики коаксіального з'єднувача. Опір контакту залежить як від покриття, так і від того, як встановлюють контакт між штекерним і гніздовим з'єднувачами. Простіше кажучи, опір залежить від того, має з'єднувач стиковий чи радіальний контакт із ковзним рухом.

Для контактів із ковзним рухом контактні опори зазвичай нижчі, оскільки ізолюючі оксидні шари на поверхні частково руйнуються через зношування, викликане регулярно механічною очисткою поверхні. Руйнуються найчастіше благородні метали. Це призводить до оголення металу основи рознімача. Однак ковзання також викликає зношування покриття.

Задовільний контактний опір може бути досягнутий тільки після багаторазового з'єднання/роз'єднання та віддалення ізолюючих шарів. Були створені дві експериментальні установки для моделювання контактів без ковзання (установкою стикових з'єднувачів) та з ковзанням і тертям поверхонь.

Перехідний опір для контактів без ковзання

Для контактів без ковзання срібло має найнижчий контактний опір — він менший від 5 мОм навіть за слабких зусиль. Покриття із SURO720 та білої

бронзи демонструють помірний контактний опір, що досягає <math>< 100\text{ мОм}</math> при зусиллі 1 Н.

Високий контактний опір мають покриття олово-нікель (приблизно 400 мОм за контактного зусилля 1 Н) і нікель-фосфор (приблизно 100 мОм за контактного зусилля 1 Н). Тому для застосувань, чутливих до контактної опору, використовувати олово-нікель та нікель-фосфор не рекомендується (див. рис. 1).

Експерименти проводилися із ковзанням 3 мм та контактними зусиллями 1 та 5 Н. Випробування показали, що характеристики різних матеріалів покриття практично не змінилися. Срібне покриття демонструє чудові значення контактної опору (<math>< 1\text{ мОм}</math>) навіть за малих контактних зусиль (1 Н).

Покриття олов'яно-нікелеві та біла бронза (SURO720) мають контактні опори в межах 15 мОм для контактної опору зусилля 1 Н, а при 5 Н контактний опір становить 2–3 мОм.

Для покриття з хімічного нікель-фосфору контактний опір зазвичай більший: 60 та 30 мОм для контактних зусиль 1 та 5 Н відповідно. Поява оксидного шару призводить до більш серйозної зміни опору залежно від кількості циклів з'єднання/роз'єднання.

Нанесення нікель-фосфорного покриття методом хімічного відновлення не рекомендується, якщо потрібен низький та стабільний контактний опір. Покриття олово-нікель за цим параметром краще, ніж нікель-фосфор, його можна порівняти з білою бронзою та SURO720 (див. рис. 2).

Таким чином, срібне покриття показує кращі результати щодо контактної опору: це покриття є кращим, якщо наявність високого контактної опору має особливе значення для конкретного радіочастотного з'єднувача. Біла бронза, SURO720 та олов'яно-нікелеве покриття відповідають більшості вимог до радіочастотних з'єднувачів. Нікель-фосфорне покриття методом хімічного відновлення має високий та нестабільний контактний опір і не рекомендується для застосування з низьким та стабільним контактним опором (див. табл. 1).

ДЕФОРМАЦІЯ ТА ЗНОС

Якщо покриття крихке, його деформація чи руйнування може серйозно вплинути на загальні характеристики радіочастотного з'єднувача. Пластичність різних покриттів була досліджена

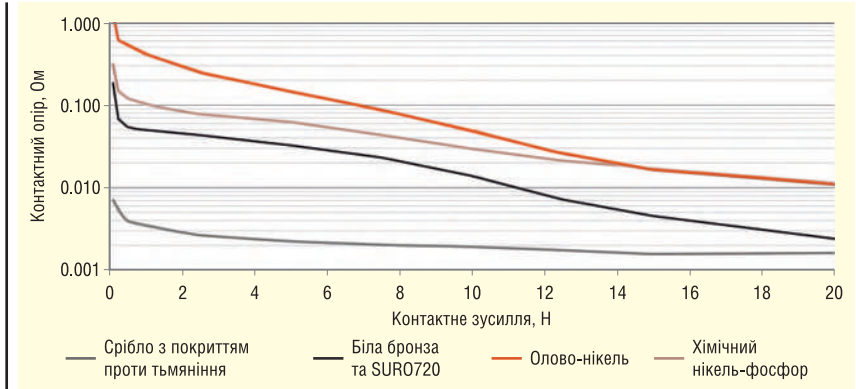


Рис. 1. Контактний опір як функція контактної опору зусилля

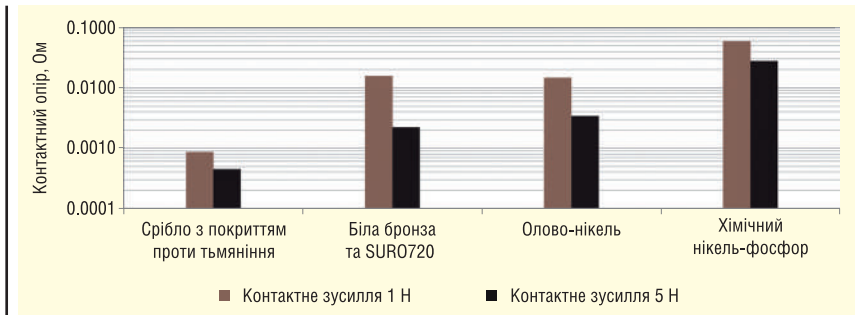


Рис. 2. Контактний опір покриття при контактній силі 1 Н та 5 Н

Таблиця 1. Рейтинг контактної опору різних покриттів

Срібло	Біла бронза і SURO720	Олово-нікель	Хімічний нікель-фосфор
++	+	+	-

Таблиця 2. Оцінка гнучкості різних покриттів, що визначена в результаті випробувань на триточковий згин

Срібло	Біла бронза і SURO720	Олово-нікель	Хімічний нікель-фосфор
++	+	+	--

за допомогою випробування на триточковий вигин. Більшість покриттів не пошкоджувалися та не тріскались після цього випробування. Крім того, покриття олово-нікель, яке нерідко вважається крихким, було лише незначно деформовано. Тільки хімічне нікель-фосфорне покриття, відоме своєю крихкістю, показало серйозні пошкодження до відшарування покриття (див. табл. 2). Знос покриття радіочастотних з'єднувачів вказано для великого числа циклів з'єднання/роз'єднання, наприклад для з'єднувачів 7/16 і 4,3-10 це 500 і 100 циклів відповідно. Знос покриття стає важливою проблемою, яку необхідно враховувати при виборі відповідних покриттів для радіочастотних з'єднувачів.

Зокрема, важливу роль відіграють нормальна сила у зоні контакту та довжина ковзання. Однак коефіцієнт тертя, що позначається як μ , залежить від самого матеріалу контакту і визначається як відношення сили тертя між двома тілами та сили, що притискає їх один до одного. Високий коефіцієнт тертя при-

зводить до більш високих зусиль, які доводиться докладати для встановлення з'єднання, і це часто спричинює підвищений знос. Зокрема срібне покриття демонструє високий коефіцієнт тертя.

Результати щодо зношування були отримані в тому ж експерименті, в якому досліджувався опір контакту з ковзним рухом. Для кожного типу покриття було проведено 10 та 25 циклів сполучення з довжиною ковзання 3 мм при контактних зусиллях 1 та 5 Н відповідно (див. рис. 3 та табл. 3). Сліди зношування досліджували за допомогою оптичної мікроскопії.

Зносостійкість при контактній силі 1 Н

При контактній силі 1 Н, більшість досліджуваних покриттів залишалися непошкодженими після 25 циклів з'єднання/роз'єднання. Тільки срібне покриття показало зношування: основний матеріал рознімача був оголений. Ця проблема покриття сріблом добре відома: срібло відносно м'яке і має високий

коефіцієнт тертя. Однак деякі засоби додаткового оброблення проти напруги мають змащувальний ефект у перших 5–10 циклів з'єднання/роз'єднання, що, як правило, зменшує зношування.

Зносостійкість при контактній силі 5 Н

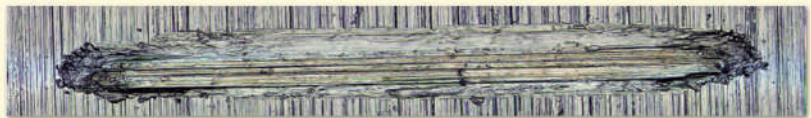
Зі збільшенням сили контакту зношування покриття стає більш серйозною проблемою. З нормальною силою (5 Н) всі покриття показали пошкодження вздовж шляху зношування після 25 циклів з'єднання/роз'єднання. Срібне покриття було зношене після 10–15 циклів сполучень. Коефіцієнт тертя становив близько 1.2, і лише при обробці проти потьмяніння покриття показало нижчий коефіцієнт тертя — від 0.2 до 1.0 протягом перших 10 циклів з'єднання/роз'єднання.

Покриття з білої бронзи та SUR720 показали помірне пошкодження: оголення основного матеріалу відбулося після 25 циклів з'єднання/роз'єднання. Коефіцієнт тертя збільшився з 0.2 до 0.4 після 25 циклів з'єднання/роз'єднання. Покриття олово-нікель мало відносно високий коефіцієнт тертя (~0.6), тому відбулося часткове оголення основного матеріалу. Найкращі результати були отримані при застосуванні покриття нікель-фосфор з методом хімічного відновлення, при якому після 25 циклів з'єднання/роз'єднання було виявлено лише дуже незначне порушення покриття, а сліди впливу на основний матеріал були повністю відсутні.

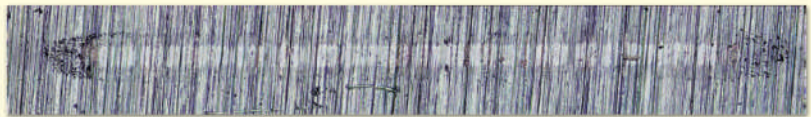
ПРИДАТНІСТЬ ДО ПАЯННЯ (ПАЯНІСТЬ)

У радіочастотних рознімачах, що використовуються в кабельних збірках, кабелі часто паяні. Придатність до паяння є важливим параметром, який був перевірений аналізом змочуваності поверхні матеріалу. Для цього випробування було використано припій $SN_{96.5}AG_{3.8}CU_{0.7}$ (згідно з IPC J-STD-006/ISO 9453). Випробування на паяність проводили на нових зразках, а також і після зберігання протягом 10 днів при 40 °С та 95% відносної вологості. Таким чином, умови зберігання були імітовані відповідно до вимог IEC 60068-2-78. Були використані два нормальних склади припоїв: 1-ий — ROL0 відповідно до J-STD-004, 0.2% хлору та 2-й — ORL0 відповідно до J-STD-004, 0.5% хлору.

Срібло як благородний метал очікувано дало найкращі результати в цій категорії. Навіть після тривалого зберіган-



Срібло з покриттям проти тьмяніння



SUR0720



Олово-нікель



Хімічний нікель-фосфор

Рис. 3. Сліди зношування після 25 циклів з'єднання/роз'єднання (нормальне зусилля 5 Н, ковзання — 3 мм)

Таблиця 3. Оцінка зношування різних покриттів

Срібло	Біла бронза і SURO720	Олово-нікель	Хімічний нікель-фосфор
--	-	-	+

Таблиця 4. Паяність різних покриттів, що визначена балансом змочування

Срібло	Біла бронза і SURO720	Олово-нікель	Хімічний нікель-фосфор
++	++	-	--

ня, змочуваність залишалась високою. Біла бронза та SURO720 також показали хороші результати змочуваності. Для білої бронзи та SURO720 характеристики пайки порівняні зі сріблом. Після імітації зберігання змочуваність білих бронзових покриттів трохи зменшувалась, але все ж матеріал мав хорошу здатність до паяння, забезпечуючи необхідні електричні та механічні характеристики радіочастотних роз'ємів та кабельних збірок.

На відміну від білої бронзи та SURO720, нікель-фосфорне покриття має погану паяність і не відповідає вимогам щодо змочуваності, визначеним протоколом тесту. Навіть при використанні більш агресивного припою (2-го складу, з 0.5% хлору) вимоги щодо змочуваності не були досягнуті. Олово-нікелеве покриття не підлягає пайці за допомогою стандартних процесів. Пайка олово-нікелевого покриття залежить від трьох ключових факторів:

1. Якість електролітичної ванни для нанесення покриття;
2. Тривалість зберігання деталей перед пайкою;

3. Склад використаного припою.

Тип припою особливо важливий для покриття олово-нікель. У проведеному тесті (див. табл. 4), олово-нікелеве покриття могло бути припаяним лише за допомогою дуже агресивного припою, після чого було потрібно ретельне очищення. Нікель-фосфор та олов'яно-нікелеві покриття не рекомендуються для рознімачів, які потребують пайки кабелю (всіх кабельних збірок, чутливих до ПІМ).

ПАСИВНА ІНТЕРМОДУЛЯЦІЯ (ПІМ)

Для більшості застосувань на ринку зв'язку пасивна інтермодуляція є вирішальним критерієм під час вибору радіочастотних з'єднувачів. У разі нестандартного або магнітного покриття, проходження сигналу через з'єднувач може бути порушено через завади, наприклад, гармоніки основного сигналу, інтермодуляцію. Корозійне пошкодження поверхні також може спричинити ПІМ. Нікелювання само собою є магнітним і не рекомендується використовувати для застосувань, чутливих до ПІМ.

Таблиця 5. Результати аналізу ПІМ

Покриття	Початкова ПІМ (дБн)
Срібло (з післяобробленням проти тьмяніння)	-177.5
Біла бронза або SURO720	-177.6
Олово-нікель	-176.7
Хімічний нікель-фосфор	-178.3

Проте при певному відсотковому вмісті фосфору покриття стає немагнітним. Всі покриття були протестовані на магнітні властивості шляхом визначення ПІМ із використанням з'єднувача 7/16. Отримані значення див. таблицях 5, 6.

Випробування в соляному тумані протягом 720 годин

Випробування сольовим туманом [3] — найпопулярніший метод оцінки корозійної стійкості покриттів. Проте є певні сумніви у тому, наскільки відповідають створювані у процесі випробувань умови реальним корозійним умовам. Проте випробування нейтральним сольовим туманом (відповідно до ASTM B117) є стандартним методом випробувань. Тому воно також було застосоване у цьому дослідженні для вивчення корозійних властивостей досліджуваних покриттів.

Контактний опір після випробування в соляному тумані протягом 720 годин

Застосовуючи результати випробувань на корозію до радіочастотних з'єднувачів, дуже важливо відзначити, що області електричних контактів для більшості з'єднувачів, таких як 7/16, 4.3-10 та NEX10, майже завжди захищені ущільненням у сполученому стані (при з'єднанні). Тому корозія не впливає на радіочастотні характеристики всередині з'єднувача, проте ушкоджує зовнішню поверхню навіть на візуальному рівні. Під час випробування контактний опір різних покриттів вимірювали навіть після появи корозії. Контактний опір різних покриттів, визначений після 720 годин випробувань у соляному тумані, показано на рисунку 4.

Контактний опір у соляному тумані протягом 720 годин після першого циклу з'єднання/роз'єднання за нормального зусилля контакту 5 Н

Серед усіх протестованих покриттів зразки із срібним покриттям (зі спеціальною подальшою обробкою проти тьмяніння) показали найкращі результати. Контактний опір після корозії залишається майже незмінним в порівнянні

Таблиця 6. Рейтинги пасивних інтермодуляційних ефектів різних покриттів

Срібло	Біла бронза і SURO720	Олово-нікель	Хімічний нікель-фосфор
++	++	++	++

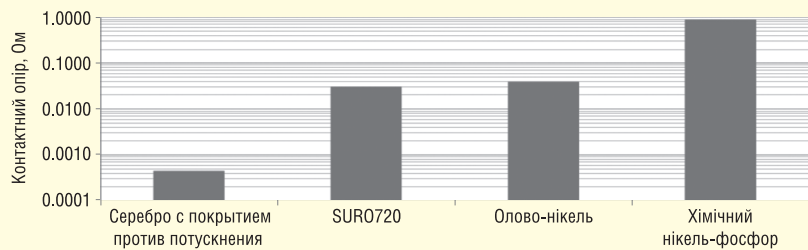


Рис. 4. Контактний опір після випробування в соляному тумані протягом 720 годин (після одного циклу з'єднання/роз'єднання, зусилля контакту 5 Н)

Таблиця 7. Оцінка контактного опору різних покриттів після 720 год. випробувань в соляному тумані

Срібло	Біла бронза і SURO720	Олово-нікель	Хімічний нікель-фосфор
++	-	-	--

Таблиця 8. Візуальна оцінка корозії після 720 год. випробувань в соляному тумані

Срібло	Біла бронза і SURO720	Олово-нікель	Хімічний нікель-фосфор
+	+	-	++

ні з вихідними значеннями до корозії. Покриття з білої бронзи, включаючи нове SURO720, та олов'яно-нікелеве покриття не забезпечують стабільного контакту без ковзного руху. Для контактів із ковзним рухом контактний опір цих двох типів покриттів після кількох циклів сполучення виявляється в 2 рази вище, ніж до випробування в соляному тумані, що вказує на значне погіршення покриттів через корозію.

Нікель-фосфорне покриття, отримане методом хімічного відновлення, виявило високий контактний опір перед випробуванням на корозію. Також при стиковому контакті не вдалося встановити стабільне сполучення (з'єднання) після випробування сольовим туманом. Для контактів із спільним ходом опір контакту після кількох циклів сполучення (з'єднання) виявився в 2–4 рази вищим, ніж до 720-годинного випробування в соляному тумані, що вказує на серйозне погіршення покриття (при цьому візуально корозія майже не спостерігається). Результати наведено у таблиці 7.

Візуальна оцінка корозії після 720 годин випробування у соляному тумані

Для деяких споживачів найважливішим є зовнішній вигляд покриття після дії агресивного середовища. Усі покриття, що розглядаються у цій статті, відповідають вимогам до зовнішнього вигляду. Стандартне біле бронзове покриття, яке здатне витримати до 48–96 годин впливу агресивного середовища, було

протестоване в соляному тумані протягом 720 год. Результати дослідження представлені на рисунку 5. Результати підтверджують, що стандартне покриття з білої бронзи працює добре, принаймні до 96 год. Після цього корозія починає погіршувати зовнішній вигляд, а через 720 годин зовнішній вигляд остаточно посягає через корозію. Зовнішній вигляд досліджених покриттів після 720 годин випробування в соляному тумані показаний на рисунку 6. Покриття нікель-фосфор показує найкращі результати: корозії майже немає. На сріблі з подальшою обробкою проти тьмяніння та SURO720 після випробування помітні невеликі плями корозії. Однак невелика корозія незначно впливає на роботу з'єднувачів. На олов'яно-нікелевих покриттях виразно видно плями корозії поблизу країв і особливо — на великих ділянках, схильних до сильної корозії. Іржаві ділянки можуть негативно вплинути на параметри з'єднувача (див. табл. 8).

Корозія металевих з'єднувачів, встановлених у алюмінієвому корпусі (візуальна оцінка)

Радіочастотні з'єднувачі часто встановлюють у алюмінієві корпуси. Алюміній є неблагородним металом із негативним (від'ємним) потенціалом, тому електрохімічна корозія створює серйозну проблему, якщо інші метали перебувають у прямому контакті з ним.

Щоб вивчити корозію, радіочастотні з'єднувачі з різними покриттями були

встановлені на алюмінієвій пластині і потім були піддані дії соляного туману протягом 720 год. При цьому використовувалися гвинти М3 з нержавіючої сталі DIN7986 з циліндричною головкою з антифрикційним покриттям і без нього. Слід врахувати, що алюміній, який використовувався в цьому тесті, не оброблявся. При цьому алюміній, що використовується в телекомунікаційному устаткуванні, такому як радіоприймачі та антени, зазвичай обробляється або має ізоляцію між з'єднувачем та алюмінієвою панеллю.

Наведені результати слід використовувати з обережністю, оскільки при різних застосуваннях можуть бути різні сценарії контакту між з'єднувачем та панеллю. Найкращі результати показали срібне покриття з обробленням проти тьмяніння та нікель-фосфорне покриття. Нікель-фосфорні покриття, нанесені методом хімічного відновлення, схильні до незначної корозії: ледь помітна зміна кольору через пасивацію поверхні.

Посріблені покриття з подальшим обробленням проти тьмяніння не змінюють колір поверхні. Однак деякі пристрої мають невеликі плями корозії, ймовірно, що вони з'явилися в результаті механічного пошкодження під час установки з'єднувачів. Олов'яно-нікелеві покриття сильно змінюють колір. Біла іржа чи інші продукти корозії не були помічені.

На відміну від інших з'єднувачів, що пройшли 720-годинні випробування в соляному тумані, білі бронзові покриття мали серйозну корозію. Навіть покращене покриття SURO720 на основі білої бронзи, яке зазнало корозії лише як окрема деталь, не змогло протистояти корозії. Незалежно від типу покриття, необроблений алюміній сильно постраждав від корозії (див. рис. 7 та табл. 9).

ВАРТІСТЬ

Вибір на користь того чи іншого радіочастотного з'єднувача, звичайно ж, насамперед обумовлений економічними факторами. Дуже важливо враховувати вартість покриття у процесі проектування. Покриття має відповідати численним технічним вимогам, а з іншого боку — не обтяжувати фінансово.

Ціна кінцевого продукту істотно відрізняється, і вартість металу не єдиний параметр, який впливає на загальну вартість. Вибраний тип процесу нанесення покриття також дуже впливає на вартість. Як правило, покриття, нанесені хімічним



Рис. 5. Стандартна біла бронза (триметал) після 48, 96 і 720 годин випробувань в соляному тумані



Рис. 6. Корозія зразків після випробувань в соляному тумані 720 годин



Рис. 7. Корозія зразків після випробувань в соляному тумані 720 годин на алюмінії (без ізоляції)

Таблиця 9. Візуальна оцінка корозії радіочастотних рознімачів з різним покриттям, встановлених на алюмінієвих пластинах, після 720 годин випробувань в соляному тумані

Срібло	Біла бронза і SURO720	Олово-нікель	Хімічний нікель-фосфор
+	--	-	+

способом, дорожчі, ніж покриття, нанесені традиційним способом електроосадження. Для з'єднувачів, що вимагають паяння, складність та склад припою, а також необхідність додаткового очищення також підвищують вартість.

Серед досліджених покриттів біла бронза та SURO720, безумовно, найбільш економічно виправдані варіанти застосування. Можна очікувати, що срібло як благородний метал може бути найдорожчим покриттям, проте насправді вартість срібних та олов'яно-нікелевих покриттів знаходиться в одному ціновому діапазоні.

Вартість олов'яно-нікелевих покриттів також залежить від екологічних норм, оскільки у складі цих покриттів є агресивні хімічні речовини. Таким чином,

правила техніки безпеки та утилізації всередині конкретної країни значно впливають на загальну вартість цього покриття. Нікель-фосфорні покриття, одержані хімічним способом, є найдорожчим варіантом серед досліджених покриттів. Обробка з електролітом відносно складна, що призводить до більш високої ціни, яка, проте, все ще набагато нижча порівняно з золотим покриттям (див. табл. 10).

ВИСНОВКИ

Через різні переваги і недоліки кожного типу покриття неможливо дати одну загальну рекомендацію і сказати, що той чи інший тип покриття є най-

Таблиця 10. Порівняння сумарних витрат при використанні різних покриттів

Срібло	Біла бронза і SURO720	Олово-нікель	Хімічний нікель-фосфор
+	++	+/-	-

кращим рішенням на всі випадки життя. Розробник повинен враховувати індивідуальні вимоги до радіочастотного з'єднувача та вибирати покриття, виходячи з технічних та економічних вимог. Результати цього дослідження повинні бути довідковим керівництвом щодо правильного вибору типу покриття для конкретного застосування (див. табл. 11).

Срібло

Покриття зі срібла з їх чудовими корозійною стійкістю та електричними властивостями будуть прийнятним варіантом для більшості радіочастотних з'єднувачів. Використання срібних покриттів може бути обмежене, якщо є підвищені вимоги до зношування або передбачається велика кількість циклів з'єднання та роз'єднання.

Срібло також є найкращим варіантом для покриття електричних контактів, чутливих до пасивної інтермодуляції. Однак у срібла є недолік: згодом воно може тьмяніти через сірководень, який у більшості випадків не впливає на технічні властивості, і його вплив може бути знижений за допомогою оброблення проти тьмяніння.

Біла бронза

Білі бронзові покриття є сучасним та кращим варіантом, якщо потрібно економічне покриття з прийнятними електричними властивостями та корозійною стійкістю не менше 96 год.

SURO720

SURO720 — це покращена версія білого бронзового покриття, що забезпечує набагато більш високий рівень стійкості до корозії та відповідає більшості вимог радіочастотних з'єднувачів протягом 720-годинного корозійного

випробування. Однак через електрохімічну відмінність слід уникати прямого контакту з алюмінієм.

Однією з основних переваг SURO720 у порівнянні з покриттям на основі нікелю є його чудова здатність до паяння. Оскільки більшість антенних з'єднувачів мають форму стабільних кабельних збірок, стійких до ПІМ, SURO720 є рішенням, яке можна використовувати як фільтрувальних, так і для антенних з'єднувачів. З точки зору вартості, ПІМ, паяності, корозії та механічних властивостей, SURO720, мабуть, має перевагу в порівнянні з іншими варіантами покриття.

Олово-нікель

Олов'яно-нікелеві покриття можна порівняти з SURO720 за рівнем стійкості до корозії. Однак дещо висока вартість, а також погана паяність олов'яно-нікелевих покриттів перешкоджають широкому використанню цього покриття. За корозійною стійкістю та електричними властивостями олово-нікель поступається сріблу. Це покриття демонструє кращу зносостійкість у порівнянні зі сріблом, але не досягає зносостійкості нікель-фосфорних покриттів, отриманих хімічним способом. За сукупністю властивостей і вартості покриття олово-нікель не має якихось істотних переваг у порівнянні з іншими покриттями радіочастотних з'єднувачів, що добре себе зарекомендували.

Хімічний нікель-фосфор

Нікель-фосфорні покриття, отримані методом хімічного відновлення, мають чудову зносостійкість. Цей вид покриттів є кращим для радіочастотних з'єднувачів, які розраховані на велику кількість циклів з'єднань і мають низькі вимоги до контактної опору. Однак висока

вартість, погані електричні властивості, низька здатність до паяння та крихкість є недоліками цього покриття.

Стійкість до корозії візуально здається задовільною, проте контактний опір явно погіршується внаслідок 720-годинного випробування сольовим туманом: області електричних контактів зазнають корозії. Оскільки нікель є магнітним за своєю природою і може призвести до великих проблем з ПІМ, відсотковий вміст олова та фосфору дуже важливий у покриттях на основі нікелю.

Якщо концентрація нікелю стає вищою, ніж зазначено у специфікації, з'єднувач може показувати погані характеристики ПІМ, і це може бути виявлено лише в тому випадку, якщо спеціальні тести будуть проведені на зібраному устаткуванні. Останнє може призвести до величезних економічних збитків.

Крім того, нікель та його сполуки можуть викликати алергічні реакції. Тому в деяких країнах та областях застосування його використання обмежене. Також слід ретельно оцінити відсутність оксиду хрому (Cr_{VI}), що використовується в процесі покриття. Тому для кожного застосування слід ретельно продумувати використання покриття, що містить нікель.

Інформація та рекомендації, що містяться в цій статті, базуються на тестах, які HUBER+SUHNER та Rosenberger вважають надійними та виконаними з максимальним професіоналізмом. Проте точність та повноту інформації автори статті не гарантують.

Література:

- <https://literature.hubersuhner.com/Technologies/Radiofrequency/RFConnectorsEN/>
- <https://products.rosenberger.com/radio-frequency/connectors/?p=1>
- ДСТУ ISO 9227:2015 Випробування на корозію в штучних атмосферах. Випробування соляним туманом (ISO 9227:2012, IDT).

CN

Таблиця 11. Зведена таблиця результатів випробувань

		Срібло (з покриттям проти тьмяніння)	Біла бронза (SURO720)	Олово-нікель	Хімічний нікель-фосфор
Після корозійного випробування (720 год випробувань в соляному тумані)	Контактний опір	++	-	-	--
	Візуально	Без домішок (без додаткових матеріалів)	+	-	+/+
		На алюмінії	+	--	-
Контактний опір		++	+	+	-
Гнучкість		++	+	+	--
Абразивне зношування		--	-	-	+
Здатність змочування		++	++	-	--
Пасивна інтермодуляція		++	++	++	++
Відносні витрати		+	++	+/-	-

Додаткові конструктивні елементи допомагають вирішувати проблеми ЕМС

Володимир Рентюк

Розробка електротехнічного або електронного обладнання завжди пов'язана з виконанням вимог щодо електромагнітної сумісності (ЕМС), які включають і норми на випромінювання власних та стійкість до зовнішніх електромагнітних перешкод (ЕМП). Вирішення питань ЕМС — це комплексний захід, що стосується не тільки схмотехнічного, а й конструктивного рішення. Якщо проєктоване обладнання або його частини стають джерелом сильного електромагнітного випромінювання, що впливає на функціонування або чутливі до зовнішніх ЕМП, на допомогу приходить екранування. При цьому важливо не тільки правильно вибрати параметри екрана, але й не допустити витоку ЕМП, виконавши екран максимально замкнутим.

ВСТУП

Електромагнітна сумісність має на увазі здатність радіоелектронної апаратури (РЕА) надійно функціонувати в загальному середовищі, не створюючи неприпустимих електромагнітних перешкод собі самому та іншому обладнанню. Інженери — розробники РЕА добре знайомі з цією проблемою [1], а тому вже на ранніх етапах проєктування для того, щоб усунути побічні радіовипромінювання та наведення на ланцюги та каскади, що впливають на цілісність сигналу, враховують відповідні вимогам ЕМС компонування плати [2], фільтрацію [3], заземлення тощо. Але в ряді випадків, наприклад у високочастотній РЕА, вирішити проблеми ЕМС лише на рівні схмотехніки та компонування неможливо. Багато в чому проблеми ЕМС вдається усунути грамотним екрануванням (рис. 1). Однак і саме екранування питання не таке просте, як може здатися на перший погляд. Тут надзвичайно важливий правильний вибір методу екранування, матеріалу екрану та його конструкції, оскільки вони не лише визначатимуть належне функціонування РЕА, що розробляється відповідно до технічного завдання, а й відкриють дорогу до її успішної сертифікації, що дозволить успішно вивести виріб на ринок.

Екранування, якщо його розглядати в загальному плані, — це встановлення між приймачем і випромінювачем якогось поглинаючого електромагнітні хвилі середовища. Питання це дуже складне і вимагає об'ємного опису, що виходить за рамки цієї статті. Воно, стосовно екранування



Рис. 1. Приклад простого та комплексного екранування РЕА

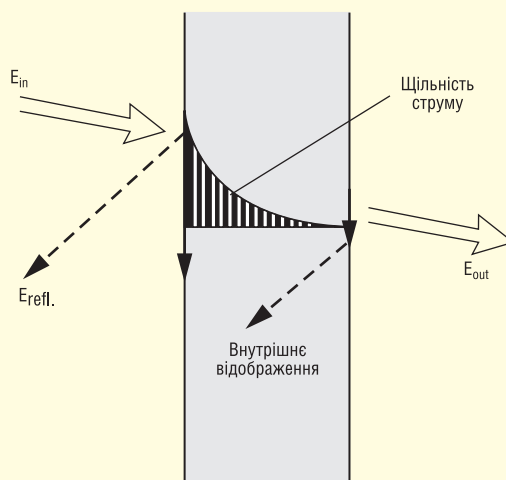


Рис. 2. Розподіл енергії плоскої електромагнітної хвилі за наявності струмопровідного середовища на її шляху

і корпусів РЕА, докладно розглянуто в [4, 8, 9], проте для розуміння проблеми, що цікавить нас, зупинимося на деяких важливих моментах. Якщо подивитись на рисунок 2, то

Таблиця 1. Глибина скін-ефекту деяких металів залежно від частоти

Матеріал	Відносна провідність, σ	Відносна магнітна проникність, μ	Глибина скін-ефекту			
			50 Гц	10 кГц	1 МГц	100 МГц
Мідь	1	1	9.3 мм	0.66 мм	66 мкм	6.6 мкм
Алюміній	0.6	1	12 мм	0.85 мм	85 мкм	8.5 мкм
Холоднокатана сталь	0.16	200	1.5 мм	0.14 мм	100 мкм	16 мкм
Сплав із високою магнітною проникністю	0.03	10000	0.54 мм	54 мкм	—*	—*

Примітка. * Сплав з високою відносною магнітною проникністю зазвичай не працює на частотах вище декількох МГц.

Таблиця 2. Втрати поглинання для деяких металів залежно від товщини та частоти

	Мідь, дБ		Алюміній, дБ			Цинк, дБ			Сталь, дБ			Міднення, дБ	
	Товщина, мм												
	0.01	0.1	1	0.01	0.1	1	0.01	0.1	1	0.01	0.1	1	0.05
30 МГц	7	70	700	5.2	52	520	4	40	400	3	28	200	7
100 МГц	13	130	>1000	9.5	95	950	7	72	720	5	50	500	13
300 МГц	22	220	>1000	17	170	>1000	12	125	>1000	9	88	880	22

можна побачити наступне: енергія падаючої хвилі E_{in} частково відбивається у вигляді E_{refl} , частково проникає в струмопровідне середовище і там згасає за експоненційним законом, частково відбивається від меж середовища, а частина енергії хвилі E_{in} , пройшовши крізь екран, виходить назовні у вигляді E_{out} [4].

Відбиття залежить від хвильового імпедансу E/H та провідності екрану, а поглинання — від товщини екрана, його провідності, магнітної проникності та частоти. Природно, ступінь екранування для електричної хвилі E — це відношення енергії хвилі E_{in} до E_{out} , і загальна ефективність екранування визначається як $SE(дБ) = 20lg(E_{in}/E_{out})$, будучи сумою згасань на відображення (відбиття) $E_{refl}(дБ)$ та поглинання, але тільки за умови, що рівень поглинання перевищує

щонайменше 6 дБ (у деяких джерелах цю умову задають лише на рівні щонайменше 10 дБ). В даному випадку енергія внутрішньої відбитої хвилі прирівнюється до нуля, інакше її також необхідно брати до уваги, причому з урахуванням багаторазових перевідбиттів. Аналогічна формула справедлива і для магнітної хвилі H , тут згасання визначається як $SE(дБ) = 20lg(H_{in}/H_{out})$.

Зрозуміло, нам усім хотілося б, щоб електрична та магнітна складова хвилі, а загалом потужність випромінювання, на виході екрана дорівнювали нулю. Однак на практиці це важко досягти. Тут необхідно враховувати дуже багато факторів, починаючи з частоти ЕМП та закінчуючи визначенням, чи знаходиться екран у ближньому чи дальньому полі, яка складова ЕМП буде домінуючою — магнітна чи електрична. Для

кожної складової потрібно своє рішення щодо вибору матеріалів. Необхідно враховувати скін-ефект та на його підставі вибирати товщину екрану. Проблема, як бачимо, складна. У таблицях 1 і 2 показані екрануючі властивості деяких металів, які зазвичай використовуються для виготовлення екранів, а на рисунку 3 — графіки згасання для різних матеріалів та умов.

ПРОБЛЕМА

Все було б добре, але наведені вище цифри загасання передбачають простий однорідний бар'єр. Можна вибрати найкращий матеріал, але загалом ефективність екрана визначатиметься його найслабшою ланкою. А правда життя така, що реальні корпуси ніколи

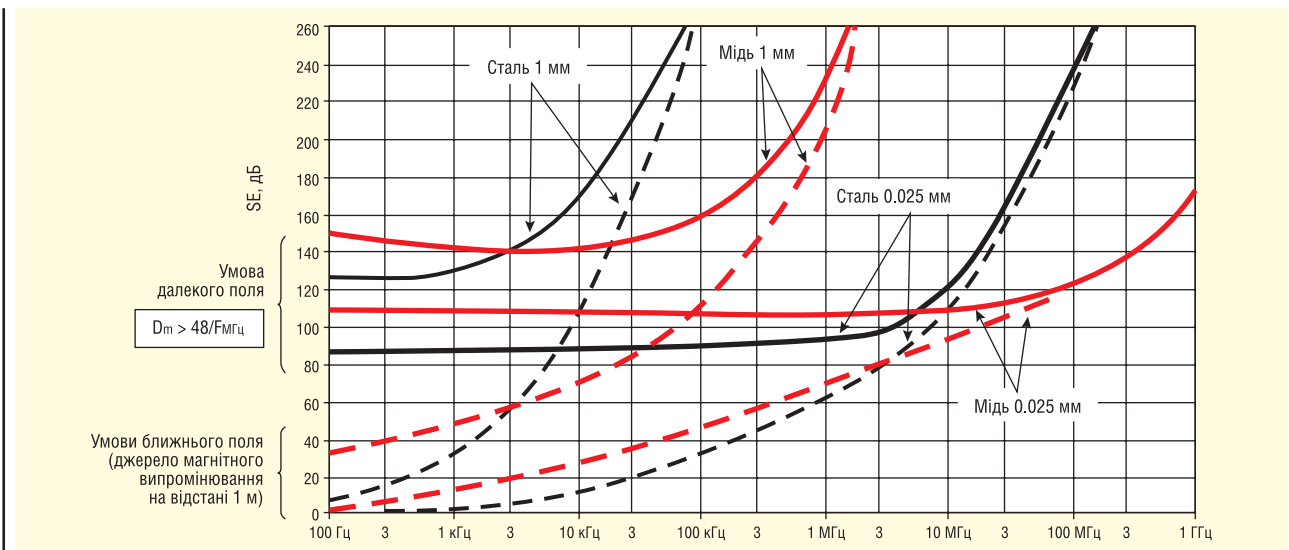


Рис. 3. Загальна ефективність екранування (абсорбція + відображення) для декількох металів, що зазвичай використовуються. Суцільні лінії (згорі) позначають умови далекого поля. Пунктирні лінії (внизу) для джерел поля H на відстані 1 м. Графіки для міді завтовшки 1 мм можуть використовуватися для алюмінію завтовшки 1.25 мм, а графіки для міді 0.025 мм — для алюмінію завтовшки 0.03 мм

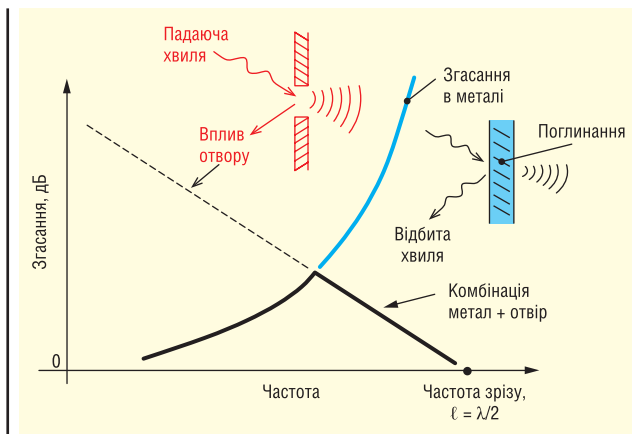


Рис. 4. Згасання поля на плоскому металевому екрані з отвором

не роблять як суцільні металеві секції: у них є як мінімум щілини та стики, через які ЕМП потрапляють у корпус або випромінюються назовні. На низьких частотах важлива природа металу (провідність, проникність), і його товщина та щілини не є проблемою. Але на високих частотах, де будь-який метал забезпечує подавлення в сотні децибел (табл. 2), такі цифри практично ніколи не видно, тому що шви та неоднорідності можуть значно погіршити характеристики екранування (рис. 4). Як можна бачити, згасання поля на плоскому металевому екрані збільшується зі зростанням частоти, але за наявності умовних отворів (читай: щілин або неоднорідностей), починаючи з певної частоти, воно зменшується [7].

Щілину в екрані можна порівняти зі щілинною антеною, яка, за винятком зміни полярності хвилі на 90° , поводить себе як диполь. Коли довжина щілини l досягає $\lambda/2$, незалежно від того, наскільки мала її висота h , ця паразитна антена веде себе як ідеально налаштований диполь і перевипромінює на «вихідному» боці всю енергію, що її збуджує. Тут може бути не просто перевипромінювання, а навіть невелике посилення близько 3 дБ. Ось із цим нам і належить боротися. Але радує одне: нижче цього резонансу витік ЕМП через щілину скорочується в міру зменшення частоти, але проблема ще й у тому, що таких щілин з непрогнозованою довжиною може бути непрогнозована кількість.

Отже, зробимо висновок. Ідеальний екран — це клітина Фарадея, тобто суцільний струмопровідний корпус без отворів, але на практиці отвір або частіше отвори (маються на увазі не тільки круглі, а й вирізи, щілини, прорізи, стики) призводять до деградації згасання, що може зменшити необхідну ефективність екранування. І якщо отвори та прорізи часто визначаються самою конструкцією РЕА та їх геометрію можна узгодити з ЕМП, то проблемою № 1, як бачимо, буде стик по периметру кришки корпусу, який служить екраном.

ПРАКТИЧНІ РІШЕННЯ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ ЯКОСТІ ЕКРАНУВАННЯ

Екранування — це «механічне» вирішення проблеми ЕМС. Шви існують скрізь, де зустрічаються дві частини корпусу, саме вони через їх більшу довжину часто стають більш значним джерелом виток електромагнітного випромінювання, ніж отвори. Як уже було сказано, шов довжиною порядку напівхвилі може бути дуже ефективним джерелом випромінювання, подібно до резонансного напівхвильового диполя.

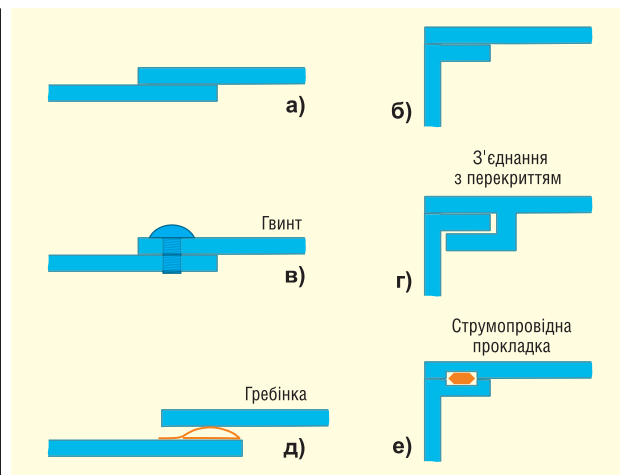


Рис. 5. Приклади вирішення проблеми стиків електромагнітного екрану: металеві поверхні, притиснуті одна до одної (а, б); гвинти та заклепки, що використані як кріплення (в); перекриття обох сторін пластин внапуск (г); використання гребінчастих конструкцій або прокладок (д, е)

При цьому такі неефективні випромінювачі, як невеликий провідник або котушка індуктивності, стануть проблемою, якщо будуть всередині металевого корпусу з резонансним прорізом або неякісним стиком.

Шов, який виглядає добре виконаним, часто може перешкодити проходженню поверхневих струмів, що призводить до серйозних порушень при поширенні струмів у захисному екрані. Наприклад, дві металеві поверхні, просто притиснуті одна до одної, як показано на рисунку 5а або рисунку 5б рідко забезпечують досить надійний контакт на високих частотах. Окислення поверхні, корозія та короблення металевих пластин погіршують якість електричного контакту. Гвинти або заклепки, що показані на рисунку 5в, можуть забезпечувати хороший електричний контакт у точках, але не обов'язково покращують з'єднання в місцях між кріпильними деталями. Один з методів зменшення імпедансу швів полягає в перекритті обох сторін пластин внапуск, як показано на рисунку 5г. Інше поширене рішення — використовувати гребінчасті конструкції або прокладки, як показано на рисунку 5д, е [6].

Основна функція прокладки — забезпечити струмопровідний шлях між двома частинами шва, що сполучаються. Прокладка в поєднанні з належною обробкою поверхні корпусу забезпечить хорошу електричну безперервність між частинами, що сполучаються, тим самим мінімізуючи імпеданс з'єднання і підвищуючи ефективність екранування корпусу. Важливо пам'ятати, що прокладки працюють, забезпечуючи провідний шлях з низьким опором через шов, а не просто заповнюючи зазор, утворений швом або спеціально виїмкою.

Деякі з найбільш поширених типів прокладок включають струмопровідні еластомери, металеві пружинні пальці, дрітчасту сітку, спіральні стрічки та тканину поверх спінених діелектриків. Нові технології прокладок припускають дротяне облячення різної щільності, прокладки з формуванням за місцем та штамповані елементи. У кожного типу є свої переваги та недоліки. Прокладки доступні в різних конструкціях поперечного перерізу, а також з різних матеріалів і поверхонь, включаючи олово, нікель, берилієву бронзу (відома також як берилієва мідь BeCu — сплав міді, що містить 0,5–3% берилію і в деяких випадках інші добавки; берилієва бронза поєднує високу міцність з немагнітними властивостями), срібло, нержавіючу сталь



Рис. 6. Приклади допоміжних екрануючих елементів

тощо. Також доступні струмопровідні клеї та герметики, вони зручні, але програвать металевим елементам.

Інженер-проектувальник повинен добре розумітися на типах прокладок та їх характеристиках, щоб правильно використовувати їх у місцях з'єднання без збільшення розмірів та ваги електронного пристрою. Приклади конструктивних елементів, що використовуються для забезпечення ефективності екранування та виконання вимог ЕМС, наведено на рисунку 6.

При використанні прокладок, крім вибору найоптимальнішого конструктивного рішення, є одна проблема — при з'єднанні двох різнорідних металів утворюється гальванічна пара. Тому вибраний матеріал прокладки повинен бути гальванічно сумісний з поверхнею, що сполучається, щоб мінімізувати корозію. Олово, нікель та нержавіюча сталь

сумісні між собою та не повинні викликати проблем при з'єднанні у стик чи шов. Важливо, щоб використані конструктивні елементи та матеріали зберігали електричну провідність, близьку до вихідної після старіння при тиску.

Великою проблемою є алюміній. Він сумісний сам із собою, а також з оловом, з деякими покриттями, наприклад, з хроматуванням, також сумісний з нікелем. Срібло несумісне з алюмінієм, проте воно часто застосовується як провідний матеріал на тканині поверх прокладок з піломатеріалів і еластомеру. Досвід показав, що еластомери, що проводять, зі срібним наповнювачем і прокладки зі срібної тканини поверх спінених матеріалів не поводяться гальванічно так само, як чисте срібло. Швидше вони показують набагато меншу гальванічну корозію, ніж передбачалося, особливо у поєднанні з алюмінієм. Для визначення сумісності цих прокладок із різними металами слід звертатися до даних виробника прокладки.

Конструктивні елементи у вигляді пружинистих гребінок часто виготовляються з берилієвої бронзи, оскільки вона є найбільш провідною з усіх пружинистих матеріалів. Проте вона погано сумісна з іншими матеріалами. Тому, коли для забезпечення екранування використовуються конструктивні елементи цього сплаву, вони повинні бути покриті оловом або нікелем для утворення сумісної гальванічної пари з корпусом; без ризику порушення екранування деталі з берилієвої бронзи без покриття можна з'єднувати лише з елементами, виконаними з того ж металу. Якщо проектується PEA поза

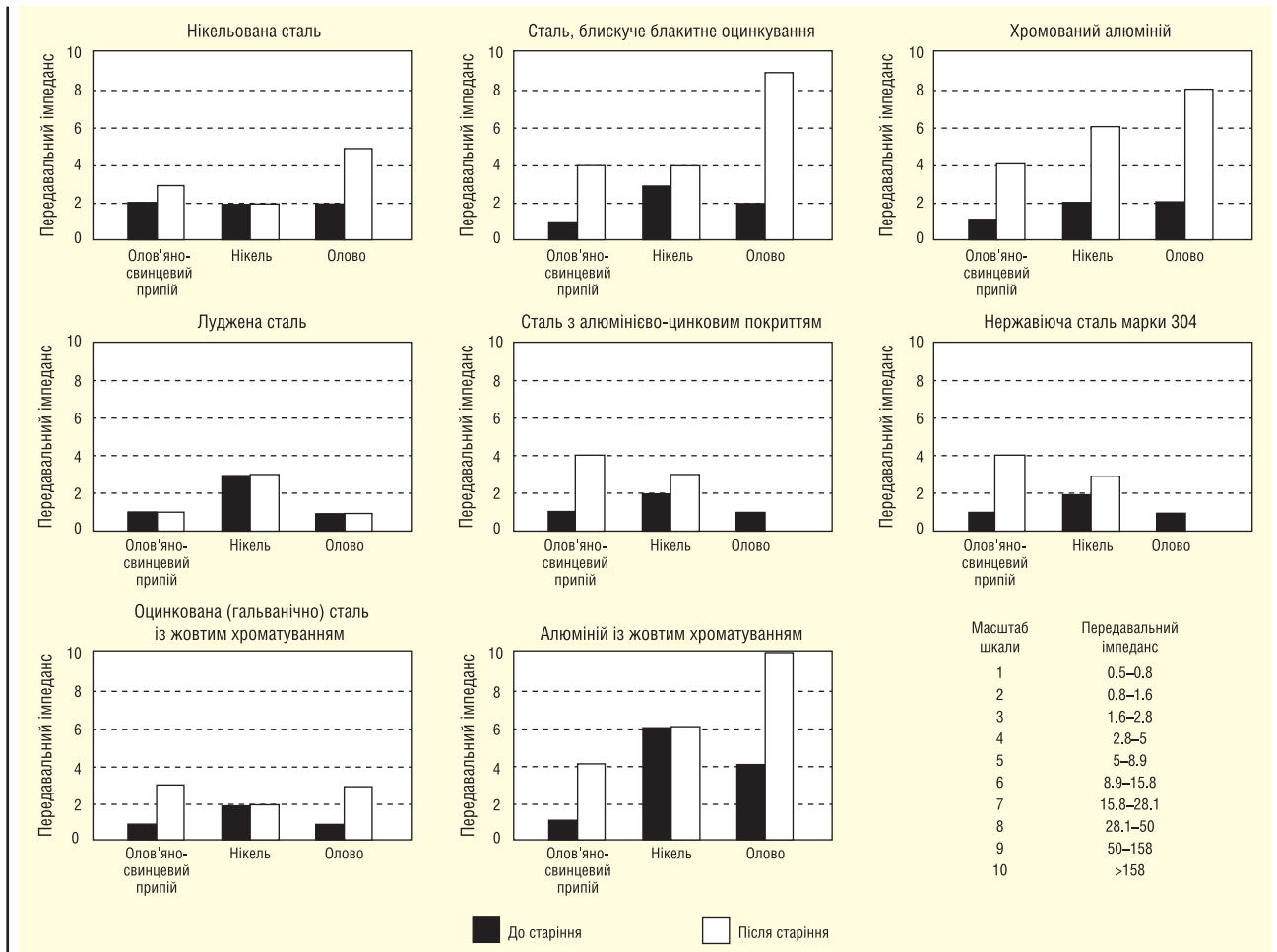


Рис. 7. Порівняння передавального імпедансу для низки гальванічних пар з урахуванням старіння (дані IEEE 1989) [8]

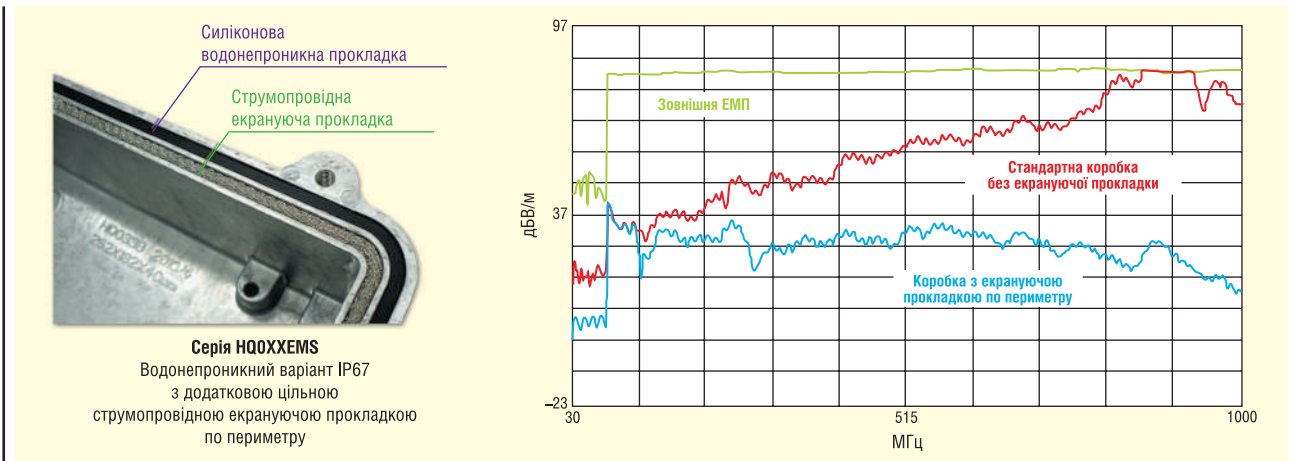


Рис. 8. Ефективність екранування корпусів з додатковою прокладкою у вигляді лудженої мідної плівки з еластомером (на прикладі корпусу серії HQ0xxEMS компанії GAINTA [4])

вимогами Директиви RoHS [10] (що б ми, розробники, про неї не думали), то гребінки з берилієвої бронзи допускається покривати кадмієм — для забезпечення більшої ефективності екранування та довговічності, особливо при впливі на РЕА морського туману.

На рисунку 7 показані вимірні дані передавального імпедансу для різних гальванічних пар до та після старіння. Якщо потрібна докладніша інформація, можна звернутися до такого документа, як ARP 1481 «Контроль корозії та електропровідність у конструкції корпусу», рекомендований Товариством автомобільних інженерів для аерокосмічної промисловості [5]. Документ містить велику таблицю сумісності різних комбінацій гальванічних пар майже для п'ятдесяти металів, сплавів та покриттів, розроблену дослідним шляхом, а також на основі тестування та фактичного використання.

Щоб гарантувати з'єднання з низьким опором, конструкція шва повинна забезпечувати достатній тиск для належного стиснення прокладочного матеріалу. Однак якщо прокладка стиснута надто сильно, вона буде незворотно деформована та втратить свою пружність. Відповідно, наступне складання та розбирання екрана або корпусу вже не забезпечить достатнього стиснення для гарантії ЕМС. Щоб уникнути залишкової деформації при стисканні та запобігання перевищенню максимального значення стиснення для прокладки, в шов повинні бути вбудовані механічні упори, розмір яких становить 90% діаметра або висоти прокладки.

Інший підхід — встановити прокладку в паз, спеціально виконаний у корпусі (як на прикладі на рисунку 8). Але під час використання канавки важлива не тільки її глибина, а й ширина. Поперечний переріз канавки повинен бути таким, щоб вистачило місця для стиснутої прокладки. Канавки «ластівчин хвіст», хоч і дорожчі, часто можуть бути дуже ефективно використані в цьому додатку. Правильно спроектована канавка «ластівчин хвіст» має додаткову перевагу, що запобігає випаданню прокладки з канавки при розбиранні. Більшість основних виробників прокладок мають кваліфіковані відділи технічної допомоги, з якими слід консультуватися під час вибору правильної прокладки та обробки поверхні для передбачуваного застосування.

Повторимо головне: весь периметр екрану повинен мати надійний за будь-яких впливів (кліматичних, механічних) електричний контакт з корпусом. Слід пам'ятати, що ціль екрану — дозволити струму текти через неоднорідність (щілина, отвір, виріз тощо), а не просто закрити її. Важливо, щоб

прокладка знаходилася у прорізі та на внутрішній стороні від гвинтів, це необхідно для захисту від витоків ЕМП навколо отворів кріплення. Звичайно, для забезпечення безперервності електричного з'єднання через стик або шов на металі не повинні бути лакофарбових покриттів, оксидів та ізоляційних плівок. Поверхні, що сполучаються, повинні бути захищені від корозії виключно і тільки провідним покриттям. При правильному підході до вибору екрана та конструктивних ущільнюючих елементів кінцевої мети буде досягнуто. Приклад такого рішення подано на рисунку 8.

Для якісної реалізації ЕМС шляхом екранування достатню популярність отримала продукція компаній Holland Shielding, Laird, EMC, EXPAN та Soliani. При цьому найчастіше застосовуються такі типи струмопровідних ущільнювальних конструктивних елементів, що дозволяють покращити екранування та вирішити питання електромагнітної сумісності:

- струмопровідні (електропровідні) еластомери;
- в'язана дротяна сітка (плетінка);
- прокладки з піногуми, покриті струмопровідною тканиною;
- металеві гребінки: берилієва бронза/нержавіюча сталь.

Струмopрoвідні (електропровідні) еластомери

Струмopрoвідні (електропровідні) еластомери (рис. 9) виготовляються із зміцненого силікону (фторосилікону), наповненого електропровідними частинками, що забезпечує високу електропровідність, екранування, пило- та вологонепроникність. Наповнювачем можуть бути різні матеріали, від вуглецю до чистого срібла. Найбільш популярними є графіт



Рис. 9. Струмopрoвідні (електропровідні) еластомери



Рис. 10. Плетінка: зліва — «класична», справа — виконана трикотажною в'язкою

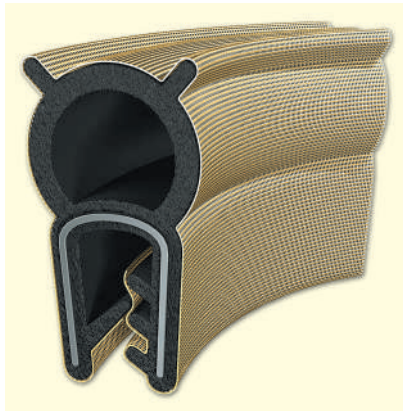


Рис. 11. Прокладки з піногуми, покриті провідною тканиною

з нікелевим покриттям та посріблений алюміній. Обидва мають низьку питому вагу, що робить їх найбільш економічними, порівняно з наповнювачами на основі міді або нікелю. Графіт з нікелевим покриттям дуже економічний, оскільки в 3–5 разів дешевше, ніж срібний алюміній, і все ж таки забезпечує практично рівну ефективність екранування. Еластомери доступні для замовлення в листах, у вигляді різних профілів (джгутів) та штампованих ущільнювальних прокладок. Область застосування: у виробництві телекомунікаційного, оборонного, медичного та промислового електронного обладнання.

Металева плетінка

Металева плетінка (рис. 10) вважається поширеною струмопровідною прокладкою: вона економічна, може встановлюватися в пази або монтуватися на поверхні (з кріпленням). Зазвичай використовують чотири різні варіанти дроту: монель, що являє собою сплав нікелю та міді; покрита лудженою міддю плакована сталь; алюміній та нержавіюча сталь. Ці різні типи плетінок пропонують вибір (допоможуть у вирішенні питання) для гальванічної сумісності та вирішення проблем із корозією. Плетінка забезпечує високу продуктивність у магнітних полях,

особливо якщо виконана з такого матеріалу, як TCS (Tin Clad Copper Steel wire — мідиста сталь, покрита оловом). Цей матеріал завдяки сталі має високу магнітну проникність, мідь робить його електропровідним, а олово захищає від корозії, при цьому він легко формується для складних форм. Плетінки виготовляються за типом кабельних екранів, така плетінка має високу щільність, або за типом трикотажної в'язки з меншою витратою металу і більшою гнучкістю. При хорошому з'єднанні з носієм плетінка забезпечує прийнятну герметичність та захист від пилу та вологи. Її краще використовувати для жорстких умов експлуатації (включаючи обладнання військового призначення), оскільки плетінка на відміну від струмопровідних еластомерів має кращу провідність. Проте вона дуже ефективна на високих частотах. Якщо не додати більше шарів дротяної сітки, ефективність екранування починає знижуватися після 1 ГГц. Для високо-частотного екранування прокладки на основі фольги, такі як Amucor Shield 6800 компанії Holland Shielding, через їх значно більшу контактну поверхню будуть більш ефективні.

Прокладки з піногуми, покриті провідною тканиною

Прокладки з піногуми, покриті провідною тканиною (рис. 11), добре рекомендували себе у комерційному устаткуванні. Прокладки складаються з двох шарів: губчастого гумового ущільнення і шару зі зносостійкої металізованої тканини, що добре проводить. Зазвичай кріпляться на поверхні і забезпечують хороше ущільнення деталей (дверей) шаф, що сполучаються. Популярні в портативних комп'ютерах, ігрових автоматах тощо для заземлення. Не забезпечують вологонепроникність. Екранування добре працює на високих частотах до 10 ГГц. За вогнестійкістю багато профілів відповідають рівню UL 94V 0.

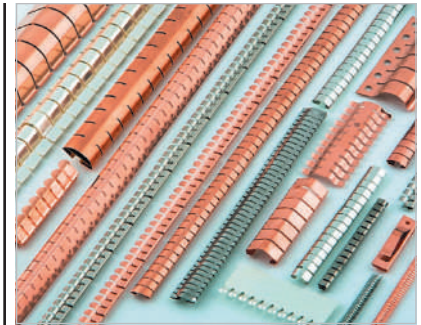


Рис. 12. Металеві гребінки типу Fingerstock

Металеві гребінки (Fingerstock)

Металеві гребінки (Fingerstock) (рис. 12) ефективні для екранованих приміщень, де вони забезпечують високу продуктивність і призначені для вирішення гальванічних проблем. Великі профілі схильні до механічних пошкоджень, тому рекомендується регулярний візуальний огляд. Незважаючи на те, що у твердій формі берилієва бронза (BeCu) не становить жодної небезпеки для здоров'я (небезпечна тільки при виготовленні), берилій відноситься до канцерогенів, і у зв'язку з цим виробники з нього втрачають свою популярність. Альтернативою служить нержавіюча сталь, але вона забезпечує менш якісні характеристики імпедансу при стисканні і, відповідно, екранування. Залежно від застосування на метал може бути нанесено покриття із золота, срібла, кадмію, нікелю тощо.

Amucor — алюмінієва фольга з армуючою сіткою

Amucor — це алюмінієва фольга з армуючою сіткою (рис. 13), яка використовується для екранування від ЕМП у тих випадках, коли потрібна міцна, але дуже широка плівка. За допомогою фольги або стрічки 4706 Amucor виробництва компанії Holland Shielding можна легко вирішити багато проблем із електромагнітним випромінюванням. Екрануюча фольга Amucor поставляється з або без (самопровідного) са-



Рис. 13. Фольга 4706 Amucor та конструктивні елементи Amucor Shield 6800

моклеючого матеріалу та додаткового ізолюючого шару.

Amucor Shield 6800 — це доступна високочастотна прокладка, дуже ефективна в поєднанні з оцинкованими сталевими та алюмінієвими конструкціями. Серія прокладок Amucor Shield 6800 виконана із спіненого неопрену або ПВХ, покритих армованою фольгою на основі сплаву Amucor. Використання таких конструктивних елементів гарантує хороші характеристики екранування та високу міцність. Що стосується частотних властивостей, Amucor Shield 6800 показує високу ефективність на гігерцових частотах, де звичайні плетінки втрачають свої екрануючі властивості.

ВИСНОВОК

Як можна бачити навіть із коротко викладеного у статті матеріалу, нині розробникам електронної та електротехнічної продукції, призначеної для експлуатації у жорстких з погляду ЕМС умовах, пропонується достатній вибір рішень. Застосування для екранування представлених у статті допоміжних конструктивних елементів дає можливість підвищити надійність та експлуатаційні характеристики кінцевого обладнання, гарантуючи усунення впливу на внутрішні каскади не тільки несприятливих впливів зовнішнього середовища, а й ЕМП.

При виборі прокладки для забезпечення екранування конкретного каскаду або кінцевого продукту, розробнику необхідно враховувати такі фактори, як:

- необхідний ступінь герметичності;
- наявність механічних навантажень;
- діапазон робочих температур;
- частотний діапазон;
- характеристики довкілля (нормальні умови, висока вологість, соляний туман тощо);
- сили стиснення/навантаження;
- способи кріплення/монтажу;

- вимоги до відстані між елементами кріплення;
- радіус вигину;
- ремонтпридатність;
- гальванічна сумісність із матеріалом основного екрана.

Для досягнення успіху команди розробників повинні працювати як єдиний злагоджений механізм, не забуваючи, що вони роблять одну спільну справу [9]. Адже проблеми ЕМС вирішуються лише спільно та комплексно.

Література:

1. Рентюк В. Электромагнитная совместимость: проблема, от решения которой не уйти // CHIP NEWS Украина. 2018. № 1.
2. Уайтт К. Особенности конструирования печатных плат с выполнением требований по ЭМС // CHIP NEWS Украина. 2020. № 3.
3. Робертс С. Решения проблемы пульсаций и помех DC/DC-преобразователей: входная и выходная фильтрация // Компоненты и технологии. 2015. № 8.
4. Рентюк В. Малые экранирующие корпуса как еще одно эффективное решение проблемы ЭМС // Компоненты и технологии. 2018. № 7.
5. ARP 1481 Corrosion Control and Electrical Conductivity in Enclosure Design. Note: Approved 2004-08-00.
6. www.learnemc.com/practical-em-shielding
7. Shielding of Boxes and Enclosures (Part 2). www.electronic.se/2017/03/08/shielding-of-boxes-andenclosures-part-2/
8. Ott H. W. Electromagnetic Compatibility Engineering. Wiley, 2009.
9. Рентюк В. Устранение конфликта интересов и оптимизация организации работ при проектировании РЭА // CHIP NEWS Украина. 2018. № 4.
10. Рентюк В. RoHS-директива: защита экологии или рынков? // Технологии в электронной промышленности. 2013. № 5.

CN

МОДУЛЬ ЖИВЛЕННЯ MAG³C

Компанія **Würth Elektronik** розширює асортимент своїх модулів живлення Mag³C-FDSM: фіксовані модулі понижуючого регулятора тепер охоплюють усі напруги на шинах від 12 до 48 В. Модулі полегшують розробку додатків із прямим підключенням до шин з напругою 12, 24 або 48 В. Широкий діапазон вхідної напруги до 74.5 В робить модуль FDSM стійким до перехідних процесів напруги на шині 48 В. Нові силові модулі реалізовані в економічно вигідному корпусі SIP-3 і забезпечують фіксовані вихідні напруги 3.3, 5.0, а також 12 В з вихідним струмом до 0.5 А.

Серія Mag³C-FDSM — це повністю інтегровані перетворювачі напруги DC/DC з фіксованою вихідною напругою. Крім силового каскаду, модулі складаються з регулятора, індуктивності, а також вхідних і вихідних конденсаторів. Модулі живлення захищені від короткого замикання та теплового перевантаження. Mag³C-FDSM скорочує навантаження, пов'язане з проектуванням схем, до мінімуму, оскільки для роботи не потрібні зовнішні компоненти — це зменшує витрати на розробку та час. Для простої збірки сімейство Mag³C-FDSM було реалізовано в стандартному корпусі THT.

Попереднє тестування оціночної плати на відповідність вимогам показало, що кондуктивні та випромінювані електромагнітні завади (EMI) нижчі за межі, встановлені відповідними стандартами.

Сьогодні компанія Würth Elektronik — це лідер у виробництві катушок індуктивності, продукції та матеріалів для електромагнітної сумісності (ЕМС), полімерних та танталових конденсаторів, електромеханічних компонентів та багатьох інших видів електронних компонентів.

www.we-online.com

У чому різниця між Wi-Fi HaLow та традиційним Wi-Fi

Шахар Фельдман (Shahar Feldman)

Переклад: Володимир Рентюк

Скоро Wi-Fi HaLow з'явиться в інтелектуальному дверному замку, камері безпеки, пристрої, що носить, і бездротовій сенсорній мережі поряд з вами. Що таке Wi-Fi HaLow, чим він відрізняється від традиційного Wi-Fi (4/5/6) і що робить його ідеальним для майбутнього підключення до Інтернету речей?

Протокол Wi-Fi це, можна сказати, кисень для нашого підключеного світу. Це найбільш поширений протокол бездротової мережі, що використовується сьогодні, на який припадає більше половини інтернет-трафіку. Wi-Fi — універсальний термін для зростаючого сімейства протоколів 802.11, що розвиваються більше двох десятиліть. Wi-Fi Alliance — організація, що сприяє впровадженню та розвитку Wi-Fi, спростила назви часто використовуваних поколінь Wi-Fi за допомогою числової номенклатури, наприклад Wi-Fi 4 = 802.11n, Wi-Fi 5 = 802.11ac та Wi-Fi 6 = 802.11ax. Швидше за все, кожен з нас користується одним з цих різновидів Wi-Fi вдома або на роботі.

Незважаючи на поширення протоколів Wi-Fi 4/5/6, швидке зростання Інтернету речей (Internet of Things, IoT) змусило переосмислити традиційний Wi-Fi. Ця переоцінка виявила технологічні прогалини та змінила роль, яку протоколи 802.11 мають відігравати у сьогоднішньому світі бездротових пристроїв IoT із надмалим енергоспоживанням. Підвищені вимоги до підключення на великі відстані та одночасно вимоги до низького енергоспоживання додатків IoT та міжмашинної взаємодії (machine-to-machine, M2M) викликають потребу в іншому типі Wi-Fi, оптимізованому для додатків IoT.

Протокол Wi-Fi HaLow заповнює ці прогалини, надаючи бездротове рішення з наднизьким енергоспоживанням, яке підключає безліч IoT-пристроїв на набагато більших відстанях і з меншим енергоспоживанням, ніж традиційний Wi-Fi. Протокол ратифікований робочою групою IEEE 802.11ah у 2016 році та отримав від Wi-Fi Alliance назву Wi-Fi HaLow.

По суті, Wi-Fi HaLow — це малопотужна, далекобійна і більш універсальна версія Wi-Fi, що працює в спектрі частот, що не ліцензується, що лежить нижче частоти 1 ГГц¹. Унікальне поєднання стандарту Wi-Fi HaLow з енергоефективністю, можливістю підключення на великі відстані, низькою затримкою, швидкістю передачі даних з якістю HD-відео, функціями безпеки та вбудованою підтримкою IP робить його оптимальним протоколом для бездротових

пристроїв Інтернету речей з живленням від батарей.

Розглянемо докладніше деякі з основних відмінностей між Wi-Fi HaLow та традиційним Wi-Fi (табл. 1) та з'ясуємо, чому протокол 802.11ah кращий для підключення додатків Інтернету речей.

ПРОТОКОЛ, ДРУЖНИЙ ДЛЯ БАТАРЕЇ

Протокол Wi-Fi HaLow забезпечує виняткову енергоефективність для чутливих до енергоспоживання пристроїв Інтернету речей. Різні складні режими сну, визначені IEEE 802.11ah, дозволяють пристроям HaLow залишатися в стані з дуже низьким енергоспоживанням протягом тривалих періодів часу, зберігаючи при цьому енергію батарей:

- Target wake time (TWT) — цільовий час пробудження: ця опція дозволяє станції (STA) та точці доступу (AP) заздалегідь призначити час, коли спляча STA буде прокидатися і прислухатися до сигналів маяків.
- Restricted access window (RAW) — вікно обмеженого доступу: AP може

Таблиця 1. Порівняння між Wi-Fi HaLow та традиційним Wi-Fi

Функціональна особливість	Wi-Fi 4/5/6 (IEEE 802.11 n/ac/ax)	Wi-Fi HaLow (IEEE 802.11 ah)
Діапазони робочих частот	2,4, 5, 6 ГГц	Субдіапазон 1 ГГц (902–928 МГц в США)
Вибір ширини каналу	20, 40, 80, 160 МГц	1, 2, 4, 8, 16 (опціонально) МГц
Максимальна кількість станцій, що адресуються на точку доступу	2007	8191
Однопоточний діапазон швидкостей передачі даних MCS	6,5–150 Мбіт/с (802.11n, Wi-Fi 4)	150 кбіт/с — 86,7 Мбіт/с
Типовий радіус покриття	Приблизно 100 м	Більше 1 км, що в 10 разів більше за дальність дії (в порівнянні з 802.11n при 20 МГц). В 1000 разів більша площа, в 1000 разів більший об'єм передачі даних (в порівнянні з 802.11n при 20 МГц)
Покращення бюджету каналу (канал 1 МГц)	–	15–24 дБм

¹ Фактично протокол 802.11ah використовує ліцензійну смугу частот у субгігерцевому ISM-діапазоні 900 МГц, але конкретна частота залежатиме від країни та регіону. — Прим. пер.

надавати привілеї підмножині STA для передачі їх даних, тоді як інші змушені переходити в сплячий режим, буферизувати нетермінові дані або виконувати те й інше.

- Extended maximum basic service set (BSS) — розширений максимальний набір базових послуг у режимі очікування: цей режим збільшує допустимий період простою STA до 5 років.
- Hierarchical traffic indication mapping (TIM) — ієрархічне відображення індикації трафіку: більш ефективне кодування TIM по групах дозволяє економити ефірний час радіомаяків.
- Short MAC headers — короткі заголовки MAC: ця опція скорочує накладні витрати заголовка, час в ефірі та енергоспоживання, а також звільняє спектр.
- Null data PHY protocol data units (NPD) — блоки даних протоколу PHY з нульовими даними: ця опція вбудовує MAC-подібні ACK/NAK на рівні PHY для зменшення часу передачі і скорочує споживання потужності.
- Short beaconing — короткі радіомаяки: короткі (обмежені) радіомаяки часто відправляються для синхронізації STA, тоді як повні радіомаяки відправляються значно рідше.
- BSS coloring — забарвлення BSS: надані кольори вказують групи BSS для конкретної точки доступу, тоді як STA може ігнорувати інші кольори.
- Bidirectional TXOP (BDT) (раніше відомий як швидкісні кадри) — двонаправлений TXOP: ця опція зменшує кількість звернень до середовища передачі, коли STA прокидається, щоб виявити наявність кадрів висхідного та низхідного каналів для передачі. BDT використовує індикацію відповіді у полі сигналу (SIG) блоку даних протоколу фізичного рівня (PPDU), щоб збільшити захист тривалості TXOP від сторонніх передач STA.

Ефективні режими сну та управління живленням протоколу IEEE 802.11ah забезпечують багаторічну роботу від батареї для IoT-пристроїв, а також широкий спектр гнучких варіантів організації живлення та вибору типорозміру батареї — від пристроїв IoT з малим радіусом дії, що працюють на батареях типу «таблетка», до більш потужних та великих батарей, які можуть забезпечити зв'язок на відстань понад 1 км. Вузькосмугові сигнали протоколу IEEE 802.11ah з його субгігерцевою частотою проходять далі і з меншим енергоспоживанням, що дозволяє переда-

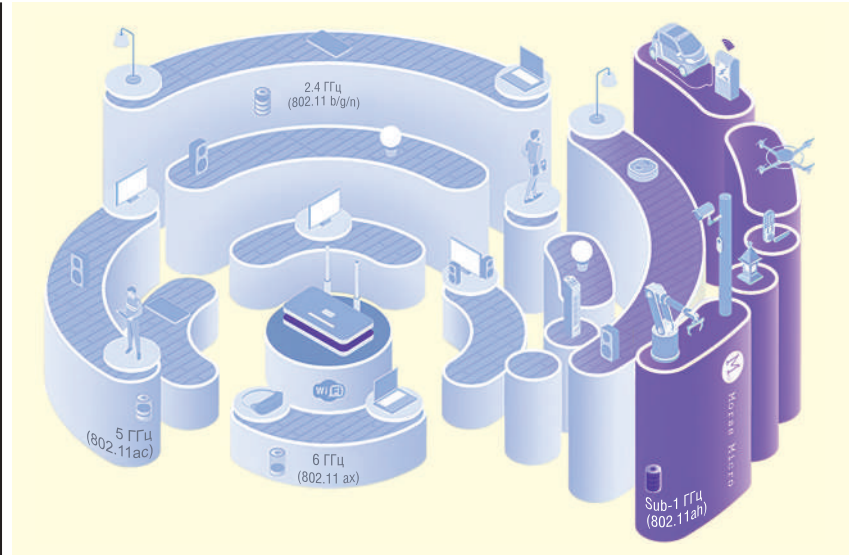


Рис. 1. Традиційні протоколи Wi-Fi 4/5/6 використовують для збільшення пропускної спроможності вищої частоти і ширшу смугу пропускання. Протокол Wi-Fi HaLow з частотою менше 1 ГГц оптимізує поширення, збільшуючи охоплення, підвищуючи потужність та кількість підключених абонентів

вати більше бітів на одиницю енергії, ніж протоколи традиційного Wi-Fi у діапазонах 2.4 та 5 ГГц.

В результаті для чипа Wi-Fi HaLow в порівнянні зі звичайним чипом Wi-Fi потрібно значно менше електричної потужності. У той час як вищі швидкості передачі даних традиційного Wi-Fi дозволяють користувачам передавати поточкову передачу відео високої чіткості та швидко завантажувати великі файли, використовуючи широкі канали в діапазонах 2.4, 5 та 6 ГГц, але ефективна відстань для цих підключень Wi-Fi невелика, і вони швидко розряджають батареї. Таким чином, необхідна часта зарядка або заміна батарей, а в ідеалі підключення до електромережі. З цих причин Wi-Fi HaLow є найкращим вибором для пристроїв IoT з обмеженим енергоспоживанням, яким необхідно досягати великих відстаней і працювати від батареї протягом багатьох років, забезпечуючи пропускну здатність даних зі швидкістю кілька мегабіт в секунду.

ВЕЛИКА ЗОНА ПОКРИТТЯ

З агалом стандарт 802.11 охоплює надзвичайно широкий діапазон частот від субгігерцевого до діапазону міліметрових хвиль (mmWave). Однак HaLow — це перший стандарт Wi-Fi, що працює безпосередньо в частині спектра субгігерцевого діапазону частот, що не ліцензується. Він пропонує швидкості передачі даних від сотень кілобіт до

десятьків мегабіт за секунду і на відстані від десятків метрів до більш ніж 1 км.

Сигнали Wi-Fi HaLow з частотою, що лежить нижче 1 ГГц, використовують більш вузькі канали від 1 МГц і вище порівняно з самими вузькими каналами 20 МГц, призначеними для традиційного Wi-Fi (рис. 1). Це 20-кратне масштабування коефіцієнта ширини смуги каналу (завдяки нижчому тепловому шуму в каналі) призводить до збільшення можливостей каналу на 13 дБ. У порівнянні з традиційним Wi-Fi в смузі 2.4 ГГц частоти, що лежать між 750 і 950 МГц, вже за своєю природою, самі по собі, забезпечують додаткові 8-9 дБ бюджету лінії зв'язку, що пов'язано зі зниженням втрат при їх поширенні в вільному просторі. Крім того, до протоколу Wi-Fi HaLow додано оптимізовану для діапазоном схему модуляції та нові методи кодування (MCS10), що додатково забезпечує збільшення каналу ще на 3 дБ.

В цілому Wi-Fi HaLow, у порівнянні з традиційним 2.4 ГГц IEEE 802.11n (Wi-Fi 4), забезпечує покращення бюджету каналу до 24 дБ. Перевага бюджету каналу зв'язку HaLow ще більше збільшується порівняно з протоколами 802.11ac (Wi-Fi 5) та 802.11ax (Wi-Fi 6/6E), які використовують 5 та 6 ГГц. Це пов'язано з їх вищою частотою і пропускну здатністю, тобто ширшою смугою пропускання.

Сказане пояснює, чому без використання мережних ретрансляторів-розширювачів сигнали Wi-Fi HaLow поширюються вдесятеро далі, ніж традиційний Wi-Fi. Наприклад, камери з

батарейним живленням можна розмістити у зручніших місцях за межами стін будинку або гаража. Системами освітлення можна керувати з однієї точки доступу, незалежно від того, чи знаходиться світильник у приміщенні або на вулиці в саду.

Надання кінцевим користувачам бездротового рішення IoT, яке досягає сотень метрів, причому без додаткових ретрансляторів-розширювачів або використання дорогих тарифних планів стільникового зв'язку, є ключовою конкурентною перевагою протоколу 802.11ah. Завдяки дальності дії переваги Wi-Fi HaLow збільшують діапазон покриття для «розумних» будинків та мереж «розумних» міст, дозволяючи користувачам керувати пристроями IoT на відстані понад 1 км, що виходить за межі досяжності традиційних протоколів Wi-Fi.

НАЙКРАЩЕ ПРОНИКНЕННЯ СИГНАЛУ

Існує загальне правило: що нижче частота, то далі поширюється електромагнітна хвиля і краще вона проникає крізь перепони. Сигнали Wi-Fi HaLow із частотою менше 1 ГГц можуть проходити крізь стіни та інші перешкоди легше, ніж це можливо при використанні діапазону частот традиційного Wi-Fi.

Різноманітність будівельних матеріалів і планувань будинків і комерційних будівель також менш впливає на сигнали HaLow в діапазоні нижче 1 ГГц, ніж протоколи Wi-Fi в діапазонах 2.4 і 5 ГГц. Чудове проходження сигналу Wi-Fi HaLow через стіни та будівлі допомагає скоротити кількість звернень у службу підтримки та повернення продуктів, які іноді заважають датчикам та системам, що використовують звичайний Wi-Fi (рис. 2).

Для корекції відбиття та усунення проблем багатопроменевого приймання Wi-Fi HaLow використовує модуляцію на основі мультиплексування з ортогональним частотним поділом (orthogonal frequency-division multiplexing, OFDM). Виробники пристроїв можуть бути впевнені в надійному підключенні HaLow до точки доступу, незалежно від того, чи знаходяться їх продукти всередині або зовні, у підвалі або на горищі будинку. Ця гнучкість позбавляє додаткових витрат і складності постачання пропрієтарних концентраторів або мостових пристроїв для задоволення потреб всього наявного розмаїття домашніх архітектур.

ШИРОКОМАСШТАБОВАНЕ РІШЕННЯ

Одна точка доступу Wi-Fi HaLow може адресувати до 8191 пристроїв, що більше ніж у чотири рази, ніж може запропонувати традиційна точка доступу Wi-Fi. Цього достатньо для підключення кожної світлодіодної лампи окремо, перемикача світла, інтелектуального дверного замка, моторизованої віконної штори, термостата, детектора диму, сонячної панелі, камери безпеки або будь-якого мислимого пристрою «розумного» будинку в найближчому майбутньому.

Типові домашні маршрутизатори Wi-Fi зазвичай підтримують лише десятки пристроїв, у той час як одна точка доступу Wi-Fi HaLow може стати масштабованою платформою для встановлення тих чи інших додаткових пристроїв, організації служб безпеки та управління комунальними послугами.

Деякі варіанти сигналізації скорочують накладні витрати, необхідні для управління та контролю великої кількості пристроїв HaLow. Це зводить до мінімуму колізії та звільняє ефір для

активних пристроїв, щоб передавати більше даних із максимально можливою MCS швидкістю. MCS (Modulation and Coding Scheme) — індекс модуляції та схеми кодування у вигляді цілого числа від 0 (відповідає найповільнішому, але надійному режиму) до 31 (найшвидший, але чутливий до радіоперешкод режим). Індекс визначає тип модуляції радіочастоти, швидкість кодування (coding rate), захисний інтервал (guard interval) та ширину каналу.

Як і у випадку з традиційним Wi-Fi, HaLow може автоматично масштабувати смугу пропускання залежно від цілісності сигналу та відстані до точки доступу. Попередньо певні значення MCS підтримують смугу пропускання 150 кбіт/с–40 Мбіт/с для однопоточних продуктів з однією антеною з використанням ширини каналу 1–8 МГц, також, але з використанням додаткового каналу зі смугою пропускання 16 МГц досяжна пропусканна здатність 80 Мбіт/с.

Топологія мережі Wi-Fi HaLow «зірка» — це чудове проникнення, широке покриття і величезна ємність, які разом розширюють можливості підключення і дозволяють відмовитися від складних у розгортанні мереж, що мають обмежену пропускну здатність, а також спрощують установку мережі і зводять до мінімуму сукупну вартість володіння.

ПЕРЕВАГИ СПЕКТРА ЧАСТОТ З ВИСОКОЮ СТІЙКІСТЮ ДО ПЕРЕШКОД, ЩО НЕ ВИМАГАЄ ЛІЦЕНЗУВАННЯ

Як і традиційний Wi-Fi, що працює в діапазонах частот 2.4, 5 і 6 ГГц, Wi-Fi HaLow дозволяє кінцевим користувачам володіти своїм обладнанням та застосовувати неліцензійний спектр радіочастот субгігерцевого діапазону в смузі 750–950 МГц. Цей спектр за-

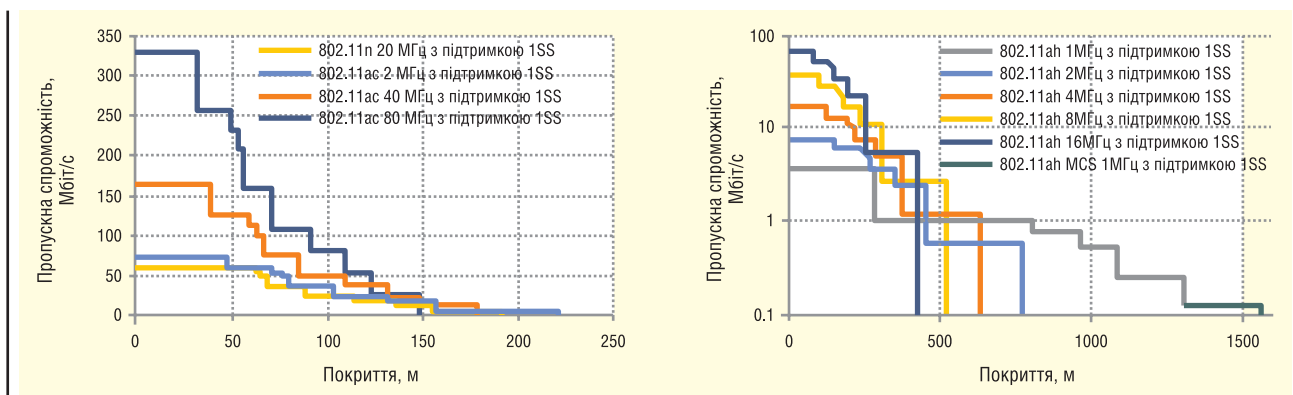


Рис. 2. Порівняння пропускну спроможності 802.11n/aс (ліворуч) та 802.11ah (праворуч) залежно від дальності дії [1]

безпечує для Wi-Fi HaLow максимальну потужність передачі та робочі цикли, але варіюється залежно від тієї чи іншої країни світу. Наприклад, доступний спектр HaLow для Північної та Південної Америки становить 902–928 МГц, а в Європі — це 863–868 МГц.

Працюючи в діапазоні ISM (ISM — industrial, scientific, and medical, тобто промисловість, наука та медицина), Wi-Fi HaLow може використовувати різні смуги пропускання каналів: 1, 2, 4, 8 та 16 МГц. Чим вужча смуга пропускання, тим далі можуть поширюватися сигнали. Дані передаються в пакетах, розподілених по множині підканалів з використанням, як було зазначено, модуляції OFDM, що підвищує продуктивність у складних радіочастотних середовищах, особливо при сильних перешкодах від інших радіопристроїв. Кодування з прямим виправленням помилок (Forward error-correction, FEC) також створює додатковий захист та можливість відновлення пакетів, забезпечуючи надійні з'єднання.

БЕЗПЕКА ТА СУМІСНІСТЬ

Протокол Wi-Fi HaLow, як і інші версії IEEE 802.11 Wi-Fi, є безпечним бездротовим протоколом. Він підтримує останні вимоги Wi-Fi для аутентифікації (WPA3) та шифрування AES бездротового трафіку (over-the-air, OTA) зі швидкостями передачі даних, що дозволяють безпечно оновлювати прошивку OTA.

Як і інші типи Wi-Fi, HaLow є всесвітньо визнаним стандартом (IEEE 802.11ah), який визначає, як підключені пристрої аутентифікуються та безпечно обмінюються даними. Постачальники обладнання, що використовують Wi-Fi HaLow, можуть бути абсолютно впевнені, що їхні продукти та мережі взаємодіятимуть відповідно до рекомендацій щодо розвитку Wi-Fi Alliance. Оскільки це частина стандарту IEEE 802.11, то мережа Wi-Fi HaLow може співіснувати з мережами Wi-Fi 4, Wi-Fi 5 та Wi-Fi 6, не впливаючи на їх радіочастотні характеристики.

ПЕРЕХІД НА РІДНУ МОВУ З IP

Всі мережі IoT вимагають підтримки Інтернет-протоколу (IP) для підключення до хмари. Оскільки Wi-Fi HaLow є стандартом Wi-Fi 802.11, він забезпечує вбудовану підтримку TCP/IP. Ця вбудована можливість IP означає, що для підключення до Інтернету речей не потрібні про-

пріетарні шлюзи або мости. Всі пристрої, підключені до маршрутизатора з підтримкою Wi-Fi HaLow для прямого доступу в Інтернет, хмарних сервісів та управління даними IoT, можуть використовувати транспортні протоколи IPv4/IPv6.

ЕФЕКТ ВІД ВИКОРИСТАННЯ WI-FI HALOW — РОЗШИРЕННЯ ОХОПЛЕННЯ ТА МОЖЛИВОСТЕЙ ІНТЕРНЕТУ РЕЧЕЙ

Перевантаження мережі, обмеження діапазону та вище енергоспоживання традиційного Wi-Fi, а також обмежена кількість пристроїв, які можуть бути підключені до однієї точки доступу, більше не є прийнятним підходом для сучасного світу підключених пристроїв IoT. Ці обмеження перешкоджають появі нових бізнес-моделей, орієнтованих на Інтернет речей, у різних галузях, які вимагають більшого діапазону, більшої ємності та більш гнучких варіантів управління батареями та живленням при мінімальних витратах на розгортання.

Як протокол великої дальності Wi-Fi HaLow підтримує програми IoT не тільки всередині, але й поза приміщеннями, за межами досяжності Wi-Fi 2,4 і 5 ГГц, такі як віддалені камери відеоспостереження, мережі контролю доступу і навіть дрони. Інші потенційні варіанти використання — великі громадські місця, спортивні арени, торгові та конференц-центри, де одна точка доступу Wi-Fi HaLow може замінити багато традиційних точок доступу Wi-Fi, усуваючи необхідність у складних мережах, спрощуючи встановлення та знижуючи сукупну вартість володіння.

Індустріальний Інтернет речей, датчики управління процесами, автоматизація будівель, склади та магазини роздрібної торгівлі також входять до багатьох інших застосувань, які отримують вигоду з цього протоколу з малим енергоспоживанням на великій відстані, що дозволяє досить великому числу пристроїв залишатися підключеними до все більш автоматизованого світу. Тут Wi-Fi HaLow виділяється серед традиційних протоколів 802.11 своєю розширеною зоною дії, енергоефективністю, ємністю та універсальністю.

Література:

I. Baños-Gonzalez V., Shahwaiz Afaqui M., Lopez-Aguilera E., Garcia-Villagas E. IEEE 802.11ah: A Technology to Face the IoT Challenge. www.mdpi.com/1424-8220/16/11/1960 **CN**

ГОЛОСОВА ІНТЕЛЕКТУАЛЬНА ТЕХНОЛОГІЯ

Компанія **NXP® Semiconductors** анонсувала технологію *Voice Intelligent Technology (VIT)*, перший у галузі повноцінний локальний пакет програмного забезпечення для керування голосом із безкоштовними онлайн-засобами навчання, незалежно від обсягів виробництва кінцевих додатків. Заснована на розширеному глибокому навчанні, VIT — це готова до використання бібліотека, яка надає користувачу зовнішній аудіоінтерфейс дальньої дії з підтримкою до трьох мікрофонів, постійно ввімкнений механізм (модуль) слів і голосових команд.

Безкоштовні онлайн-інструменти NXP дозволяють клієнтам самостійно визначати слово пробудження та голосові команди, використовуючи просте введення тексту та без потреби в голосових записках.

Запровадження надійного голосового керування на пристрої може бути надзвичайно складним. Розробникам потрібно буде не тільки вибрати відповідне обладнання, але й орієнтуватися у складному програмному забезпеченні обробки мовлення. Для цього часто потрібно керувати зовнішнім блоком формування аудіопроектів, а також окремою системою пробудження та голосовими командами, часто від окремих постачальників програмного забезпечення. VIT спрощує розробку, надаючи комплексне гнучке програмне рішення, яке можна налаштувати для конкретних додатків, і яке включає всі елементи, необхідні для створення високоточного рішення для голосового керування на пристрої.

Бібліотека VIT поставляється як готова до використання бібліотека в MCUXpresso SDK, а онлайн-навчальний інструмент доступний на сайті.

«Голос — це інтерфейс вибору для багатьох розумних технологій, у тому числі для розумних будинків, розумних міст та розумних заводів. Зменшивши складність розробки голосових додатків, ми полегшили та пришвидшили вихід на ринок нового голосового керування на пристрої», — стверджує Джо Ю, віце-президент і генеральний менеджер лінії продуктів IoT Edge Processing, NXP.

www.nxp.com

Створення безпечних та надійних електричних систем із оптичними ізоляторами

Олександр Зейніков

Незалежно від свого призначення будь-які електричні системи мають три основні робочі характеристики: надійність, безпеку та тривалість експлуатації. Ключову роль у забезпеченні безпеки відіграє наявність ізоляції у тих місцях, де можливий контакт оператора та компонентів, що діють під високою напругою. У свою чергу, для створення умов надійності та тривалості експлуатації керуючі компоненти системи необхідно належним чином захищати від електромагнітних завад, шумів та стрибків напруги. Одним із рішень, здатних забезпечити всі три першорядні параметри системи, є оптопари компанії Broadcom, які не мають аналогів за характеристиками серед ізоляторів, виготовлених за іншими технологіями.

ВСТУП

Розробник системи повинен уважно підходити до вибору типу ізолятора та враховувати багато факторів. Насамперед це, звичайно, безпека обладнання та персоналу. Промислові системи зазвичай працюють з напругою завбільшки від кількох сотень до кількох тисяч вольт, у той же час безпечний поріг для людини складає всього 42 В DC або 60 В AC. Якщо ж йдеться про електронні компоненти та мікросхеми, тут поріг знижується ще помітніше і становить кілька десятків вольт. Даної напруги цілком достатньо для виведення компонента з ладу, якщо її прикласти до контактів, не розрахованих на таку величину.

Найвірніший спосіб забезпечити безпеку оператора та електронних компонентів — обмежити область їх роботи областю безпечної наднизької напруги (safety extra-low voltage) навіть у тих системах, де для коректної роботи потрібна висока напруга. Завдання пристрою ізоляції полягає у розділенні області наднизької напруги та області з високою напругою, а також організація безпечного зв'язку між цими областями передачі

даних і сигналів управління. Ізолятори повинні мати можливість працювати з постійною прикладеною напругою, що становить кілька сотень вольт.

Після вибору типу ізоляції слід звернути увагу на її рівень. Існує три основні рівні ізоляції: функціональний, базовий та посилений (або подвійний). Функціональний рівень ізоляції необхідний для коректної роботи обладнання, але недостатній для безпеки оператора. Базовий рівень забезпечує захист оператора від ураження електричним струмом, доки ізолюючий бар'єр залишається неушкодженим. Посилений (подвійний) рівень ізоляції створює захист користувача, навіть якщо один із шарів ізоляції пошкоджений. Згідно з регламентами, всі електричні ланцюги, що йдуть від областей з високим рівнем напруги до електронних ланцюгів і керують інтерфейсами, з якими користувач може мати прямий контакт (перемикачі, дисплеї, конектори), повинні бути оснащені ізоляторами з подвійним рівнем ізоляції. Один із головних параметрів, що визначають рівень ізоляції, — довжина шляху витоку через ізоляційний матеріал, або, простіше, величина ізоляційного бар'єру, який

необхідно подолати високовольтному сигналу, щоб досягти оператора.

ІНШІ ФАКТОРИ, ЩО ВПЛИВАЮТЬ НА ХАРАКТЕРИСТИКИ СИСТЕМИ

Одним з параметрів, що не належить до безпеки користувача, але, тим не менш, впливає на функціонал і надійність системи, є електромагнітна сумісність (ЕМС). Важливо, щоб наведення від ізолятора не впливали на інші сигнали на лініях, а сам ізолятор мав рівень сприйнятливості до синфазного шуму та радіаційних впливів, достатній для безпомилкової передачі даних та сигналів управління.

Розробник системи також повинен враховувати ймовірність механічного зношування, яке з часом може призвести до виведення з ладу ізолятора через відмову внаслідок впливу електростатичного розряду (ESD) або стрибка напруги. Найчастіше ESD виникає через накопичення статичного заряду на операторі, який контактує з інтерфейсом системи, а причиною стрибків напруги зазвичай стає зміна споживаної потужності системи або перемикання індуктивних навантажень. Дані процеси, як правило, не призводять до повного виходу обладнання з ладу, але можуть спровокувати пошкодження компонентів, що позначиться на працездатності та надійності системи.

Постійні наведення високої напруги на ізолятор також можуть призвести до відмови обладнання, особливо в тих випадках, коли в ізоляційному шарі є незаповнені порожнечі, здатні накопичувати і виплескувати заряд, що провокує руйнування матеріалу. Для забезпечення безперебійного функціонування системи протягом усього терміну служби

розробник повинен враховувати тривалість та можливість роботи ізолятора при постійному впливі на нього високої напруги.

ТЕХНОЛОГІЇ ІЗОЛЯЦІЇ

Існує кілька основних типів ізоляції, доступних розробникам електронних систем. Один із найпростіших типів – ємнісна ізоляція. Суть її полягає у використанні конденсатора для запобігання вирівнюванню рівнів напруги з обох боків ізолюючого бар'єру. У ємнісній ізоляції, яка також називається зв'язком по змінному струму (ACcoupling), через ізоляційний бар'єр передаються лише зміни у рівнях логічного сигналу, але не самі рівні. До недоліків ємнісної ізоляції слід віднести залежність точності сигналу, що передається, від змін в електростатичному полі між пластинами конденсатора.

Індуктивна (магнітна) ізоляція використовує еквівалент трансформатора, який встановлюється в ланцюг і складається з котушок, що приймають і передають сигнал, та між якими є магнітний зв'язок. Такий магнітний зв'язок може передавати лише високочастотні сигнали змінного струму. Для застосування індуктивної ізоляції в ланцюг повинні бути включені пристрої для кодування та декодування логічних сигналів в сигнали змінного струму і назад.

Радіочастотна ізоляція (RF isolation) використовує кодування типу «включено/вимкнено» (on-off) для перетворення логічних сигналів в радіоімпульси, які за допомогою магнітного або ємнісного зв'язку посилюються від передавача до приймача. Цей підхід вирішує проблему збереження логічних рівнів постійного струму, але для його реалізації потрібна наявність додаткових компонентів, здатних працювати з радіочастотним діапазоном.

Оптична ізоляція — ізоляція на основі оптопар, які, як випливає з назви, використовують оптичний зв'язок передачі інформації через ізоляційний бар'єр. Сигнали, що приходять на вхід ізолятора, модулюють інтенсивність світлодіода, у той час як фотодіод, розташований на іншій стороні ізоляційного бар'єру, реагує на оптичний сигнал, вмикаючи та вимикаючи вихідний транзистор. На відміну від інших типів ізоляції, в яких присутні магнітні або електростатичні поля, передача сигналу в оптичному ізоляторі можлива з більшою величиною ізоляційного бар'єру.

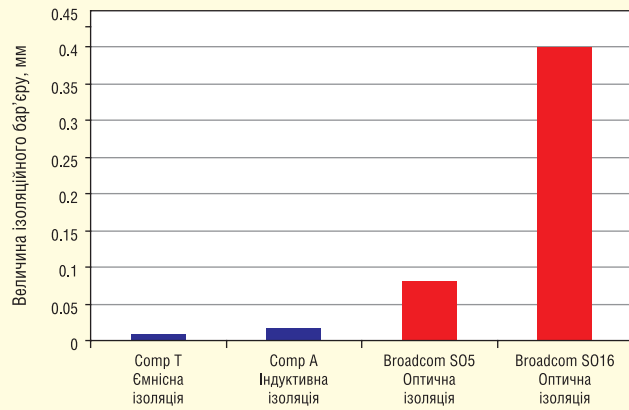


Рис. 1. Ізолятори Broadcom на основі оптопар мають величину ізоляційного бар'єру на порядок вище, ніж інші типи ізоляторів, що робить їх більш безпечним та надійним рішенням

ПОРІВНЯННЯ ТЕХНОЛОГІЙ: ВЕЛИЧИНА ІЗОЛЯЦІЙНОГО БАР'ЄРУ

Відсутність необхідності використання магнітних чи електростатичних полів передачі сигналу дає компонентам з урахуванням оптичної ізоляції істотні переваги, виражені зокрема величиною ізоляційного бар'єру. Як показано на рисунку 1, шлях витоку для оптичних ізоляторів може бути на один або кілька порядків більшим, ніж у ізоляторів на основі інших технологій. Наприклад, типовий пристрій, виконаний у вигляді КМОП-мікросхеми і використовує індуктивний тип ізоляції з тонкою стрічкою поліімиду, що грає роль ізоляційного матеріалу, має довжину шляху витоку через ізоляційний матеріал близько 17 мкм. Для ємнісної ізоляції та ізоляції на основі радіочастотної розв'язки, де як ізоляційний матеріал використовується діоксид кремнію (SiO₂), величина ізоляційного бар'єру досягає 8 мкм. У той же час, ізоляційний бар'єр у ізоляторів, побудованих на основі оптопар, становить 80–1 000 мкм.

Величина ізоляційного бар'єру стає важливим параметром при виборі ізолятора: чим тонший шар ізоляції, тим більша напруга присутня на ізоляторі під час електростатичного розряду, а також нормальної роботи пристрою. Велика величина бар'єру оптичних ізоляторів допомагає знизити навантаження на ізолятор, забезпечуючи більш тривалий термін служби компонента і підвищуючи надійність системи в цілому. Крім того, величина ізоляційного бар'єру відіграє важливу роль у безпеці пристрою. Згідно з існуючими регламентами, загальна товщина ізоляційного бар'єру з твердого матеріалу повинна становити мінімум 400 мкм, а для за-

безпечення посиленої ізоляції потрібна також наявність двох окремих шарів. Оптопари Broadcom здатні забезпечити три шари ізоляції із загальним значенням товщини ізоляційного бар'єру, що дорівнює 400 мкм, тоді як інші типи ізоляторів можуть запропонувати, як правило, лише один такий шар.

ПОРІВНЯННЯ ТЕХНОЛОГІЙ: СПРИЙНЯТЛИВІСТЬ ДО СИНФАЗНОГО ШУМУ

Оскільки для передачі інформаційних сигналів через ізоляційний бар'єр оптичні ізолятори використовують світловий потік, а не електростатичні або магнітні поля, вони демонструють більшу стійкість до синфазного шуму, ніж ізолятори інших типів. Це легко продемонструвати, спровокувавши виникнення високовольтного імпульсу між опорним заземленням вихідного та вхідного сигналу ізолятора. Вихідний сигнал із оптичного ізолятора Broadcom практично не змінюється при застосуванні синфазної напруги з величиною піку 1 кВ і демонтує лише невеликі відхилення від нормальних значень (рис. 2), тоді як ізолятор на основі технології радіочастотної розв'язки тимчасово виходить з ладу. Результати вимірювань демонструють, що ізолятор, побудований на основі оптопар, має більш ніж у 10 разів більшу стійкість до синфазних перехідних процесів, ніж ізолятор, реалізований за технологією радіочастотної розв'язки.

ПОРІВНЯННЯ ТЕХНОЛОГІЙ: ЕМІ

При оцінці рівня впливу електромагнітних імпульсів (ЕМІ, EMI) на роботу

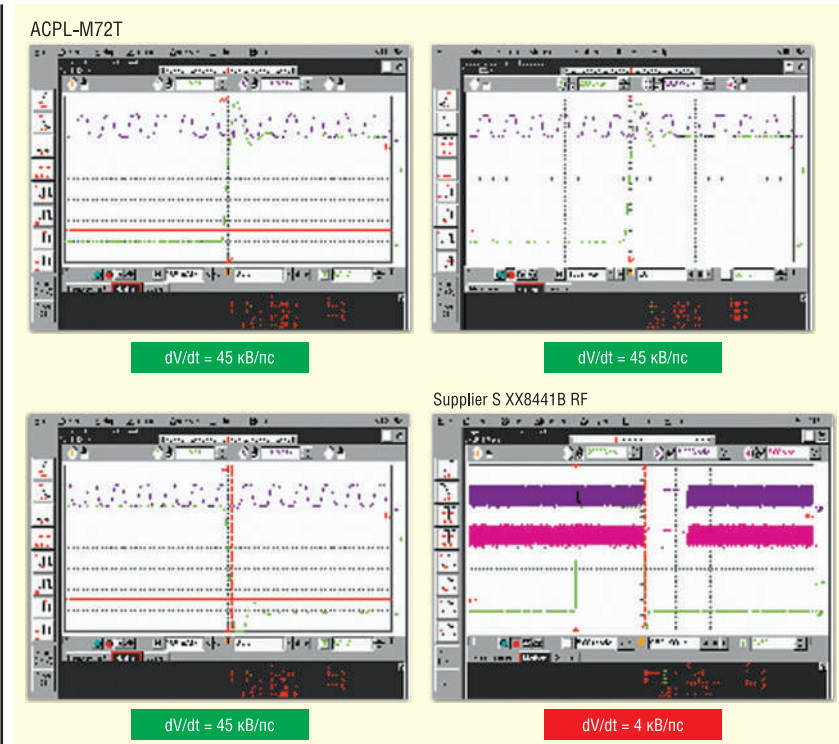


Рис. 2. Синфазний шум, викликаний стрибком високої напруги, створює ледь помітну пульсацію на виході оптичного ізолятора, але повністю відключає ізолятори на основі радіочастотної розв'язки

пристрою слід враховувати два основні аспекти: рівень захисту пристрою від випромінюваних ззовні EMI та рівень EMI, який генерує сам пристрій. Як і у ви-

падку зі сприйнятливістю до синфазного шуму, використання оптичного зв'язку дає ізоляторам на базі оптопар перевагу перед компонентами, виконаними

за іншими технологіями. Одним із способів перевірки чутливості до електромагнітних імпульсів, що зустрічаються в промислових умовах, є подача струму високого значення на котушку індуктивності, розташовану навколо ізолятора, що призведе до появи широкопasmового шуму з електричними та магнітними складовими. На рисунку 3 показано результати перевірки чутливості для оптичного та індуктивного ізолятора: оптичний ізолятор зберігав працездатність при EMI зі значенням до 15 А/30 нс, тоді як індуктивний ізолятор вийшов з ладу на рівні до 2.8 А/30 нс.

Для вимірювання рівня випромінюваних ізолятором електромагнітних завад застосовується кільцева антена того ж типу, що й у попередньому досвіді, але підключена до аналізатора спектра, а не джерела напруги. Аналізатор спектра забезпечує вимірювання величини і частоти електромагнітного випромінювання, що генерується. Як бачимо на рисунку 4, оптичні ізолятори створюють значно менше електромагнітних завад, ніж інші ізолюючі пристрої.

ПОРІВНЯННЯ ТЕХНОЛОГІЙ: СТІЙКІСТЬ ДО ВИСОКОЇ НАПРУГИ

Стрибки напруги стають джерелом синфазного шуму та EMI, які можуть впливати на точність сигналу, що передається через ізоляційний бар'єр, а також на цілісність самого бар'єру. Як наслідок, для відповідності вимогам безпеки та надійності ізолятор повинен бути стійким до сплесків напруги та електростатичних розрядів. Щоб перевірити, наскільки цей ізолятор відповідає IEC 60747-5-5, достатньо прикласти до ізолятора напругу завбільшки 10 кВ. Якщо пробій стався за напруги 10 кВ або нижче, ізолятор не рекомендується використовувати у високовольтних схемах. На рисунку 5 видно, що оптичні ізолятори здатні витримувати стрибки напруги понад 20 кВ, хоча інші ізолятори виходять з експлуатації вже за напруги 4–10 кВ.

ПОРІВНЯННЯ ТЕХНОЛОГІЙ: ТРИВАЛІСТЬ РОБОТИ ПРИ ДІЇ ВИСОКОЇ НАПРУГИ

Ще один важливий параметр ізолятора — тривалість його роботи до настання відмови під впливом високої напруги. Для встановлення даної

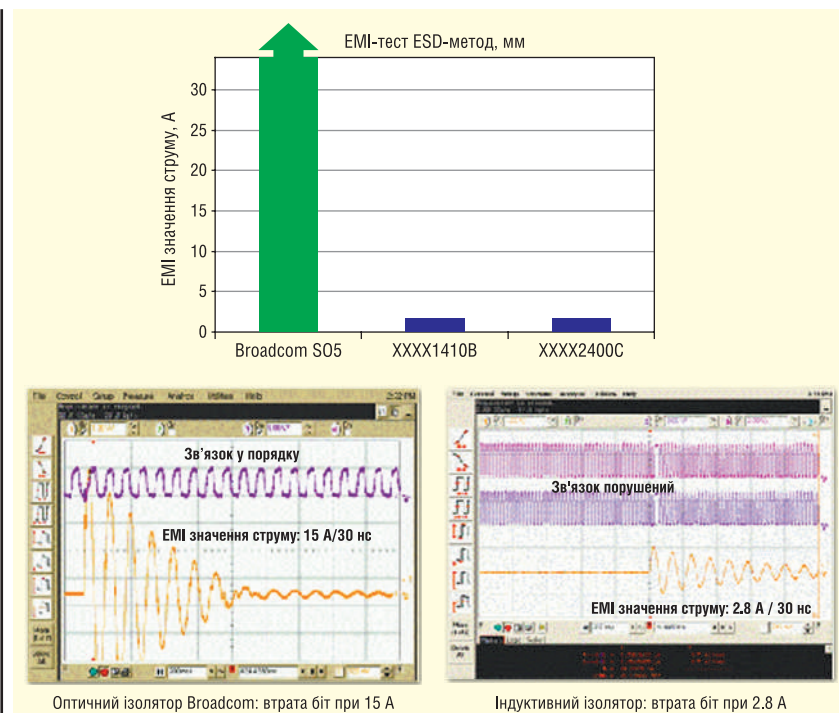


Рис. 3. Оптичні ізолятори практично не піддаються впливу електромагнітних завад на рівнях, які набагато перевищують рівні, які здатні витримати індуктивні ізолятори

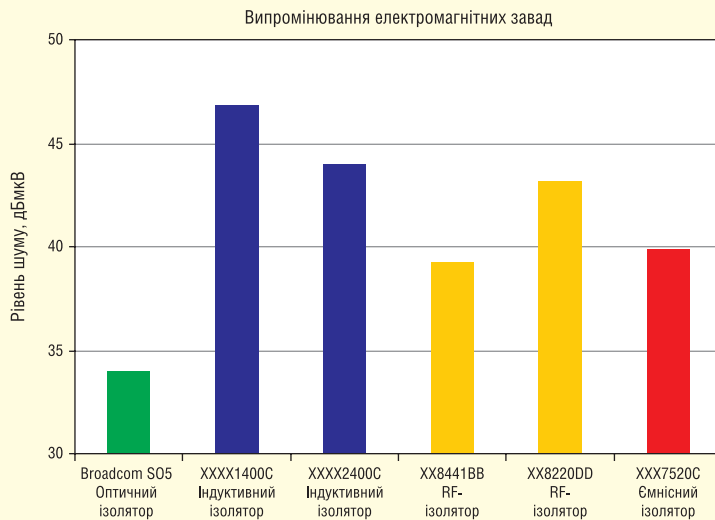


Рис. 4. Оптичні ізолятори випромінюють набагато менше електромагнітних завад, ніж інші типи ізоляторів



Рис. 5. Оптичні ізолятори набагато стійкіші до стрибків напруги, ніж ізолятори, створені з урахуванням інших технологій

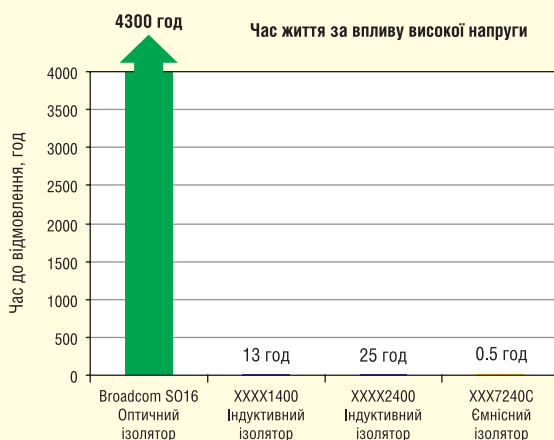


Рис. 6. При дії постійної високої напруги більшість ізоляторів швидко виходять з ладу, проте оптичні ізолятори зберігають працездатність протягом кількох тисяч годин

протягом кількох тисяч годин, причому без жодного збою.

ВИСНОВОК

Оптичні ізолятори забезпечують високий рівень захисту та надійності в електричних системах. Даний тип ізоляторів слабо піддається впливу ЕМІ, а також сам практично не генерує електромагнітних завад, на відміну від ізоляторів, виготовлених за іншими технологіями. Крім того, оптичні ізолятори стійкіші до пошкоджень або збоїв внаслідок високовольтних перехідних процесів і можуть зберігати працездатність протягом тривалого періоду. Ізолятори на основі оптопар мають чітко визначену специфікацію відповідності стандартам безпеки, яка дозволяє використовувати їх практично в будь-яких застосуваннях. Оптопари Broadcom повністю відповідають даній специфікації, що робить їх чудовим рішенням для створення безпечних та надійних електричних систем. **СН**

МІКРОСХЕМА ТОЧКИ ДОСТУПУ 4x4 802.11BE WI-FI 7

Компанія **Broadcom Inc.** є світовим технологічним лідером, який проектує, розробляє та постачає широкий спектр програмних рішень для напівпровідників та інфраструктури.

Нещодавно компанія анонсувала мікросхеми 4x4 IEEE 802.11be Wi-Fi 7 MAC/PHY/радіосистема на чипі (SoC) — BCM67263 і BCM6726. Мікросхема BCM67263 підтримує пропускну здатність каналу 320 МГц лише в діапазоні 6 ГГц. Пристрій BCM6726 може працювати в діапазонах 2.4 ГГц, 5 ГГц і 6 ГГц вибірково до пропускну здатності каналу до 160 МГц. Користуючись перевагами Multi-Link Operation (MLO) на додаток до багатокористувацьких технологій, таких як OFDMA (низхідний і висхідний канали) і MU-MIMO (низхідний і висхідний канали), BCM67263 і BCM6726 забезпечують кращу пропускну здатність, менші затримки та високу надійність для споживача пристроїв домашньої мережі.

Ці пристрої можна використовувати в маршрутизаторах, житлових шлюзах, розширювачах Wi-Fi і конфігураціях сітки Wi-Fi.

www.broadcom.com

величини до ізолятора прикладається напруга, близька за значенням до напруги пробою, і вимірюється час роботи першої відмови пристрою. Як бачимо

на рисунку 6, індуктивні та ємнісні ізолятори досить швидко виходять з ладу, тоді як оптичні ізолятори Broadcom здатні працювати при дії високої напруги

ЕЛЕКТРОННІ КОМПОНЕНТИ

від провідних виробників світу,
зі складу та під замовлення

Гнучкі ціни



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

ТОВ Аіронікс КОМПОНЕНТС



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

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

м. Київ, вул. О. Довженко, 3
www.aironics.com.ua
www.aironics.prom.ua



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

ОПЕРАТИВНІ ПОСТАВКИ
ЕЛЕКТРОННИХ КОМПОНЕНТІВ

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



Розробка ВЧ та НВЧ приладів

від ідеї та тех-завдання до прототипа та виробництва

- Аналогова та цифрова частини
- Інтеграція з корпусними елементами
- Вимірювання та тести

Допомога у виборі компонентної бази.
Допомога у проходженні тестів та CE/FCC сертифікації.

61003, Харків
пл. Конституції, 1, оф. 85-05

+380 577 300 650
info@ag-rf-engineering.de
www.ag-rf-engineering.com

ТОВ «НВП АСТЕРА»
директор **ТЕРЕЙКОВСЬКИЙ**
Артем Семенович
Ферритові осердя,
аксесуари, індуктивні елементи

61072, Україна, Харків, вул. Тобольська 42 оф. 222
тел.: 057-757-2859, факс: 057-728-1808
050-323-3763, 067-575-4440, 068-616-7777
http://www.ferrite.com.ua E-mail: ferrite@ukr.net

SONION, Amphenol LTW, TE, DARKCO, OSRAM, SAMSUNG, MORNSUN

- Електронні компоненти
- Світлодіодне освітлення
- Друковані плати
- Контрактне виробництво



bis_electronics @BISelectronic bis@bis-el.kiev.ua | bis-el.com
+38 (044) 490-35-99

Представництво „Вайдмюллер Интерфейс
ГмбХ & Ко. КГ“

вул. Здолбунівська, 7Д (корп. Ж), оф. 414
02081 Київ
Т +38 044 574 97 20
F +38 044 574 97 20

info.ua@weidmueller.com
www.weidmueller.com



VD MAIS

ДИСТРИБ'ЮЩА +
КОНТРАКТНЕ
ВИРОБНИЦТВО

03061, Київ,
вул. Михайла Донця, 6
тел.: +380 (44) 201 02 02
info@vdmals.ua
www.vdmals.ua

- електронні компоненти
- електромеханічні компоненти
- промислова автоматизація
- вимірювальні прилади
- обладнання та матеріали для виробництва електроніки
- друковані плати
- контрактне виробництво

VD MAIS

Контрактне
виробництво
електроніки
(за стандартом IPC-A-610)

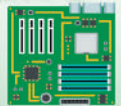


- автоматизований монтаж SMD-компонентів (до 2.5 млн на добу)
 - автоматизована селективна пайка компонентів, що монтується у отвори
 - монтаж прототипів друкованих плат
 - 100% автоматичний оптичний контроль якості монтажу
 - виготовлення дослідних зразків виробів
 - дрібносерійне та серійне виробництво
 - більш ніж 10-річний досвід контрактного виробництва
 - гарантія якості продукції
- Сертифікація на відповідність вимогам стандартів ISO 9001:2015, ISO 14001:2015, IATF 16949:2016 та ISO 13485:2016.
Ціни – оптимальні

Україна, 03061, Київ, вул. Михайла Донця, 6
тел./факс: (044) 201-0202, (057) 719-6718,
(0562) 319-128, (032) 245-6478, (048) 734-1954,
info@vdmals.ua; www.vdmals.ua

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.ua



тел./факс: (+380) 44-501-9335
(+380) 67-508-0229
E-mail: sales@temys.kiev.ua

WINTEX

(044) 5036112
(067) 2983455
Професійний ремонт (050) 2665517



- Електронні компоненти
- Модулі та датчики для розробників електроніки
- Модулі для ремонту ТВ, комп'ютерів, планшетів, комп'ютерів
- Роз'єми та конектори
- Розробка елементів альтернативної енергетики
- Ремонт усіх видів електроніки та побутової техніки

03150, Київ, вул. Велика Васильківська, 80

www.wintex.com.ua

Gamma
радіокомпоненти

XTD, MICROCHIP, FUZETEC, NORDIC, I.F., SINCOM, HOPERF, nuvoTon, RAYSTAR, SJK, BLAZE, Trxcom

ГАММА УКРАЇНА
www.microchip.ua

(056) 745-46-65, (0562) 36-07-92
(044) 494-35-72, (044) 223-84-63
sale@microchip.ua



Прямі поставки від виробника



Комплексні поставки електронних комплектуючих

- Автоматика
- Датчики
- Джерела живлення
- Компоненти і модулі СВЧ
- Мікросхеми
- Рознімачі
- Реле
- Системи бездротового зв'язку
- Системи відображення інформації
- Хімічні джерела струму

38 (044) 239-96-06
38 (044) 498-01-68

www.grandelectronic.com
office@grandelectronic.com

Бульвар Вацлава Гавела, 8
м. Київ, 03124

DIAS ELECTRONICS

Професійна розробка електронних пристроїв і ПЗ

Розробка, створення, впровадження програмно-апаратних рішень за завданнями замовника

www.dias-electronics.com

+38 (063) 152-20-80

03113, Україна, м. Київ,
вул. Полковника Шутова, 9-А
e-mail: info@dias-electronics.com



ekzot.com.ua

Промислові комп'ютери та монітори, модулі вводу виводу

ask@ekzot.com.ua
Київ, М. Донця, 6, оф. 102 Б
+38 (050) 807-97-62
+38 (068) 972-95-70

ЕКЗОТ

ДП «Гальванотехніка» ПАТ «Київський завод "Радар"»

ТОВ «НВЦ друкованих плат»

Виготовлення друкованих плат:

- одно-, дво- та багатшарових 3^{го}- 5^{го} класів складності;
- жорсткогнучких друкованих плат, гнучких кабелів;
- друкованих плат на металі (алюміній, мідь).

Швидке виготовлення (від 3-х днів).

Висока якість. Оптимальне співвідношення ціна/якість. Послуги по монтажу плат.

03680, м. Київ, вул. Предславинська, 35
тел.: (044) 592-5467, 528-2068, 528-3656

http://plata.com.ua
order@plata.com.ua



Науково-Впроваджувальна Фірма "Гранато"

Тел / факс 044-453-44-04, 453-44-06
E-mail: granat@granato.kiev.ua, office@granato.kiev.ua
http://www.granato.com.ua, http://www.multiport.com.ua
м. Київ, вул. Вацлава Гавела, 8, для листів: 03067, а/с 63, НВФ Гранато

СИСТЕМИ ВІДБРАЖЕННЯ, ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ ТЕЛЕКОНФЕРЕНЦІЙ, МУЛЬТИПОРТОВІ ПЛАТИ, ЕЛЕКТРОННІ ГОДИННИКИ, КОНТРОЛЕРИ

Інформаційні транспортні системи

Розробка та виготовлення на основі електромеханічних та світлодіодних індикаторів.

Бортові комп'ютери, передні, бокові, задні, внутрішні табло, аудіоінформатори.



ВСЕ ДЛЯ СИЛОВОЇ ЕЛЕКТРОНІКИ ТА АВТОМАТИКИ



діоди, тиристори, триаки, IPM, IGBT;
давачі струму та напруги LEM;
запобіжники BUSSMANN;
конденсатори електролітичні ВНС, плівкові, високовольтні;
резистори середньої та великої потужності;
напівпровідникові, електромеханічні реле;
вентилятори радіальні та центробіжні;
обладнання для шафів;
кінцеві вимикачі, давачі тиску, рівня, вологості;
світлові та звукові сигналізатори;
UF та IR промислові лампи PHILIPS.

02090, м. Київ, вул. Сновська, 20
E-mail: kiev@dacpol.ua, www.dacpol.ua
Т./ф: (+380 44) 501 93 44, GSM: (+380 50) 447 39 12

Незалежний постачальник електронних компонентів



- Швидкі терміни поставок (до 7 днів)
- Безкоштовна доставка по Україні
- Більш ніж 6 млн. товарів в каталозі

www.evocom.ua

email: info@evocom.ua
тел. (044) 520-19-13

ЕЛЕКТРОНІКА • ЕЛЕКТРОТЕХНІКА • АВТОМАТИКА

CHIP NEWS

НАУКОВО-ТЕХНІЧНИЙ ЖУРНАЛ
ВИДАЄТЬСЯ З 2001 РОКУ

03061, Київ,
просп. Відрадний, 10

(044) 490 74 99
(044) 490 74 30
info@chipnews.com.ua
www.chipnews.com.ua


**EUROCOM
COMPONENTS**

дистрибуція електронних компонентів
контрактне виробництво

08298, смт. Коцюбинське
вул. Пономарьова, 7

Тел. +38 044 33 44 575

www.eurocom-c.com

E-mail: info@eurocom-c.com



IMRAD
Електронні компоненти

**Електронні компоненти
провідних світових виробників
зі складу в Києві та на замовлення**

Інформаційна та технічна підтримка

- 03113, Україна, м. Київ
вул. Шутова 9, офіс 211
- Тел. (044) 495-21-09, 490-91-59
факс: (044) 495-21-10
E-mail: imrad@imrad.kiev.ua
www.imrad.com.ua



ІНКОМТЕХ-ПРОЕКТ

електронні компоненти
електромеханічні компоненти
контрактне виробництво
промислова автоматизація

Україна, 04050, м. Київ,
вул. Герцена, 17-25, оф. 9
e-mail: office@i-p.com.ua
www.i-p.com.ua

тел.: (+38 044) 230-01-81
(+38 044) 486-25-37
факс: (+38 044) 483-95-11



ОЛЬВІЯ

ТОВ "КОМПАНІЯ ОЛЬВІЯ"
Корпуса пластиків. Клавіатура плівкова.
Кабельно-провідникова продукція.

[044] 399.7550 [044] 503.3323 KORPUS.KIEV@GMAIL.COM
ICO# 266-782-777

03113, м. Київ, вул. Дружківська, 12 А korpus.kiev.ua



MASTEK
VISSA GROUP

м. Київ, пров. Радищева, 3, офіс 307
тел. +38 (044) 451-60-80 info@mastek.com.ua
моб. +38 (067) 919-51-15 www.mastek.com.ua

Авторизований дистриб'ютор
NXP, STMicroelectronics, AMPELON, WeEn в Україні



Інтегральні Комплексні Системи

Контрактне виробництво електроніки

+38 (050) 469-12-07 info@incos.kiev.ua www.incos.kiev.ua

Київ, вул. Бориспільська, 9, корпус 111

Радіодеталі зі складу – 35 000 найменувань!



**Усе для розробки,
ремонту та виробництва
електроніки!**

Від резистора до мікропроцесора, радіомонтажний
інструмент та вимірювальні прилади, підбір аналогів
та консультації.

www.ims.kh.ua

тел.: (057) 732 04 50, 732 01 76

e-mail: imskharkov@gmail.com

(073) 757 25 21 (22, 23)

we who are not as others



Телефон:
044 501 90 90

Web:
info@cogito.com.ua



**КОМПАНІЯ
СК-ТЕХНО**
контрактне виробництво

- контрактне виробництво
- друковані плати
- монтаж
- комплектація

<http://spcb.com.ua>
e-mail: info@spcb.com.ua
тел./факс: (044) 369-53-67

<http://melsys.com.ua>



- контрактне виробництво електроніки
- монтаж і виготовлення друкованих плат
- виготовлення трафаретів

ТОВ "Мелсис"
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

Microdis Electronics GmbH
Rheinauer Straße 1
68766 Hockenheim
Germany

MICRODIS

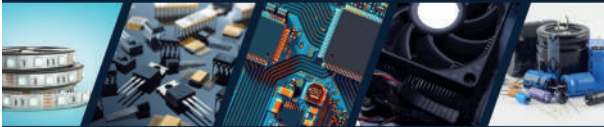
Дистриб'ютор
електронних
компонентів

www.microdis.net

Роман Прокопець
Менеджер з продажу

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

ОПТОВИЙ ПРОДАЖ ЕЛЕКТРОННИХ КОМПОНЕНТІВ



μ'S
MICROS

Польща | 30-198 Краків | вулиця Е. Годлевського 38
тел. | WhatsApp | Telegram | VIBER | IMO: +48 601 480 223
тел. +48 12 636 95 66 ext. 146 SKYPE: pavlogrd

PCBA

КОНТРАКТНИЙ
ВИРОБНИК ЕЛЕКТРОНІКИ
ПІД ЗАМОВЛЕННЯ

+38 044 338 97 73
info@pcba.com.ua
pcba.com.ua

вбудовані процесорні плати

COMexpress
Qseven
PC-104
ETX



промислові комп'ютери та системи

www.proxis.ua
+380(44)4675977
+380(44)5995977

РАДІОМАГ
МЕРЕЖА МАГАЗИНІВ РАДІОДЕТАЛЕЙ

Львів Київ Харків
Одеса Дніпро

www.rcscomponents.kiev.ua
+38(044)299-77-55

- мікросхеми
- транзистори
- діоди і діодні містки
- GSM, GPS, GPRS
- паяльне обладнання
- вимірвальне обладнання
- блоки живлення
- рознімачі
- інструмент
- пасивні компоненти
- батарейки та акумулятори
та багато іншого

sales@radiomag.com.ua

Партнерство
в електроніці

МИКРО
ПРИБОР



03142, м. Київ, вул. Кржижановського, 4, офіс 101
Тел.: 044 392-93-86, Факс: 044 392-93-87
www.micropribor.com.ua sales@micropribor.com.ua

www.otladka.com.ua

- Автоматизований SMD монтаж друкованих плат
- Фрезерування панелей, корпусів та пластику
- 3D-друк

+38 050 447-12-58 +38 098 661-97-97

ФОП Сариєв Р.Б.

PCBTUT

Зручний онлайн РСВ-калькулятор
мінімальне замовлення - 5 шт.

Постачання:

- друковані плати FR-4;
- алюмінієві друковані плати;
- трафарети для паяльної пасту;
- паяльна паста;
- припій.

Сайт: pcbтut.com
e-mail: pcbтut@pcbтut.com
+38 (067) 674 99 14

RADIODETAILI

- Паяльне обладнання
- Резистори
- Вентилятори
- Світлодіодне обладнання
- Трансформатори
- Акумулятори
- Реле
- Блоки живлення
- Конденсатори
- Мобільні аксесуари

КУПУЙ ВИГІДНО

radiodetaili.com.ua



ЕЛЕКТРОНІКА • ЕЛЕКТРОТЕХНІКА • АВТОМАТИКА

CHIP NEWS

НАУКОВО-ТЕХНІЧНИЙ ЖУРНАЛ

ВИДАЄТЬСЯ З 2001 РОКУ

03061, Київ,
просп. Відрадний, 10

(044) 490 74 99
(044) 490 74 30
info@chipnews.com.ua
www.chipnews.com.ua

Mi
Pa

Pe
Te



RAINBOW TECHNOLOGIES

Офіційний дистриб'ютор і постачальник в Україні:

Rainbow Technologies
www.rainbow.com.ua

MICROCHIP, MAXIM, INFINEON, WINBOND, ALTERA, ROHM, LG, LEDIL, VISHAY, ANALOG DEVICES, TEXAS INSTRUMENTS

04112, Україна, м. Київ, вул. Дегтярівська, 62, оф. 46
тел./факс: +38 (044) 520-04-77 (78, 79)
e-mail: cov@rainbow.com.ua



Rich EL
electronic components

ТОВ "РИЧЕЛ"

Поставки електронних компонентів
Асортимент зі складу та технічна підтримка

вул. Семена Скляренка, 9, оф. 201
04073, м. Київ
info@rekkon.kiev.ua
http://rekkon.kiev.ua

тел.: +38 (044) 490-92-50
факс: +38 (044) 494-27-08



SEA ІННОВАЦІЇ ТА ЕФЕКТИВНІСТЬ

30 років на ринку

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 оптоелектроніка • Обладнання для енергетики • Електротехнічна продукція
Кабельно-провідникова продукція • Обладнання для промислової автоматизації
Вимірювальні прилади • Паяльне обладнання та матеріали для пайки • Сонячна енергетика

Виробництво: Світлофори та технічні засоби керування дорожнім рухом • Паркувальне обладнання і системи • Система управління міським освітленням • Система диспетчеризації ліфтів
Плати зі світлодіодами для LED освітлення • WIM - системи динамічного зважування транспортних засобів

Послуги: Комерційні розробки • Проектування та виготовлення друкованих плат
Контракне виробництво • Модернізація та обслуговування паркінгів

Харків: kharkiv@sea.com.ua Дніпро: dnipro@sea.com.ua Львів: lviv@sea.com.ua



SIMCom
a SUSEMIOT company

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

evgenij.rakhno@simcom.com

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

МП "РЕМІКС"
www.remix.com.ua
Офіційний дистриб'ютор в Україні

FineTek, Venanzetti Vibrazioni, Nivelko

Пропонує датчики рівня рідин та сипучих матеріалів, датчики тиску, різноманітні регулятори, панель метри, пневмо та електровібратори

Тел/факс +38 04563 99-760, 99-926, 99-775

Committed to excellence
CONSULT | COMPONENTS | LOGISTICS | QUALITY

RUTRONIK
ELECTRONICS WORLDWIDE

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

Михайло Єлізаров
представник в Україні
Тел. +038 (050) 312 01 07
Mail: Mykhaylo.Yelizarov@rutronik.com

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



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!

Україна, Київ
вул. Є. Сверстюка, 13, оф. 903
тел. 044 239 20 65 багатокан.
e-mail: kiev@symmetron.ua
www.symmetron.ua

Симметрон
Україна

Електронні компоненти зі складу
Пряма офіційна дистриб'юція

НВП ТЕХНОСЕРВІСПРИВІД
ВСЕ ДЛЯ СИЛОВОЇ ЕЛЕКТРОНІКИ 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



тел./факс: (044) 587-65-33 (34)
+38 (098) 477-85-58
+38 (050) 477-85-58

**Контрактне виробництво
Друковані плати
Виготовлення, монтаж, комплектація**

www.t-t.kiev.ua

e-mail: info@t-t.kiev.ua

TRANSFER MULTISORT ELEKTRONIK

понад **800**
ПРОВІДНИХ ВИРОБНИКІВ

понад **160 000**
ПРОДУКТІВ

- ЕЛЕКТРОННІ КОМПОНЕНТИ
- ЕЛЕКТРОТЕХНІКА
- ВИМІРЮВАЛЬНІ ПРИЛАДИ
- ПРОМИСЛОВА АВТОМАТИКА
- ІНСТРУМЕНТИ

tme.eu

Łódź, Poland, +48 42 645 54 44, export@tme.eu

ELFA DISTRELEC

ПОСТАВКИ ЕЛЕКТРОННИХ КОМПОНЕНТІВ
ЗІ СКЛАДУ У ЄВРОПІ.

ТОК ЕЛЕКТРОНІКС
ОФІЦІЙНИЙ ДИСТРИБЮТОР В УКРАЇНІ



04080, Київ
вул. Віконтя Хвойки, 18/14, офіс 710

тел./факс +38 (044) 451-48-34
e-mail: office@west-l.com
www.west-l.com



phoenixcontact.ua

People · Power · Partnership

Kateryna Bodaratska
Business Manager



HARTING
Polska
Sp. z o.o.

ul. Duńska 11 · 54-427 Wrocław, Polska · kateryna.bodaratska@HARTING.com
☎ +48 (71) 352 81 71 int. 9 · mobile +48 607 078 277 · www.HARTING.com

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



Полімерні трафарети для SMD монтажу

www.trafaret.net.ua
e-mail: order@trafaret.net.ua
тел. 063-851-12-76, 098-871-58-76



Електронні компоненти
Електротехнічна продукція
Технологічне обладнання, інструмент, матеріали

1-й пов., вул. Попудренка, 22/14, м. Київ
тел. 044 495 75 75, моб. 068 496 75 75

www.filur.net
office@filur.net

ЕЛЕКТРОНІКА • ЕЛЕКТРОТЕХНІКА • АВТОМАТИКА

CHIP NEWS

НАУКОВО-ТЕХНІЧНИЙ ЖУРНАЛ
ВИДАЄТЬСЯ З 2001 РОКУ

03061, Київ,
просп. Відрадянний, 10

(044) 490 74 99
(044) 490 74 30
info@chipnews.com.ua
www.chipnews.com.ua

«CHIP NEWS» в 2022 році

Обсяг — не менше 100 сторінок повнокольорового друку А4. Задача до друку — 1-е число місяця виходу журналу.
Періодичність — 10 номерів в рік. Тираж — 1 500 примірників.

Терміни подачі: статті — до 5-го числа кожного місяця, що передує виходу журналу;
реклама — до 10-го числа кожного місяця, що передує виходу журналу.



РОЗМІРИ РЕКЛАМНИХ БЛОКІВ

1 сторінка (200×270 мм)*
2/3 сторінки (112×240 мм)
1/2 сторінки (170×120/83.5×240 мм)
1/3 сторінки (54×240/112×120/170×80 мм)
1/4 сторінки (112×100 мм)
1/6 сторінки (54×120/112×60/127×55 мм)
«Візитка» (80×40 мм)

* Для усунення неточностей при обрізанні, розмір реклами, яка подається, повинен бути 210×280 мм (дообрізний формат з урахуванням «вильотів» по 5 мм з кожного боку, які краще заповнити основним фоном реклами). Значимі символи (текст, логотип та інші елементи оформлення, які гарантовано не повинні потрапити під обрізку) не повинні підходити до краю сторінки менш ніж на 10 мм (післяобрізний формат сторінки 200×270 мм).

Редакція журналу «CHIP NEWS» приймає до розміщення тільки повнокольорові рекламні блоки, розміри яких повинні в точності відповідати розмірам, наведеним у таблиці.

Текст реклами повинен бути виключно українською мовою.

ЦІНА ПЕРЕДПЛАТИ НА 2022 рік

звичайна	—
для студентів і бібліотек	—

* ПДВ не обкладається.

ПРИ ОФОРМЛЕННІ ПЕРЕДПЛАТИ НА ЖУРНАЛ ЧЕРЕЗ РЕДАКЦІЮ, ПОЧИНАЮЧИ З БУДЬ-ЯКОГО НОМЕРА, НЕОБХІДНО:

переказати на вказаний нижче розрахунковий рахунок ТОВ «Булавіа-Посад л.т.д.» суму, згідно з ціною на передплату.

Для фізичних осіб обов'язково передати факсом (044) 490-74-99 або на email: peredplata@chipnews.com.ua, або вислати поштою на адресу редакції заповнений талон чи копію платіжного доручення, або іншого документа, який підтверджує оплату.

Банківські реквізити:

р/р № UA403510050000026008572392300 в ПАТ «УкрСиббанк», м. Київ
МФО 351005, код по ЄДРПОУ 21500793, ІПН 215007926586

Отримувач: ТОВ «Булавіа-Посад л.т.д.»

Призначення платежу: Передплата на журнал «CHIP NEWS»

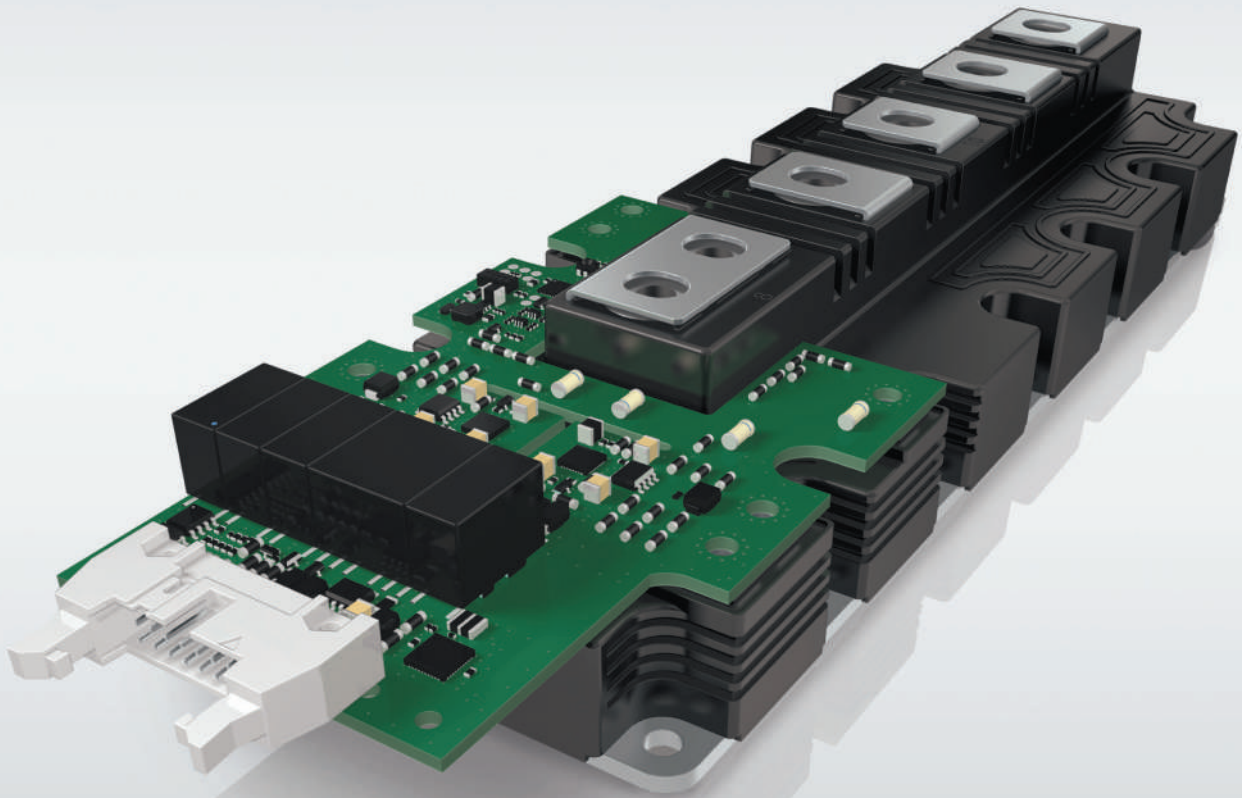
Тут також вкажіть точну поштову адресу (індекс обов'язково), телефон, П.І.Б. особи, відповідальної за передплату.

ВИМОГИ ДО РЕКЛАМНИХ І АВТОРСЬКИХ МАТЕРІАЛІВ

Рекламні матеріали приймаються **тільки українською мовою в форматах «.eps» або «.tif» (300 dpi)**. Кольорова модель — **СМУК**. Сумарний процент фарб — не більше 300%. Якщо в форматі «.eps» є впроваджені растрові зображення, вони також повинні мати роздільну здатність 300 dpi і кольорову модель СМУК. **Всі шрифти обов'язково повинні бути переведені в криві.**

Авторські матеріали. Текст статті приймається в форматі «.doc» (Microsoft Word). Всі рисунки повинні бути підготовлені **тільки в форматах «.eps»**, фотографії — в форматі **«.tif» (300 dpi)**, кольорова модель — **СМУК** і надані окремими файлами. Кожний рисунок повинен мати підписувачий підпис і посилання на нього в статті. Якщо в статті є таблиці, то кожна таблиця повинна мати назву, посилання на неї в статті і надаватись в форматах «*.doc» або «*.xls».

Нове покоління модулів SEMITRANS 10 і цифрових драйверів SKYPER PRIME



Діапазон потужностей 500 кВт–1,5 МВт

Модулі IGBT в стандартному промисловому корпусі

Висока стійкість до термоциклювання

Цифровий драйвер із наднизьким рівнем джиттеру та вихідним струмом 50 А

Два ізольованих канали передачі сигналів сенсорів з ШІМ-модуляцією

Волоконно-оптичний інтерфейс (опціонально)



Моторні
приводи



Альтернативні
джерела енергії



Перетворювачі
потужності



Електротранспорт

www.semikron.com

shop.semikron.com



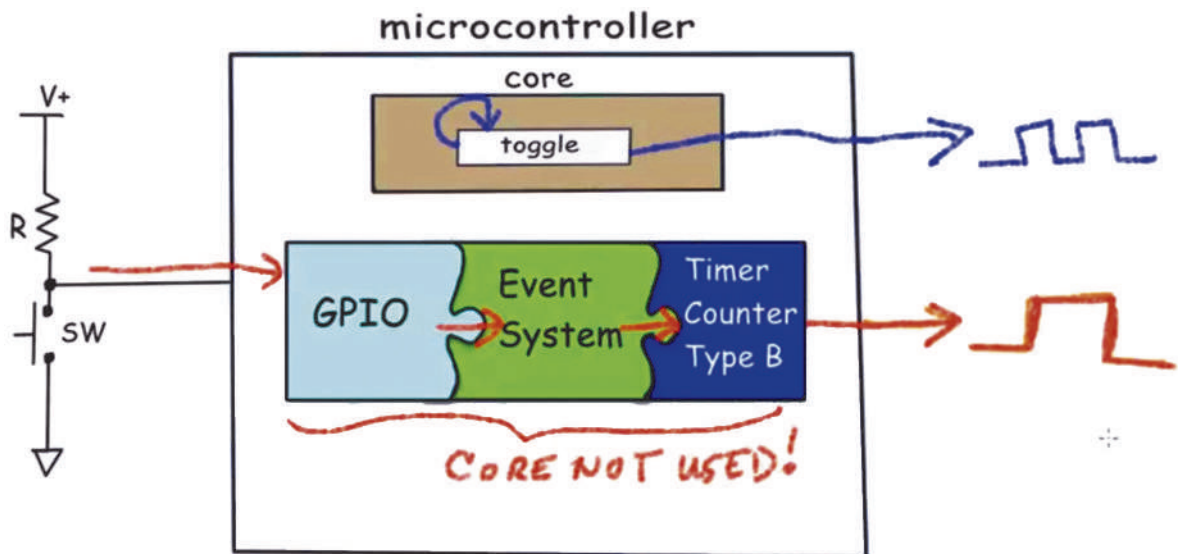
Нова концепція побудови 8-бітних мікроконтролерів від Microchip

Розумні периферійні модулі, що взаємодіють між собою без втручання ядра

- Спрощується та прискорюється розробка нових проектів
- Зменшується розмір програмного коду
- Знижується енергоспоживання завдяки зниженню навантаження на ядро
- Сумісна робота периферії забезпечується навіть під час перебування ядра в режимі сну
- Можливість роботи системи на частоті, що перевищує тактову частоту мікроконтролера в десятки разів
- Просте налаштування за допомогою



Atmel | START



Реалізовано в нових сімействах

- ATTINY202-214 / 402-417 / 804-817 / 1604-1617 / 3216-3217
- ATMEGA808-809 / 1608-1609 / 3208-3209 / 4808-4809
- PIC18FXXQ10 / PIC18(L)FXXK42 / PIC18(L)FXXK83 / PIC16(L)F184XX

Докладніше на microchip.com/cip

Rainbow Technologies

www.rainbow.com.ua

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

ted@rainbow.com.ua