

CHIP NEWS

ПРОКСИС™
Обладнання і ПЗ
для Industry 4.0



ПРОКСИС

www.proxis.ua
sales@proxis.ua

+380 (44) 467-5977
+380 (44) 599-5977

- Матричні комутатори PCIe Fabric ... стор. 10
- Керування приводами двигунів ... стор. 14
- Еволюція архітектури SmartNIC ... стор. 22

- Проєктування НВЧ-плат ... стор. 34
- Аналіз режимів модуля ... стор. 52
- З'єднувачі для ВОЛЗ ... стор. 63



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



**ПОЄДНУЄМО ВАШІ ІДЕЇ
З НОВІТНІМИ ТЕХНОЛОГІЯМИ**

№ 06 (216), 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. Відрадий, 10тел./факс: (044) 490-74-99,
(044) 490-74-30E-mail: info@chipnews.com.ua
http://www.chipnews.com.ua

Передплатний індекс за каталогом
ДП «Преса» (Укрпошта) — 21934

Передплата і доставка по Україні
за каталогами провідних
передплатних агентів

© «CHIP NEWS».

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

ЗМІСТ

НОВИНИ

Новини світу електронних компонентів. 4

МЕРЕЖІ, СИСТЕМИ, АПАРАТУРА

Вінсент Хаше (Vincent Hache)

Реалізація всього потенціалу технології GPU Direct Storage
за допомогою IC комутаторів PCIe Fabric 10

НА ДОПОМОГУ РОЗРОБНИКУ

Ясуфумі Якіхана (Yasufumi Kakihana),

Мічінарі Асаї (Michinari Asai)

Прецизійний вимір струму та напруги для керування
приводами двигунів за допомогою оптронів 14Що таке Arduino та чому вона стала
неофіційним стандартом? 18

Скотт Швейцер (Scott Schweitzer)

Еволюція архітектури SmartNIC: перехід
на прискорювачі та зростання ролі ПЛІС. 22

СВІТЛОДІОДНЕ ОСВІТЛЕННЯ

Катерина Ільїна

Світло, колір та оптика LEDiL 28

ДРУКОВАНІ ПЛАТИ

Закарайя Петерсон (Zachariah Peterson)

Що таке проєктування НВЧ-плат? 34

ДЖЕРЕЛА ЖИВЛЕННЯ

Сергій Гладішев

Адаптований переклад українською
та технічне редагування: Ілля КирпатенкоТопології силових каскадів для двонаправленої
передачі енергії? 38

Міхаель Шрутка (Michael Schrutka)

Адаптований переклад українською
та технічне редагування: Ілля Кирпатенко

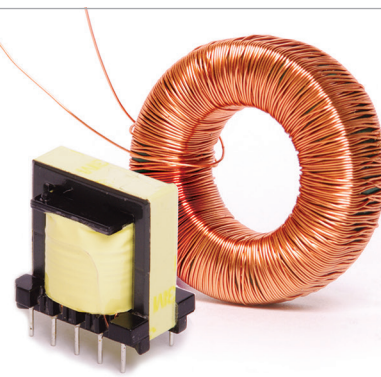
Навіщо джерелу живлення потрібна шина даних? 42

www.adc-team.com

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



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



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

Тимур Улудаг (Timur Uludag)
Адаптований переклад українською
та технічне редагування: Ілля Кирпатенко
Ізольований силовий модуль MagI³C
для керування 24-В промисловою шиною44

Адаптований переклад українською
та технічне редагування: Ілля Кирпатенко
DC/DC-перетворювачі серії NPH
від Murata Power Solutions49

СИЛОВА ЕЛЕКТРОНІКА

Пол Дрекседж (Paul Drexhage),
Арендт Вінтріч (Arendt Wintrich)
Переклад з англійської та коментарі: Андрій Колпаков
Технічний консультант: Тарас Мисак
Вбудований термодавач та «віртуальна»
температура кристала: як використовувати
сенсор для аналізу теплових режимів
силового модуля.52

Дискретні SiC-діоди та транзистори
у корпусах TO-247 від Mitsubishi Electric62

ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНІ КОМПОНЕНТИ

З'єднувачі компанії Fischer Connectors
для волоконно-оптичних ліній зв'язку63

Такуя Фудзімото (Takuya Fujimoto)
Майбутнє з'єднувачів для силових
агрегатів електромобілів66

ЕЛЕКТРОМАГНІТНА СУМІСНІСТЬ

Андрій Горін
Адаптований переклад українською
та технічне редагування: Ілля Кирпатенко
Методи зниження рівня
електромагнітних завад68

ІННОВАЦІЇ

Володимир Рентюк
IsoMOV – інноваційні компоненти
компанії BOURNS для захисту ланцюгів72

Дмитро Огоньков
Інтернет речей зі штучним інтелектом (AIoT)
на основі мікроконтролерів78

ВИМІРЮВАЛЬНА ТЕХНІКА

Ефективне обслуговування та діагностика
військових радіоелектронних засобів.
Рекомендації щодо застосування.80

ВІЗИТКИ85

ІНФОРМАЦІЙНА СТОРІНКА90



Нові енергоефективні ПЛІС PolarFire® SoC із низьким тепловиділенням

Вдвічі більша продуктивність, вдвічі менше споживання потужності

Обчислювальним системам, що працюють у кінцевих вузлах інформаційних та IoT-мереж, потрібні компактні та енергоефективні програмовні пристрої, які мають досить мале теплове навантаження, щоб відмовитися від вентиляторів та інших засобів зниження нагріву, забезпечуючи при цьому надійну обчислювальну потужність. Наші ПЛІС PolarFire® SoC вирішили цю проблему. Вони забезпечують оптимізовану енергоефективність та мають апаратну мікропроцесорну підсистему на базі RISC-V із підтримкою Linux® у режимі реального часу.

ПЛІС PolarFire SoC пропонують єдиний у галузі апаратний процесорний комплекс на базі архітектури RISC-V із 2 мегабайтами кеш-пам'яті L2 та підтримкою зовнішньої пам'яті Low-Power DDR4 (LPDDR4) та мають кращу в галузі логічну матрицю сімейства PolarFire.

Подолайте проблеми з енергоспоживанням, розмірами системи, вартістю та безпекою у всіх сферах застосування, включаючи інтелектуальний машинний зір, автомобільні системи з обмеженнями за температурою, промислову автоматизацію, системи зв'язку, оборонні системи та IoT, де не можна поступитися ані енергоспоживанням, ані продуктивністю.

Ключові особливості

- Апаратна процесорна підсистема реального часу на базі RISC-V
- Зменшення енергоспоживання на 55% при продуктивності 8000 CoreMarks
- Матриця ПЛІС розміром до 460 тисяч логічних елементів
- SerDes-трансивери зі швидкістю до 12,7 Гбіт/с із підтримкою багатьох протоколів зв'язку, включаючи 10-гігабітні стандарти
- Найменші корпуси розміром 11x11 мм



microchip.com/polarfiresoc



Назва та логотип Microchip, а також логотип Microchip є зареєстрованими товарними знаками Microchip Technology Incorporated у США та інших країнах. Решта товарних знаків є власністю їх зареєстрованих власників. © 2022 Microchip Technology Inc. Всі права захищені. MEC2435A-RUS-09-22

Новини світу електронних компонентів

ПАКЕТИ СЕРТИФІКАЦІЇ ФУНКЦІОНАЛЬНОЇ БЕЗПЕКИ ДЛЯ FPGA

Системи, які використовуються в багатьох високонадійних комерційних авіаційних, космічних, оборонних, автомобільних і промислових додатках, вимагають сертифікації відповідно до специфікації функціональної безпеки IEC 61508 Safety Integrity Level (SIL) 3. Щоб зменшити вартість цього процесу та прискорити час виходу розробленої системи на ринок, компанія **Microchip Technology** продовжує сертифікувати свої продукти та інструменти відповідно до галузевих специфікацій безпеки та додала пакети сертифікації IEC 61508 SIL 3 для ще двох своїх System-on-Chip (SoC) FPGA та сімейства FPGA.

«Сімейства FPGA Microchip займають широке та історично міцне становище на промисловому ринку та мають високу надійність та безпеку наших енергонезалежних технологій FPGA, — сказав Брюс Вейер, корпоративний віце-президент бізнес-підрозділу FPGA компанії Microchip. — Ми також маємо довгу історію сертифікації наших продуктів та інструментів відповідно до стандарту IEC 61508 SIL 3 та інших специфікацій безпеки, тому процес сертифікації кінцевого обладнання для наших клієнтів є набагато простішим. Додавання цих пакетів для наших FPGA SmartFusion 2 SoC і IGLOO 2 FPGA з низьким енергоспоживанням є природним розширенням для промислових клієнтів, які розробляють високонадійні продукти для інтелектуальних мереж, контролерів автоматизації, аналізаторів процесів та інших критично важливих для безпеки програм».

Пакети безпеки Microchip створені на основі стійкої до SEU FPGA-матриці на основі Flash-пристроїв SmartFusion 2 і IGLOO 2, і ці FPGA сертифіковані незалежним експертом з оцінки безпеки TÜV Rhineland®. Комплектація включає сертифікацію Libero® SoC Design Suite версії 11.8 від Microchip із пакетом оновлень 4 і відповідних інструментів розробки, а також 28 ядер інтелектуальної власності (IP),

посібники з безпеки, документацію та таблиці даних пристрою. Також надається сертифікат безпеки від TÜV Rhineland.

Microchip також допомагає захистити довгострокові інвестиції клієнтів у сертифікацію, практикуючи орієнтоване на клієнта моральне старіння, коли Microchip зобов'язується створювати пристрої, які використовуються в сертифікованій системі, якщо клієнти хочуть замовити, а Microchip може отримати всі підрозділи пристрою. Це підвищує впевненість у тому, що сертифікацію не потрібно буде повторювати, а також зменшує ризик того, що деталь несподівано вичерпається, що призведе до перепроєктування або зміни потоку інструменту.

На відміну від ПЛІС на основі статичної пам'яті з довільним доступом (SRAM), ПЛІС SmartFusion 2 і IGLOO 2 Microchip на базі флеш-пам'яті усувають потребу в пом'якшенні потрібного модульного резервування (TMR), яке збільшує загальну вартість системи. SmartFusion 2 SoC FPGA є єдиним пристроєм, який інтегрує структуру FPGA, процесор Arm® Cortex®-M3 і програмову аналогову схему. Пристрій IGLOO 2 з низькою щільністю споживає на 50 відсотків менше енергії, ніж подібні пристрої, і ідеально підходить для функцій загального призначення, які вимагають більше ресурсів, ніж можуть забезпечити альтернативні FPGA.

www.microchip.com

РОЗШИРЕННЯ СІМЕЙСТВА НИЗЬКОВОЛЬТНИХ ОПЕРАЦІЙНИХ ПІДСИЛЮВАЧІВ

Компанія **STMicroelectronics** додала до свого сімейства високоефективних 5-вольтових пристроїв здвоєний операційний підсилювач TSV782 з перемноженням смуги пропускання на коефіцієнт підсилення (GBW), рівним 30 МГц, і типовою вхідною напругою усунення 50 мкВ, призначений для високошвидкісного та високоточного перетворення сигналів.

Підсилювач TSV782, здатний працювати за напруги всього

2.0 В, може житися від глибоко розрядженої батареї і, таким чином, продовжувати термін служби такого обладнання, як датчики диму. Крім того, робочий струм, що становить лише 3.3 мА на канал, допомагає розробникам максимально використовувати енергетичний баланс рішень, забезпечуючи додаткові можливості, такі як інноваційні інтелектуальні функції та бездротове підключення. Робота за напруги до 2.0 В також дозволяє операційному підсилювачу використовувати загальну шину живлення з низьковольтними логічними пристроями, що спрощує проектування системи і знижує витрати на матеріали.

TSV782 з rail-to-rail входами та виходом та максимальною швидкістю наростання 20 В/мкс доповнив сімейство аналогічних високоякісних rail-to-rail пристроїв, раніше випущених ST. До них відносяться TSV772 з GBW 20 МГц та максимальною швидкістю наростання 13 В/мкс, а також 50-мегагерцовий TSV792 з робочим струмом 5.5 мА на канал. Інші операційні підсилювачі в портфоліо ST включають TSV772 та супутні продукти. Вони мають вхідний низьковольтний каскад, оптимізований для вимірювання струму нижнього плеча в системах перетворення енергії.

Висока точність сімейства 5-вольтових операційних підсилювачів компанії ST дозволяє розробникам створювати схеми, що не вимагають підстроювання або калібрування в процесі виробництва, заощаджуючи дорогі зовнішні компоненти, такі як прецизійні резистори та потенціометри. TSV782, що недавно з'явився, має максимальний вхідний струм зміщення 300 пА за температури до 125 °C, що дозволяє точно обробляти сигнали високоімпедансних датчиків або використовувати підсилювач у трансімпедансній конфігурації.

Підсилювач TSV782 вже запущений у серійне виробництво. Варіанти корпусів містять SO-8. Корпуси MiniSO-8 і DFN8 розміром 2 × 2 мм є мініатюрними в галузі для операційних підсилювачів такого класу.

www.st.com

ВІДКРИТІ ДЖЕРЕЛА ЖИВЛЕННЯ З КОРЕКЦІЄЮ ПОТУЖНОСТІ

Сімейство LOF 120...450 В з каскадом корекції потужності — нова лінійка відкритих компактних джерел живлення **MORNSUN** середньої та великої потужності. Відмінною рисою даного сімейства є можливість застосування у медичних пристроях із двома способами захисту пацієнта (2xMOPP; тип BF). Ці джерела живлення характеризуються високою густиною потужності: вони компактні і мають малу висоту. LOF відповідають вимогам стандартів EN 62368, EN 60335, EN 61558 і EN 60601-1, мають високу ефективність (ККД до 95%), мають необхідний захист (від КЗ, перевантаження, перевищення вихідної напруги і від перегріву), посилену ізоляцію «вхід-вихід» до 4 000 В та широкий температурний діапазон -40...70/85 °C (із залежністю від потужності). Сімейство LOF призначене для широкого застосування в різних промислових та медичних пристроях, де потрібне надійне, компактне та потужне джерело живлення з гарною EMC. Термін гарантії сягає 5 років.

www.mornsun-power.com

БЕЗПЕЧНЕ ЖИВЛЕННЯ СВІТЛОДІОДНИХ СИСТЕМ

За допомогою джерела електричного живлення Step Power від **Phoenix Contact**, який було розроблено спеціально для світлодіодних систем, сучасні схеми освітлення забезпечуються живленням безпосередньо з шафи керування.

Джерело живлення для світлодіодних систем вирізняється відповідністю стандартам світлодіодного обладнання EN 61437-2-13 і EN 55015 та забезпечує надійну експлуатацію світлодіодних освітлювальних приладів у поєднанні з баластами з регулюванням струму чи, наприклад, світлодіодних стрічок зі схемами опору.

Воно забезпечує покращений клас потужності для кожної розділювальної одиниці. Це оз-

www.chipnews.com.ua

начас ще більшу економію місця у шафі керування за підвищеної потужності. Джерело живлення вирізняється особливо плоским корпусом. Завдяки особливій конструкції, стандартизований відповідно до стандарту DIN 43880, цей блок живлення є ідеальним рішенням для застосування в монтажних розподільниках. Він передбачає можливість гнучкого монтажу: його можна встановити на DIN-рейку або закріпити гвинтами на рівній поверхні. Завдяки вбудованому у корпус заціпкам, для монтажу на рівній поверхні не потрібні додаткові матеріали. Роботу також спрощує технологія з'єднання Push-in, яка не потребує використання інструментів. Крім того, за ідентичного монтажного простору з'єднувальна клема забезпечує вдвічі більше точок з'єднання для простого розподілу і з'єднання між собою потенціалів. Кут 45° гарантує ергономічний електромонтаж під час підключення. До того ж, мінімальні втрати в режимі холостого ходу (0.21 Вт) і високий ККД забезпечують максимальну енергоефективність будівлі. Блоки живлення перетворюють на небажану теплову енергію меншу кількість

електроенергії, ніж інші пристрої. Це не тільки заощаджує енергію, але й подовжує строк служби всіх компонентів у шафі керування.

www.phoenixcontact.com

З'ЄДНУВАЧІ КЛЕМ БАТАРЕЇ ДЛЯ ДОМАШНІХ СИСТЕМ НАКОПИЧЕННЯ ЕНЕРГІЇ

Компанія **Phoenix Contact** представляє на ринку нові з'єднувачі для побутових систем накопичення енергії.

Завдяки механічному кодуванню й колірному маркуванню технології з'єднання Sunclix можна застосовувати в акумуляторних інверторах. З'єднувачі постійного струму із захистом від неправильної полярності запобігають неправильному під'єднанню стандартних технологій з'єднання фотоелектричних установок, а також короткому замиканню клем батареї. Клеми батареї, захищені від дотику, роблять монтаж безпечним навіть у невід'єданому стані. Посріблені контакти гарантують тривалу стабільність технології з'єднання. Крім того, нові вироби відповідають високому ступеню

захисту IP 66, IP 68. З'єднувачі розраховані на силу струму до 35 A (IEC)/50 A (UL) і напругу до 1 500 В постійного струму.

Усі вироби сертифіковані відповідно до стандартів IEC 62852 і UL 6703. Це гарантує, що з'єднувачі відповідають сучасним і майбутнім вимогам.

www.phoenixcontact.com

НОВІ З'ЄДНУВАЧІ ДЛЯ ВИКОНАННЯ КАБЕЛЬНИХ З'ЄДНАНЬ У ФОТОЕЛЕКТРИЧНИХ МОДУЛЯХ

З'єднувачі Sunclix із обтискним з'єднанням для автоматизованого процесу монтажу компанії **Phoenix Contact** забезпечують можливість простого й надійного виконання кабельних з'єднань у фотоелектричних модулях.

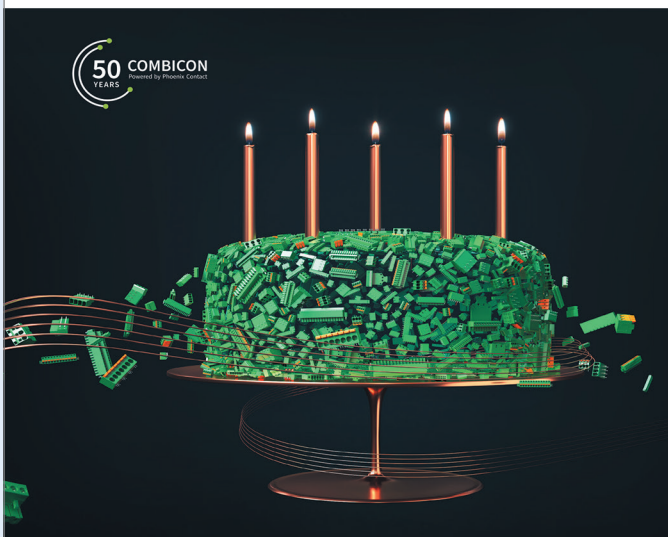
Новинкою є приладовий з'єднувач із системою розблокування. Він забезпечує зручне розблокування без використання спеціальних інструментів і особливо добре годиться для виконання кабельного з'єднання інверторів і розподільних коробок для фото-

електричних установок. Посріблені контакти гарантують тривалу стабільність технології з'єднання. З'єднувачі розраховані на силу струму до 40 A (IEC)/50 A (UL) і напругу до 1 500 В (IEC/UL).

Крім того, нові пружинні з'єднувачі SUNCLIX доступні для поперечного перерізу провідника від 6 до 16 мм² (AWG 10 /AWG 6). Вони також оснащені посрібленими контактами та запатентованою системою розблокування. Пружинні з'єднувачі для великих поперечних перерізів провідника придатні до застосування для об'єднання ланцюгів фотоелектричних модулів і підключення високих струмів. Це допомагає знизити втрати в лінії. З'єднувачі з пружинним з'єднанням розраховані на силу струму до 60 A (IEC)/80 A (UL) і напругу до 1 500 В (IEC/UL).

Усі вироби сертифіковані відповідно до стандартів IEC 62852 і UL 6703. Це гарантує, що асортимент з'єднувачів відповідає сучасним і майбутнім вимогам. Крім того, усі нові вироби відповідають високому ступеню захисту IP 66, IP 68 (24 год./2 м).

www.phoenixcontact.com



50 років COMBICON

Серія COMBICON від PHOENIX CONTACT, найбільший у світі асортимент клем для друкованих плат і штекерних з'єднувачів, відзначає 50-річний ювілей.

Сьогодні COMBICON – це зелений світовий стандарт роз'ємів для друкованих плат, що застосовується практично у всіх галузях промисловості, будівництва, інфраструктури та енергетики.

Це історія успіху, написана разом із Вами, нашими клієнтами та партнерами. За це ми кажемо вам ДЯКУЄМО!

ТОВ "Фенікс Контакт"
(044) 594 55 22
phoenixcontact.com/uk-ua/



PHOENIX CONTACT
INSPIRING INNOVATIONS

3-ФАЗНІ ДЖЕРЕЛА ЖИВЛЕННЯ З ВИСОКОВОЛЬТНИМ ВИХОДОМ

Компанія **MEAN WELL** задля задоволення потреби в потужних промислових джерелах живлення, запустила серійне виробництво трифазних чотирипровідних AC/DC-перетворювачів RST-7K5 (7 500 Вт) і RST-15K (15 000 Вт), які можна увімкнути паралельно для досягнення сумарної потужності до 30 кВт.

Новинки мають по три моделі з вихідною напругою 115 В, 230 В і 380 В, які підійдуть для різних галузей промисловості, таких як автоматичне промислове обладнання, системи накопичення енергії і т.д. Крім того, вихідна напруга та струм програмується, зокрема, вихідна напруга може бути встановлена в діапазоні від 1% до 120%. Також передбачено вбудовані сигнали для моніторингу, такі як DC-OK, сигналізації про перегрів, несправність вентилятора чи втрату живлення на вході. Зважаючи на те, що ці джерела живлення часто будуть використовуватись в суворих промислових умовах, діапазон їх робочої температури сягає від -30 °C до +45 °C в умовах повного навантаження. Покупці також зможуть вибрати один з двох варіантів охолодження: примусове за допомогою вбудованих вентиляторів (RST-7K5/15K) чи водяне охолодження (RST-7K5L).

На додаток до вищеписаних переваг, серії RST-7K5 та RST-15K відповідають останній версії міжнародних стандартів безпеки EN/UL62368-1, а завдяки компактному корпусу (<2U) можуть бути встановлені в стандартну 19-дюймову стійку.

www.meanwell.com

ЕКОНОМІЧНІ ТА ПОТУЖНІ ДЖЕРЕЛА ЖИВЛЕННЯ

Компанія **MEAN WELL** розширила популярне сімейство модулів живлення, що монтується на шасі — LRS — двома новими серіями: LRS-450 та LRS-600 (вихідна потужність 450 та 600 Вт, відповідно). Перші джерела живлення цього сімейства з'явилися в 2014 році і стали найпродованішими за минулий час. Їх виробництво має максимальний ступінь автоматизації, що суттєво знизило собівартість та підвищило якість, надійність та

повторюваність параметрів. З цих та інших причин дані ДЖ фактично стали стандартом серед індустріальних джерел живлення, що кріпляться на шасі.

Нові серії замінюють існуючі аналогічні серії SE-450 та SE-600, надаючи споживачеві найкращі характеристики за меншу ціну. Розмір посадкового місця нових серій і серії SE збігається, виробі відрізняються лише заввишки (35 мм у новій серії та 41 мм у колишній). ДЖ забезпечені вбудованим керованим вентилятором охолодження, який включається при досягненні критичним компонентом температури 50 °C і відключається при зниженні до 40 °C. В ДЖ реалізована конструкція відведення тепла назовні за допомогою вентилятора (нагріте повітря не торкається внутрішніх компонентів), що покращує температурну стабільність. Подано заявку на отримання патенту на допоміжною вентилятора (нагріте повітря не торкається внутрішніх компонентів), що покращує температурну стабільність. Подано заявку на отримання патенту на електричну схему, що використовується. Продукція повністю відповідає міжнародним нормам безпеки, таким як BIS/CE/TUV/UL. Джерела живлення мають високий ККД на рівні 90...92% і здатні до 3 секунд функціонувати при обмеженні вихідного струму, що дозволяє впевнено працювати на емнісній та індуктивній навантаженні. Крім перерахованого, ДЖ витримують до 5 секунд підвищений рівень вхідної напруги — до 300 (AC). У серії LRS-600 є модель з вихідною напругою 27 В. Джерела живлення призначені для широкого спектру застосувань у різних індустріальних та побутових програмах.

www.meanwell.com

РИШЕННЯ QUICKTRACK, СЕРТИФІКОВАНІ WI-FI ALLIANCE

Виробники пристроїв у низці галузей, включаючи «розумний дім», промислове керування, управління енергією, автомобільну промисловість, охорону здоров'я та освітні технології, покладаються на набори мікросхем **Espressif** для забезпечення функцій Wi-Fi своїх продуктів. Одним із таких чипсетів є ESP32-C2 від Espressif, який є невеликим, економічно ефективним Wi-Fi 4 RISC-V SoC, який забезпечує покращену радіочастотну продуктивність завдяки своєму унікальному дизайну та невеликому корпусу. Конструкція чипа дозволяє використовувати прості

IoT-додатки з великим об'ємом і низькою швидкістю передачі даних, такі як розумні розетки та розумні лампочки. ESP32-C2 пропонує просте та надійне бездротове підключення, що робить його ідеальним рішенням для розробки простих, безпечних та надійних пристроїв для розумного дому. Чип також підтримує Matter, протокол підключення розумного дому, який забезпечує взаємодію між пристроями різних брендів.

Ставши постачальником рішення Wi-Fi Alliance, а ESP32-C2 є кваліфікованим рішенням QuickTrack, компанія Espressif спростила для клієнтів отримання статусу Wi-Fi CERTIFIED для своїх продуктів. Таким чином виробники пристроїв і постачальники кінцевих продуктів можуть зосередитися на своїх основних пропозиціях, прискорити процес сертифікації та зменшити витрати, зберігаючи при цьому високі стандарти якості бренду Wi-Fi CERTIFIED. Покладаючись на чип ESP32-C2, клієнти Espressif використовують компонент, який уже пройшов повне тестування функціональності Wi-Fi, що дозволяє їм швидко та легко отримати статус Wi-Fi CERTIFIED з допомогою QuickTrack. Клієнти Espressif, які використовують це кваліфіковане рішення, отримують швидше тестування з меншою вартістю, одночасно досягаючи швидкого виходу на ринок і, таким чином, підвищуючи свою конкурентоспроможність на ринку.

www.espressif.com

НОВИЙ GAN ТРАНЗИСТОР

Компанія **Ampleon** нещодавно представила свої останні рішення та інноваційні продукти в технологіях GaN і LDMOS. Серед представлених продуктів були продукти, призначені для бездротового зв'язку, авіоніки/оборони, нестільничного зв'язку, для приладів побутового призначення та програм, пов'язаних з ISM.

Ключовим моментом став новий транзистор з високою рухливістю електронів (HEMT) — CLL3H0914L-700. Цей GaN транзистор оптимізований для радіарних реалізацій, де потрібна велика ширина імпульсу та високі цикли навантаження. Транзистор був розроблений для досягнення пікової вихідної потужності понад 700 Вт від одного транзистора під час роботи за напруги 50 В з найкращим у галузі ККД понад

70%, а також розрахований на роботу з довгими імпульсами.

Ці чудові можливості роботи GaN HEMT в L-діапазоні були продемонстровані на різноманітних еталонних приладах, включно з оборонними/аерокосмічними діапазонами (960–1 250 МГц і 1 030–1 090 МГц), а також наземним базовим радаром L-діапазону (1 200–1 400 МГц). Цей HEMT з високою густиною потужності та низьким тепловим опором вже знаходиться у серійному виробництві.

www.ampleon.com

КОМПЛЕКТ РОЗРОБНИКА NVIDIA® JETSON NANO™ — MIC-710AIL-DVA1

Компанія **Advantech** оголосила про вивід комплекту розробника NVIDIA® Jetson — MIC-710AIL-DVA1.

Спираючись на свій досвід проектування систем промислового ШІ (штучного інтелекту) компанії, щоб задовольнити потреби розробників ШІ, випустила компактний комплект розробника з гнучким вводом/виводом, різноманітними периферійними пристроями та пристроєм для пакетів підтримки плат (BSP). Тому MIC-710AIL-DVA1 забезпечує чудову гнучкість і після розробки програмного забезпечення дозволяє користувачам перетворити комплект на граничну систему, використовуючи послуги промислового дизайну Advantech.

MIC-710AIL-DVA1 використовує NVIDIA Jetson Nano — це компактне (116 x 82 x 30 мм) рішення, що ідеально підходить для граничних додатків штучного інтелекту. MIC-710AIL-DVA1 забезпечує кілька входів/виходів, в тому числі HDMI, USB 2.0, USB 3.0, Micro USB, RS-232 та порт для SIM-карти; а також різні периферійні пристрої, що дозволяють налаштувати модулі вводу/виводу через інтерфейс MiniPCle. Ці модулі включають модулі зв'язку 4G/LTE/Wi-Fi/5G, контролери CANBus та/або модулі PoE для IP-камер. Окрім цього, Advantech надає спеціальну підтримку BSP для MIC-710AIL-DVA1, що дозволяє користувачам з легкістю інтегрувати апаратне та програмне забезпечення.

Advantech забезпечує гнучкість розробки програмного забезпечення поряд з апаратним. Користувачі можуть завантажуватись із зовнішніх пристроїв,

www.chipnews.com.ua

таких як Micro SD та/або NVMe, використовуючи вторинну розробку BSP, не стикаючись із проблемами, пов'язаними з обмеженою вбудованою пам'яттю NVIDIA Jetson Nano.

MIC-710AIL — це компактна безвентиляторна промислова система штучного інтелекту на базі NVIDIA® Jetson Nano™. Вона підтримує широкий робочий температурний діапазон, що дозволяє працювати просто неба чи у суворих промислових умовах. Крім того, це рішення має сертифікати CCC, CE та FCC, а також тривалий період підтримки продукту. Відповідна послуга проектування промислових систем також поширюється на комплект розробника MIC-710AIL-DVA1. Загалом це рішення дозволяє користувачам з легкістю перенести результати обчислень у промислову систему.

www.advantech.com

СЕНСОРНІ ПК UTC-500 AIO

Компанія **Advantech**, провідний постачальник рішень для автоматизації обслуговування, представляє два нові доповнен-

ня до серії UTC-500: UTC-5151 та 5201.

Це 15.6" та 21.5" сенсорні комп'ютери «все в одному» з новою технологією платформи та підвищеною зручністю обслуговування. Ці дві моделі оснащені процесором Intel Core i5-1145G7E 11-го покоління і оснащені пам'яттю DDR4 об'ємом 8 Гб, одним слотом M.2 і одним роз'ємом SATA для розширення сховища. Крім того, ці системи оснащені лицьовою панеллю із захистом IP65 та безвентиляторною системою охолодження у міцному алюмінієвому корпусі, що забезпечує надійну роботу в режимі 24/7 у суворих промислових умовах.

Промислова надійність робить UTC-5151/5201 ідеальним рішенням для лінійного дисплея в цеху, терміналів керування обладнанням та інтерфейсів сенсорного керування для інтелектуальних будівель, інтерактивних інформаційних дисплеїв та кухонних систем відображення.

UTC-5151 та 5201 мають покращену конструкцію для зручності обслуговування та ремонту. Завдяки наявності окремих дверцял для обслуговування в задній частині пристрою клієнти можуть

легко замінювати SSD/HDD без необхідності знімати всю задню кришку. Ця вдосконала функція допомагає технічним фахівцям швидко та легко обслуговувати та модернізувати систему, знижуючи цим загальну вартість для користувача.

Нові пристрої оснащені процесорами Intel Core i5-1145G7E 11-го покоління з інтегрованою графікою Intel Iris Xe, для яких також доступні версії Core i3-1115G4E і Core i7-1185GRE. UTC-5151/5201 забезпечує чудову продуктивність для роботи сучасних програм штучного інтелекту, а також апаратне шифрування TPM 2.0 для захисту даних. Підтримуючи безліч ОС, включаючи Windows 10/11, IoT Enterprise та Linux Ubuntu, ці комп'ютери «все в одному» сумісні із сучасною IT-інфраструктурою та різноманітними екосистемами.

У UTC-5151/5201 використовується безвентиляторна система охолодження, яка дозволяє системі витримувати розгортання в суворих умовах навколишнього середовища та продовжує термін служби продукту за рахунок зменшення накопичення пилу та сміття всередині системи. Його

передня панель із сертифікацією IP65 захищає від води та пилу, що відповідає вимогам промислових та комерційних умов.

Два порти Gigabit Ethernet забезпечують достатню пропускну здатність для підключення системи до Інтернету та інших пристроїв IoT, що підтримують промисловий стандарт. Крім того, встановивши модуль Wi-Fi або 4G/LTE у слот M.2, користувачі можуть розгорнути систему у віддалених районах та підключити її до мереж IoT бездротовим способом без додаткових електричних установок.

UTC-5151/5201 може бути оснащений різними периферійними пристроями, включаючи камеру, зчитувач магнітних смуг, зчитувач NFC/RFID та сканер штрих-коду, щоб розширити функціональні можливості системи. Додаткова спеціальна задня кришка вводу/виводу захищає роз'єми та кабелі, забезпечуючи безпечне та надійне рішення, що адаптується до різних програм.

Ключові особливості:
 • Intel Core i5-1145G7E 11-го покоління з 8 Гб оперативної пам'яті. Також доступні варіанти з Core i3 або Core i7.

ADVANTECH

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

Роботизований/
Автоматично
керований
транспортний засіб



Машинний автоматизований
оптичний контроль



Керування рухом



Спрощення
розгортання IoT
для розумних
фабрик

Промислові порти
введення-виведення
з гальванічною
розв'язкою

Широкий
температурний
діапазон
від -20 до +60 °C



Плати та камери
для «машинного зору»

Граничні модулі AI



Плати контролю руху
та карти відеозахоплення



ПРОКСИС

www.proxis.ua
sales@proxis.ua

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

- Ємнісний/резистивний сенсорний екран, що дозволяє працювати в рукавичках.
- 15.6" (UTC-5151) та 21.5" (UTC-5201) широкоформатний дисплей 16:9 з роздільною здатністю Full HD (UTC-5151 поставляється додатково).
- Низьке енергоспоживання та безвентиляторна конструкція із захистом IP65 на передній панелі.
- Знімні дверцята SSD/HDD для швидкого обслуговування або оновлення системи.
- Порти введення/виводу включають 2 порти Gigabit Ethernet (підтримує Wake on LAN), 2 COM-порти, до 4 портів USB 3.2 і 1 порт USB Type-C.
- Підтримка Windows® 10/11 IoT та вбудованого Linux Ubuntu.

www.advantech.com

НОВА ФОРМА КРЕМНІЮ МОЖЕ СТАТИ РЕВОЛЮЦІЄЮ В ПРОМИСЛОВІТІ НАПІВПРОВІДНИКІВ

Після десяти років досліджень, що почалися випадково і були зустрінуті скептично, команда інженерів змогла синтезувати високощільні, надтонкі кремнієві нанонитки. Вчені з Північно-Західного університету (США) відкрили нову, надзвичайно щільну форму кремнію та розробили процес травлення без каталізатора надтонких кремнієвих нанониток діаметром 2–5 нм.

Близько десяти років тому професор Юн Джун Ен звернув увагу на незвичайні результати експерименту з кремнієвих пластинок. Матеріал, який він побачив під електронним мікроскопом, відрізнявся від того, що вчені хотіли отримати. Вивчаючи субстанцію, вони з'ясували, що це кремній із дуже тонкими ниткоподібними наноструктурами.

Дослідники змогли відтворити його, але при спробі покращити процес синтезу нанонитки не зростали. Деякі колеги вважали, що це зовсім не кремній через суттєву різницю у структурі матеріалів. Однак ретельний аналіз показав, що все-таки це різновид кремнію, що хоч і має незвичайні властивості, з тонким шаром кисню на поверхні, яка, ймовірно, і робить його таким щільним.

Новий матеріал має надишроку енергетичну щільність 4.16 еВ. Це світовий рекорд, який означає, що матеріал потребує більшого

імпульсу, щоб проводити електрику, але він може працювати з великими потужностями, температурою і частотою. На відміну від звичайного кремнію, цей дуже стійкий до окислення, а також має властивість фотолюмінесценції — випромінює синє та фіолетове світло. Нанонитки з такого матеріалу підійдуть для силової електроніки, транзисторів, діодів та РК-пристроїв.

Крім того, Юн та його команда розробили новий метод виробництва нанониток, який назвали хімічним паровим травленням. Він видаляє кристали замість їхнього вирощування. В результаті нанонитки виходять у 10-20 разів менше, ніж звичайні. І не потрібно використовувати каталізатор, частинки якого осідають на поверхні та знижують продуктивність пристрою. Поки що вченим вдалося синтезувати нитки довжиною до 100 мікрон.

<https://phys.org>

НОВА ТЕХНОЛОГІЯ ДОЗВОЛЯЄ ЗАРЯДЖАТИ ЗВЧАЙНИЙ ЕЛЕКТРОКАР ЗА 11 ХВИЛИН

Збільшення запасу ходу електромобіля — не єдина проблема, що постає перед використанням електричного транспорту. Для того, щоб він став дійсно привабливим, його власник не повинен чекати годинами, доки акумулятор зарядиться. Вчені зі США вважають, що вирішили цю проблему — вони створили компактну батарею, запас енергії якої можна поповнити на 70% за лічені хвилини.

Команда з Університету штату Пенсільванія не вперше досягає значних успіхів в оптимізації акумуляторів. У 2016-му вони покращили продуктивність літєвих батарей в умовах холодів, у 2019-му застосували той самий підхід для заряджання акумулятора у спеку. Тоді їм вдалося досягти можливості за 10 хвилин поповнювати заряд акумулятора приблизно на 320–480 км. Нове дослідження продовжує попередні досягнення та поєднує швидкий час зарядки з високою щільністю енергії.

Прототип створений на основі того ж таки нагрівального елемента з нікелевої фольги, який сприяє прискореній зарядці. Місткість нової батареї зросла в порівнянні з минулою версією і склала 265 Вт·год/кг. За словами розробників, поєднання ко-

роткого часу зарядки та високої щільності роблять винахід першим у своєму роді та відкриває перед ним цікаві перспективи у сфері електротранспорту.

«Потреба в невеликих батареях, що швидко заряджаються, велика як ніколи, — сказав Ван Чаоян, керівник групи. — Батареї та необхідної сировини, особливо вітчизняного виробництва, просто не вистачає, щоб задовольнити весь попит».

Під час випробувань батарея заряджалася за 11 хвилин на 70% упродовж 2000 циклів. Це, за підрахунками Вана, дорівнює 500 000 миль пробігу електромобіля лише внаслідок прискореної зарядки. До того ж, висока щільність енергії дозволила дослідникам зменшити розмір батареї з 150 кВт·год до 50 кВт·год без зниження запасу ходу.

Поширення такої технології, якщо вона виявиться дійсно надійною та ефективною на практиці, безумовно підвищить популярність електрокарів у містах.

<https://www.psu.edu>

НОВИЙ ТИП КЕРАМІКИ ЗАХИСТИТЬ ЕЛЕКТРОНІКУ ВІД ПЕРЕГРІВУ КРАЩЕ ЗА АЛЮМІНІЙ

Американські інженери розробили новий тип керамічного матеріалу, якому можна надавати складні форми методом високотемпературного формоутворення, у тому числі виготовляти тонкі листи для більш ефективних і надійних тепловідводів. Примітно, що відкриття було зроблено внаслідок лабораторної випадковості.

Експериментуючи з керамікою на основі бору, фахівці з Північно-Східного університету, не знаючи того, збільшили до критичного стану межу міцності матеріалу. Під дією паяльної лампи він несподівано деформувався і вивів із фіксатора. Оглянувши зразок, вчені зрозуміли, що він цілий, просто прийняв іншу форму. Подальші дослідження дали зрозуміти, що деформацією можна керувати.

Поведінка матеріалу суперечить загальноприйнятій думці про те, як формується кераміка і які навантаження вона може витримати. За екстремальних температур вона, швидше за все, потріскається і зламається, але не в цьому випадку: цей вид кераміки витримує температуру паяльної

лампи в 1 000–1 200 градусів і залишається цілим.

Подальше вивчення матеріалу дозволило зрозуміти його мікроструктуру, яка забезпечує таке швидке перенесення тепла. Під час пресування та високо-температурного формоутворення, процесу, який зазвичай застосовується до термопластичної пластмаси та листового металу, дослідники виявили, що кераміці можна надавати складну геометрію, зберігаючи високу механічну міцність та теплопровідність.

У контексті застосування матеріалу в електроніці на його користь говорить також той факт, що він не переносить електрони та не створює радіочастотних завод. Замість товстого шару алюмінію для відведення тепла в смартфонах та іншій електроніці можна було б використовувати шар нової кераміки менше міліметра завтовшки, який до того ж може бути точно підігнаний за формою до різних поверхонь.

«Якщо ви кладете алюмінієвий радіатор на радіочастотний компонент, ви фактично ставите антени, які заважатимуть радіочастотному сигналу, — сказав професор Рендал Ерб. — Натомість ми можемо покласти наш матеріал на основі нітриду бору навколо радіочастотного компонента, і він буде фактично невидимий для сигналу».

<https://newatlas.com>

НОВА ТЕХНОЛОГІЯ ДОЗВОЛЯЄ ВІДДАВАТИ ГОЛОСОВІ КОМАНДИ БЕЗШУМНО

Хоча керувати пристроєм голосом найчастіше зручніше і швидше, ніж через додаток, бувають обставини, коли вимовляти команди вголос не хочеться — наприклад, коли навколо шумно, повно людей чи потрібно дотримуватися тиші. Система EarCommand пропонує альтернативу: вона зчитує команди, які вимовляються беззвучно, через вушний канал.

Технологію розробила команда з Університету Нью-Йорка до Баффало (США). У його основі — спостереження: якщо ми беззвучно вимовляємо слова, задіяні м'язи та кістки спричиняють певну деформацію вушного каналу, яку можна співвіднести зі словами, розповідає New Atlas.

Що стосується апаратного забезпечення, EarCommand складається з схожого на бездротовий навушник пристрою, що складається з спрямованого внутрішньо динаміка, що подає ультразвукові сигнали у вухо власника. Всі ці сигнали відбиваються від внутрішньої поверхні вушного каналу і потрапляють на мікрофон. Комп'ютер аналізує відлуння, використовуючи розроблений дослідниками алгоритм, і розпізнає команди.

У проведених випробуваннях користувачі вимовляли про себе 32 різні односкладові команди та 25 команд, що складаються з кількох слів. Система розпізнала більшість сказаного — відсоток помилок становив 10.2% для односкладових команд та 12.3% для фраз. При подальшому вдосконаленні технології кількість помилок має зменшитися.

До переваг винаходу відносяться те, що його роботі завжди медична маска, шарф або інший предмет одягу, що закриває рот. Крім того, на відміну від інших систем читання по губах ця камерка не вимагає.

<https://newatlas.com>

НОБЕЛІВСЬКА ПРЕМІЯ 2022 РОКУ В ГАЛУЗІ ФІЗИКИ

Нобелівська премія в галузі фізики 2022 року була присуджена трьом вченим, чії роботи лягли в основу області квантових інформаційних та комунікаційних технологій, що розвиваються зараз. Ален Аспе (Alain Aspect), Джон Френсіс Клаузер (John F. Clauser) та Антон Цайлінгер (Anton Zeilinger), кожен з них свого часу проводив теоретичні дослідження та практичні експерименти із заплутаними фотонами, створивши базу для створення майбутніх квантових комп'ютерів та фотонних квантових комунікацій.

У дивному світі квантової механіки спостерігається безліч химерних явищ, основним з яких є квантова заплутаність. Дві частинки, поміщені в заплутаний стан, стають настільки сильно взаємопов'язаними, що зміни стану однієї з частинок негайно викликає зміну стану іншої частинки, незважаючи на відстань, що розділяє їх, яка може бути в теорії нескінченно великою.

Така незрозуміла поведінка заплутаних частинок змусила Альберта Ейнштейна визнати,

що «квантова фізика є ще неповною теорією», і висунути теорію, що на це впливають якісь «приховані змінні та фактори». У 1960-х роках фізик Джон Стюарт Белл (John Stewart Bell) розробив теоретичний тест для перевірки пар заплутаних частинок для визначення моменту, коли їх кореляції стають настільки випадковими, що це не можна пояснити впливом жодних прихованих змінних. Пізніше це стало відоме під назвою нерівність Белла.

Джон Клаузер, перший із лауреатів Нобелівської премії, переклав теорію та нерівність Белла у практичний експеримент. В результаті цього він продемонстрував чітке порушення нерівності Белла, що стало підтвердженням квантової природи явищ, що вивчаються.

Грунтуючись на роботі Джона Клаузера, Ален Аспе закрив «ще одну лазівку» в теорії, через яку приховані змінні могли непомітно втручатися в хід експериментів. Він розробив спосіб перемикання режимів роботи вимірювальних інструментів у момент, коли пара заплутаних фотонів залишає межі джерела, що генерує їх, що, у свою чергу,

гарантує, що вимірювання не впливають на хід експериментів і отримані кінцеві результати.

Дещо пізніше Антон Цайлінгер розробив способи використання заплутаних пар фотонів для зберігання та передачі інформації. Нашим постійним читачам відомо, що передача інформації за допомогою заплутаних частинок має назву квантової телепортації, і така телепортація може забезпечити передачу інформації зі швидкістю, що перевищує швидкість світла. Саме квантова телепортація є ключовою технологією в галузях квантових обчислень, шифрування та комунікацій.

«Зараз стає цілком зрозуміло, що цей новий вид квантової технології, пов'язаний з використанням квантової заплутаності, вже впритул наближається до її практичного використання, — розповідає Андерс Ірбак (Anders Irbak), Голова Нобелівського Комітету з фізики. — Роботи наших нинішніх лауреатів зіграли головну роль, адже саме вони лягли в основу теоретичної та експериментальної бази для цього».

<https://newatlas.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

Реалізація всього потенціалу технології GPUDirect Storage за допомогою ІС комутаторів PCIe Fabric

Вінсент Хаше (Vincent Hache), Microchip Technology

У статті розглянуто варіант спільного використання графічних процесорів та матричних комутаторів PCIe Fabric для аналізу великих обсягів даних (Big data). Оцінюються різні можливі топології та наводяться результати випробувань.

Аналіз великих обсягів даних та машинне навчання створюють низку проблем при їх виконанні за допомогою графічних процесорів (GPU). Набори даних, що приймають участь у описуваних процесах, можуть мати розмір сотні терабайт і навіть вимагати наявності швидкісного доступу до мільйонів файлів у сховищі. Чим більше стають обсяги інформації, що потребують обробки, тим очевиднішим є той факт, що використання традиційних способів передачі даних від центрального процесора (CPU) до графічних і далі до сховища інформації недоцільно, оскільки серйозно обмежує ресурси та можливості GPU. Незважаючи на те, що на даний момент вже існують рішення, що дозволяють усунути ефект «пляшкової шийки» (bottleneck) на шині даних, наприклад GPUDirect Storage від компанії Nvidia, їх повноцінне застосування неможливе через недоліки інтерфейсу PCIe.

Навіть у своїй останній ітерації, PCIe Gen 4, інтерфейс зберігає ту ж таки базову деревоподібну ієрархію, яка використовувалася з моменту його створення. Саме цей тип ієрархії ускладнює експлуатацію PCIe у конфігураціях з кількома хостами та комутаторами. На щастя, подібні обмеження можна обійти за допомогою спільного використання PCIe Fabrics із пристроями зберігання з підтримкою SR-IOV та динамічного поділу комутаторів. Завдяки такому підходу

пул GPU та твердотільних накопичувачів (SSD) формату NVMe може бути задіяний одразу декількома хостами, вимагаючи для роботи тільки стандартні системні драйвери.

ВИЗНАЧЕННЯ ПРОБЛЕМИ

Традиційно для передачі даних із сховища в GPU використовувався спеціальний буфер, що являв собою область у системній пам'яті ЦП і називався буфером повернення (bounce buffer). У буфері повернення формується кілька копій даних перед їхньою передачею в графічний процесор. Створення додаткових копій даних не дуже доцільно, але неминуче, оскільки це фундаментальний процес ЦП. Крім того, переміщення даних через буфер повернення викликає затримку, знижує загальну ефективність роботи GPU і надмірно навантажує центральний процесор хоста. Використання такого підходу в системах з великим обсягом пам'яті та високою інтенсивністю прийняття/передання даних на портах введення/виводу призведе до серйозних проблем із продуктивністю.

Ці проблеми пояснюються тим, що, незважаючи на величезні обчислювальні здібності, графічний процесор не може задіяти всі доступні йому ресурси повною мірою через необхідність очікування вхідних даних із буфера повер-

нення, який стає «пляшковою шийкою» усієї системи. У міру зростання кількості програм, що оперують великими обсягами даних, описана вище ситуація виявляється все більш непринятною. Затримка передачі даних на GPU може викликати проблеми і стати причиною вразливості всієї системи, за допомогою якої зловмисник, наприклад, зможе безперешкодно здійснити шахрайську фінансову транзакцію. Крім того, очікування надходження даних здатне негативно вплинути на час, необхідний для навчання моделі ІІ. При розгляді описаних проблем стає ясно, чому усунення вузького місця, пов'язаного з буфером повернення, є одним з пріоритетних завдань у високопродуктивних системах, робота яких пов'язана з аналізом і обробкою великих обсягів даних і штучним інтелектом.

Саме з цієї причини компанія Nvidia створила технологію GPUDirect Storage, яка тепер готується до виходу на ринок і є найсучаснішою розробкою компанії з точки зору оптимізації продуктивності GPU при використанні в системах машинного навчання, штучного інтелекту та в інших, схожих за інтенсивністю навантаження програмах. Нещодавно Nvidia вже представляла технологію GPU Direct RDMA, призначену для збільшення пропускної спроможності та зменшення затримки за рахунок мінімізації кількості створених копій у буфері повернення. Ця технологія забезпечила прямий обмін даними між графічним процесором та мережною інтерфейсною платою (NIC). Нова технологія GPUDirect Storage підтримує пряму передачу даних між локальним або віддаленим сховищем, та-

ким як NVMe і GPU. І хоча в системі, як і раніше, фігурує центральний процесор, він більше не бере участі в перекиданні даних, що значно збільшує пропускну здатність, зменшує затримку та знижує навантаження на ЦП.

ПСІЕ 4.0: БЕЗЛІЧ ПОКРАЩЕНЬ З ОДИМ ВИНЯТКОМ

Випуск базової специфікації PCI Express 4.0 версії 1.0 відбувся у 2017 р. Вона забезпечила значні покращення порівняно з попереднім поколінням. До них відноситься збільшення пропускну спроможності лінії з 1 до 2 Гбіт/с і, як наслідок, підвищення швидкості шини до 16 Гбіт/с. Однак PCIe, як і раніше, використовує жорстку деревоподібну ієрархію, при якій на кожен домен припадає один кореневий комплекс.

Незважаючи на те, що топологія шини, що застосовувалася раніше, для PCI і PCI-X була замінена підключенням типу «точка-точка», в якому для розподілу були передбачені комутатори, загальний принцип ієрархії залишився колишнім. PCIe Gen4 орієнтована на використання в однокоренових конфігураціях, де існує однозначний зв'язок між кореневим (root) та кінцевим (endpoint, EP) вузлами. Таким чином, незважаючи на плюси PCIe 4.0, для роботи та використання переваг GPU Direct потрібно буде здійснити обхід його ієрархії в системі з кількома комутаторами та хостами.

На рисунках 1 і 2 показаний приклад топології з декількома хостами, що наочно відображає проблему ієрархії. Система, що використовує PCIe і має у складі один кореневий порт, вимагає, щоб хост 1 мав підключення до виділеного низхідного порту (downstream port, DSP) комутатора 1, який, у свою чергу, підключений до висхідного порту (upstream port, USP) комутатора 2. У комутаторі 2 також присутній виділений низхідний порт, який підключений до висхідного порту комутатора 3 і т.д.

Таким чином, навіть при організації найпростішої системи на основі деревоподібної структури PCIe буде потрібно підключення по окремих каналах між кожним комутатором, виділеним для того чи іншого хоста. Спроба розведення комутаторів між декількома хостами швидко призводить до того, що система стає складною та вкрай неефективною, що особливо помітно під час організації великої системи з безліччю GPU, пристроїв для зберігання інформації, контролерів та комутаторів.

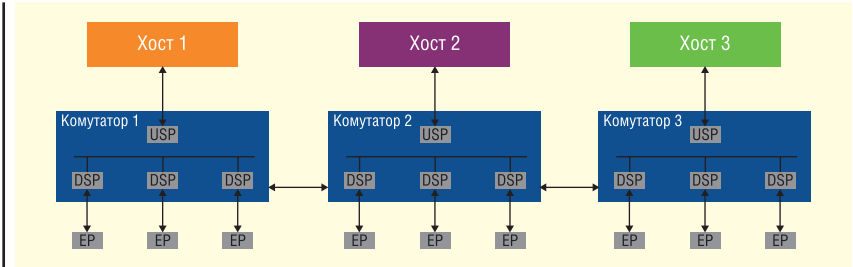


Рис. 1. Приклад топології з кількома хостами

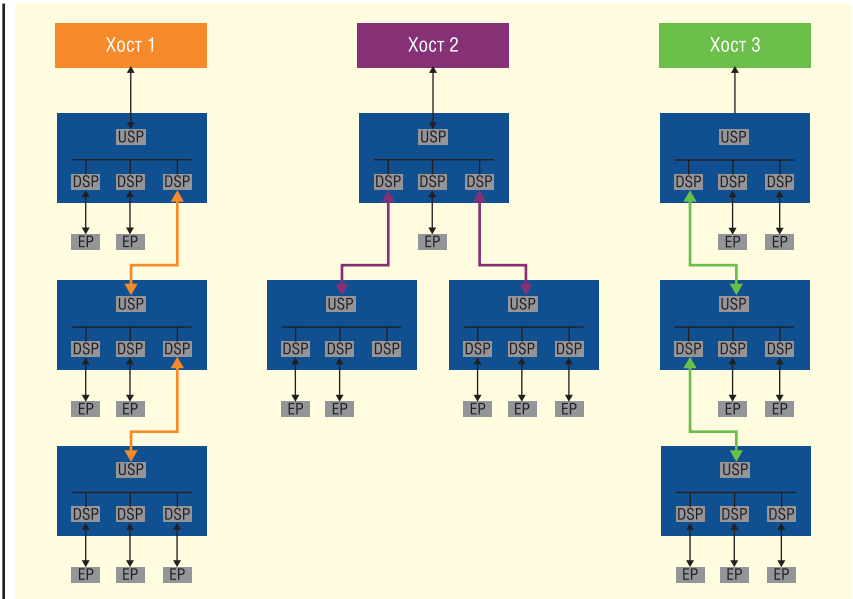


Рис. 2. Вимоги до ієрархії для кожного хоста

Вирішенням цієї проблеми може стати віртуалізація вводу/виводу PCIe, оскільки в даному випадку один фізичний пристрій буде виглядати як кілька віртуальних. Ці віртуальні пристрої повністю незалежні і дозволяють одночасно працювати декільком операційним системам, спільно використовуючи фізичні рішення, підключені до шини PCIe, наприклад, SSD-накопичувачі.

Віртуалізація вводу/виводу з одним коренем (SR-IOV) дозволяє розділяти ресурси вводу/виводу між декількома образами системи на одному хості, в той час як віртуалізація вводу/виводу з декількома коріннями (MR-IOV) надає можливість розділяти ці ресурси між образами системи вже на кількох хостах. SR-IOV чудово працює в багатоядерних системах з безліччю сокетів, оскільки скорочує кількість необхідних пристроїв вводу/виводу і за необхідності дозволяє встановлювати їх у системі. SR-IOV підтримують багато пристроїв зберігання інформації, а також інші пристрої.

На відміну від SR-IOV, MR-IOV має більш складну структуру і дозволяє пристроям PCIe, що не використовуються, залишатися в домені з тим хостом,

в якому вони знаходяться. Наприклад, якщо хост 1 використовував усі свої обчислювальні ресурси, а хости 2 та 3 — ні, то було б логічно, щоб хост 1 мав доступ до ресурсів хостів 2 та 3. Однак на практиці це неможливо, оскільки хости 2 та 3 знаходяться за межами домену хоста 1, отже, їх ресурси набувають статусу заблокованих. Виходом з цієї ситуації могло б стати використання так званої непрозорої маршрутизації (Non-transparent bridging, NTB), однак такий підхід досить складний і вимагає установки нестандартних драйверів і програмного забезпечення для кожного типу застосовуваного PCIe-пристрою. Більш відповідним рішенням стане структура PCIe Fabric, яка в рамках стандартної топології здатна розмістити кілька хостів з доступом до кожної кінцевої точки.

PCIЕ FABRIC

Комбінуючи переваги пристроїв зберігання інформації з підтримкою SR-IOV і динамічного поділу, можна створити структуру поверх всіх хостів, що має

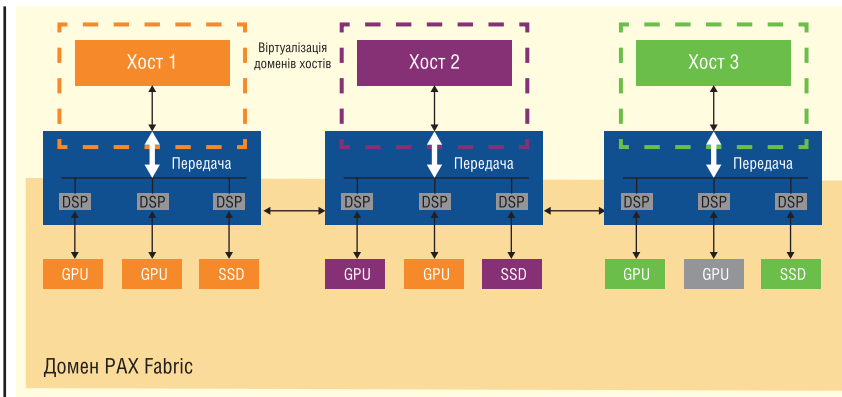


Рис. 3. Окремі домени для кожного хоста та структури Fabric

малу затримку передачі і дозволяє вирішити проблеми ієрархії, що описуються вище. Приклад такої структури — PCIe Fabric, яка дозволяє використовувати пул GPU та NVMe SSD одразу на кількох хостах, при цьому вимагаючи для роботи лише стандартних системних драйверів. При установці PCIe Fabric однорангові (peer-to-peer, P2P) передачі здійснюються безпосередньо через саму структуру, що забезпечує оптимальну маршрутизацію, знижує перевантаження кореневого порту та усуває ефект «пляшкової шийки» в ЦП (див. рис. 3).

Описуваний підхід може бути реалізований за допомогою вже готових мікросхем-комутаторів PCIe Fabric, таких як Microchip PM42036 PAX 36xG4 Gen 4, та організації двох дискретних, але взаємодіючих доменів: Fabric-домена, що об'єднує всі кінцеві точки, а також міжкомпонентні канали та доменів хостів. При такій організації хости зберігаються в окремих віртуальних доменах, створених за допомогою ПЗ комутатора PAX, встановленого на вбудованому процесорі мікросхеми, тому комутатор завжди відобразитиметься як стандартний однорівневий пристрій PCIe з кінцевими точками, підключеними безпосередньо незалежно від того, де в Fabric-домени ці кінцеві точки знаходяться.

Транзакції, що йдуть з доменів хостів, перетворюються на ідентифікатори та адреси в Fabric-домени, і навпаки, що дозволяє організувати маршрутизацію трафіку в Fabric-домени та обійти стандартну ієрархію PCIe. Це, у свою чергу, надає доступ до комутаційних каналів, що з'єднують комутатори та кінцеві точки, усім хостам у системі. Програмне забезпечення комутатора перехоплює весь трафік, що йде від хоста, включаючи транзакції, що виникають у процесі перерахування PCIe (PCIe enumeration), і віртуалізує простий, відповідний специфікації PCIe, комутатор з кількістю низхідних портів.

Графічні процесори, підключені до хостів, які розташовані в інших доменах, більше не отримують статус заблокованих, оскільки тепер можуть підключатися динамічно в залежності від потреб кожного хоста. При використанні PCIe Fabric немає необхідності в установці будь-яких спеціальних драйверів, оскільки поділ хостів відбувається відповідно до специфікації PCIe. Слід зазначити, що оскільки PCIe Fabric підтримує P2P, цю технологію цілком можна використовувати у програмах машинного навчання.

РЕЗУЛЬТАТИ ТЕСТУВАННЯ

На рисунку 4 показаний приклад, як два хости можуть використовувати свої віртуальні функції (VF) неза-

лежно один від одного за допомогою Fabric-домени, реалізуючи тим самим переваги GPUDirect Storage, видаляючи ЦП з процесу обміну даними, усуваючи ефект «пляшкової шийки» та інші проблеми, які пов'язані з використанням буфера повернення центрального процесора, надаючи останньому можливість виконувати лише ті операції, для яких він найкраще підходить.

Під час випробування системи, показаної на рисунку 4, на хост 1 було встановлено операційну систему Windows, але в хост 2 — Linux. В системі також були передбачені комутатори PAX PCIe, чотири GPGPU Nvidia M40 та один твердотільний накопичувач Samsung NVMe з підтримкою SR-IOV. На хостах були запущені процеси, що дозволяють емулювати трафік, що відповідає реальним показникам при роботі програм машинного навчання, включаючи утиліту Nvidia CUDA для тестування P2P-трафіку та навчальну модель TensorFlow для класифікації зображень cifar10. Вбудоване програмне забезпечення комутатора забезпечує низькорівневе налаштування і відповідає за управління маршрутами, а сама система управляється за допомогою утиліти Chiplink від компанії Microchip.

Після завантаження Windows-хоста диспетчер PAX Fabric знаходить усі пристрої, виявлені в структурі з GPU, прив'язаними до хосту 1 і які відобража-

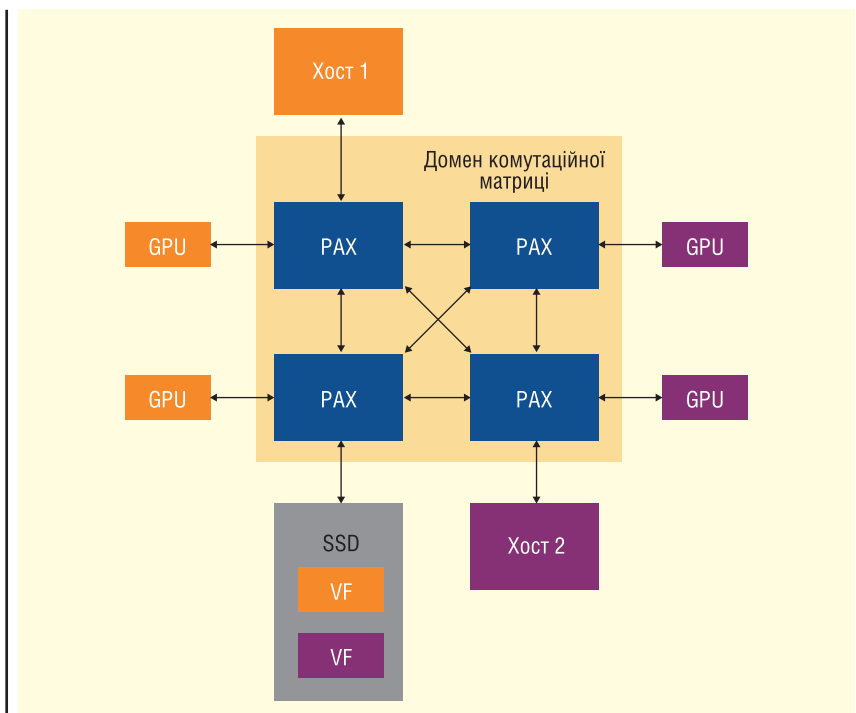


Рис. 4. Приклад роботи двох хостів через домен комутаційної матриці

Таблиця 1. Результати тестів на пропускну здатність при P2P-підключенні GPU

Тип передачі	Середня пропускну здатність хоста 1 з ОС Windows (Гбіт/с)	Середня пропускну здатність хоста 2 з ОС Linux (Гбіт/с)
Однонаправлена, P2P	12.8	24.9
Двонаправлена, P2P	12.7	24.6

ються в диспетчері пристроїв Windows як стандартні пристрої. Хост розглядає комутатор як простий фізичний пристрій PCIe з кількістю низхідних портів, що налаштовуються. Оскільки принцип роботи Fabric-структури прихований від хоста, він «кважає», що всі чотири графічні процесори безпосередньо підключені до віртуального комутатора. На наступному етапі відбувається ініціалізація CUDA і виявлення нею вищеописаних GPU.

Вимірювання за допомогою P2P-тесту показали, що пропускну здатність з використанням описаної конфігурації становить 12.8 Гбіт/с при однонаправленій передачі даних і 24.9 Гбіт/с — при двонаправленій. Передачі проходять безпосередньо через PCIe Fabric, оминаючи центральний процесор хоста. Модель TensorFlow запускається для навчання алгоритму класифікації зображень Cifar10, розподіляючи навантаження між чотирма графічними процесорами. Після завершення операції два GPU можуть бути від'єднані від хоста та повернені до пулу. Оскільки Fabric-комутатор емулює гаряче видавлення GPU, що не використовуються, вони відразу ж стають доступні в інших програмах.

Хост із попередньо встановленою системою Linux, як і його аналог з ОС Windows, бачить у підключених пристроях простий PCIe-комутатор, що не потребує встановлення спеціальних драйверів. Як і в попередньому випадку, коли CUDA виявляє графічні процесори, може бути запущений тест на пропускну здатність при P2P-підключенні. Результати тесту виявилися схожими на тест, проведений раніше для хоста з ОС Windows (див. табл. 1).

Тепер, коли обидві системи працюють, віртуальні функції SR-IOV для SSD можна підключити до хоста з Windows. І знову комутатори PAX виглядають як звичайні фізичні пристрої NVMe, що дозволяє хосту використовувати стандартний драйвер NVMe. Після підключення до хоста з ОС Windows ті ж кроки виконуються і для його Linux-аналогу, в результаті чого в списку блокових пристроїв хоста 2 з'являється новий пристрій NVMe.

У прикладі, що описується, використовується лише один SSD, але той

же самий підхід можна застосувати і в RA ID-конфігурації. Зауважимо, що через високі швидкості передачі даних швидкість роботи і затримка RA ID-контролера мають у цьому випадку критичне значення. В даний час єдиним RA ID-контролером, здатним підтримувати швидкість передачі даних 24.9 Гбіт/с, є контролер Microchip SmartRO C 3200 RA ID-on-chip. Він характеризується низькою затримкою передачі, підтримує до 16 ліній PCIe Gen 4 до хоста і має зворотну сумісність із PCIe Gen 2. Крім того, драйвер для цього пристрою також інтегрований в інтерфейс бібліотеки програмного забезпечення Nvidia.

ВИСНОВКИ

У якій би конфігурації не використовувався описаний у статті метод, всі віртуальні PCIe-комутатори і обладнання, що динамічно підключається, будуть представлятися хосту в повній відповідності до специфікації PCIe. Цей аспект є істотною перевагою використання PCIe Fabric, оскільки відсутня необхідність встановлення спеціальних драйверів. Інша перевага полягає в тому, що мікропрограмне забезпечення комутатора, що використовується, забезпечує простий інтерфейс управління, завдяки чому PCIe Fabric можна керувати і налаштовувати за допомогою недорогого зовнішнього процесора. Крім того, режим P2P-передачі на комутаторі включений за замовчуванням і не вимагає додаткового налаштування або керування диспетчером.

Підсумовуючи, можна сказати, що PCIe Fabric — це практичний засіб, що дозволяє реалізувати можливості технології GPU Direct Storage і не тільки вирішити проблеми, пов'язані з використанням буфера повернень CPU, але й підвищити продуктивність системи за рахунок збільшення швидкості двонаправленої передачі даних до 24.9 Гбіт/с. Спільне застосування методів поділу комутаторів та SR-IOV дозволяє динамічно розподіляти ресурси GPU та NVMe між декількома хостами в системі в режимі реального часу, задовольняючи цим високі вимоги сучасних програм машинного навчання. **CN**

СІМЕЙСТВО SECURE ETHERNET PHY ТЕРАБІТНОГО МАСШТАБУ З АГРЕГАЦІЄЮ ПОРТІВ ДЛЯ КОРПОРАТИВНИХ ТА ХМАРНИХ З'ЄДНАНЬ

Попит на збільшену пропускну здатність і безпеку в мережній інфраструктурі, викликаний зростанням гібридної роботи та географічного розподілу мереж, змінює визначення мережі без меж. За даними 650 Group, завдяки додаткам AI/ML загальна пропускну здатність порту для 400G (гігабіт на секунду) і 800G зростатиме щорічно на понад 50%. Це різке зростання розширює перехід до підключення 112G PAM4 за межі комутаторів і маршрутизаторів хмарних центрів обробки даних і постачальників телекомунікаційних послуг до корпоративних комутаційних платформ Ethernet.

Компанія **Microchip Technology Inc.** реагує на цей перелом ринку портфоліо META-DX2 Ethernet PHY (фізичного рівня), представляючи нове сімейство META-DX2+ PHY. Це перше в галузі рішення для інтеграції 1.6 ТБ (терабіт на секунду) наскрізного шифрування лінійної швидкості та агрегації портів для підтримки максимально компактного розміру при переході на підключення 112G PAM4 для корпоративних комутаторів Ethernet, пристроїв безпеки, маршрутизаторів хмарного з'єднання та оптичної транспортної системи.

Конфігурована архітектура каналу даних 1.6T META-DX2+ перевершує найближчих конкурентів у 2 рази за загальною пропускну здатністю gearbox і режимами захисного перемикання без збоїв 2:1, які забезпечуються унікальною можливістю ShiftIO. Гнучкі можливості агрегування портів XrandIO оптимізують використання портів маршрутизатора/комутатора при підтримці низькошвидкісного трафіку.

Крім того, пристрої включають підтримку протоколу точного часу класу C/D IEEE 1588 (PTP) для точної наносекундної мітки часу, необхідної для 5G і критичних корпоративних послуг. Пропонуючи портфоліо ретаймерів, сумісних із посадковим порядком, і вдосконалених PHY з опціями шифрування, Microchip дозволяє розробникам розширювати свої проекти, додаючи MACsec та IPsec на основі загального дизайну плати та набору програмного забезпечення (SDK).

www.microchip.com

Прецизійний вимір струму та напруги для керування приводами двигунів за допомогою оптронів

Ясуфумі Якіхана (Yasufumi Kakihana), старший інженер, Renesas Electronics Corp.
Мічінарі Асаї (Michinari Asai), старший менеджер, Renesas Electronics Corp.

Сучасні приводні пристрої у сфері промислової автоматизації удосконалюються у напрямку прецизійного керування, забезпечення високої точності та стабільності навіть у найскладніших умовах експлуатації. Важливу роль відіграє вирішення проблеми стандартизації схемних рішень. Мікросхема RV1S9353A відповідає обом вимогам завдяки наявності прецизійного сигма-дельта модулятора з великим входним опором. Цю оптопару можна використовувати і для прецизійного вимірювання струму, і для моніторингу напруги.

РЕАЛІЗАЦІЯ ПРЕЦИЗІЙНОЇ ТОЧНОСТІ

Типова схема інвертора, показана на рисунку 1, часто застосовується у ви-

соковольтному промислового автоматизованому устаткуванні. У цьому інверторі реалізовано керування двигуном з малим енергоспоживанням та низькими втратами на перетворення потужності.

У схемі інвертора використовуються оптрони. Керування IGBT та живленням інтелектуального силового модуля (Intelligent Power Module, IPM) здійснюється ШІМ-сигналами від мікроконтролера, які подаються на силові пристрої, наприклад IGBT. Для вимірювання сили струму в двигуні та моніторингу напруги на шині використовуються ізольовані підсилювачі та сигма-дельта-модулятори. Вони забезпечують електрично ізольований зв'язок між пристроєм введення/виведення контролера (мікропроцесора, мікроконтролера, системи-на-кристалі або ПЛІС) і зовнішнім обладнанням.

Ми коротко розглянемо задачі щодо реалізації вимог до точного вимірюван-

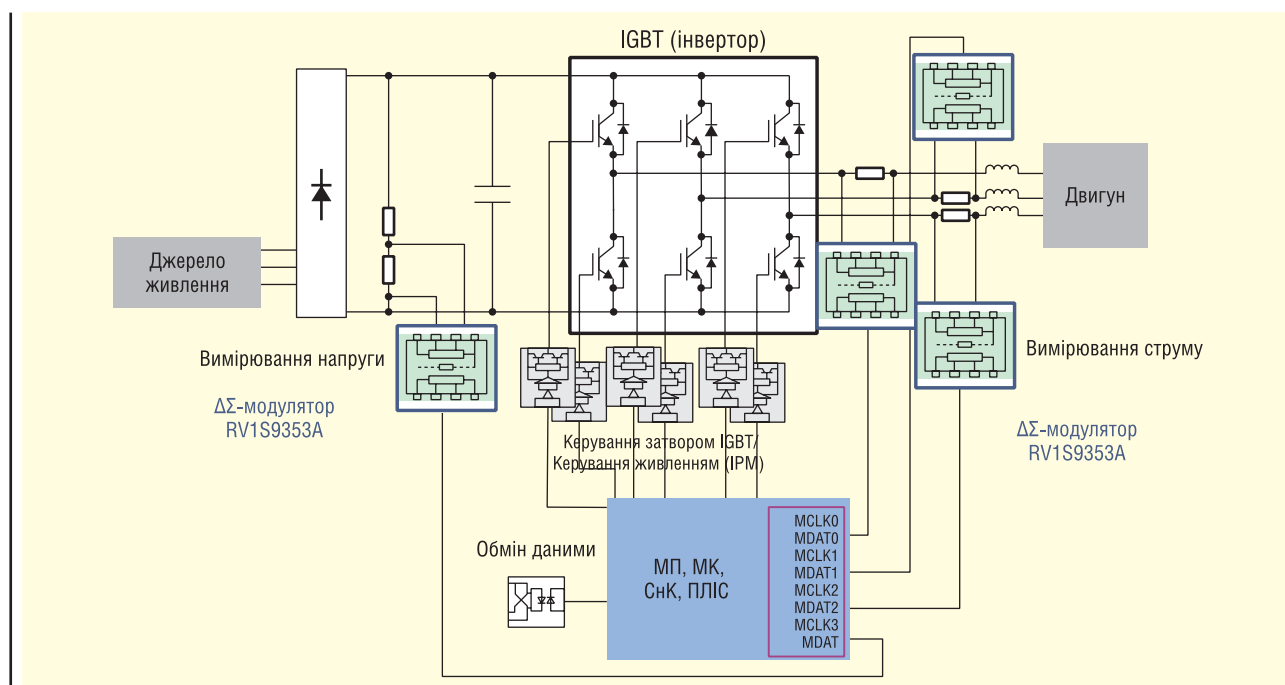


Рис. 1. Приклад схеми інвертора

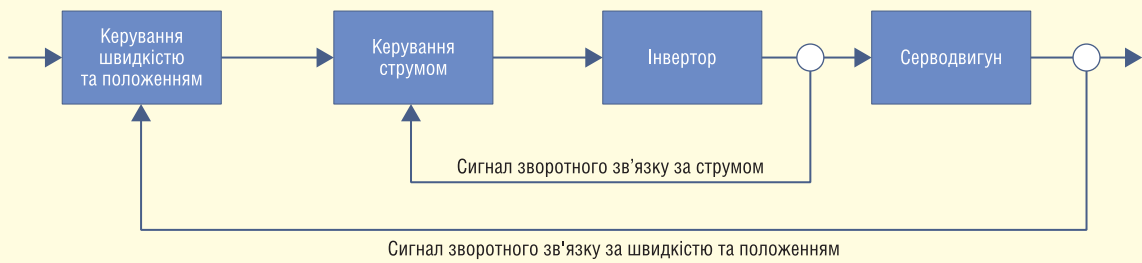


Рис. 2. Зворотний зв'язок за положенням, за швидкістю та струмом

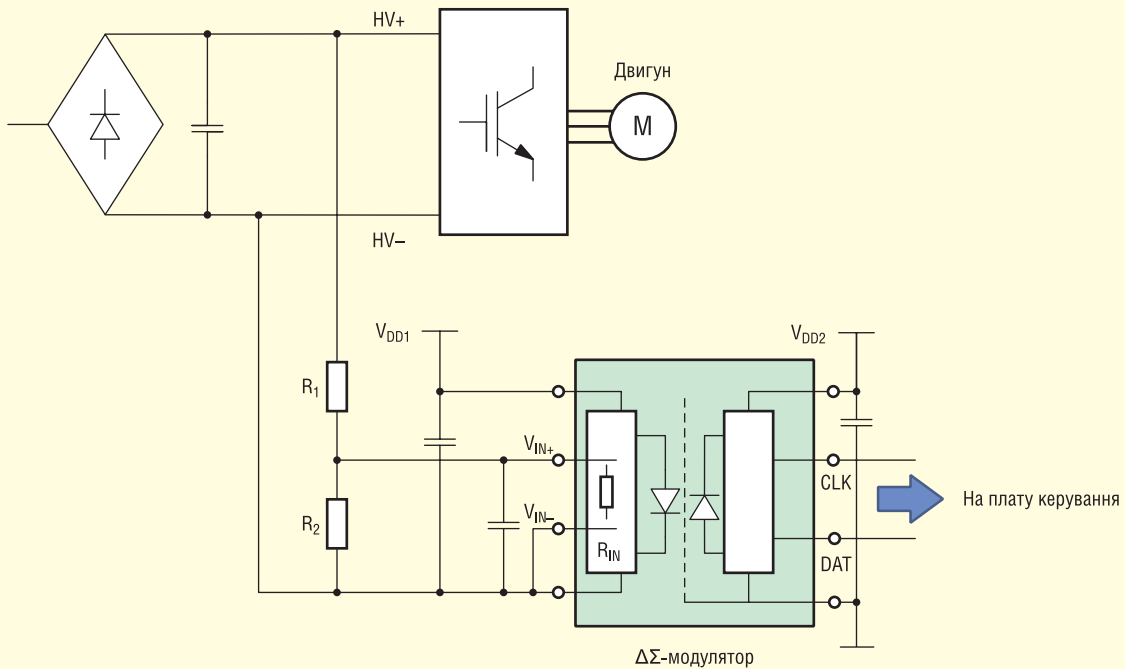


Рис. 3. Приклад схеми контролю (вимірювання) напруги

ня електричного струму в обмотках двигуна та стандартизації рішень.

МЕТОДИ ПІДВИЩЕННЯ ТОЧНОСТІ ВИМІРУ

Точність функціонування контролерів роботів, сервоприводів змінного струму та сервоприводів з ЧПУ необхідно підвищити, наприклад, коли потрібно забезпечити:

- мініатюризацію обладнання для виробництва напівпровідників та дисплеїв високої чіткості;
- високу щільність монтажу високошвидкісного компактного складального обладнання;
- механізацію кваліфікованої праці.

Для вирішення цих завдань потрібні високоточне позиціонування, прецизійна механообробка та стабільне керування швидкістю у складних виробничих умовах (велика температура навколишнього середовища та високий рівень шуму).

На рисунку 2 показана схема сервокерування, що застосовується в контролерах роботів, сервоприводах змінного струму, сервоприводах з ЧПУ і т.д. У ній є контур зворотного зв'язку (33) за становищем, швидкістю та значенням струму для забезпечення високої точності та швидкого позиціонування. Контур 33 по струму керує силою тяги (крутільним моментом) двигуна. Командне значення, отримане від контролера, порівнюється з фактичним значенням струму в обмотках двигуна. В результаті ширина імпульсу ШІМ регулюється таким чином, щоб форма синтезованого вихідного сигналу якнайточніше відповідала еталонній формі (синусоїді).

Для моніторингу напруги зазвичай використовується схема, показана на рисунку 3. Резистори R_1 і R_2 утворюють дільник високої напруги. Опір R_2 підбирається таким чином, щоб вхідна напруга сигма-дельта-модулятора або розв'язуючого (ізолюючого) підсилювача дорівнювала 200 мВ. Якщо $R_1 \gg R_2$,

а вхідний опір сигма-дельта-модулятора або розв'язуючого (ізолюючого) підсилювача дорівнює R_{IN} , помилка вимірювання становить $R_2/(R_2 + R_{IN})$. Отже, якщо вхідний опір R_{IN} сигма-дельта-модулятора досить великий порівняно з опором дільника напруги R_2 , помилку виміру можна зменшити, а вимір виконати з більш високою точністю.

СТАНДАРТИЗАЦІЯ КОНСТРУКЦІЇ РОЗШИРЮЄ СФЕРУ ЗАСТОСУВАННЯ

Необхідно не лише зменшити вартість самого виробу (оптрон), а й скоротити витрати, починаючи з початкового етапу розробки та закінчуючи масовим виробництвом. Стандартизація компонентів дозволить скоротити обсяг вимог до проектування та оцінки якості, час тестування на надійність та сертифікацію, а також управлінські витрати при масовому виробництві.

Таблиця 1. Основні характеристики мікросхеми RV1S9353A

Номер компоненту	Корпус		Макс. ном. значення		Електричні характеристики							
	Код	Шлях струму витоку, мм	Електрична міцність ізоляції, В (СКЗ)	$T_{окр.}$ (макс.), °C	Частота вхідного сигналу (тип.), МГц	Похибка посилення (макс.), %	Температурний дрейф опорної напруги, ppm/°C	Температурний дрейф напруги зсуву, мкВ/°C	Стандартне значення SNR, дБ	Стандартне значення CMR, кВ/мкс	$V_{оп1}/V_{доп2}$, В	Стандартний вхідний опір, кОм
RV1S9353A CCSP-120C	SDIP8	8	5000	110	10	0.5	30	0.2	85	25	4.5–5.5/3–5.5	500

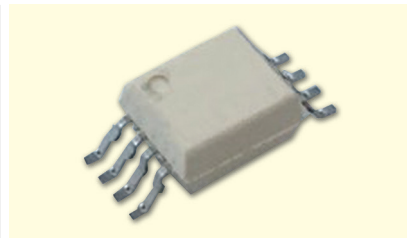


Рис. 4. Мікросхема RV1S9353A у корпусі SDIP-8

Зазвичай у схемі вимірювання струму застосовуються точні сигма-дельта-модулятори, а у схемі моніторингу (вимірювання) напруги — аналогові розв'язувальні (ізолюючі) підсилювачі з відносно малою точністю та високим вхідним опором. У цьому випадку потрібно окреме проектування, тестування, визначення температурних характеристик і т.д. Якщо той самий компонент застосовується для вирішення обох завдань, термін розробки зменшується, що дозволяє скоротити загальні витрати.

СТАНДАРТИ БЕЗПЕКИ

Прагнення скоротити витрати не позначиться на безпеці та надійності оптрона. Оптопарі для електроприводів, що відповідають стандартам безпеки UL1577, EN60747-5-5 та нещодавно оновленому UL61800-5-1, відіграють важливу роль у виробництві промислового обладнання.

ОПТРОН RV1S9353A ВІД RENESAS

Мікросхема RV1S9353A компанії Renesas являє собою оптично ізолюваний $\Delta\Sigma$ -модулятор, характеристики якого представлені в таблиці 1. Він забезпечує високу точність керування промисловими виробами, має стандартну конструкцію та відповідає галузевим вимогам щодо стійкості до синфазних перешкод.

IC RV1S9353A з високим відношенням сигнал/шум, малим температурним дрейфом та низьким дрейфом напруги

зміщення призначена не тільки для вимірювання фазного струму двигуна, але і для вимірювання напруги завдяки високому вхідному опором.

Як видно з рисунку 4, корпусом оптрона є 8-контактний SDIP з кроком виводів 1.27 мм. Значення шляху витоку та повітряних зазорів становлять 8 мм, а електрична міцність ізоляції — 5 кВ (СКЗ). Незважаючи на свої мініатюрні розміри, оптрон RV1S9353A застосовується в пристроях приводу електродвигунів змінного струму з напругою 200 і 400 В з посиленою ізоляцією.

ВИСОКА ТОЧНІСТЬ

Для вимірювання струму з високою точністю компактного оптрону RV1S9353A є оптимізована схема $\Delta\Sigma$ -АЦП 2-го порядку, завдяки чому забезпечується високе відношення сигнал/шум і низький температурний дрейф напруги зміщення. На рисунку 5 показано результати порівняння цього компонента зі стандартним кристалом PS9352A. Вплив температурних коливань на точність вимірювання та керування обладнанням за допомогою оптрона RV1S9353A менший завдяки тому, що він має високий показник SNR = 85 дБ; ефективна розрядність (ENOB) дорівнює 13.8 біт (тип.); температурний дрейф вхідної напруги зміщення дорівнює 0.2 мкВ/°C, а

температурний дрейф опорної напруги становить 30 ppm/°C. Мікросхема RV1S9353A працює в діапазоні вхідної напруги 200 мВ і призначена для вимірювання струму до 150 А спільно з відповідним струмовим шунтом.

У застосуваннях для моніторингу напруги вхідний опір модуля RV1S9353A становить 500 кОм, що в 10 разів вище вхідного опором $\Delta\Sigma$ -модулятора для вимірювання струму (кілька десятків кОм). Внаслідок цього значно скорочується помилка вимірювання (див. рис. 3).

СТАНДАРТИЗАЦІЯ РІШЕНЬ

Кристал RV1S9353A — єдиний у світі прецизійний $\Delta\Sigma$ -модулятор з високим вхідним опором (500 кОм) для вимірювання сили струму. Оскільки оптрон RV1S9353A можна використовувати і для вимірювання сили струму, і для моніторингу напруги, він знаходить широке застосування у сфері промислової автоматизації. Крім того, застосування виробу RV1S9353A для моніторингу напруги усуває необхідність у складних багатокомпонентних рішеннях, заснованих на традиційних аналогових розв'язувачих (ізолюючих) підсилювачах. Це пов'язане з тим, що фільтрація здійснюється цифровим фільтром, який можна реалізувати з допомогою тих самих компонентів і схеми. На характеристики цифрового фільтра не впливають ва-

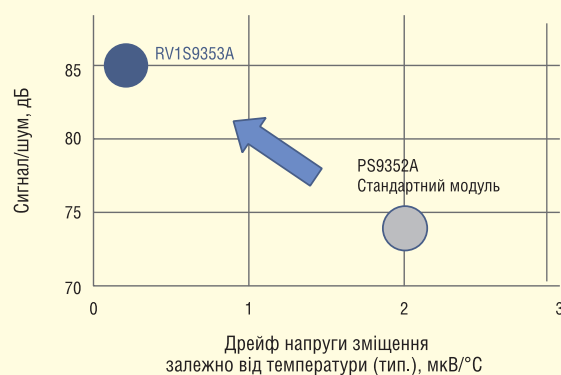


Рис. 5. Передавальна функція

Таблиця 2. Порівняння аналогового та цифрового фільтрів		
	Аналоговий фільтр	Цифровий фільтр
Особливості	<ul style="list-style-type: none"> • фільтр з іншими характеристиками потребує встановлення інших компонентів та використання іншої схеми; • на характеристики фільтра впливає температурний дрейф; • на точність фільтрації впливають характеристики компонентів (розкид) 	<ul style="list-style-type: none"> • фільтр з іншими характеристиками можна отримати з колишніми компонентами та схемами; • на характеристики фільтра впливає температурний дрейф; • на точність фільтрації не впливають варіації параметрів компонентів; • у цифрових фільтрах вищого порядку простіше конструкція в порівнянні з аналоговими фільтрами

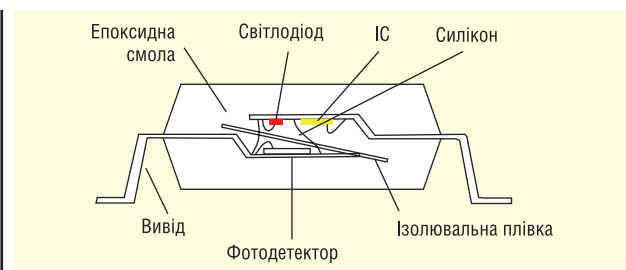


Рис. 6. Поперечний переріз оптрона RV1S9353A

ріації параметрів компонентів чи температурні коливання (див. табл. 2).

СТАНДАРТИ БЕЗПЕКИ

Поперечний переріз мікросхеми RV1S9353A показано на рисунку 6. Як захисну поверхню використовують силіконову та поліімідну плівки. Світлодіод та схема фотодетектора розміщені таким чином, щоб шлях витoku струму становив 400 мкм. Така конструкція відрізняється від конструкції цифрових ізоляторів, у яких шлях струму витoku не перевищує 10 мкм при більшій відстані між входом та виходом. Оptron RV1S9353A забезпечує ширший діапазон номінальної електричної міцності ізоляції.

Як відомо, в кінці терміну служби оптрон переходить у розімкнений стан через зниження яскравості світлодіода, а цифровий ізолятор, навпаки, — в короткозамкнутий режим через руйнування оксидної або поліімідної плівки, що може стати причиною короткого замикання та ураження електричним струмом. Цю обставину необхідно враховувати.

Мікросхема RV1S9353A має надійний стандартний подвійний захист відповідно до вимог UL1577, а також як опція — DIN EN 60747-5-5 (VDE 0884-5). Хоча стандарт електроприводів змінився з UL508C на UL61800-5-1 і разом із ним змінилася вимога до величини повітряного зазору, виріб RV1S9353A забезпечує посилену ізоляцію для роботи з обладнанням змінного струму на 200 та 400 В.

ВИСНОВКИ

У жорстких умовах експлуатації приводних пристроїв електродвигунів, наприклад контролерів роботів, сервоприводів змінного струму та сервоприводів з ЧПУ, ΔΣ-модулятор RV1S9353A від Renesas Electronics забезпечує прецизійні вимірювання струму та контроль напруги в широкому діапазоні промислових застосувань.

CI

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

Що таке Arduino та чому вона стала неофіційним стандартом?

Кожен любитель електроніки як мінімум чув про платформу Arduino, оскільки завдяки своїм унікальним якостям вона була неймовірної популярності. Настав час, коли невелике підприємство, засноване та розкритичене простими аматорами, диктує стандарти роз'ємів та розміщення сигналів величезним концернам — виробникам мікроконтролерів чи макетних плат. Що таке Arduino і чому вона стала неофіційним стандартом створення прототипів? Зрештою, як за допомогою Arduino розробляти програми та використовувати їх для своїх потреб?

ARDUINO — ІДЕАЛЬНИЙ ВИБІР ДЛЯ ПРОГРАМІСТІВ-ПОЧАТКІВЦІВ

Якщо ми збираємося навчитися програмувати мікроконтролери, то платформа Arduino є відмінним вибором. Вона підходить і для тих, хто захоплюється електронікою, у кого є ідея швидко створити пристрій на основі мікроконтролера та таких стандартних периферійних пристроїв як буквено-цифрові, графічні, світлодіодні, рідкокристалічні дисплеї з відповідними кнопками або без них, датчики, модулі передачі даних, драйвери двигунів або електроклапанів та багато, багато іншого. До платформи Arduino також варто звернутися, якщо необхідно створити невелику серію пристроїв, «серцем» яких є мікроконтролер, який не обов'язково працює з модулями розширення Arduino.

ARDUINO — ЩО ЦЕ?

Це не тільки плата мікрокомп'ютера (найчастіше під назвою Arduino мається на увазі саме плата), а й повноцінна платформа, заснована на простому у використанні апаратному та програмному забезпеченні. Зауважимо, що платформа Arduino має відкритий вихідний код. Це означає, що користувачі мають доступ до безкоштовної детальної документації, а також до схем і джерел програм. Як правило, пристрій, виконаний на основі платформи Arduino, складається з базової плати з мікроконтролером і модуля розширення shield, що додається до неї.

Більшість базових плат Arduino мають інтерфейс USB, який використовується для їх програмування за допомогою ПК. На одних платах сигнали мікроконтролера підводяться до гнізд, до яких підключаються модулі розширення, а на інших — до точок пайки. Оскільки такі плати пропонуються як мініатюрні модулі, у побуті їх часто називають «мікроконтролерами Arduino» або «мікрокомп'ютерами Arduino».

ПРОГРАМУВАННЯ ARDUINO

Синтаксис мови програмування Arduino, подібний до мови C/C++, став дуже популярним серед розробників мікроконтролерів. Сильною стороною програмного середовища Arduino є численні готові бібліотеки, що полегшують створення програми, а також величезна кількість готових програм, що розробляються користувачами цієї платформи всього світу. Зауважимо, що програмне середовище є загальнодоступним незалежно від того, для яких цілей воно використовується. Те саме стосується і базової плати, — якщо ми не маємо наміру її купувати, можна створити її самостійно на основі наявної документації.

КОРОТКА ІСТОРІЯ ВИНИКНЕННЯ ARDUINO

Ідея створення Arduino зародилася в Італії в проектному інституті Іврея (Ivrea Interaction Design Institute). Платформа Arduino спочатку призначалася для швидкого створення прототипів, а також

навчання програмуванню студентів, які раніше не вивчали електроніку та програмування. У творців Arduino була чудова ідея, яка добре зарекомендувала себе не тільки в університеті, а й за його межами, допомагаючи багатьом людям вчитися та швидко втілювати свої ідеї.

Після того, як платформа Arduino вийшла за межі університету і була прийнята ширшим колом користувачів, вона стала адаптуватися до нових викликів, щоб задовольнити нові потреби. У той же час асортимент базових плат став більш різноманітним, включаючи не тільки прості 8-біт, але й розширені, призначені для використання в портативних та IoT-пристроях, 3D-принтерах та інших ще більш вимогливих застосуваннях. Всі плати Arduino засновані на ліцензії open source, що дозволяє настраювати їх відповідно до конкретних потреб користувачів. Програмне забезпечення також є вільним і вдосконалюється завдяки користувачам усього світу.

ЧОМУ CAME ARDUINO?

Ще кілька років тому кожен із виробників макетних плат чи мікроконтролерів мав власний певний стандарт роз'ємів. На цей час більшість із них підлаштується під неформальний «стандарт», впроваджений Arduino. Мабуть, головною причиною поряд з популярністю Arduino є наявність величезної кількості модулів розширення (т. з. shields). Якщо виводи пропонованої макетної плати сумісні з виводами Arduino, тоді можна вільно користуватися величезним набором модулів розширення для Arduino, що дозволяє легко, дешево і швидко забезпечити необхідну функціональність прототипу. Та ж перевага є і у виробника макетних плат, оскільки він може повністю займатися функціями самого мікроконтролера, використовуючи лише мінімальний набір сумісних компонентів, що скорочує кінцеву вартість рішення.

Завдяки простоті використання, доступності, а також різноманітним потребам користувачів серед проектів, реалізованих за допомогою Arduino, можна

знайти вирішення численних проблем і практично будь-які пристрої. Їх можна використовувати безпосередньо або як вихідний проєкт. Програмне забезпечення для створення програм (Arduino IDE) — дуже просте у використанні для новачків, але в той же час досить гнучке і середовище з безліччю опцій для досвідчених користувачів. Його можна запуснути за допомогою операційних систем MacOS, Windows та Linux. Це робить Arduino IDE доступною для користувачів з різними апаратними уподобаннями та різними фінансовими можливостями.

Неможливо перерахувати всі застосування Arduino, оскільки ця платформа з однаковим успіхом використовується як професіоналами, так і аматорами. Вчителі та студенти використовують Arduino для створення недорогих приладів для вимірювання не тільки електричних величин, а й призначених для проведення хімічних та фізичних експериментів. У школах по всьому світу Arduino використовується для навчання програмуванню та робототехніці. Дизайнери та архітектори створюють за допомогою Arduino прототипи інтерактивних будівель, музиканти та художники — інтерактивні художні інсталяції та експериментують із музичними інструментами нових видів. Для багатьох людей платформа Arduino є ключовим засобом освоєння нових навичок. Нею може скористатися кожен: діти, любителі, художники, програмісти, розробники пристроїв. Кожен може створити якийсь пристрій, дотримуючись покрокових вказівок до набору, або ділитися ідеями з іншими членами спільноти Arduino.

ЯКУ ПЛАТУ ARDUINO ВИБРАТИ?

Як правило, для створення прототипу або пристрою на основі платформи Arduino необхідна базова плата, оснащена відповідно до наших потреб типом мікроконтролера, модуль розширення, програмне забезпечення Arduino IDE, USB-кабель, блок живлення і ПК. В даний час в екосистемі є Arduino різних видів, з різними мікроконтролерами та величезною кількістю модулів розширення. Приклади модулів подано на рисунках 1–3.

Залежно від типу плати Arduino оснащені роз'ємами — гніздами під goldpin або точками пайки, які можна використовувати не тільки для підключення плати, але і для її кріплення на друкованій платі вбудованого пристрою, якщо Arduino виконує роль основної одиниці. Кожна з них має збережений у пам'яті мікро-

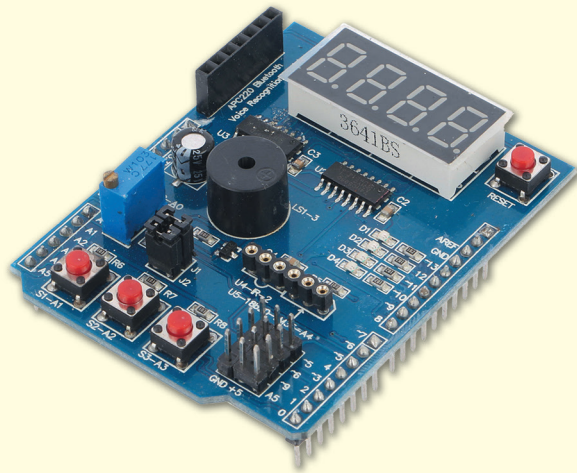


Рис. 1. Модуль розширення зі світлодіодним дисплеєм та кнопками. З його допомогою легко зробити годинник

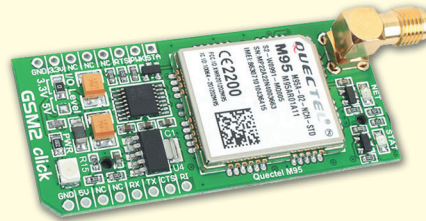


Рис. 2. Модуль розширення з GSM-модемом може бути корисним для створення сигналізації з повідомленням

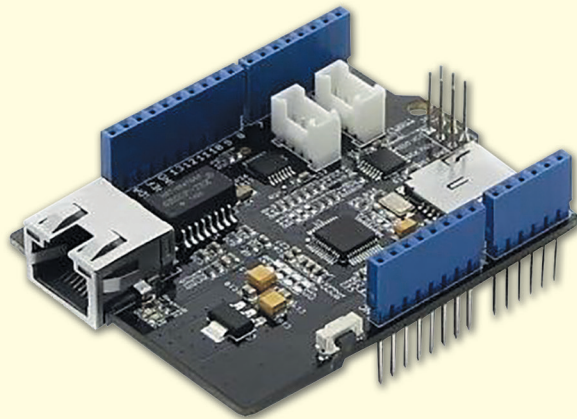


Рис. 3. Модуль розширення з інтерфейсом Ethernet може застосовуватись для пристроїв домашньої автоматизації

контролера завантажувач (bootloader), який застосовується для програмування процесора без випаювання (внутрішньо-схемно) шляхом вибору параметрів з меню середовища Arduino IDE.

Актуальний список базових плат Arduino наведено в таблиці 1. Більшість із них використовує мікроконтролери з ядром AVR, але серед них можна знайти процесор Intel та SAM21, оснащений ядром ARM Cortex-M0+. Зауважимо, що в таблиці не представлені плати, оснащені процесорами фірми Espressif

Systems (наприклад, популярним процесором ESP8266), але їх можна запрограмувати з допомогою Arduino IDE. Під час вибору плати для програми слід керуватися можливостями встановленого на ній мікроконтролера. Окремі одиниці відрізняються розмірами доступної пам'яті, швидкістю роботи ядра та оснащенням функціональними блоками — інтерфейсами, таймерами, ШІМ-генераторами тощо. Крім того, слід звернути увагу на виводи плати, оскільки деякі з них не мають роз'євів, але призначені для паяння.

Таблиця 1. Список базових плат Arduino

Тип плати Arduino	Тип процесора	Напруга ІО/ живлення, В	Тактова частота ЦП, МГц	Входи/ аналогові виходи	Входи-виходи цифрові/ кількість ШІМ	EEPROM, Кбайт	SRAM, Кбайт	Флеш	USB	UART
LilyPad USB	ATmega32U4	3.3/3.8–5	8.00	4/0	44295.00	1.00	2.50	32 Кбайт	–	micro
Mega 2560	ATmega2560	5/7–12	16.00	16/0	54/15	4.00	8.00	256 Кбайт	тип В	4.00
Micro	ATmega32U4	5/7–12	16.00	12/0	44397.00	1.00	2.50	32 Кбайт	micro	1.00
MKR1000	SAMD21 (Cortex-M0+)	3.3/5	48.00	44203.00	44294.00	–	32.00	256 Кбайт	micro	1.00
Uno	ATmega328P	5/7–12	16.00	6/0	44361.00	1.00	2.00	32 Кбайт	тип В	1.00
Zero	ATSAMD21G18	3.3/7–12	48.00	44202.00	44483.00	–	32.00	256 Кбайт	2×micro	2.00
Due	ATSAM3X8E	3.3/7–12	84.00	44239.00	54/12	–	96.00	512 Кбайт	2×micro	4.00
Leonardo	ATmega32U4	5/7–12	16.00	12/0	44397.00	1.00	2.50	32 Кбайт	micro	1.00
Nano	ATmega168; ATmega328P	5/7–9	16.00	8/0	44361.00	0.512; 1	1; 2	16 Кбайт; 32 Кбайт;	mini	1.00
MKRZero	SAMD21 (Cortex-M0+)	3.30	48.00	7 (ADC 8/10/12 bit)/ 1 (DAC 10 bit)	44552.00	–	32.00	256 Кбайт	так	1.00
Yun Rev 2	ATmega32U4; Atheros AR9331	5; 3.3	16; 400	12/0	20.00	1.00	2.5; 64 Мбайт DDR2	32/16 Кбайт; 16 Мбайт	так	1.00
Uno WiFi Rev2	ATmega4808; радіомодуль u-blox NINA-W102	5/7–12	16.00	6/0	14.00	0.26	6.00	48 Кбайт	так	1.00
Nano 33 IoT	SAMD21 (Cortex-M0+)	3.3/3.6–21	48.00	44204.00	14.00	–	32.00	256 Кбайт	так	1.00
Nano 33 BLE	nRF52840	3.3/3.6–21	64.00	8/0	14.00	–	256.00	1 Мбайт	так	1.00
Nano 33 BLE Sense	nRF52840	3.3/3.6–21	64.00	8/0	14.00	–	256.00	1 Мбайт	так	1.00
MKR1000 WiFi	SAMD21 (Cortex-M0+)	3.3/5	48.00	44203.00	8.00	–	32.00	256 Кбайт	так	1.00
MKR1010 WiFi	SAMD21 (Cortex-M0+)	3.3/5	48.00	44203.00	8.00	–	32.00	256 Кбайт	так	1.00
MKR Vidor 4000	SAMD21 (Cortex-M0+); ПЛІС Intel Cyclone 10CLO16	3.3/5	48; 48–200	7/1; –/–	8; 22	–	32; 8 Мбайт SDRAM	256 Кбайт; 2 Мбайт	так	1; 7
MKR Fox 1200	SAMD21 (Cortex-M0+); радіомодуль Microchip Smart RF ATA8520	3.3/5	48.00	44203.00	8.00	–	32.00	256 Кбайт	так	1.00
MKR GSM 1400	SAMD21 (Cortex-M0+); радіомодуль u-blox SARA-U201	3.3/5	48.00	44203.00	8.00	–	32.00	256 Кбайт	так	1.00
MKR NB 1500	SAMD21 (Cortex-M0+); радіомодуль u-blox SARA-R410M-02B	3.3/5	48.00	44203.00	8.00	–	32.00	256 Кбайт	так	1.00
MKR WAN 1310	SAMD21 (Cortex-M0+); радіомодуль CMWX1ZZABZ	3.3/5	48.00	44203.00	8.00	–	32.00	256 Кбайт	так	1.00
MKR WAN 1300 (LoRa Connectivity)	SAMD21 (Cortex-M0+); радіомодуль CMWX1ZZABZ	3.3/5	48.00	44203.00	8.00	–	32.00	256 Кбайт	так	1.00
Portenta H7	STM32H747XI (Cortex-M7+M4); радіомодуль Murata 1DX WiFi і Bluetooth 5.1	3.3/5	480.00	44234.00	44423.00	–	1 Мбайт	2 Мбайт	так	4.00

ARDUINO NANO, ARDUINO UNO TA ІНШІ

Недорогі плати та безкоштовне програмне середовище Arduino є чудовою альтернативою багатьом доступним на ринку оцінним платформам, які пропонуються, наприклад, виробниками мікроконтролерів. Наявність документації та відкриті джерела дозволяють самостійно змінювати платформу та адаптувати її до своїх потреб. Готові плати Arduino відрізняються «розумною ціною». Гарною відправною точкою для початківців є Arduino Uno. Вона оснащена типовим USB-роз'ємом, за допомогою якого можна закріпити плату на ПК і легко пересилати програмне

забезпечення одним клацанням миші. ATmega328 має достатній об'єм пам'яті, а також необхідне апаратне обладнан-

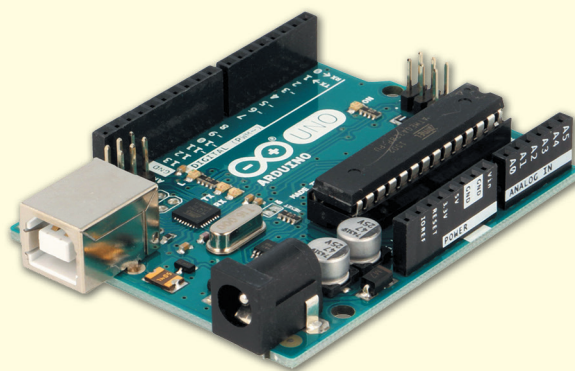


Рис. 4. Arduino Uno R3 рекомендується для початківців

ня для реалізації багатьох програм для контролю та керування. Тактова частота ядра становить 16 МГц, завдяки чому тривалість машинного циклу становить 62.5 нс, а ядро AVR, що використовується в мікроконтролері, виконує більшість команд в одному машинному циклі. У міру набуття навичок та досвіду можна вибрати такі варіанти як Arduino Due, Mega 2560 та ін.

Насамперед, варто звернути увагу на модель Arduino Nano, яка є мініатюрною версією великих схем, але позбавлена, наприклад, стабілізатора напруги та повнорозмірного USB-порту. Arduino Nano, однак, був оснащений тим же 8-біт процесором, що і плата Uno, при вражаючій мініатюризації. Для серії Nano розмір PCB складає 18 x 45 мм! Зуважимо, що, незважаючи на апаратні зміни, далі можна використовувати те саме програмне середовище.

Як правило, програмування мікроконтролера здійснюється через USB-інтерфейс. Щоб інтерфейс USB Arduino правильно підтримувався в операційній системі, що використовується, знадобиться спеціальний контролер, що встановлюється операційною системою при підключенні плати, і готовність програмного забезпечення до запуску мікроконтролера за допомогою завантажувача. Спочатку Arduino IDE була написана під Windows, що робить більшість завантажувачів доступними для Windows і лише деякі з них адаптовані під інші ОС. Працюючи на комп'ютері під керуванням MacOS або Linux, слід перевірити перед ухваленням рішення про купівлю певної базової плати Arduino, чи сумісна вона з використовуваною системою.

На завершення згадаємо сайт користувачів Arduino з адресою <https://www.arduino.cc>, де представлені актуальні версії програм, численні програми, форум користувачів та база знань. Там же пропонуються схеми та електричні параметри плат Arduino, описи та специфікації параметрів, включаючи опис Arduino Uno R3 (див. рис. 4), що рекомендується для початківців.

У нашій пропозиції ви знайдете безліч модулів розширення, а численні приклади програм (додатків) представлені на інших сайтах — їх можна знайти за допомогою пошукових систем або дискусійних груп, присвячених програмуванню та електроніці.

Матеріал надано компанією
TME, www.tme.eu

CN




**Tempo –
вимірювальна апаратура
для мереж LAN вже в TME**



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

tme.com

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

Еволюція архітектури SmartNIC: перехід на прискорювачі та зростання ролі ПЛІС

Скотт Швейцер (Scott Schweitzer), компанія Xilinx

Крім типової мережної карти, до архітектури SmartNIC входять додаткові обчислювальні ресурси. Оскільки ці архітектури розумних мережних карт відрізняються одна від одної, ми докладно розглянемо кілька з них, реалізованих найбільшими та найвідомішими постачальниками.

Типова мережна інтерфейсна картка (network interface card, NIC) побудована на одній мікросхемі ASIC, яка функціонує як Ethernet-контролер. Як наочні приклади можна навести лінійку адаптерів ConnectX від компанії Mellanox, NetXtreme від Broadcom або XtremeScale від Xilinx. Частіш за все ці контролери надалі оптимізуються. Так, наприклад, контролери сімейства ConnectX підтримують обладнання InfiniBand, а контролери XtremeScale дозволяють використовувати адаптери з технологією kernel bypass, коли драйвер мережної карти працює безпосередньо з програмою в обхід ядра операційної системи. Ці контролери мають чудові функціональні можливості і є кращими в галузі, але вони не належать до категорії SmartNIC.

Уточнимо, що SmartNIC ми розглядаємо як мережну інтерфейсну картку (NIC), в яку після її придбання можна завантажити додаткове програмне забезпечення, щоб додати нові функції або здійснити підтримку потрібних функцій. Така можливість схожа на ту, що є у користувачів нових смартфонів, на які після їх придбання встановлюються різні програми.

Можливість завантаження коду в NIC-карту після її придбання дозволяє назвати цей пристрій інтелектуальною картою SmartNIC. Вона вимагає додаткових обчислювальних потужностей і вбудованої пам'яті, які зазвичай відсутні у типових NIC-карт. Більшість реалізацій SmartNIC починається з базового контролера Ethernet або на кремнієвому

кристалі із встановленою прошивкою, або з окремою мікросхеми на адаптері.

Потім використовується один із трьох наступних підходів, щоб зробити типову NIC-карту розумною за рахунок збільшення її обчислювальної потужності шляхом додавання:

- кластера ядер Arm;
- спеціалізованих мережних процесорів (flow processing cores, FPC), наприклад P4 (Pentium 4);
- ПЛІС.

Багато карт SmartNIC часто використовують одне або кілька ядер Arm для управління всередині NIC. Деякі навіть дозволяють завантажувати модифі-

коване ядро Linux в одне або кілька цих ядер. Arm-ядра зазвичай здійснюють завантаження коду в інші процесорні елементи, збирання статистики та запис у журнал, а також спостереження за станом та конфігурацією SmartNIC-карт. Вони не працюють із мережними пакетами і часто є позасмуговими. Це означає, що до них не можна отримати доступ через «звичайні» інтерфейси мережі або команди PCIe. Крім того, ці ядра повинні приймати лише правильно підписані пакети прошивки через захищені інтерфейси. Проте ці Arm-ядра власними силами, зазвичай, не збільшують цінності набору функцій, забезпечуваних SmartNIC-картой.

ПОРІВНЯННЯ МЕРЕЖНИХ КАРТОК РІЗНИХ ВИРОБНИКІВ

Щоб зрозуміти, чим картки SmartNIC відрізняються від звичайних ме-

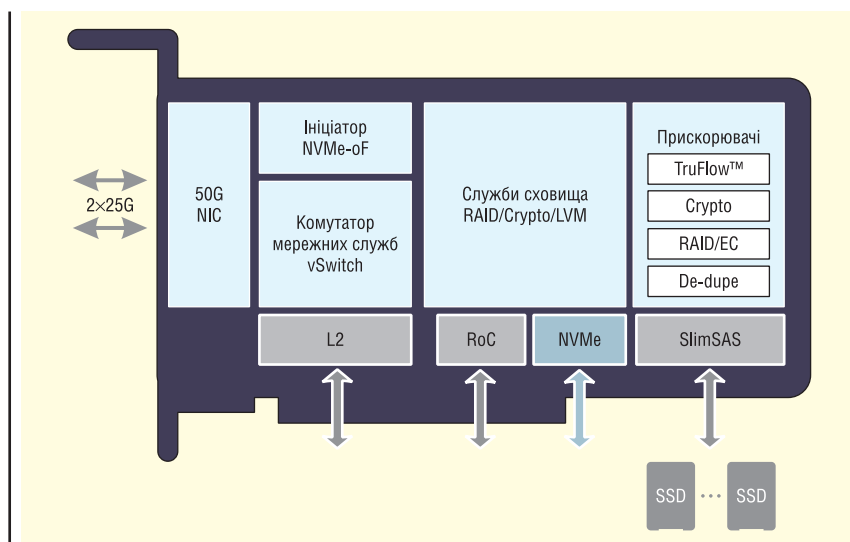


Рис. 1. Архітектура картки Stingray із презентації SDC 2019 компанії Broadcom

режних карток, давайте познайомимося з провідними виробами SmartNIC від чотирьох найбільших виробників мережних карток та двох новачків. Ми вибрали шість компаній: Broadcom, Intel, Nvidia (раніше Mellanox), Netronome, Pensando та Xilinx. Крім того, ми розглянемо проєкт стартапу Fungible.

Broadcom

Broadcom — безперечний лідер на ринку Ethernet-контролерів мережних карток. Ця компанія вибрала однокристальний підхід для реалізації SmartNIC карти Stingray (див. рис. 1). Вартість виробництва однокристальних рішень SmartNIC на рівні плат завжди нижча за вартість виготовлення кількох плат з мікросхемами, як це роблять деякі інші конкуренти.

Компанія Broadcom розробила карту Stingray на основі IC контролера NetXtreme-S серії BCM58800. Вісім ядер Arm v8 A72 із тактовою частотою 3 ГГц використовуються в кластерній конфігурації. Можливо, на частоті 3 ГГц це найшвидші ядра. Крім того, у карті Stingray можна встановити до 16 Гбайт пам'яті DDR4. Крім того, в цю карту були додані логічні функції, щоб розвантажити шифрування на швидкості до 90 Гбіт/с і обробку даних сховища, наприклад здійснити видалення кодування (erase coding) і полегшити роботу надлишкового масиву незалежних жорстких дисків (RAID). Нарешті, компанія Broadcom задіяла технологію TruFlow, яка за допомогою настроюваного прискорювача переносить стандартні мережні потокові процеси в обладнання. Швидше за все, із цією метою компанія використовує процесор P4. Такий підхід дозволяє ядрам Arm зайнятися ресурсомісткими завданнями не лише на рівні потоку, а й пакетів. Судячи з опублікованих матеріалів, TruFlow апаратно полегшує вирішення таких завдань як Open vSwitch (OvS).

Компанія також стверджує, що технологія TruFlow реалізує в обладнанні багато класичних концепцій програмно-визначуваних мереж (SDN): класифікація, зіставлення та макрокоманди. Мережна карта Stingray має два програмні компоненти: TruFlow і кластер із чотирьох 3-ГГц двоядерних комплексів Arm v8 A72. Broadcom готується перевести Stingray на 7-нм техпроцес, щоб збільшити кількість ядер з восьми до 12. Для проектування програм SmartNIC та контролерів зберігання компанія пропонує комплект розробника Stingray.

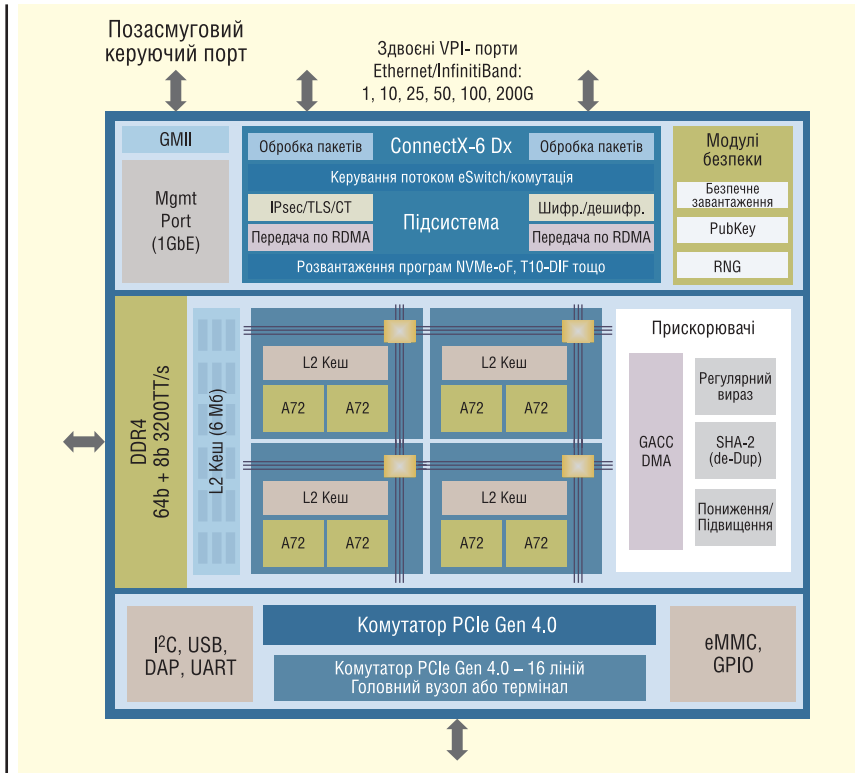


Рис. 2. Архітектура плати Bluefield 2 від компанії Mellanox

Nvidia

Nvidia визначила графічні процесори (GPU), які знайшли широке застосування як прискорювачі високопродуктивних обчислень (HPC). Нещодавно Nvidia остаточно закрила угоду з купівлі за 7 млрд дол. Mellanox — виробника телекомунікаційного обладнання, ключового розробника технології InfiniBand. Прагнучи заволодіти ринком високопродуктивних обчислень, компанія обрала постачальника між'єднань InfiniBand, щоб запропонувати повне рішення для ринку HPC. Така стратегія дуже схожа на ту, якої дотримувався в минулому виробник суперкомп'ютерів Cray.

Nvidia також нещодавно придбала Cumulus Networks — лідера в галузі операційних систем (ОС) для Ethernet-комутаторів із відкритим вихідним кодом. Програмне забезпечення завжди було слабким місцем компанії Mellanox, і Nvidia, очевидно, врахувала цю обставину. Mellanox — один із найстаріших учасників ринку SmartNIC, але таким він став за рахунок придбання: плата Bluefield 2 (див. рис. 2) з'явилася після купівлі Tiler у 2016 р. компанією Mellanox через ізраїльську напівпровідникову компанію EZchip. Tiler одним із перших створила високопаралельну реалізацію SmartNIC з використанням власних СФ-блоків на основі давнього дослідницького проєкту MIT. Плату Bluefield 2

в компанії називають модулем обробки даних (Data Processing Unit, DPU).

Складовою одиницею процесора Tiler є осередок, що містить повноцінний процесор з кешами 1- і 2-го рівнів і комутатор, що не блокується, який з'єднує процесор (обчислювальне ядро) з мережею. Ядра можуть працювати і під керуванням окремої операційної системи, і у групах під багатопроцесорною ОС типу SMP Linux.

Флагманський виріб Tiler ще у 2013 р. підтримував до 72 ядер MIPS, контролери пам'яті, модулі шифрування, блоки PCIe та mPipe, набір каналів для кількох MAC з рознімачами SFP+. Компанія Mellanox удосконалила цей процесор, перейшовши на ядра Arm та замінивши mPipe логікою ConnectX.

На платі встановлено вісім ядер Arm v8 A72, як і у випадку з Broadcom, але з тактовою частотою лише 2.4 ГГц. Ці ядра складені як кластер з чотирьох пар Arm-ядер. SmartNIC-карти Bluefield реалізовані по 16-нм техпроцесу Avago, але, як і Broadcom, Tiler має намір перейти на 7-нм процес і використовувати 12 ядер замість восьми. На платі встановлені також контролер пам'яті DDR4, двопортовий мережний Ethernet-адаптер або InfiniBand (два на 100 Гбіт/с або один на 200 Гбіт/с), а також спеціалізовані ASIC-блоки для прискорення функцій регулярних виразів, хешування SHA-2 тощо.

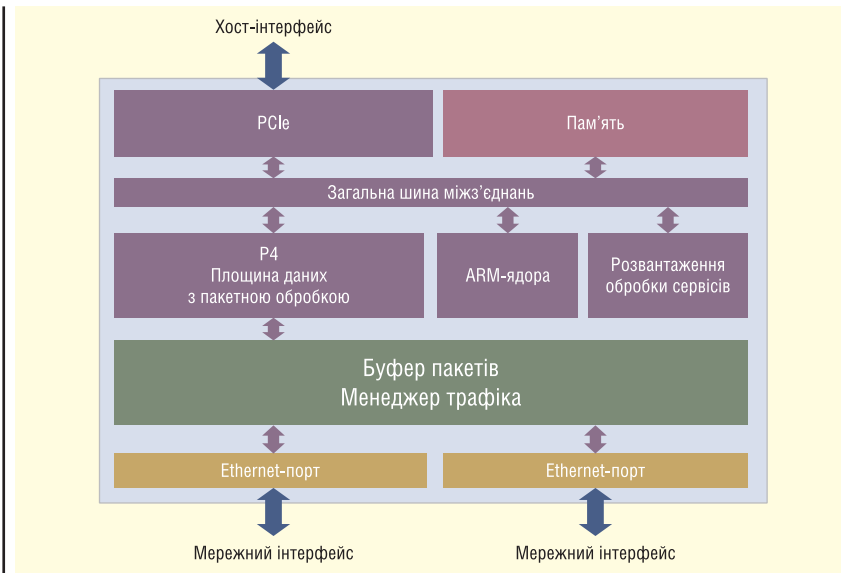


Рис. 3. Архітектура DPU-модуля від Pensando

Хоча таке рішення дуже схоже на Stingray від Broadcom, у ньому відсутній паралельний процесор P4, що становить основу архітектури Broadcom. Не секрет, що більшість компаній має намір використовувати цей процесор у своїх архітектурах, як це зробили Broadcom, Xilinx та Pensando. У створенні механізму обробки пакетів за допомогою P4 у зовнішньому інтерфейсі карти Bluefield компанія Nvidia зможе скористатися досвідом програмування Cumulus Networks на P4.

Pensando

Одним із найновіших стартапів у сегменті SmartNIC є компанія Pensando, яка була заснована групою інженерів, що ініціювала розробку кількох ключових технологій Cisco System та створення чотирьох компаній, пізніше придбаних Cisco.

Враховуючи репутацію групи засновників та голови ради директорів, а також їхній попередній досвід, очікується, що компанію Pensando придбає Cisco. Cisco має стандартну технологію мережних карт і кілька власних проєктів SmartNIC, але ходять чутки, що вони не побачать світ, і Pensando явно прагне заповнити цю прогалину.

Спочатку Pensando мала дві мережні карти, але залишила одну — DSC-25 Distributed Services, назва якої схожа на назву карт Cisco. Карта DSC-25 має один 4-Гбайт DPU-процесор P4 для обробки даних, додаткові 4-Гбайт Arm-ядра і апаратні прискорювачі окремих функцій (див. рис. 3).

Процесор під назвою Carpi є програмовним блоком P4 з кількома паралельними каскадами. Компанія не

вказала точний обсяг паралельної обробки, швидкість обробки пакета, значення затримки та джиттера. За задумом

мом Pensando, дані програм P4 повинні залишатися в кеші Carpi у разі промаху кеша. Таким чином, для подачі команди потрібна вибірка з пам'яті, що знижує продуктивність за всіма показниками. Інші додаткові обчислювальні блоки, до яких відносяться Service Processing Offloads, беруть участь у шифруванні, дискових операціях та інших завданнях. Компанія Pensando стверджує, що Carpi забезпечить швидкість передачі, що відповідає максимальній пропускній здатності каналу.

Netronome

Netronome — сивобородий стартап у цьому сегменті ринку. Обсяг фінансування компанії, що розпочала свою діяльність у 2003 р., на сьогодні склав 73 млн дол. Компанія активно просуває процесори P4 з 2015 р., коли вона представила перші SmartNIC-карти. Хоча Netronome досягла значних успіхів, останнім часом ходять чутки, що вона може піти з ринку.

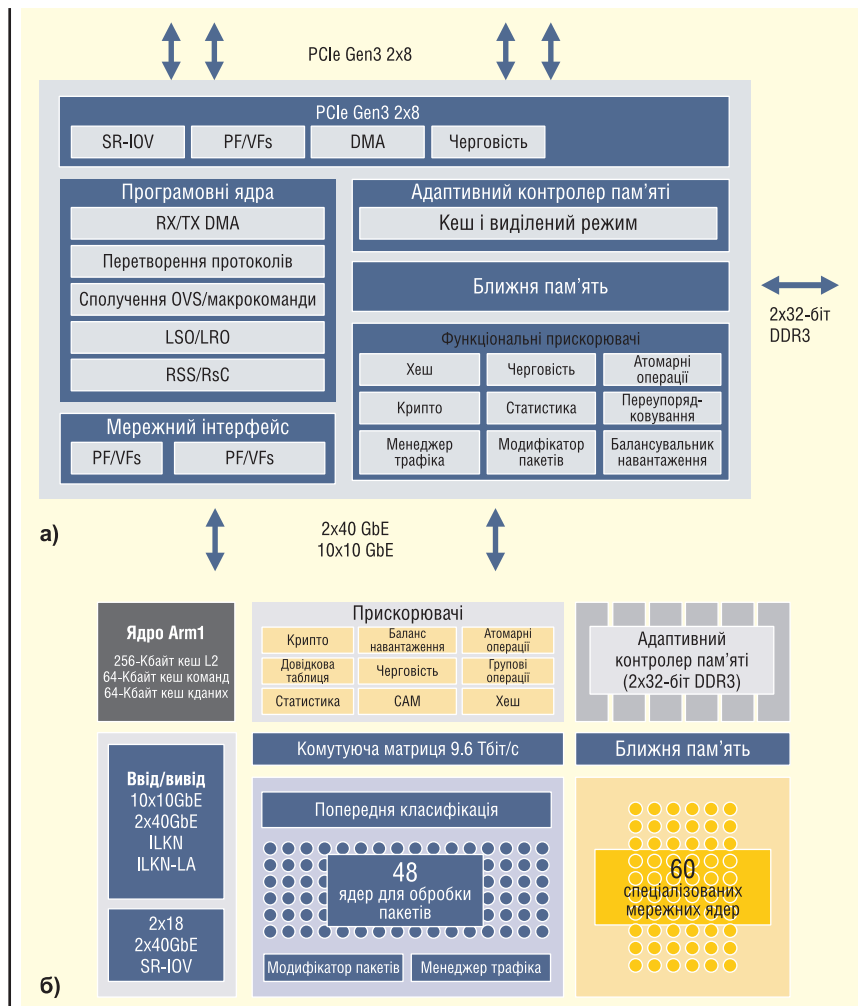


Рис. 4. Архітектура спеціалізованого мережного процесора NFP4000 від Netronome

На рисунку 4 показано архітектуру спеціалізованого мережного процесора NFP4000 від Netronome. Замість одного процесора P4 компанія використовує програмовані ядра двох класів: 48 ядер для обробки пакетів та 60 ядер — для обробки потоку. Додаткова мікросхема призначена для класифікації, модифікації та керування. Усі ці ядра можна запрограмувати на P4.

Компанія Netronome стверджує, що ці ядра можуть підтримувати один 100-Гбіт/с канал з максимальною пропускною здатністю 148 млн пакетів в секунду; при цьому забезпечуються мільйони точних збігів та потоків із довільними символами. Крім того, ядра підтримують понад 100 тис. мережних з'єднань з тунелюванням, які потребують інкапсуляції. До дуже довгого списку рішень, які підтримує ця технологія, входять системи виявлення вторгнень (IDS), системи запобігання вторгненням (IPS), міжмережний екран нового покоління (NGFW), маршрутизатори, балансувальники навантаження, брокери мережних пакетів, SDN, NFV та цілий ряд інших рішень.

Fungible

До кола компаній, що розглядаються, належить і стартап Fungible. Найближчим часом Fungible має намір анонсувати свою продукцію після трьох раундів фінансування на загальну суму майже 300 млн дол., з яких 200 млн було отримано від Softbank Vision минулого року. В даний час у компанії працюють 180 осіб; доки вона не випускає продукцію, не має доходів та відомих клієнтів.

Fungible стверджує, що робить блоки обробки даних (data processing unit, DPU), але фактична архітектура її пристроїв невідома. Поки що Fungible обмежується незрозумілими демонстраціями загальної схеми (див. рис. 5). Деякі фахівці підозрюють, що Fungible використовує найпопулярніший термін DPU для залучення венчурних інвестицій. Найближче майбутнє покаже, наскільки ці підозри виправдані.

Один із засновників та головний архітектор Fungible відпрацював 10 років у приватній технологічній компанії Chelsio Communications, що спеціалізується на мережних Ethernet-картах для пристроїв зберігання. Віце-президент з розробки програмного забезпечення та мікропрограм також є колишнім співробітником Chelsio, у якому він пропрацював 13 років. Якби Chelsio використовувала архітектуру на основі ASIC, для виробництва нових Ethernet-контролерів

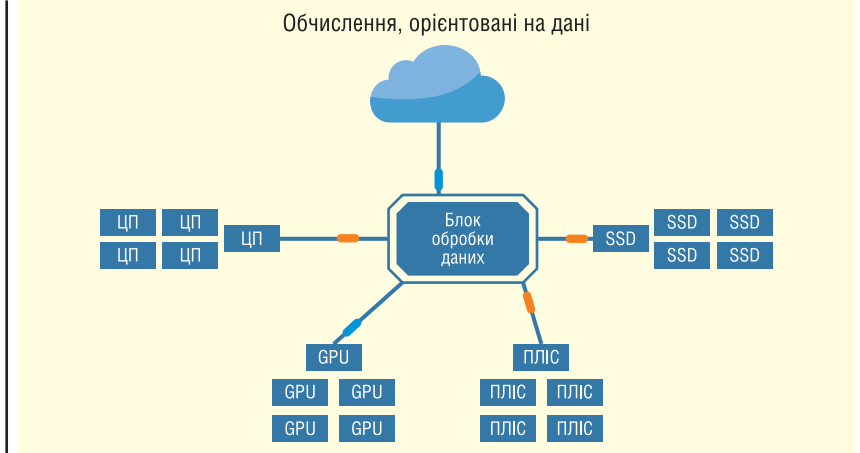


Рис. 5. Гнучка архітектура високого рівня

SmartNIC з нуля в даний час потрібно не менше 50 млн дол.

Щоб отримати прибуток, компанія Fungible, швидше за все, піде шляхом найменшого опору і скористається для реалізації свого вихідного виробу платформою ПЛІС, на яку завантажить конфігурацію ASIC. Надалі компанія, ймовірно, змінить архітектуру, щоб залучити якнайбільше клієнтів. Така стратегія дозволить легко виправити недоліки рішення та скоригувати його відповідно до потреб клієнтів. На сьогодні ПЛІС містять величезну кількість вентильних елементів, і на ринку з'явилися повно-

функціональні процесорні архітектури, наприклад RISC-V, які завантажуються на платформи ПЛІС.

Intel

Понад 10 років Intel підтримує лінійку високопродуктивних контролерів 10-GbE. Обсяг поставок її платформи XL710 обчислюється мільйонами одиниць, і вона є основним компонентом багатьох серверів центрів обробки даних. Для нової SmartNIC-карти N3000 корпорація Intel створила плату із п'ятьма своїми мікросхемами (див. рис. 6). Це дорогий підхід, тому що більшість постачальників

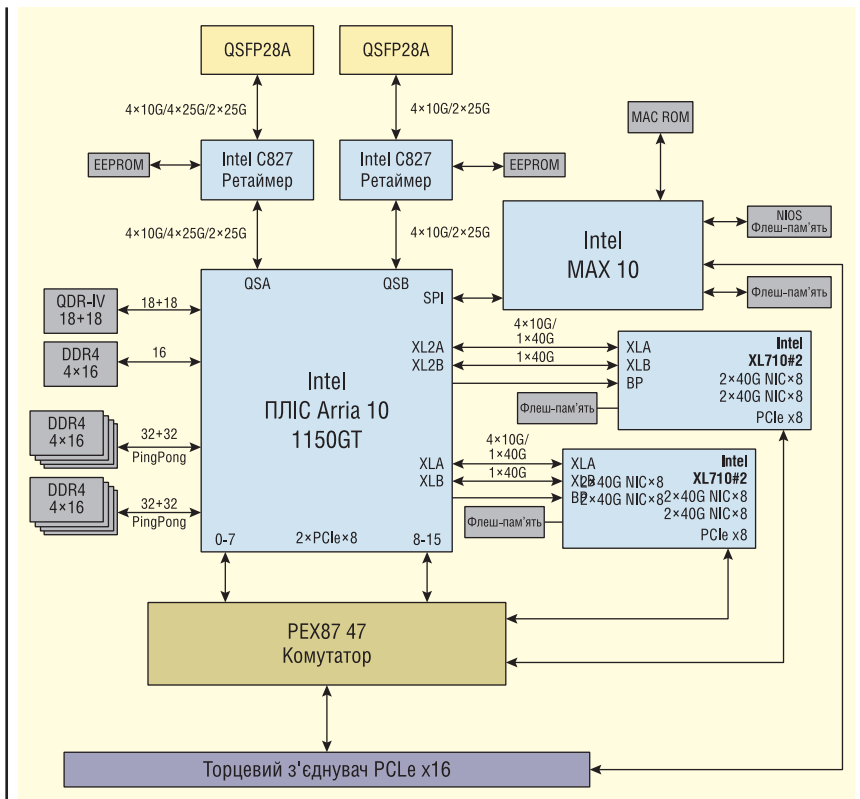


Рис. 6. Архітектура SmartNIC-карти N3000 компанії Intel

прагне однокристалної конструкції. Два своїх контролери Ethernet XL710 і ПЛІС Arria 10 компанії Intel використовують PEX8747-48-смуговий 3-позиційний кристал перемикача PCIe-покоління. По вісім смуг використовують з контролерами XL710, 16 смуг — ПЛІС Arria, а 16 смуг призначені для рознімача PCIe. П'ята мікросхема є контролером для керування базовою платою (BMC) ПЛІСМАХ 10, що багато в чому схоже на те, як ядра Arm використовуються в інших SmartNIC для роботи з рівнем керування.

На платі є два порти QSFP28, з якими ПЛІС з'єднується безпосередньо. На кожен XL710 припадають по вісім 10G-ліній ПЛІС. Це класичний підхід проводового підключення, який дозволяє ПЛІС працювати з пакетами до їх передачі в XL710.

У створенні мережної карти з використанням стандартного контролера Ethernet і ПЛІС немає нічого нового. Ще в 2012 р. компанія Solar flare Communications встановила ПЛІС між двома портами QSFP на мережній карті і контролером Ethernet, створивши платформу AOE (Application Onload Engine).

Ця платформа стала попередницею проекту з N3000, обраного Intel, але вона дозволила компанії Solarflare досягти вражаючих результатів — затримка поширення складала 350 нс. Приблизно через вісім років рекорд оновився, досягнувши 24.2 нс.

Intel пропонує за допомогою ПЛІС виконувати обробку пакетів до контролерів XL710. До складу ПЛІС входять 1150 тис. програмовних логічних елементів і два банки пам'яті DDR4 по 4 Гбайт, кожен з яких має достатній обсяг, щоб за допомогою SmartNIC реалізувати:

- віртуальний шлюз широкосмугової мережі (Virtual Broadband Network Gateway, vBNG);
- ієрархічну якість обслуговування (HQoS);
- класифікацію пакетів, визначення політики, складання графіка та формування пакетів;
- віртуалізоване вдосконалене пакетне ядро (Virtualized Evolved Packet Core, vEPC);
- мережу нового покоління 5G (Next-Generation Core Network, NGCN);
- набір протоколів для захисту даних (Internet Protocol Security, IPSec);
- протокол маршрутизації SRv6 (Segment routing for IPv6);
- векторну обробку пакетів (Vector Packet Processing, VPP);
- віртуальну мережу радіодоступу (Virtual Radio Access Network, vRAN).

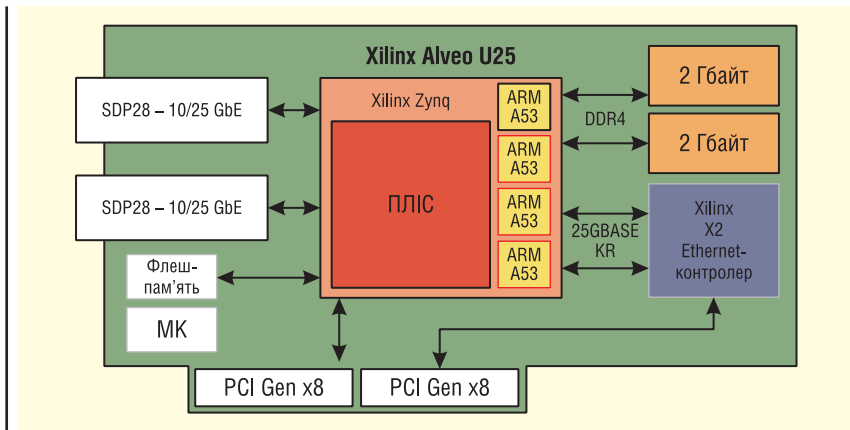


Рис. 7. Структурна схема Alveo U25 від Xilinx

Хоча платформа N3000 і розрахована на зазначені робочі навантаження, поки не ясно, чи надала Intel все необхідне програмне забезпечення для розвантаження кожної з цих програм на карті SmartNIC. Як відомо, диявол криється в програмному забезпеченні — обладнання всіх згаданих компаній добре, інша справа — придатний софт.

Xilinx

Іншим видатним розробником і виробником ПЛІС у сегменті SmartNIC є Xilinx — перша компанія, яка комерціалізувала ПЛІС у середині 1980-х рр. В даний час Xilinx у першому ряду на ринку ПЛІС, а Intel — у другому. Xilinx придбала Solarflare Communications восени 2019 р., яка з 2012 р. розробляла мережні карти на базі ASIC та ПЛІС для електронної торгівлі.

У створенні карт SmartNIC Alveo U25 від Xilinx взяла участь група інженерів Solarflare із Кембриджу (див. рис. 7).

Alveo U25 підключає два порти SFP28 до мікросхеми серії Zynq. Цю IC можна вважати системою-на-кристалі (CHK), оскільки до її складу входить не тільки ПЛІС, але й чотириядерний процесор Arm A53 для обробки пакетів. Zynq підключається безпосередньо до хост-сервера через вісім ліній PCIe Gen 3 або через SerDes до мікросхеми Ethernet-контролера X2, який, у свою чергу, з'єднується з хостом за допомогою восьми ліній PCIe Gen 3. Такий підхід дозволяє Zynq обробляти пакети до передачі кристалу X2 або повністю обійти X2.

До складу Alveo U25 входить 6-Гбайт пам'ять DDR4, доступ до якої мають ПЛІС та Arm-ядра мікросхеми Zynq. До складу ПЛІС входять 520 тис. логічних елементів, малу кількість яких достатньо компенсують чотири ядра Arm. Карти Alveo U25, в першу чергу, адресова-

ні тим рішенням, яким потрібно розвантаження відкритого віртуального комутатора (Open virtual Switch, OvS). Компанія заявила, що найближчим часом додасть розвантаження для IPsec, машинного навчання (ML), глибокої перевірки пакетів (DPI), транскодування відео та аналітики.

Як і Intel, компанія Xilinx випускає кілька лінійок кристалів для обчислювальних систем: Kintex, Virtex, Zynq та Versal. Kintex та Virtex — «чисті» ПЛІС; деякі моделі цієї лінійки мають майже 3 млн логічних осередків, що майже втричі більше, ніж процесор N3000 компанії Intel. Використання кремнієвих інтерпозерів дозволило Xilinx шарами встановити в кристалі Virtex пам'ять об'ємом до 16 Гбайт з високою пропускнуою здатністю (HBM). Ця технологія застосовується і в інших мікросхемах всіх чотирьох лінійок.

До складу CHK Zynq від Xilinx входять ПЛІС, чотири ядра Arm, Arm-ядра для роботи в режимі реального часу, контролери DDR і логіка підключення для Ethernet і PCI Express. Можливості платформи адаптивного прискорочення обчислень (ACAP) Versal виходять далеко за межі CHK. Ця платформа побудована на основі 7-нм кристалів. ACAP розширює архітектуру Zynq за рахунок додавання сотень ядер штучного інтелекту (AI), блоків цифрової обробки сигналів (DSP) та багато іншого. По суті, ядра штучного інтелекту є обчислювальними засобами одинарної точності. Компанія має намір об'єднати представлену мережну картку SoftNIC із платформою Versal.

ПОТОЧНИЙ СТАН РИНКУ SMARTNIC

Як показує досвід компаній Netronome і навіть Solarflare Communications,

мережні карти SmartNIC з'явилися давно. Такі великі клієнти як Google та Amazon пішли з ринку, розробивши та створивши власні рішення. Тим часом Facebook та Microsoft надали високо-рівневі архітектури, якими поспішили скористатися галузеві постачальники.

З часом СНК і, що важливіше, ПЛІС у своєму розвитку досягли такого рівня, коли вони можуть стати базовою технологією для мережних карт SmartNIC. 10 років тому на ринку був бум графічних процесорів (GPU), які ознаменували собою першу значну віху на шляху вдосконалення технологій апаратного прискорення. В даний час для розширення можливостей мереж використовуються ПЛІС, у яких кількість логічних елементів перевищує три мільйони, а також інші компоновані з ПЛІС блоки обробки для функціонування мереж, пам'яті, зберігання та обчислень. Для обчислень в цьому випадку застосовуються кластери ядер на кристалах у блоках СНК або навіть платформ АСАР.

Такі досягнення дозволяють заявити формування другої хвилі апаратного прискорення. Оскільки свого часу графічним процесорам знадобилися нові програмні API та інструменти підтримки платформ, подібні вимоги пред'являють і апаратні прискорювачі з урахуванням ПЛІС. У міру остаточного формування ринку SmartNIC очікується, що він підштовхне розвиток наступного покоління апаратних прискорювачів на базі ПЛІС, забезпечивши ще більш високопродуктивних обчислень.

Розвиток SmartNIC-карт сприяє нагромадженню обчислювальної потужності і, отже, прискоренню роботи на межах мережі, завдяки чому звільнені ресурси центральних процесорів серверів скеровуються на критично важливу обробку даних.

Уявіть собі, що функції зберігання, шифрування, перевірку пакетів даних та складну маршрутизацію візьмуть на себе карти SmartNIC. В результаті в ЦП хоста повернеться значна частина циклів центрального процесора, які зазвичай витрачаються на виконання цих завдань.

Щоб бути попереду великих учасників ринку, нові компанії, наприклад Pensando та Fungible, продовжуватимуть створювати SmartNIC-карти з інноваційними функціями та можливостями, а технологічні лідери, до яких відносяться компанії Xilinx, Intel, Broadcom та Nvidia, удосконалюватимуть базові обчислювальні ядра та спеціалізовані процесори P4.

WeEn Semiconductors є глобальною компанією — це спільне підприємство, створене в 2016 році компаніями NXP Semiconductor N.V. та Beijing JianGuang Asset Management Co. Ltd з Китаю. Головний офіс компанії розташований у Шанхаї, Китай. Елементи, вироблені компанією WeEn Semiconductors, створюються завдяки участі досвідченого колективу, який до 2016 року був частиною голландського виробника напівпровідників — компанії NXP (раніше Philips).

WeEn займається біполярною технологією, розробляє та виробляє широкую гаму тиристорів, симісторів, діодів (у тому числі силових), високовольтних транзисторів, компонентів на базі SiC та інших елементів, що широко використовуються в промисловості, автомобілебудуванні, телекомунікації, освітленні, побутовій електроніці тощо. Ця продукція народжується безпосередньо у NXP.

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



MASTEK

Авторизований дистриб'ютор
WeEn в Україні

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

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

Світло, колір та оптика LEDiL

Катерина Ільїна

Багатокристалльні RGBW-світлодіоди зі звичайною вторинною оптикою створюють добре помітні оку артефакти. Ці артефакти можна згадати. Як? За допомогою технологій змішування кольорів. Саме про ці технології і йтиметься у статті.

Наш світ сповнений світла та кольору. У сонячному світлі змішано багато різних кольорів, їх більше, ніж обіцяють у рекламі ігрових моніторів. Кольори наповнюють та пронизують все наше життя. Один колір дозволяє розслабитись, інший — налаштуватися на роботу. Самі по собі предмети не змінюють колір за нашим бажанням, але ми можемо змінювати колір за рахунок освітлення, щоб створити певну атмосферу. Вночі штучне світло дозволяє милуватися красою міст. В останні роки світлодіодні світильники знаходяться на піку популярності в архітектурному освітленні, оскільки напівпровідникові джерела світла довше працюють, простіше керуються (за рівнем яскравості та зміни кольору), у спектрі відсутні ІЧ- та УФ-випромінювання, при цьому вони споживають менше електроенергії і є більш екологічними, порівняно з іншими технологіями.

Кольорове світло — найпотужніший інструмент у руках світлодизайнера. Існуюча практика кольорового освітлення показує, що насичене та інтенсивне кольорове світло практично нейтралізує колір фасаду та його елементів і дозволяє буквально малювати новими фарбами та створювати новий вигляд фасадів. Будівля немов одягається в новий одяг і набуває нового відомого і незбутнього вигляду.

З одного боку, колір характеризує об'єкт, з іншого — створює відчуття. Це поняття суб'єктивне, тому що колір сприймається нашою зоровою системою і перетворюється на відчуття нашим мозком, яке може змінюватися, виходячи з умов спостереження, і залежить від адаптації ока (налаштування під певні умови освітлення), від оточення і навіть від нашого настрою. Саме тому всі експерименти із кольором дуже суб'єктивні.

Розглянемо докладніше складові елементи світильника. Перший — це джерело світла. Мінімальний набір кольорів у такому світильнику — червоний (R), зелений (G) та синій (B). Один із популярних напрямків — багатокристалльні світлодіоди, у яких в одному корпусі поєднуються відразу чотири кристали: червоний, синій, зелений та білий. Здавалося б, достатньо трьох кольорів, щоб створити будь-який колір. Але не все так просто. Оскільки світлодіоди різного кольору складно зрівняти світловим потоком (важлива умова для отримання чистого білого), то для відтворення білого кольору і збільшення різноманітності колірних ефектів RGB-світлодіод доповнюють четвертим кристалом білого (W) світіння. У колірній моделі RGBW кожен базовий колір характеризується яскравістю, яка може набувати 256 значень — від 0 до 255. Змішуючи кольори в різних пропорціях і змінюючи яскравість кожної складової, можна отримати $256 \times 256 \times 256 = 16\,777\,216$ кольорів.

Йдеться про архітектурне освітлення, тому під час створення нового «вбрання» будівлі дуже важливо не лише мати під рукою різні кольори та відтінки, а й керувати розмірами «мазків». Для цього потрібні різні «пензлики». Цими пензликами служать лінзи та рефлектори, що створюють світлові плями різної форми на фасаді, виділяючи потрібні фрагменти і дозволяючи висвітлювати навіть найвіддаленіші елементи.

Для роботи з багатобарвними світлодіодами застосовують спеціалізовані лінзи та рефлектори, тому що звичайна оптика, що призначена для роботи з одним кристалом, розташованим на оптичній осі, погано взаємодіє з чотирма кристалами, кожен з яких зміщений від оптичної осі. Найбільш поширені дефекти представлені на рисунку 1.

Такі дефекти здалеку помітні на стінах будинків, тому багатокристалльні світлодіоди краще застосовувати зі спеціалізованою оптикою, що згладжує подібні артефакти. Подивимося, як працює багатокристалльний світлодіод із спеціалізованою оптикою фінської компанії LEDiL.



Рис. 1. Небажані світлові ефекти

Як джерело візьмемо OSRAM OSTAR Stage LE RTDUW S2WN - RGBW-світлодіод з чотирма кристалами (червоним, зеленим, синім та білим). Плата представлена на рисунку 2.

Для тестування ми візьмемо три сімейства оптики, кожне з яких зміщує кольори за різною технологією:

1. Рефлектори BROOKE-G2/BARBARA-S-PF. Тут перемішування кольору відбувається у ближній зоні від світлодіода за допомогою сферичного ковпачка C14658_BARBARA-RZ-LENS.
2. Рефлектори сімейства MIRELLA-G2. В них перемішування кольору відбувається у дальній зоні від світлодіода, з допомогою сублінзи C13723_MIRELLA-RZL.
3. Лінза GABRIELLA-45/GABRIELLAMIDI зі спеціальними кольорозмішувачими внутрішніми та зовнішніми поверхнями.

Зупинимось докладніше на цих трьох технологіях і подивимось, як дана оптика забезпечує змішування кольорів у ближній і дальній зоні. Чим вужчий промінь формує оптика, тим більше проявляються кольорні аберації, тому дивитимемось на результати роботи і для вузькоградусної оптики.

Оцінимо результати за допомогою фотоапарата, і тут важливо відзначити різницю між тим, як знімає камера та бачить людське око. Людське око має дуже корисну здатність підлаштовуватися під умови перегляду. Даний механізм називається світловою та темновою адаптацією. Поняття «хроматична адаптація» відноситься до здатності зорової системи людини пристосовуватися до освітлення, що змінюється в широкому діапазоні відтінків, більш менш зберігаючи при цьому кольорне сприйняття

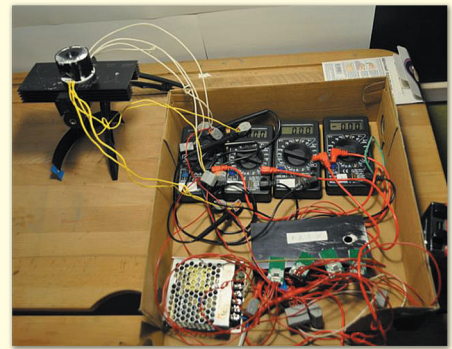
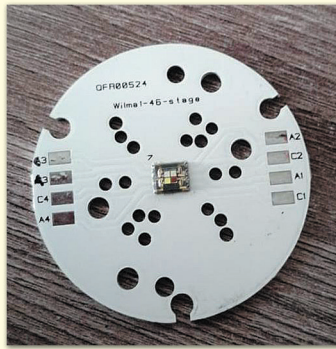


Рис. 2. Друкована плата з RGBW-світлодіодом та установка для дослідження якості змішування кольору

об'єктів. Фотоапарат не має такої здатності. Якщо баланс білого у фотоапараті налаштований на денне світло та зйомка об'єктів ведеться при світлі ламп розжарювання, то результуючі фотозображення матимуть неприйнятний жовто-помаранчевий відтінок. Справа в тому, що цифрова камера не знає, за якого освітлення ми знімаємо сюжет. У цьому випадку фотограф керує чутливістю камери до різних кольорів, тобто діє подібно до зорової системи людини, що керує чутливістю кольорних механізмів.

Таким чином, сфотографувати і потім передати зображення так, щоб сфотографувати те, що бачить око, — досить копітка процедура. І в цьому дослідженні фотографії не передають реальної картини. До того ж, око у кожної людини має індивідуальні «налаштування», тому те, що бачить один тестуючий, не завжди відповідатиме тому, що побачить інший.

Визначимось з режимом тестування. Для чистоти експерименту фон для оцінки якості світлової плями був обраний білим (аркуш ватману). В рамках статті

неможливо розглянути всі кольори, хоча існує багато інших варіантів відтінків. На рисунку 3 представлені різнокольорові світлові плями MIRELLA-G2-W, з яких видно, що червоно-зелена світлова пляма найбільш близько передає кольорне відчуття світлової плями і видно артефакти, якщо вони присутні. Як варіант, у цій практиці прийнято проводити натурний тест у синьо-червоному режимі. Але оскільки чутливість червоного та синього кольору знаходиться на різних кінцях спектру, то дуже складно налаштувати фотоапарат на реальне сприйняття бузкових та фіолетових кольорів, складених із червоного та синього випромінювання. На рисунку 3 видно ореол синього кольору навколо бузкового. Насправді око цього не спостерігає і сприймає пляму досить однорідною. На інших поєднаннях кольорні артефакти видно менше, ніж у жовтому кольорі, тому подальше тестування проводилося саме в червоно-зеленому режимі, що у сумі дає жовто-коричневий колір.

Тепер перейдемо до розгляду технології змішування кольорів.

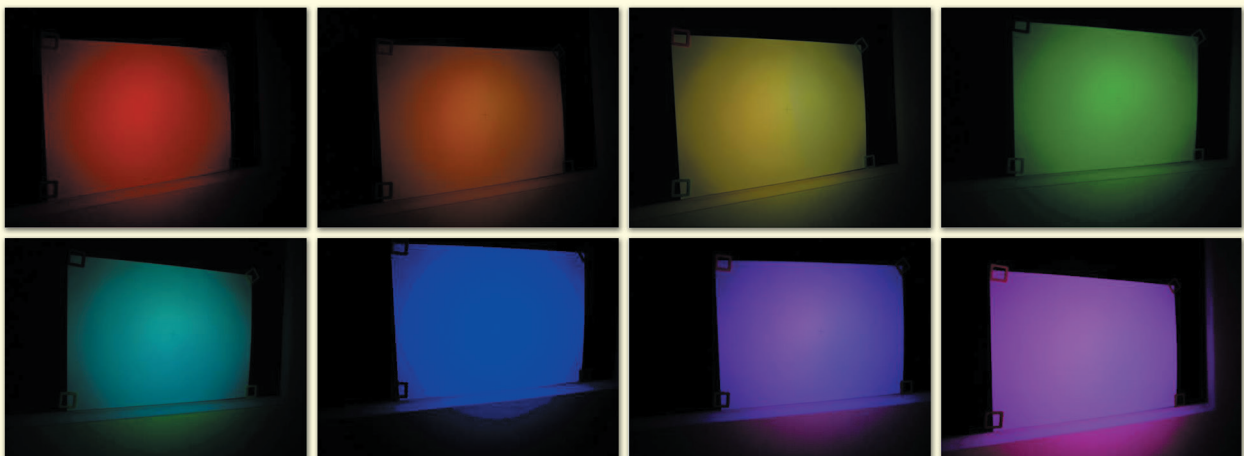


Рис. 3. Набір кольорів в експерименті та вибір кращого тестового кольору на прикладі рефлектора F15560_MIRELLA-G2-W з кольорозмішувачою лінзою C13723_MIRELLA-RZL

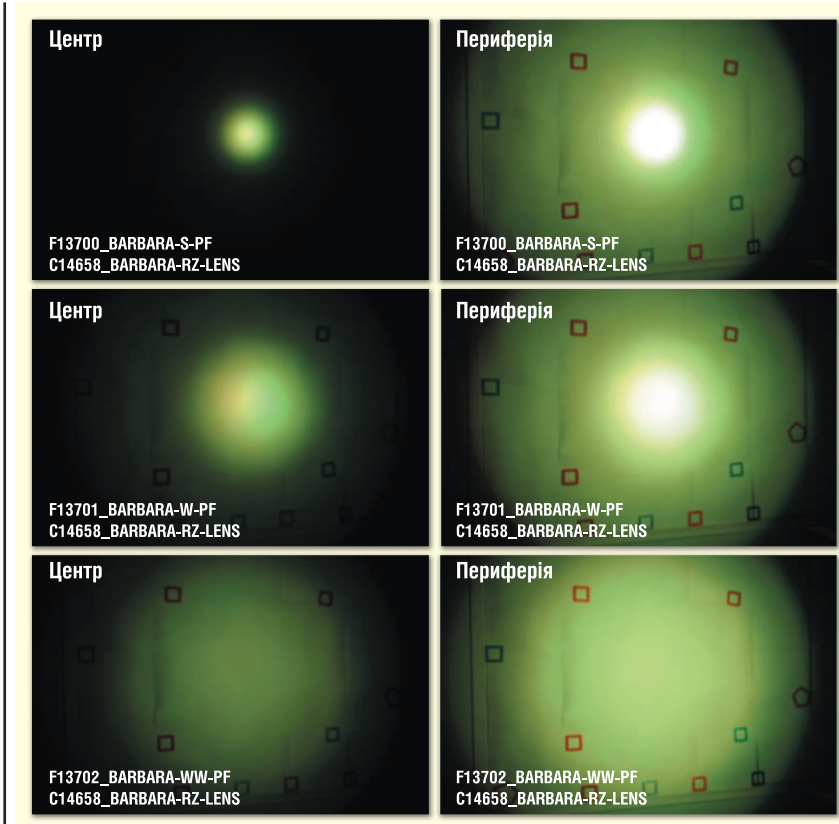


Рис. 4. Приклад кольорозмішування рефлекторів BARBARA-G2

Звернемося до першої технології. Ковпачок із RZ-поверхнею встановлюється на багатокристальний світлодіод. Таким чином, RGBW-світлодіод замінюється еквівалентним джерелом світла з косинусним світлорозподілом. Але завдяки мінімальним розмірам пучок світла можна сконцентрувати за допомогою рефлектора, який «бачить» більш однорідно-біле джерело, і, отже, артефакти кольору або інтенсивності проявляються з меншою ймовірністю. Приклад роботи C14658_BARBARA-RZ-LENS з рефлекторами BARBARA на відстані 1 м показаний на рисунку 4 у режимі зеленого та червоного світлодіода за рівних струмів 200 мА, синій та білий вимкнені.

У центрі світлової плями видно неповну суміш, також на периферичній

зоні помітні артефакти у вигляді кольорових тіней червоного та зеленого кольору. Кольорові тіні виникають через те, що край рефлектора по-різному проектується від червоного та зеленого світлодіодів на білу поверхню стіни. Дане явище не піддається «лікуванню» у межах зазначеної технології, оскільки зумовлене фізичними законами оптики. Достойнство такої технології в тому, що зберігається вузький пучок світла та найвищий ККД у своєму класі (більше 90%) при середній якості змішування кольору.

Друга технологія має на увазі установку лінзи RZL на більшій відстані, ніж ковпачок, що дозволяє створити більш однорідну світлову пляму без небажаних ефектів, помітних оку. Лінза RZL сконструйована так, що в її загальну

форму вбудована більша кількість малих заломлюючих або відбивних граней. Тому кожна грань багаторазово перевідбиває випромінювання. Масиви таких граней забезпечують високу однорідність та ефективність, одночасно спрямовуючи набагато менше світла у зворотний бік у порівнянні зі звичайним дифузним склом. На рисунку 5 показані світлові плями трьох різних Mirella-G2 з C13723_MIRELLA-RZL. Плата за більш якісне змішування кольору — ширший кут випромінювання та трохи менший ККД у порівнянні з першою технологією. У реальних спостереженнях MIRELLA-RZL та рефлектор MIRELLA-G2 дають високоякісну однорідну світлову та кольорову пляму. Це поєднання добре застосовувати там, де потрібні м'які акценти і заливаюче освітлення. І світильник може містити лише один рефлектор.

Третя технологія — лінза складної форми зі спеціальними оптичними поверхнями. Лінзи GABRIELLA мають унікальну мікроструктурну поверхню, яка забезпечує майже ідеальну однорідність кольору всередині світлового пучка, критично важливу для змішування кольорів при архітектурному, сценічному та прожекторному освітленні. На рисунку 6 видно, що GABRIELLA-45 має чітко виражений ореол переважного зеленого в периферійній зоні, причому в центрі замішується колір досить однорідно.

Світловий пучок лінз та рефлекторів умовно можна розділити на далеку та ближню зони. Ми розглянули три технології з погляду світлової плями на деякій відстані, тобто у дальній зоні. Цей прийом характеризує заливаюче освітлення — один із способів освітлення фасадів, коли прожектор встановлюється на опорах або на сусідніх будівлях. Крім того, цей метод широко застосовується і у сценічному висвітленні. Але не всі завдання зводяться до освітлення з певної відстані. Частина світильників встановлюється на фасаді будівлі. Цей прийом називається локальним освітлен-

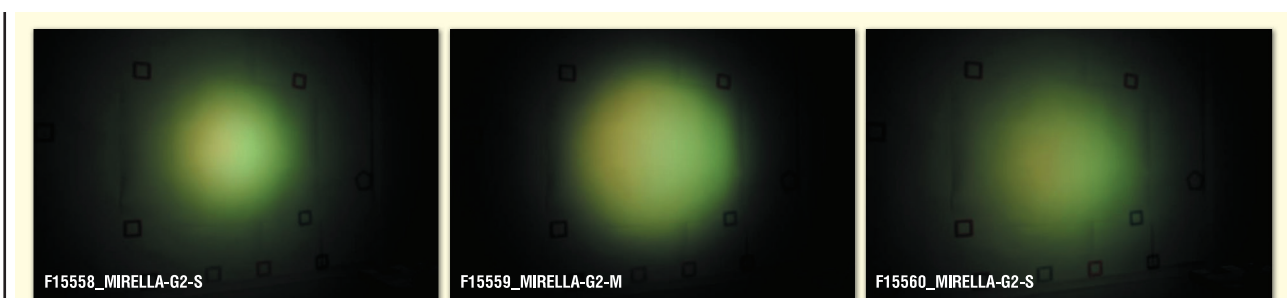


Рис. 5. Приклад кольорозмішування рефлекторів MIRELLA-G2

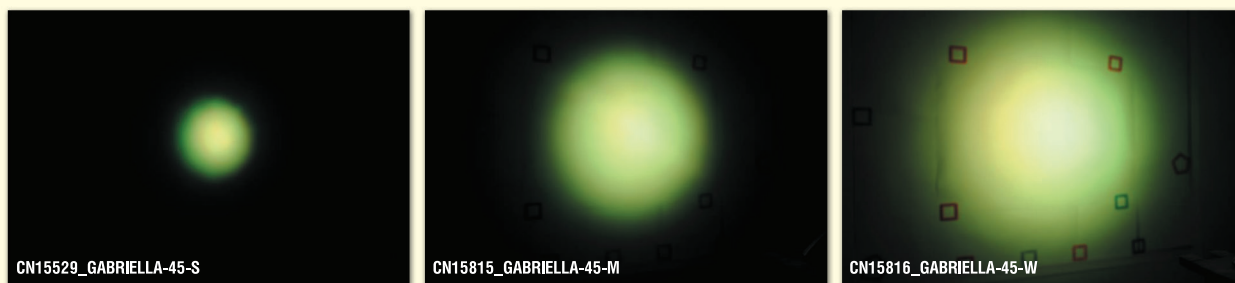


Рис. 6. Приклад кольорозмішування лінз GABRIELLA-45

ням, і для таких застосувань важливо оцінювати якість змішування у ближній зоні.

Як же працюють лінзи та рефлектори у таких застосуваннях, якщо використовуються і не використовуються технології змішування?

Як бачимо на рисунку 7, одиночна MIRELLA-G2-M погано змішує кольори і у «факелі» присутні яскраво виражені кольорові тіні на межі світла та тіні. Але із застосуванням лінзи RZL картина змінюється: кордон стає помітно м'якшим,

кольорові тіні зникають і колір «замішаний» рівномірніше. Чим вужчий кут випромінювання рефлектора, то складніше зробити структуру пучка однорідною. Це добре помітно з прикладу вузькоградусного одиночного рефлектора BARBARA-S-PF, який малює кільця на стіні (рис. 7). Але застосування лінзи RZ покращує структуру пучка, і кільця зникають. Хоча, звичайно, відтінки зеленого та червоного проглядаються на близьких відстанях, що говорить про те, що цей рефлектор

краще використовувати для освітлення об'єктів, віддалених на відстань від 2 м.

Зауважимо, що у лінзах діє інший спосіб формування світлового пучка, ніж у рефлекторів. Завдяки тому, що оптична поверхня складна, виходить чудове змішування світла всередині світлової плями. Але це призводить до того, що у вузькоградусної лінзи CN15529_GABRIELLA-45-S проявляються колірні артефакти у вигляді сонячних зайчиків у найближчій зоні (рис. 8). У такому специфічному застосуванні, як освітлення фасадів, дуже важливо уникати різких переходів від одного кольору до іншого, небажаних яскраво виражених ореолів і різноманітних артефактів, подібних до описаного. У ближній зоні ця проблема вирішується за допомогою бленди. Як видно на фотографії, представленій на рисунку 8, застосування бленди висотою 1.5 см щодо світлового отвору лінзи дозволить їх прибрати. В даному випадку світловий пучок буде виглядати одноріднішим.

ВИСНОВОК

У статті ми розглянули три основні технології змішування кольорів, які застосовуються в оптиці LEDiL:

1. Змішування кольорів у ближній від світлодіода зоні на прикладі рефлекторів сімейства Barbara з ковпачком C14658_BARBARA-RZ-LENS.
2. Змішування кольорів в дальній від світлодіода зоні на прикладі рефлекторів сімейства MIRELLA-G2 з лінзою C13723_MIRELLA-RZL.
3. Змішування кольорів на внутрішній та зовнішній поверхнях спеціальних лінз на прикладі лінз сімейства GABRIELLA-45.

Окрім вищезазначеної оптики, компанія LEDiL виробляє ще кілька оптичних сімейств, що працюють з багатокристальними світлодіодами, це сімейства лінз RGBX2, GABRIELLA-MIDI, ILONA.

Всі три технології мають свої переваги та недоліки:

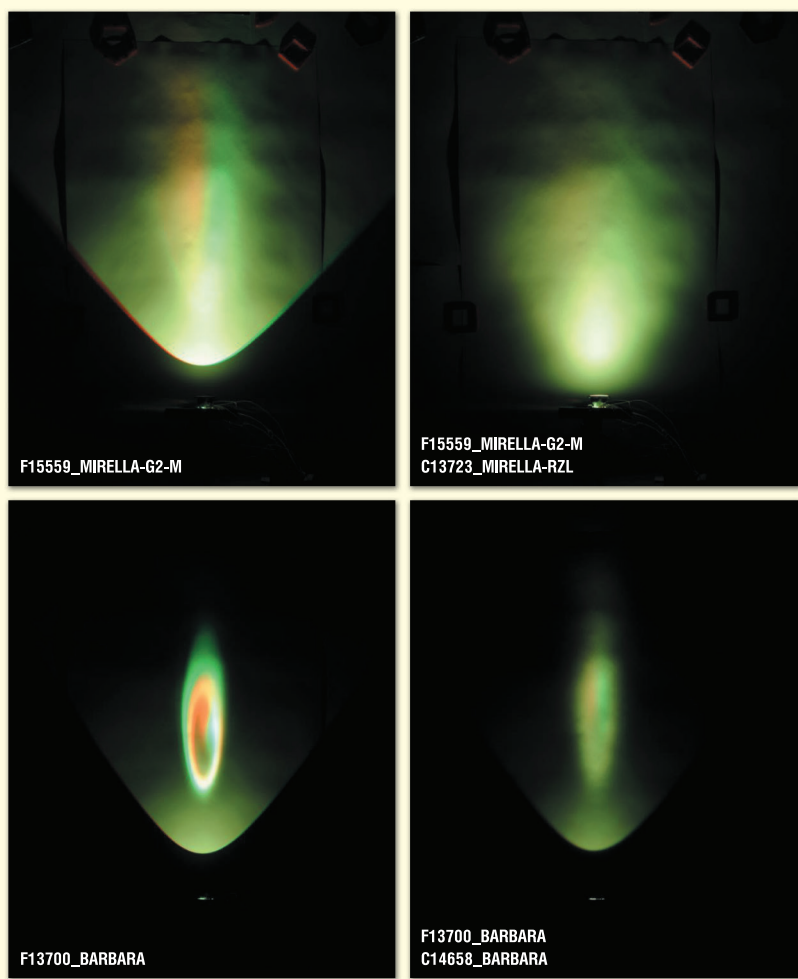


Рис. 7. «Факел» світлового пучка на фасаді для рефлекторів без застосування кольорозмішувачих лінз RZ/RZL та з ними

- Рефлектори, які змішують кольори за першою технологією, енергоєфективні, але їх розумніше застосовувати для підсвічування об'єктів у дальній зоні світильника.
- Рефлектори, що працюють за технологією другого типу, добре змішують кольори у ближній від світильника зоні, але не формують вузьких та овальних променів.
- Лінзи, які представляють технологічне рішення третього типу, за якістю кольорозмішування розташовані між першою та другою технологіями, але мінімізують світлові ореоли і плавно розмивають межі між різними відтінками кольорів, що помітно покращує структуру кольорового світлового пучка. Крім того, є RGB-лінзи з вузькими і овальними променями, що робить їх набагато популярнішими за рефлектори.

Як правило, в архітектурних чи інтер'єрних світильниках спеціалісти переважно застосовують кілька світлодіодів та лінз. Групову роботу світлодіодів теж можна використовувати для покращення кольорозмішування світильника. Для цього потрібно монтувати світлодіоди на платі з розворотом на 90° для кожної наступної світлоточки. Тоді

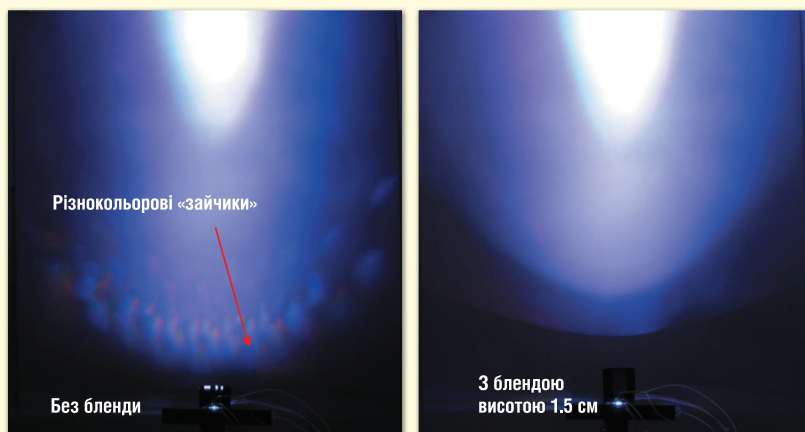


Рис. 8. Лінза CN15529_GABRIELLA-45-S без тубуса та з тубусом, що дозволяє мінімізувати колірні артефакти у ближній зоні

можливі недоліки кольорозмішування однієї лінзи компенсуються сусідніми лінзами.

Створення світильників на багатокристалних світлодіодах — складне інженерне завдання, а їхнє застосування вимагає грамотного підходу до світлодизайну, який має враховувати безліч нюансів, частину яких ми описали у статті. У декоративному підсвічуванні немає загальноприйнятих стандартів, тому оцінка результатів завжди суб'єктивна — чи це

подобається замовнику. Як вдалий приклад реалізації підсвічування дерев у парку світильниками з багатокристалними світлодіодами та оптикою LEDiL можна показати роботу компанії Ledal Studio. Спеціалісти цієї компанії створили свій RGBW-світильник і красиво підсвітили дерева в ризькому парку (рис. 9). Ви також можете зробити свої цікаві кольорові рішення, а компанія LEDiL готова допомогти вам підібрати оптимальну для цього оптику.

CN

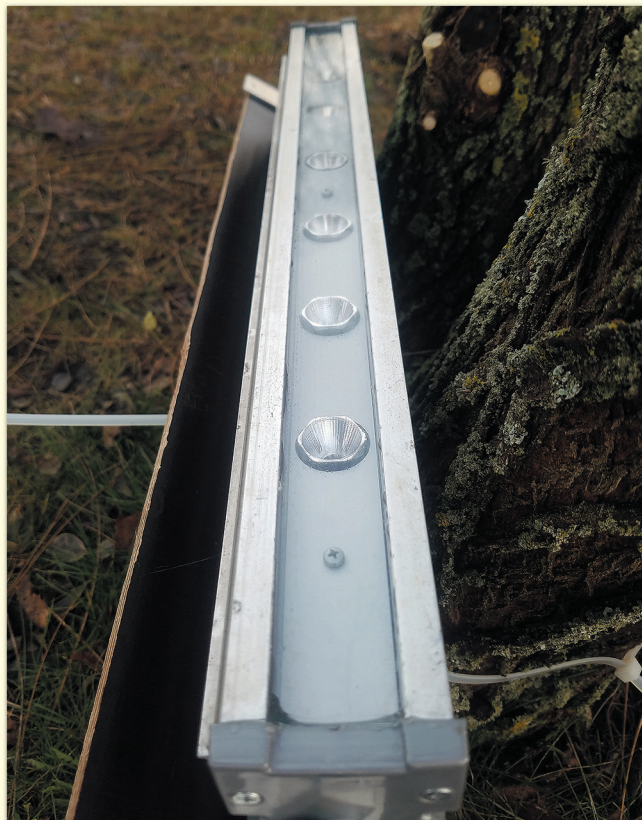


Рис. 9. Зовнішній вигляд світильника компанії Ledal Studio з багатокристалними світлодіодами та оптикою LEDiL

RAINBOW TECHNOLOGIES

Офіційний дистриб'ютор в Україні

SAMSUNG

Світлодіоди різної потужності, COB матриці, компоненти для керування освітленням, світлодіодні модулі, драйвери



Драйвери різної потужності, COB матриці, світлодіодні модулі

LEDiL[®]

Вторинна оптика для світлодіодних модулів



Компоненти для керування освітленням

Rainbow Technologies

www.rainbow.com.ua

04112, Україна, м. Київ, вул. Дегтярівська, 62, оф. 46
Тел./факс: +38 (044) 290-41-69, 290-41-82

kmy@rainbow.com.ua

Що таке проектування НВЧ-плат?

Закарайя Петерсон (Zachariah Peterson)

Розробники цифрових пристроїв, ймовірно, знайомі з деякими обмеженнями, властивими НВЧ-компонентам та особливостями трасування друкованих плат, але для успішного проектування НВЧ-плат потрібно знати та вміти набагато більше. НВЧ-пристрій може містити інтегральні схеми, дискретні напівпровідники та друковані елементи, які працюють разом для забезпечення необхідної функціональності. Проектування НВЧ-пристроїв передбачає поєднання всіх цих елементів для побудови загальної системи та створення компонування друкованої плати.

НВЧ-пристрої не так інтуїтивно зрозумілі розробникам, як типові пристрої, і іноді може здатися, що вони порушують основні правила електричного проектування. Однак потрібно зауважити, що через природу поширення електромагнітного поля схеми, що працюють на частотах НВЧ-діапазону, діють зовсім інакше, ніж типові схеми, що працюють на постійному струмі або цифрових діапазонах. Незалежно від того, чи розробляєте ви систему для бездротового зв'язку, чи просто хочете спроектувати лінію передачі з певним імпедансом, зверніть увагу на наступні основи мікрохвильової техніки:

- введення в проектування НВЧ-пристроїв;
- планування конструкції плати;
- загальні положення проектування НВЧ-пристроїв;
- інструменти для проектування та компонування НВЧ-пристроїв.

Найчастіше все, що пов'язане з успішним проектуванням НВЧ-пристроїв на інтегральних схемах і друкованих платах — це те, що потрібно знати для складання кваліфікаційних іспитів в університеті. Однак багато з сьогоденних спеціалізованих продуктів повинні працювати зі змішаними сигналами, мати блок бездротового зв'язку або забезпечувати роботу високочастотного пристрою, наприклад радара. Сьогодні проектування НВЧ-пристроїв знову стає мейнстримом. Тому розробники, які не знайомі із цією темою, повинні

обов'язково прочитати цей poradnik, щоб удосконалити свої навички.

ВВЕДЕННЯ В ПРОЄКТУВАННЯ НВЧ-ПРИСТРОЇВ

НВЧ-пристрої складаються із стандартних елементів і деяких простих інтегральних мікросхем, а також у їх конструкції іноді застосовуються елементи друкованого монтажу на платі. НВЧ-пристрої можуть здатися складними, оскільки вони завжди використовують стандартні методи проектування. На НВЧ-платах можуть застосовуватися структури з друкованих провідників та деякі додаткові компоненти для забезпечення функціональності пристрою.

ДРУКОВАНІ ЕЛЕМЕНТИ НВЧ-ПЛАТ

Друковані елементи НВЧ-друкованої плати виконуються з використанням мідних провідників для реалізації елементів схеми. Розташування провідників, конденсаторів або котушок індуктивності, а також напівпровідників на НВЧ-платі може здатися інтуїтивно незрозумілим, але вони використовують переваги поширення в електромагнітному полі для отримання бажаних електричних характеристик. Є кілька важливих концептуальних моментів, які слід пам'ятати при проектуванні НВЧ-пристроїв, а також про їх електричні характеристики на друкованій платі:

- **Пасивність.** Всі НВЧ-друковані елементи пасивні, доки в конструкцію не додано стандартний активний компонент. Проте, проводяться дослідження активних НВЧ-компонентів, побудованих повністю із друкованих провідників.
- **Лінійність.** НВЧ-пристрої, побудовані з друкованих провідників, завжди лінійні, що означає, що напруга та струм пов'язані лінійною функцією (пряма лінія на графіку). Ці схеми стають нелінійними тільки в тому

випадку, якщо до схеми додається нелінійний напівпровідниковий компонент, наприклад діод.

- **Розповсюдження.** Всі НВЧ-пристрої базуються на природі розповсюдження хвиль. Це означає, що необхідно розраховувати вхідні імпеданси щодо того, як узгодити імпеданс всередині пристрою і як створювати інтерфейси між різними частинами НВЧ-пристрою.
- **Цілісність сигналу.** Цілісність НВЧ-сигналу залежить від електромагнітного екранування та ізоляції, оскільки НВЧ-сигнали повинні бути максимально стійкими до перешкод. Було розроблено безліч унікальних екрануючих конструкцій та методів компонування, щоб забезпечити необхідне екранування та ізоляцію у НВЧ-системах.

АКТИВНІ НВЧ-ПРИСТРОЇ

Активні НВЧ-пристрої можуть складатися з безлічі різних компонентів, від генератора до керованих підсилювачів, АЦП і приймачів-передавачів. Ці компоненти можуть бути використані на додаток до друкованих провідників для забезпечення додаткових функцій. Багато радіолокаційних модулів, бездротових систем, підсилювачів і телекомунікаційних компонентів будуть використовувати активні компоненти поряд з пасивними друкованими НВЧ-компонентами для забезпечення необхідних характеристик поширення сигналу (див. рис. 1). Вибірка, керування та обробка сигналів виконується за допомогою активних компонентів, які також можуть забезпечувати зворотний зв'язок для цифрових систем.

ПЛАНУВАННЯ КОНСТРУКЦІЇ ПЛАТИ

Подібно до високошвидкісної цифрової друкованої плати, успішне проектування НВЧ-пристрою залежить

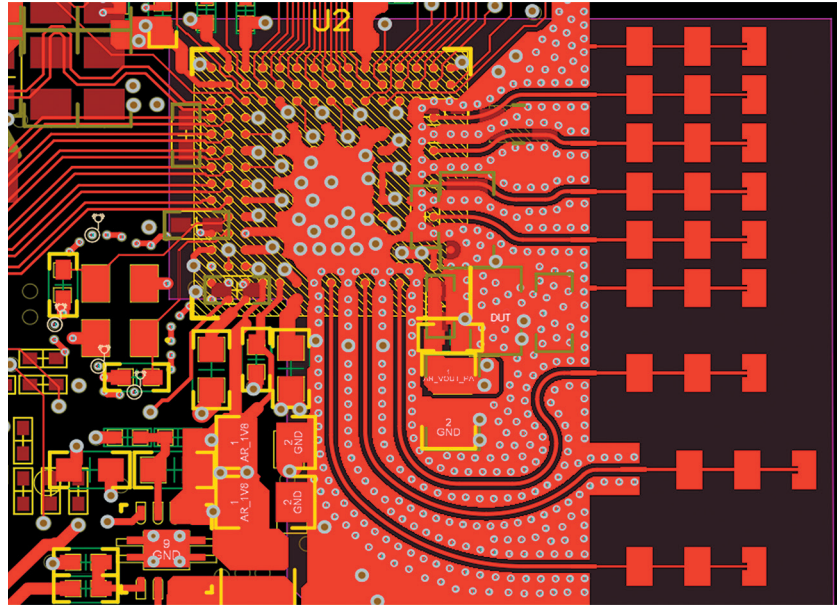


Рис. 1. Приклад модуля радару із використанням AWR1243FBIGBLQ1 від Texas Instruments

від побудови стека друкованої плати, який зможе забезпечити необхідні характеристики вашої НВЧ-схеми. Стек повинен бути спроектований таким чином, щоб НВЧ-елементи мали бажаний характеристичний імпеданс, хоча імпеданс вашої системи — це результат набагато складніших маніпуляцій за допомогою компонування та трасування вашої плати. Крім того, частота, на якій працює ваша плата, визначатиме, яким повинен бути стек, який тип друкованої плати повинен бути застосований і які високочастотні компоненти можна використовувати. Конструкція НВЧ-ІС (НВЧ-інтегральні схеми) створюється за тими ж принципами, що і конструкція

НВЧ-друкованої плати, і знання цих принципів допоможе досягти успіху в будь-якій галузі НВЧ-конструювання.

МАТЕРІАЛИ ДЛЯ НВЧ-ДРУКОВАНОЇ ПЛАТИ

Матеріали FR4 прийнятні для високочастотних ліній передач та міжкомпонентних з'єднань, що працюють на частотах Wi-Fi (~6 ГГц). Вище цих частот, інженери НВЧ рекомендують використовувати альтернативні матеріали для забезпечення поширення сигналів в конструкції НВЧ-друкованих плат. Стандартні ламінати FR4 є структурою

з наповненого смолою плетіння скловолокна. Однак ефект плетіння волокон деяких матеріалів може створювати проблеми з цілісністю сигналу та живлення, якщо процедури виготовлення плати не визначені належним чином.

Як альтернативні матеріали використовуються ламінати на основі PTFE і сполучні матеріали на його основі для з'єднання шарів у стеку друкованої плати. Ці матеріали мають нижче значення тангенсу кута діелектричних втрат, ніж матеріали FR4, тому сигнали можуть поширюватися без ослаблення і при цьому залишатися в допустимих межах. Ці ламінати повинні утворювати підкладку, яка підтримує лінії передачі на дуже високих частотах, наприклад радар 77 ГГц, або дуже довгих з'єднань на нижчих частотах, таких як Wi-Fi 6 ГГц. На рисунку 2 — наведено деякі важливі властивості матеріалів для поширених матеріалів НВЧ-друкованих плат.

ВАРІАНТИ СТЕКУ ДРУКОВАНОЇ ПЛАТИ ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ НВЧ-МАТЕРІАЛІВ

Вибравши ламінат та сполучні матеріали для застосування в конструкції НВЧ-пристрою, необхідно сформувати стек. Весь стек багатозарової друкованої плати можна сформувати з НВЧ-матеріалів, але зазвичай цього не потрібно, оскільки це може бути дуже дорогим. Одним з варіантів є створення гібридного стека (див рис. 3), в якому НВЧ-ламінат розміщується на верхньому шарі для підтримки високочастотних ліній передачі та елементів схеми,

Substrate	T _g (°C)	T _d (°C)	Dk	Loss tangent	Band
FR4	~135	~295	less than 4.4	~0.022 (parasitic conductance ignored)	X-K
Isola MT40	200	360	3.38-3.75	0.0028-0.0035	W
IS680 AG-348	200	360	3.48	0.0029	W
IS680 AG	200	360	3.00-3.48	0.0020-0.0029	W
IS680	200	360	2.80-3.45	0.0025-0.0035	W
Isola MT77	200	360	3.00	0.0017	W
Rogers 3003	NR	500	3.00	0.0013	W
Rogers 3006	NR	500	6.15	0.002	X-Ka
Rogers 4360	greater than 280	407	6.15	0.0038	X-Ka
RT Duroid 6010.2LM	NR	500	10.70	0.0023	X-Ka
RT Duroid 6202	NR	500	2.90	0.0015	X-Ka
RT Duroid 6006	NR	500	6.45	0.0027	X-Ka
RT Duroid 6035	NR	NR	3.5	0.0013	X-Ka

NR: Not reported

Compiled from Isola and Rogers Corp.

Рис. 2. Деякі характеристики матеріалів НВЧ-плат

SIG	Rogers 4835 4mil core/H/1 Low Pro	Rogers 4835	0.689
GND	Iteq IT 180A Prepreg 1080	Dielectric	4.000
	Iteq IT 180A Prepreg 1080	Dielectric	1.260
PWR	Iteq IT 180A Prepreg 1080	Dielectric	4.195
SIG	Iteq IT 180A 28 mil core 1/1	FR4	4.195
	Iteq IT 180A Prepreg 1080	Dielectric	1.260
	Iteq IT 180A Prepreg 1080	Dielectric	28.000
GND	Iteq IT 180A 4 mil core 1/H	FR4	1.260
SIG			4.195
			4.195
			1.260
			4.000
			0.689

Рис. 3. Приклад гібридного стека із ламінатом Rogers PTFE

а внутрішні шари використовуються для розташування заземлення полігонів, трасування цифрових сигналів і живлення. Протилежний шар також може містити цифрові компоненти, які повинні взаємодіяти з вашим високочастотним входним інтерфейсом, будь-якими АЦП для введення НВЧ-сигналів.

Якщо цифрова частина не потрібна вам у вашій НВЧ-друкованій платі, то можна вибрати двохшарову або тришарову структуру з високочастотними ламінатами стандартної або майже стандартної товщини. Після визначення товщини шарів друкованої плати та матеріалів необхідно визначити імпеданс НВЧ-провідників.

РОЗРАХУНОК ІМПЕДАНСУ НВЧ-ПРОВІДНИКА

Після визначення стека необхідно розрахувати ширину провідників на друкованій платі, щоб отримати бажаний імпеданс для НВЧ-провідників (зазвичай 50 Ом). Імпеданс провідни-

ка та його розміри пов'язані деякими формулами, отриманими за допомогою методу, який називається конформним відображенням. В даний час найкращим ресурсом для пошуку формул для розрахунку імпедансу провідника з комплексною діелектричною сталою є «Керівництво Брайана К. Уодделла з проектування лінії передачі». Однак ці формули не можуть бути використані для конкретної ширини, тому для визначення ширини потрібно застосувати чисельний метод, щоб лінія передачі мала конкретний імпеданс.

Для більш складних варіантів проектування, таких як зміщені смужкові лінії або хвилеводи, найкращим варіантом є використання інструменту для побудови структури шарів із вбудованим аналізатором полів. Ці утиліти можуть враховувати шорсткість міді, зміну геометрії провідника під час виготовлення, різні варіанти трасування та розташування провідників у структурі стека. Їх також легко використовувати у складі програмного забезпечення проектування друкованих плат (рис. 4).

Як тільки ви дізнаєтесь значення імпедансу для з'єднань, вам все одно потрібно буде визначити вимоги щодо узгодження імпедансу, переглянувши результати моделювання відображень або значення в даташитах. Для ліній передачі, що використовуються в НВЧ-друкованих платах, вхідний імпеданс різних ділянок лінії передачі використовується для визначення узгодження імпедансу даної схеми. Якщо з'єднуються лінії передачі та НВЧ-компоненти, необхідно врахувати вхідний імпеданс під час проектування та узгодження імпедансу ланцюга з НВЧ-компонентом.

ЗАГАЛЬНІ ПОЛОЖЕННЯ ПРОЕКТУВАННЯ НВЧ-ПРИСТРОЇВ

Перед проектуванням НВЧ-пристроїв, особливо пасивних, важливо правильно спроектувати стек друкованої плати, оскільки для належної роботи схем потрібен певний імпеданс. Крім того, друковані НВЧ-компоненти забезпечують поширення електромагнітного поля лінії передачі, і поведінка поширення залежатиме від діелектричних параметрів матеріалу плати. Як тільки стек буде опрацьовано, можна приступити до проектування схеми та вибрати додаткові компоненти системи.

Друковані НВЧ-компоненти проєктуються шляхом розрахунку ділянок ліній передачі для використання у певних структурах на друкованій платі. Лінії передачі проєктуються таким чином, що будуть направляти хвилі, що поширюються, до компонентів, а також забезпечувати таку поведінку, як згасання, посилення, фільтрація, резонанс і випромінювання (наприклад, антена). Перетворення імпедансу на шлейфах, інтерфейсах з компонентами і антенами часто потрібне для подолання невідповідності імпедансу, що спостерігається при поширенні радіочастотного сигналу. Різні друковані структури, які виконують ці функції, докладно описуються у багатьох підручниках.

Приклади структур та компонентів, що використовуються у НВЧ-схемах та друкованих платах:

- пасивні та активні фільтри;
- атенуатори;
- циркулятори;
- підсилювачі;
- розгалужувач, дільник та суматор НВЧ-потужності;
- антени;
- резонатори;
- хвилеводні резонатори;

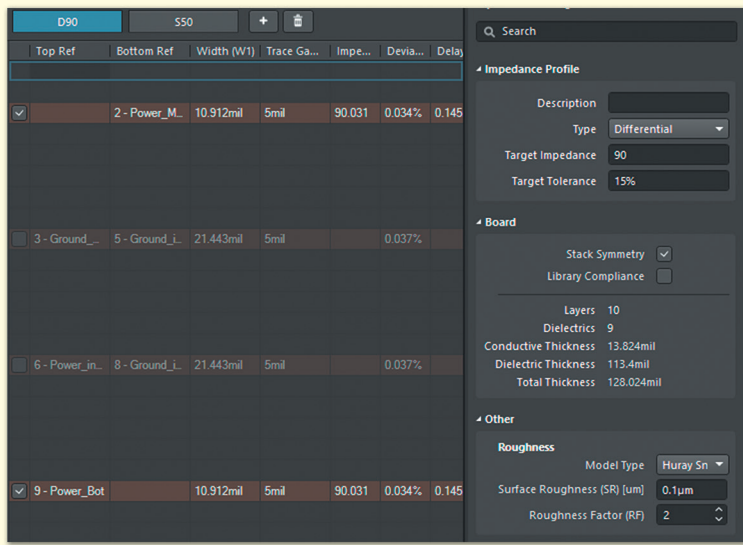


Рис. 4. Layer Stack Manager Altium Designer має вбудований калькулятор імпедансу, який враховує шорсткість міді

Після того як ви додасте компоненти, що залишилися, потрібно буде створити схеми контурів, перш ніж приступити до компонування. Процес розміщення НВЧ-ланцюгів у схемі такий самий, як і для простих цифрових схем. Моделювання ланцюгів також є важливим для початкового радіочастотного проектування, оскільки необхідно оцінити електричні функціональні можливості системи, перш ніж створювати топологію друкованої плати. Зазвичай це виконується з використанням SPICE моделювання, друковані елементи на платі визначаються SPICE як об'єкти ліній передачі. Найкращі схемні редактори матимуть можливість моделювання об'єктів ліній передачі, щоб ви могли точно прогнозувати електромагнітні властивості вашої майбутньої друкованої плати.

ІНСТРУМЕНТИ ДЛЯ КОМПОНУВАННЯ НВЧ-ПЛАТ

Після завершення проектування НВЧ-схеми та її обробки інструментами моделювання в необхідному діапазоні частот вона буде готова до фізичного компонування. Розробникам радіочастотних друкованих плат часто потрібно застосовувати ручний підхід до ретельного проектування НВЧ-з'єднань, дотримуючись стандартних правил проектування високочастотних компонентів, таких як мінімізація перехідних отворів і довжини провідників. Будь-який високочастотний ланцюг, який з'явиться на друкованій платі, повинен бути спроектований з урахуванням цільового імпедансу та геометричних допусків. У зв'язку з цим, ваші інструменти САПР повинні використовувати правила електричного проектування, щоб забезпечити відповідність цим цільовим значенням.

Якщо у вас є цифрові компоненти, які повинні взаємодіяти з НВЧ-пристроями, їх необхідно розмістити в компонуванні друкованої плати за допомогою того ж набору інструментів. Акуратне розміщення та належна конструкція стека допоможуть запобігти перешкодам, що порушують роботу НВЧ-пристрою та сприяють перехопленню сигналів. Тут також можуть бути корисні інструменти 3D проектування (рис. 5), оскільки деякі НВЧ-системи є багатоплатними, і перед підготовкою до виробництва необхідно перевірити всю збірку.

За необхідності створювати передові НВЧ-системи, які також забезпечують цілісність сигналу, вам знадобиться

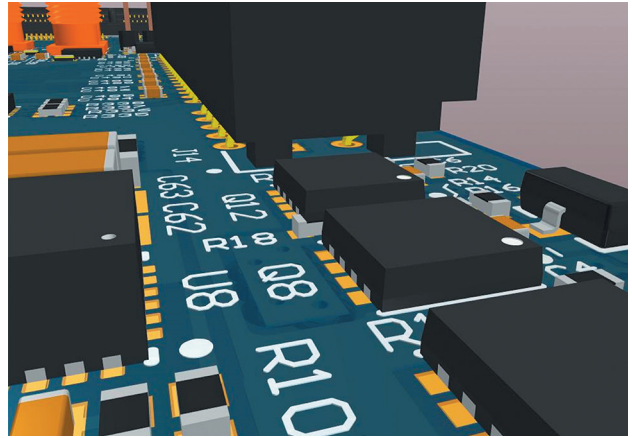


Рис. 5. Виконуйте компонування ваших пристроїв за допомогою найкращих засобів проектування друкованих плат

повний набір інструментів моделювання схем, інструменти для трасування та компонування друкованих плат, а також інструмент для проектування стеку шарів, який допоможе досягти необхідних значень цільового імпедансу. Незалежно від того, чи потрібно вам розробити підсилювач низьких частот для перехоплення сигналів, радіочастотний підсилювач для передачі сигналів або комплексне з'єднання з унікальним трасуванням та структурою переходів, найкращі інструменти для проектування друкованих плат допоможуть зберегти гнучкість у міру створення топології НВЧ-друкованої плати.

Розробники схем, конструктори друкованих плат та інженери SI/PI довіряють передовим інструментам проектування Altium Designer® для проектування НВЧ-пристроїв та компонування друкованих плат. Коли ви закінчите проектування та будете готові до випуску у виробництво, платформа Altium 365™ спростить спільну роботу та забезпечить зручний обмін вашими проектами.

ТОВ «Софтпром Солюшинз» — дистриб'ютор компанії Altium в Україні:

e-mail: altium@softprom.com

<https://softprom.com/ua/vendor/altium>

СН

SOFTPROM **Altium Designer**

Дистриб'ютор Altium в Україні
softprom.com/ua/vendor/altium
altium@softprom.com

ТОВ "Софтпром Солюшинз"

Топології силових каскадів для двонаправленої передачі енергії?

Сергій Гладишев, інженер

Адаптований переклад українською та технічне редагування:

Ілля Кирпатенко, к.т.н., доцент, кафедра ПРЕ, РТФ, КПІ ім. Ігоря Сікорського

У статті наведені можливі топології каскадів для двонаправленої передачі енергії. У трикаскадних топологіях в якості 3-го каскаду, з'єданого з мережею змінного струму, розглядаються варіанти багаторівневих інверторів.

При розробці більшості проектів енергозбереження та підвищення енергоефективності вже давно вийшли на перший план. Одним з варіантів вирішення цієї проблеми є організація режиму рекуперації енергії, коли енергія передається з навантаження на мережу. Як приклад можна навести гальмування електроприводу або акумуляторні батареї вітро- та сонячних електростанцій, які віддають у мережу змінного струму надлишок накопиченої енергії (див. рис. 1). У цій схемі реалізована двонаправлена передача енергії. Якщо акумуляторна батарея розряджена і не може заряджатися від інших джерел, наприклад від сонячних панелей, її зарядження здійснюється від мережі змінного струму. Вибір режиму та керування напрямом передачі енергії здійснюється за допомогою системи керування батареєю BMS.

На рисунку 2 наведено топологію силових каскадів, що реалізують структурну схему, наведену на рисунку 1. Силові каскади в цій схемі з'єдані паралельно. Кожен із них може передава-

ти енергію у двох напрямках. Оскільки найбільший струм циркулює в першому низьковольтному каскаді, для зменшення втрат на комутацію в ньому використовується топологія ZVS-перетворення. Цей каскад при передачі енергії в мережу працює в режимі високочастотного інвертора, а при отриманні енергії з мережі — в режимі випрямляча.

Втрати на провідність мінімізуються за рахунок вибору 60-В MOSFET з найменшим опором відкритого каналу $R_{DS(ON)}$. Наприклад, серед сімейства OptiMOS MOSFET компанії Infineon, одного з найбільших на нашому ринку виробників силових напівпровідникових приладів, можна вибрати ключі із опором $R_{DS(ON)}$ у межах 1–2 мОм. До того ж ці ключі допускають паралельне з'єднання, що може бути використано при значній потужності, що повертається в мережу або отримується з неї.

Другий каскад при передачі енергії в мережу працює в режимі синхронного випрямляча, а при заряджанні батареї, коли струм заряду надходить з мере-

жі — високочастотного інвертора. Зазвичай напруга постійного струму між другим і третім каскадом не перевищує 400–500 В; при цьому струм, що циркулює в цьому каскаді, набагато менше струму першого каскаду. Для нього підійдуть MOSFET із робочою напругою 600–650 В.

У цьому діапазоні напруг починає проявлятися перевага карбідокремнієвих (SiC) FET з широкою забороненою зоною. При потужностях від кількох сотень Вт і вище вони мають переваги над традиційними кремнієвими MOSFET із суперпереходом (SJ). SiC FET має менший опір відкритого каналу у порівнянні з SJ MOSFET. До того ж цей опір у SiC FET має меншу температурну залежність, ніж у SJ MOSFET.

Знову звернемося за прикладом до силових ключів компанії Infineon. У її виробничій лінійці в сімействі CoolSiC можна знайти 650-В SiC FET з опором лише 27 мОм. Цей результат недосяжний для SJ MOSFET. При цьому, під час зростання температури ключа з 25 до 100 °C опір SiC FET збільшується в 1.13 рази, а опір SJ MOSFET сімейства CoolMOS — в 1.67 рази. Зауважимо, що при ширшій забороненій зоні SiC FET зменшуються і струми витоку при високій температурі. Додамо, що заряд Q_{OSS} SiC FET і заряд відновлення зворотного опору Q_{RR} внут-

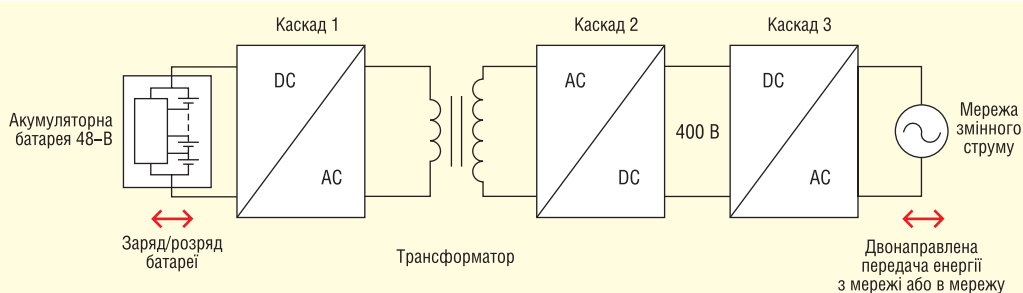


Рис. 1. Структурна схема двонаправленої передачі енергії

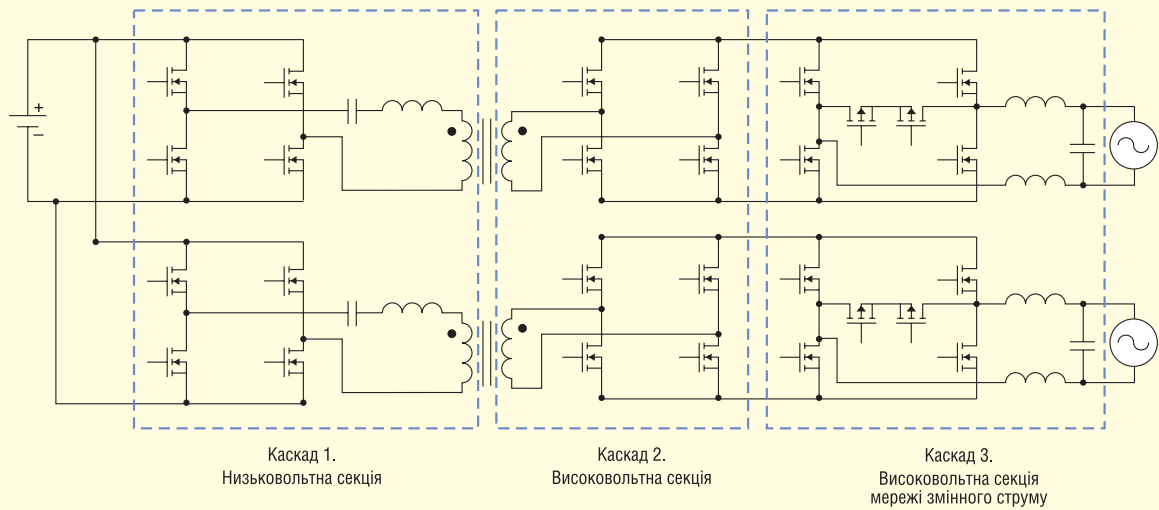


Рис. 2. Топологія силових каскадів, що реалізують структурну схему на рисунку 1

рішнього діода також нижче у SiC FET, ніж у SJ MOSFET, що свідчить про кращі динамічні характеристики SiC FET.

Третій силовий каскад побудований за топологією HERIC, що добре себе зарекомендувала. Під час заряджання батареї каскад працює у режимі підвищення напруги з коректором коефіцієнта потужності (КП). При надходженні енергії від батареї в мережу каскад за допомогою високочастотної ШІМ-послідовності формує низькочастотну напругу з частотою мережі змінного струму, яка потім надходить на низькочастотний фільтр для отримання синусоїдальної напруги.

В якості третього каскаду можна використовувати багаторівневий інвертор, що працює в режимі двонаправленої передачі енергії. Багаторівневі інвертори дозволяють зменшити напругу силового ключа у високовольтному каскаді, що, у свою чергу, дає можливість використовувати силові ключі з меншою робочою напругою, а отже, з меншими втратами на перемикання і втратами на провідність. Зауважимо, що при коливальних перехідних процесах, викликаних крутими фронтами перемикання, на силових ключах може виникати перенапруга.

Для зменшення втрат розробникам слід обрати один із двох варіантів. Перший передбачає використання багаторівневих інверторів, а другий — застосування 1200-В SiC FET. Якщо ми знову звернемося до виробничої лінійки компанії Infineon, то побачимо в ній кілька 1200-В SiC FET з опором $R_{DS(ON)}$ в діапазоні 30–60 мОм і дуже непоганими динамічними показниками. Наприклад, у 1200-В SiC FET IMBG120R030M1H при індуктивному навантаженні 40 нГн і струмі навантаження 25 А:

- час затримки на включення $t_{D(ON)}$: 11 нс;

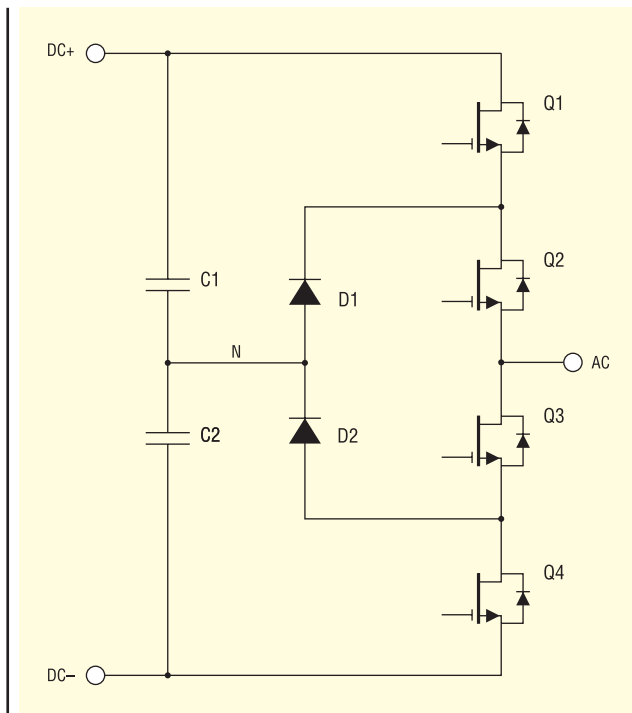


Рис. 3. Схема трирівневого інвертора варіанта NPC

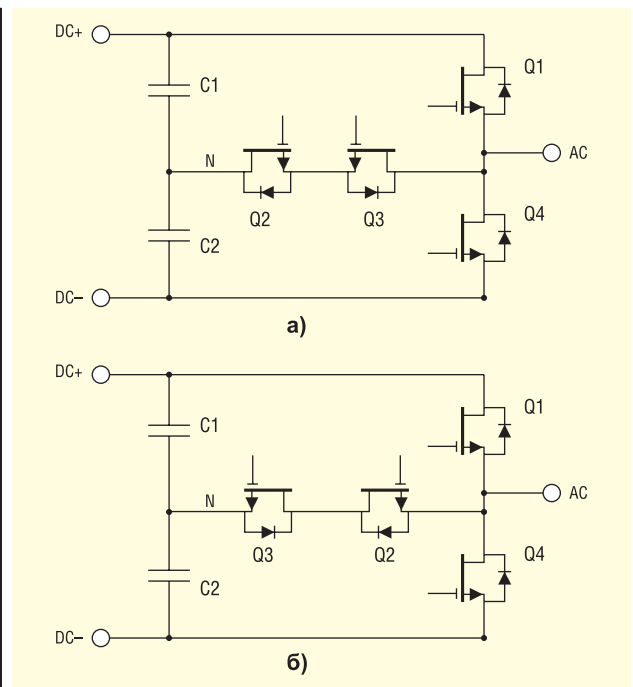


Рис. 4. Схема трирівневого інвертора типу TNPC із загальним: витоком (а); стоком (б)

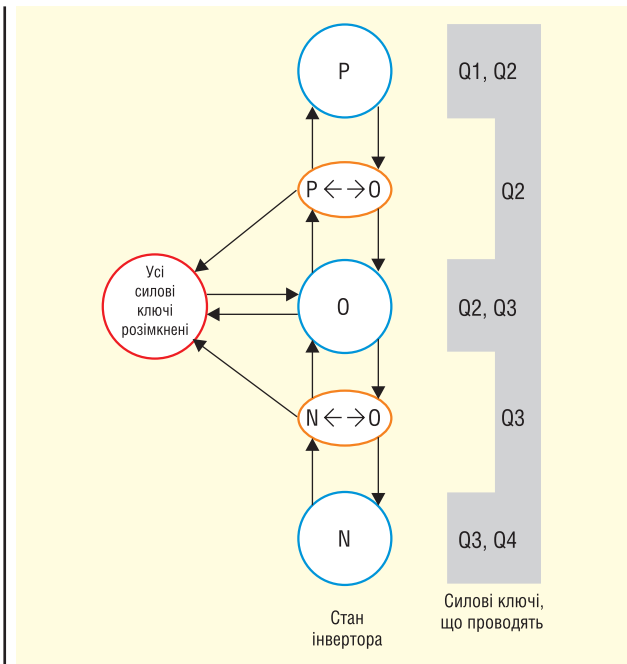


Рис. 5. Стан тривіневого інвертора TNPC та їм відповідні стани силових ключів

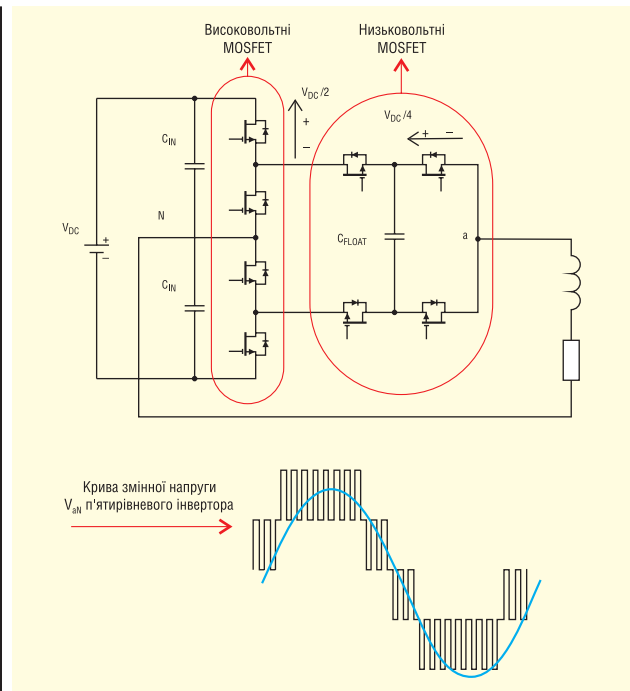


Рис. 6. Схема п'ятирівневого інвертора

- час наростання t_R : 14 нс;
- час затримки на вимкнення $t_{D(OFF)}$: 25 нс;
- час спаду t_F : 11 нс.

Вибір одного з двох перерахованих варіантів залежить від багатьох факторів, зокрема економічних; їх врахування та аналіз у загальному вигляді навряд чи можливий.

Стисло розглянемо багаторівневі інвертори. Почнемо розгляд із тривіневих варіантів кількох типів. Всі вони побудовані або на основі схеми з чотирма послідовно з'єднаними силовими ключами та двома діодами, що фіксують середню точку, або з двома послідовно з'єднаними силовими ключами та з двома ключами, що фіксують середню точку. Зазвичай перший варіант зветься NPC (neutral point clamped), а другий варіант — TNPC (transistor neutral point clamped). Схема першого варіанта (NPC) представлена на рисунку 3.

При використанні тривіневих інверторів особлива увага приділяється алгоритму керування силовими ключами: при некоректній послідовності керуючих імпульсів можуть виникати аварійні режими аж до повного виходу з ладу. У таблиці 1 представлені допустимі та неприпустимі стани силових ключів схеми, показаної на рисунку 3. Як видно з наведеної таблиці, Q1 і Q3, а також пара ключів Q2 і Q4 завжди повинні бути ввімкнені в протифазі. Через небажані стани ключів можуть бути перенапруги на діодах чи силових ключах, що залежить від типу навантаження. В аварійних випадках силовий ключ вийде з ладу.

На рисунку 4 показано силові каскади дворівневого інвертора типу TNPC. У цьому випадку можлива схема як із загальним витоком (див. рис. 4 а), так і із загальним стоком (див. рис. 4 б). Обидві топології (NPC та TNPC) забезпечують однакову функціональність. До єдиної

переваги топології TNPC належить її схожість із звичайним інвертором, що полегшує побудову системи керування на готових компонентах. У таблиці 2 показано можливі стани силових ключів тривіневого інвертора топології TNPC.

На рисунку 5 показані стани тривіневого інвертора TNPC та відповідні стани силових ключів. За цією діаграмою можна формувати часову діаграму керування інвертором. У станах P, O, N закриті силові ключі Q1 і Q2, Q2 і Q3, Q3 і Q4 відповідно. У перехідних станах між P та O та між O та N залишаються відкритими ключі Q2 та Q3, відповідно. При переході до стану O потрібен мертвий час, протягом якого закриті всі силові ключі. Подібну часову діаграму легко реалізувати за допомогою вбудованих у мікроконтролер модулів ШІМ.

Крім розглянутих вище тривіневих інверторів, у третьому каскаді топології, показаної на рисунку 2, можна використовувати й інвертори вищих порядків. Наприклад на рисунку 6 показаний п'ятирівневий інвертор. У ньому змінна напруга V_{aN} між точками a та N складається з п'яти рівнів:

- $V_{DC}/2$;
- $V_{DC}/4$;
- 0;
- $-V_{DC}/4$;
- $-V_{DC}/2$.

Силові ключі високовольтної секції повинні бути розраховані на напругу $V_{DC}/2$, а низьковольтної секції — на напругу $V_{DC}/4$.

Таблиця 1. Допустимі та неприпустимі стани силових ключів у дворівневному інверторі NPC

Ключ	Безпечні стани						Небажані стани						Аварійний стан					
Q1	0	00	00	00	1	0	1	0	1	1	0	1	1	1	0	1		
Q2	0	1	0	1	1	0	0	0	0	0	1	1	1	0	1	1		
Q3	0	0	1	1	0	1	0	0	0	1	0	1	0	1	1	1		
Q4	0	0	0	0	0	1	0	1	1	0	1	0	1	1	1	1		

Таблиця 2. Допустимі та неприпустимі стани силових ключів у дворівневному інверторі TNPC

Ключ	Безпечні стани						Аварійний стан									
Q1	0	11	00	00	0	1	0	0	1	1	0	1	1	1	0	1
Q2	00	00	1	0	0	1	1	0	0	0	1	1	1	0	1	1
Q3	00	00	0	1	0	0	1	1	0	1	0	1	0	1	1	1
Q4	00	00	0	0	1	0	0	1	1	0	1	0	1	1	1	1

RAINBOW TECHNOLOGIES

Офіційний дистриб'ютор в Україні

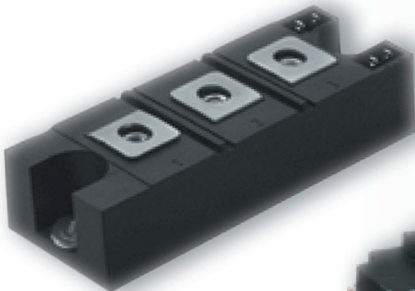
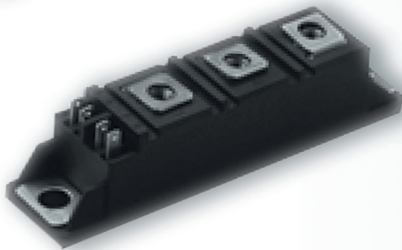
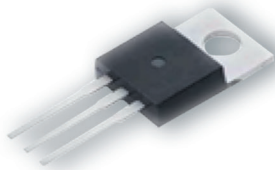
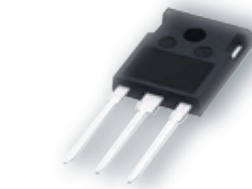
Rainbow Technologies

www.rainbow.com.ua

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

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

svl@rainbow.com.ua



**Постачальник напівпровідників
зі складу та на замовлення**

Діоди – Транзистори MOSFET – IGBT
SIC MOSFET – SIC діоди – Тиристри – Модулі

Навіщо джерелу живлення потрібна шина даних?

Міхаель Шрутка (Michael Schrutka)

Адаптований переклад українською та технічне редагування:

Ілля Кирпатенко, к.т.н., доцент, кафедра ПРЕ, РТФ, КПІ ім. Ігоря Сікорського

Нещодавно виробники джерел живлення для керування та контролю модулів почали використовувати цифрові інтерфейси. У цій статті розглядаються питання виникнення (використання) цифрових інтерфейсів у джерелах живлення та перспективи їх розвитку.

Для прикладу розглянемо пристрій з великою потужністю, що споживається, протягом порівняно невеликого робочого циклу, при цьому середня потужність буде значно нижчою за максимальну. До таких пристроїв можуть бути віднесені 3D-друк, лазерне різання або роботизовані маніпулятори. У розробників подібних пристроїв може виникнути спокуса використовувати джерело живлення, що розраховане на максимальну потужність в постійному режимі (навантаження у гіршому випадку). Однак цей підхід призведе до вибору джерела з високою вартістю та завищеними масо-габаритними показниками. Таке рішення не буде раціональним, а іноді, певною мірою, просто небезпечним, оскільки у разі несправності надмірний струм у навантаженні може призвести до пожежі.

Більш раціональний вибір — джерело живлення, розраховане на високу пікову потужність та з обмеженням струму у разі несправності. Залежно від типу навантаження визначається, за яких умов необхідна пікова потужність, а розробник, орієнтуючись на конкретне завдання, програмує поведінку джерела живлення. За таких умов цифровий інтерфейс зазвичай набагато кращий за аналоговий, особливо коли потрібен моніторинг стану джерела живлення (струм, навантаження в нормі або за межами специфікації). Завдяки відповідному функціоналу, передбаченому в джерелі живлення, та відповідній цифровій шині можна реалізувати моніторинг навантаження, підключеного до модуля. Шина PMBus (Power Management Bus — шина керування живленням) застосовується в багатьох сучасних джерелах і чудово зарекомендувала себе для вирішення цього завдання.

Шина керування живленням (PMBus) — це відкритий стандарт цифрового протоколу керування електроживленням: простий, надійний і з можливістю розширення, що підтримується приблизно 40 компаніями-учасниками асоціації PMBus.

ОСОБЛИВОСТІ PMBUS

Шина PMBus дозволяє встановлювати робочі параметри одного або кількох джерел живлення. Наприклад, джерело живлення можна повністю вимкнути, коли в ньому немає потреби або вихідна напруга і струм можуть бути змінені в процесі роботи. Можна реалізувати функціонал для керування звичайним вентилятором для оптимізації охолодження, коли швидкість обертання автоматично підлаштовується, в залежності від навантаження, що призводить до зниження шуму і збільшує ресурс роботи. Весь цей функціонал можна реалізувати з шиною PMBus, а її додатковою перевагою є протокол I²C, яким оснащені практично всі мікроконтролери.



Рис. 1. Серія RACM1200_V — блок живлення, що не вимагає обслуговування, з пасивним охолодженням для медичного та промислового обладнання

<p>LED Signals (Single RGB LED)</p>	<p>Green continuously Blue intermittent (30% on) Green intermittent (50% on) Green / Red alternatively (50%:50%) Red intermittent (50% on) Red / Blue alternatively (50%:50%) Red continuously</p>	<p>PSU-Good: PSU in standard operation mode STBY: Standby mode; Main Output OFF via REMOTE signal DC-LOW: Signal: (75% < V_{OUT} < 95%) drives nonlinear loads OTW: Over temperature warning; Output normal operation OTP: Over temperature, Output OFF, self-recovering after cooling OLP: Over load protection: Output OFF, auto-recovery DC-Fail: Output latch-OFF, permanent fault until AC-reset</p>
---	--	---

Рис. 2. Витяг зі специфікації RACM_1200V

Можливості моніторингу не менш важливі в порівнянні з функціоналом керування та налаштування. У реальному часі PMBus передає дані про вхідний струм, напругу і потужність, температуру критичних компонентів, а також розширену діагностику несправностей. На основі цієї інформації програма може прогнозувати наближення стану перевантаження або перегріву. Якщо внутрішня температура джерела підвищується через нестачу охолодження, то після досягнення порога джерело не просто вимкнеться, а заздалегідь проінформує про критичні значення.

Шина PMBus не тільки дозволяє забезпечити простий контроль та керування, але й підключається безпосередньо до внутрішнього мікроконтролера, що відстежує коло зворотного зв'язку в джерелі. Таким чином, можна змінювати не тільки параметри, що настроюються, але і перехідні характеристики, швидкість наростання фронтів і компенсаційну матрицю. Це дозволяє узгоджувати роботу джерела живлення з поточним фактичним режимом навантаження або динамічно підлаштовувати його в процесі роботи. У результаті стандартне джерело живлення стає унікальним за рахунок додавання інтерфейсу PMBus.

RACM1200-V

Прикладом джерела живлення, оснащеного описаними вище функціями, є RACM1200-V компанії RECOM (рис. 1). Ця серія завдала стандарт компактності AC/DC і була розроблена для надійної експлуатації без вентилятора для збільшення ресурсу роботи. Відведення тепла від основи забезпечує вихідну

постійну потужність до 1 000 Вт та короткочасно до 1 200 Вт. При додатковому підключенні вентилятора потужність 1 200 Вт доступна у постійному режимі. Широкий діапазон встановлення вихідної напруги в комбінації з режимом постійної напруги/потужності та налаштування режиму захисту hiccup роблять даний модуль універсальним рішенням, у тому числі й для іскробезпечних застосувань. Завдяки роз'ємам доступні додаткові аналогові функції керування та контролю, а також два додаткові виходи: програмований вихід вентилятора 5/12 В та ізольований вихід 5 В/1 А для службових функцій. Функціонал серії RACM1200-V в залежності від застосування може бути адаптований за допомогою налаштувань для безвідмовної роботи. У стандартній версії стан модуля можна відстежувати по двох сигнальних лініях та світлодіодними індикаторами (рис. 2).

На додаток до аналогових сигналів стану та керування версія PMBus RACM1200-V/PMB має цифровий інтерфейс, що використовується замовниками для безпосереднього моніторингу та налаштування. Компанія RECOM також пропонує інтерфейсну утиліту командного рядка для програмування джерел живлення. За запитом прошивка пристрою може бути запрограмована заздалегідь відповідно до побажань замовника.

ККД обох версій досягає 95%, модулі задовольняють директиви eco-design щодо споживання в режимі очікування. Серія RACM1200 має необхідні сертифікати з безпеки для медицини (2MOPP, BF), промисловості та інформаційного обладнання, а також тести на електромагнітну сумісність класу А за стійкістю та класу В з випромінювань. Дані особливості роблять модуль рішенням, що має найменшу кількість потенційних проблем під час впровадження в нові розробки.

CN



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

Ізольований силовий модуль MagI³C для керування 24-В промисловою шиною

Тимур Улудаг (Timur Uludag), менеджер з продукції, Würth Elektronik eiSos
Адаптований переклад українською та технічне редагування:
Ілля Кирпатенко, к.т.н., доцент, кафедра ПРЕ, РТФ, КПІ ім. Ігоря Сікорського

У статті розглядаються питання забезпечення живлення від 24-В шини для промислової керуючої системи за допомогою ізованих модулів DC/DC-перетворювачів.

Кожна промислова система керування потребує напруги від блоку живлення. Хоча такі блоки становлять лише невелику частину обладнання, під час вибору відповідного джерела живлення враховується безліч параметрів. Під час розробки DC/DC-перетворювача необхідно отримати відповіді на питання: по-перше, який діапазон вхідної та вихідної напруги; по-друге, яка необхідна вихідна потужність. Ми коротко

зупинимося на розгляді деяких основних ключових параметрів.

ВИБІР ІЗЬОВАНОГО СИЛОВОГО МОДУЛЯ

Наступне обладнання є типовим на промислових підприємствах, наприклад: лінії з розливу, прокатні стани, конвеєрні стрічки та друкарські верста-

ти. Зазвичай в своєму складі вони використовують наступні рішення:

- гальванічна ізоляція інтерфейсу/шини: RS232, RS485, CAN, Interbus, Profibus;
- живлення ізованих підсилювачів, АЦП;
- гальванічна ізоляція цифрових схем;
- вимірювання та збір даних.

Їх об'єднує одна загальна риса: вхідна напруга живлення ізована від напруги шини. Навіщо гальванічно ізовувати живлення від шини чи комутаційних компонентів загалом? Гальванічна розв'язка запобігає відмовам, які можуть передаватися від джерела живлення на шину та порушувати її роботу. На рисунку 1 наведено типове рішення для ізовлю-

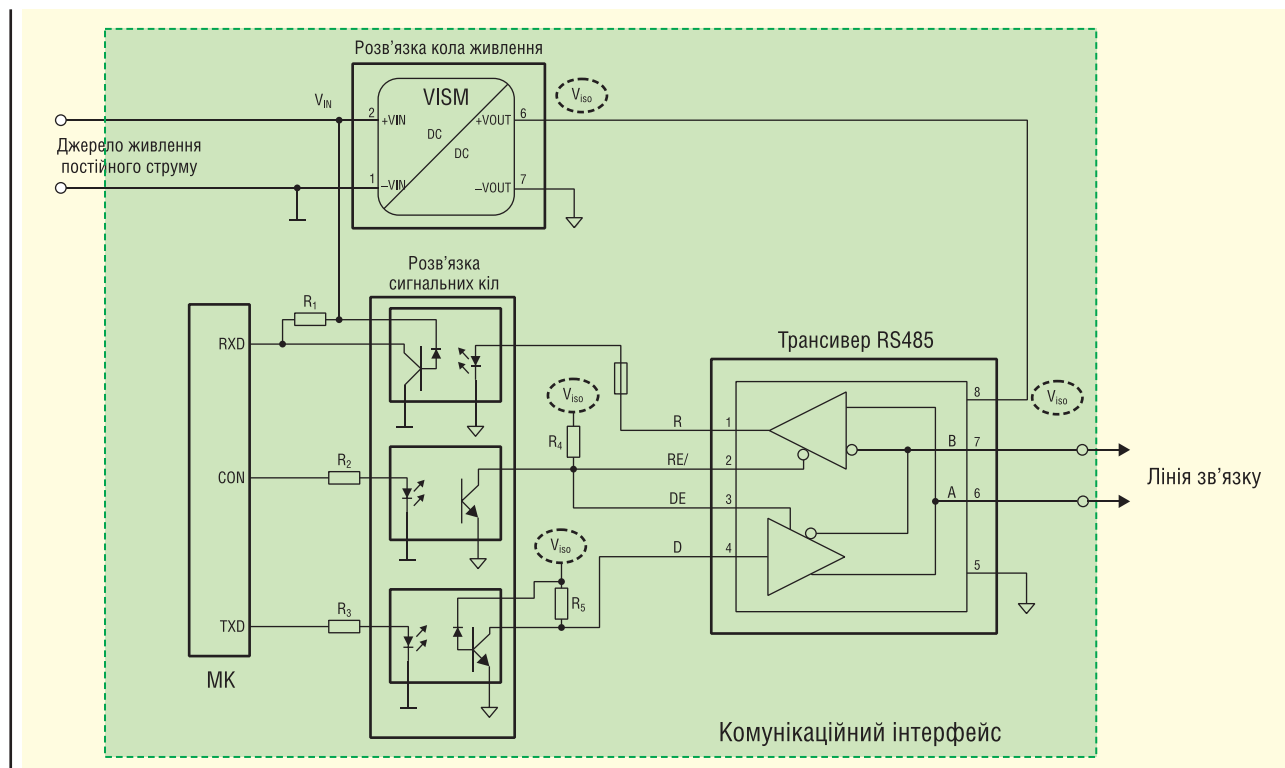


Рис. 1. Типове застосування гальванічно ізованого силового модуля

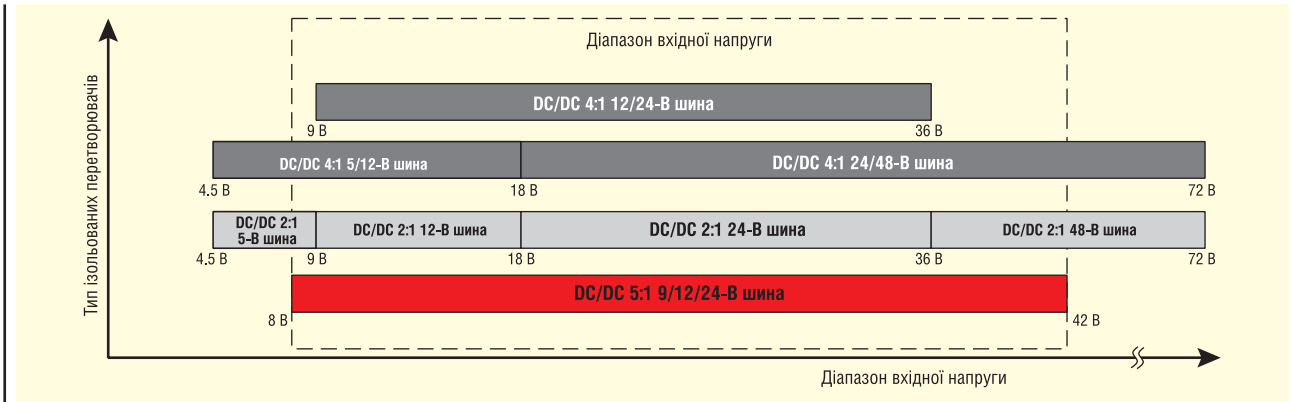


Рис. 2. Промисловий діапазон напруги залежно від типів перетворювачів

ваного силового модуля з використанням зв'язку з основними функціональними блоками через інтерфейс RS485.

Функціональні блоки для гальванічної розв'язки

Блок мікроконтролера (МК) обмінюється даними по протоколу RS485. Гальванічна ізоляція реалізується за допомогою оптронів. Гальванічна розв'язка заземлення між блоком ізоляції сигналів та приймачем досягається за допомогою силового модуля DC/DC-перетворювача.

Широкий діапазон напруг — розширена сфера застосування

Протягом кількох десятиліть типовий в промисловості діапазон вхідної напруги знаходився в межах 8–42 В. Такий вибір обумовлений двома причинами. По-перше, він відповідає вимогам існуючих стандартів, наприклад IEC61131-2 для програмованих логічних контролерів (ПЛК). По-друге, досвід експлуатації джерел живлення та умови монтажу підтверджують правильність вибору цього діапазону напруги. Зауважимо, що найбільш часто використовуються шини з напругою 12 і 24 В, що, лежить в межах цього класичного діапазону.

Як правило, у промисловості застосовують ізолювані перетворювачі 2:1 і 4:1 для покриття широкого діапазону вхідної напруги 8–42 В (див. рис. 2). Перша цифра в позначенні 2:1 або 4:1 визначає коефіцієнт, який множиться на мінімальну величину вхідної напруги, визначаючи максимальне значення діапазону напруги. Наприклад, у перетворювача 2:1 з мінімальним значенням вхідної напруги 4,5 В вихідний діапазон становить 4,5–9 В.

Якщо потрібний інший діапазон напруги, вибирається модуль іншого типу. Жоден із широко розповсюджених модулів 2:1 та 4:1 не працює у всьому промисловому діапазоні напруги. Модуль 5:1 у корпусі SIP-8 від Wurth Elektronik може працювати у всьому промисловому діапазоні 8–42 В. Якщо врахувати, що діапазон регулювання вихідної напруги становить 3,3–6 В, переваги цього модуля стануть ще очевиднішими. Він може працювати з широко розповсюдженими інтерфейсами CAN або RS485, де потрібні ізолювані перетворювачі потужністю 1 Вт та вихідною напругою 3,3 або 5 В.

Для отримання живлення напругою 3,3 або 5 В зазвичай необхідні силові модулі двох типів. Модуль 5:1 у корпусі SIP-8 з можливістю зміни вихідної напруги та широким діапазоном вхідної/вихідної напруги дозволяє скоротити кількість перетворювачів різних типів. Це дозволяє мінімізувати кількість схемних рішень, які необхідно обрати, конфігурувати, протестувати, підтвердити на відповідність допустимим рівням EMC.

МЕЖИ ДІАПАЗОНУ ВХІДНОЇ НАПРУГИ

Загальні поняття

Для подальшого розгляду корисно мати загальне уявлення про те, які напруги використовуються у промисловості. Між окремими частинами промислового обладнання проходять довгі сполучні лінії. У багатьох випадках довжина цих ліній сягає десятків метрів.

На рисунку 3 показано базову структуру промислового обладнання. В даний час електропостачання забезпечується імпульсними або трансформаторними джерелами живлення. Джерела живлення з трансформаторами все ще використовуються в обладнанні досить великої потужності. Окремі частини обладнання живляться від шини постійного струму. На місцях експлуатації кожне окреме електричне навантаження підключається через розподільні лінії напруги 24 В. Простіше забезпечити 24 В у централізованій стійці та забезпечувати живлення через цю шину постійного струму, ніж розподіляти змінний струм напругою 230 або 400 В, що ускладнює безпеку експлуатації. В результаті це зменшує кількість окремих джерел живлення.

При цій структурі на напругу шини постійного струму впливають три основні фактори:

- напруга джерела живлення;
- завади на шині постійного струму через паралельно прокладені кабелі;
- падіння напруги через протікання струму.

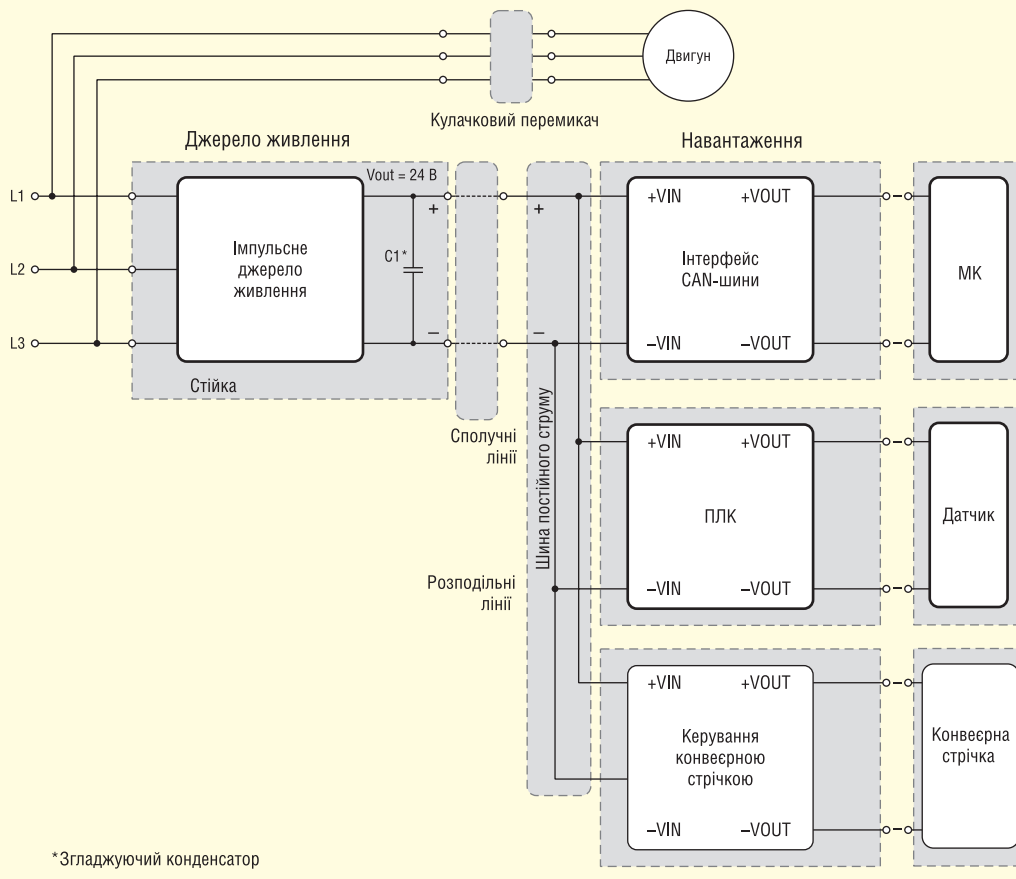
Щоб зрозуміти, як визначається нижня межа напруги, розглянемо падіння напруги при протіканні струму.

МІНІМАЛЬНА ВХІДНА НАПРУГА — НИЖНЯ МЕЖА

Зазвичай поперечний переріз кабелів для шини постійного струму вибираються виходячи з попереднього досвіду та грубої оцінки за допомогою таблиць (зауважимо, що зазвичай кабелі мають конструктивні обмеження, щодо вимог перегріву). Це означає, що падіння напруги на сполучній лінії в більшості випадків не враховується. У свою чергу воно визначається різницею в рівнях напруги між вихідною напругою джерела живлення V_{OUT} і вхідною напругою системи $+V_{IN}$.

Для кращого розуміння, наведемо числовий приклад розрахунку з реальними значеннями параметрів, що використовуються на промисловому підприємстві:

- напруга шини: 24 В;
- струм споживання (ном.): 4 А;



*Згладжуючий конденсатор

Рис. 3. Базова структура електроживлення промислового обладнання

- довжина сполучної лінії l : 60 м;
- площа поперечного перерізу S : 0.75 мм²;
- питомий опір ρ : 0.0172 Ом·мм²/м.

Для розрахунку електричного опору скористаємося формулою (1):

$$R = \rho \cdot l / S = 0.0172 \text{ Ом} \cdot \text{мм}^2 / \text{м} \cdot 60 \text{ м} / 0.75 \text{ мм}^2 = 1.376 \text{ Ом}. \quad (1)$$

Для розрахунку падіння напруги на сполучній лінії помножимо струм, що протікає через опір кабелю, на величину опору при постійному струмі R (2):

$$V = 4 \text{ А} \cdot 1.376 \text{ Ом} = 5.504 \text{ В}. \quad (2)$$

Таким чином, на вході обладнання, наприклад ПЛК, не забезпечується номінальна напруга, тому що на цей контролер подається напруга величиною всього 24–5.5 В = 18.5 В. Відповідно до вимог стандарту на ПЛК ІЕС 61131-2, діапазон вхідної напруги живлення встановлений рівним 19.2–30 В. За напруги живлення 18.5 В відбудеться відключення контролера (захист від зниженої напруги).

Нижня межа робочої напруги 8 В для модуля в корпусі SIP-8 дозволяє не зважати на падіння напруги в сполучних проводах і встановити навантаження досить далеко від стійки. Крім того, для захисту від падіння вхідної напруги нижче 9 В можна встановити коло виявлення зниженої напруги.

МАКСИМАЛЬНА ВХІДНА НАПРУГА — ВЕРХНЯ МЕЖА

Для визначення максимальної вхідної напруги розглянемо функціональні блоки промислового обладнання (див.

рис. 3): джерело електроживлення, шину постійного струму та електричні навантаження. На саме джерело електроживлення, наприклад трансформаторне джерело живлення без подальшої схеми стабілізації, подається 3-фазна напруга величиною 380 В АС –15%/+20%. При цьому напруга на шині постійного струму буде відрізнятися від номінальної 24 В. Ще слід враховувати коливання вхідної напруги при відключенні навантаження, наприклад електродвигунів змінного струму, підключених до цих ліній живлення.

Нагадаємо, що навантаження підключаються до джерела живлення через шину постійного струму за допомогою кабелю довжиною близько 10 м. Кабель може працювати як антена, що сприймає завади від сусідніх пристроїв, наприклад від перетворювачів частоти. Ці завади можуть розповсюджуватися по всій шині постійного струму і надходити до кожного підключеного пристрою. Крім того, під'єднання різних навантажень по входу однієї шини постійного струму може привести до їх взаємодії. Наприклад, в результаті індуктивного зв'язку через перехідні процеси з'являються стрибки напруги, а також стрибки напруги під час скидання або накиду навантаження. Максимальне значення вхідної напруги визначається двома факторами.

До першого з них відноситься технічно можливе значення максимальної вихідної напруги джерела живлення, а до другого — максимальна пікова напруга на вхідному захисному елементі пристрою з номінальною напругою живлення 24 В.

Кожне імпульсне або трансформаторне джерело живлення для стабілізації та фільтрації вихідної напруги має один або кілька вихідних електролітичних конденсаторів

(див. рис. 3). Номінальна напруга цих конденсаторів становить 35 В за номінальної вихідної напруги 24 В. У стандарті IEC 60384-4, розд. 4.14, визначені пікові напруги та їх частота протягом усього терміну служби електролітичного конденсатора, які не завдають йому пошкоджень або не викликають зміни ємності більш ніж на 15%. Стандарт встановлює, що допустима пікова напруга може в 1.15 разів перевищити номінальну. Таким чином, якщо номінальна напруга дорівнює 35 В, допустима пікова напруга на конденсаторі не повинна бути більш ніж 40.25 В.

Зазвичай, для захисту від перехідних процесів по входу використовуються обмежувачі стрибків напруги (діоди TVS), або супресори. У разі виникнення високовольтного імпульсу напруги, що перевищує напругу пробоя V_{BR} , вони обмежують напругу на навантаженні для його захисту. Супресор обмежує сплеск напруги рівнем V_{Clamp} .

Розглянемо кілька рекомендацій для захисту 24-В приладу від перехідних процесів.

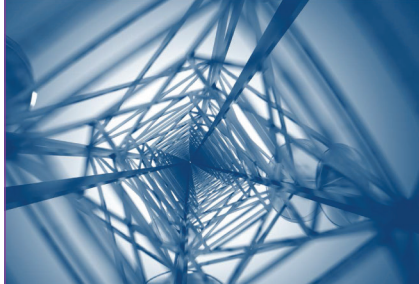
Діод TVS починає проводити струм за максимальної зворотної напруги V_{RMW} . При цьому струм незначний і становить лише кілька мкА. Отже, номінальна робоча напруга навантаження та його допустима напруга має бути вищою за V_{RMW} . Для шини з номінальною напругою 24 В прийнятним значенням напруги супресора від Würth Elektronik є 26 В V_{RMW} . Якщо напруга досягає величини V_{BR} , діод TVS починає проводити струм 1 мА.

Оскільки у супресорів допустимі значення напруги пробоя вказуються виробником у певному інтервалі між мінімальною та максимальною величинами, неможливо точно визначити точку спрацьовування. У нашому прикладі з V_{RMW} рівним 26 В діапазон спрацьовування становить 28.9–31.9 В. Діод може обмежувати максимальну напругу V_{Clamp} , проводячи при цьому максимально допустимий струм I_{Peak} . У TVS-діода із зворотною напругою V_{RMW} рівною 26 В напруга V_{Clamp} зазвичай становить 42.1 В. Порівнюючи TVS-діоди від різних виробників, можна помітити, що всі типові значення характеристик супресорів знаходяться приблизно в одному діапазоні.

TVS-діод захищає модуль DC/DC-перетворювача в системі на 24-В від викидів, що перевищують абсолютні максимальні значення V_{INMAX} . Як правило, чим вище це значення, тим простіше розробити пристрій із використанням супресора та вхідного фільтра. З цього




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



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




Авторизований дистриб'ютор
Ampleon в Україні

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

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

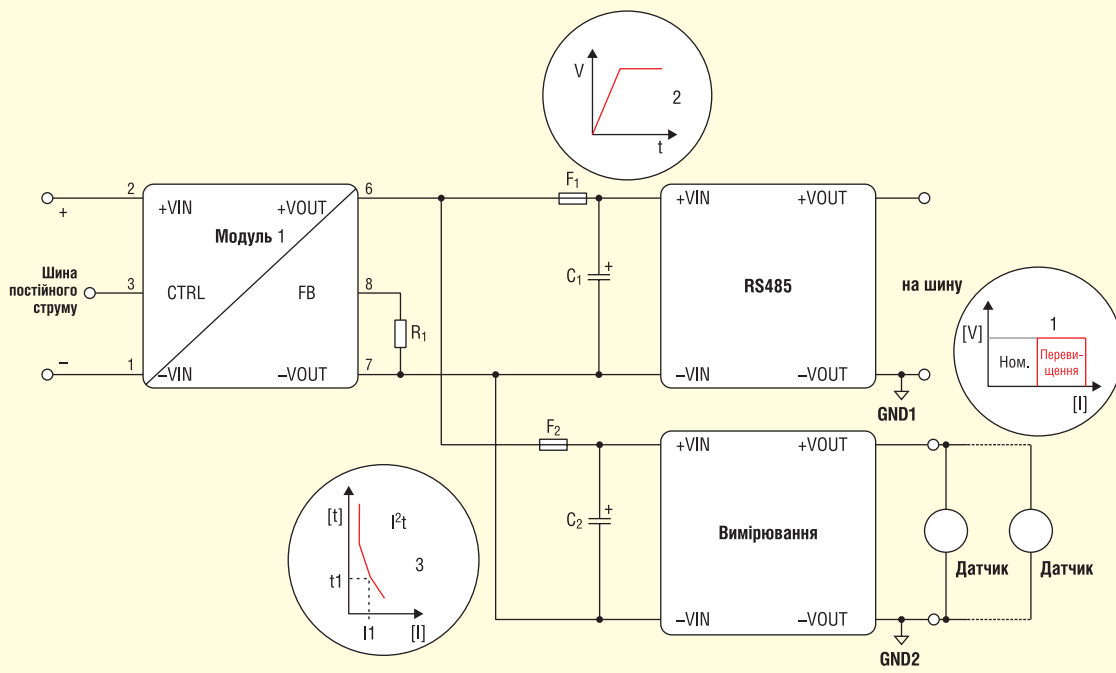


Рис. 4. Режими перевищення потужності

впливає, що важко знайти супресор, якщо номінальна робоча вхідна напруга близька до максимальної вхідної напруги модуля V_{INMAX} .

Нарешті, величина 42 В, що обрана як максимальна робоча вхідна напруга V_{IN} ізолюваного силового модуля в корпусі SIP-8, є раціональним значенням, що забезпечує стійкість до впливу напруги при перехідних процесах в діапазоні 40.25–42.1 В.

ДІАПАЗОН ВИХІДНОЇ НАПРУГИ

Напруги 3.3 В і 5 В є стандартними значеннями, що використовуються в складових частинах промислових систем керування, таких як:

- гальванічна ізоляція інтерфейсів/ шини RS232, RS485, CAN, Interbus, Profibus;
- гальванічна ізоляція цифрових схем;
- живлення ізолюваного підсилювача або АЦП;
- вимірювання та збір даних.

Широко поширені на ринку ізолювані силові модулі забезпечують фіксовану вихідну напругу.

Ізолюваний модуль DC/DC-перетворювача в корпусі SIP-8 забезпечує регулювання вихідної напруги, оскільки в деяких випадках потрібно встановити вихідну напругу трохи вище номінальної робочої напруги, необхідної для навантаження, щоб підвищити стійкість до короточасних стрибків напруги, що

дозволяє зменшити ємність згладжуючого конденсатора.

РЕЖИМИ ПЕРЕВИЩЕННЯ ПОТУЖНОСТІ

На промисловому підприємстві відбувається взаємний вплив джерел живлення, навантажень та завод. Оскільки важко розрахувати багато параметрів, вони можуть змінитися у процесі реалізації. Важливим параметром є потужність, що споживається навантаженням. Потрібно забезпечити гнучкість, щоб за необхідності її можна було підвищити.

Функція перевищення потужності в навантаженні дозволяє збільшити вихідну потужність силового модуля до значення вище від номінального як у статичному, так і в динамічному режимі. У першому випадку додаткова потужність подається протягом тривалого часу. У динамічному режимі функція перевищення забезпечує короточасні перевищення номінальної потужності за обмежений час. При цьому потрібні періодичні цикли охолодження.

Завдяки функції перевищення номінальної потужності розширюються можливості застосування силового модуля при яких забезпечується:

- непередбачене збільшення навантаження (див. рис. 4);
- зарядка ємнісних навантажень без просідання напруги (див. рис. 4);

- резервне живлення при короточасних підвищеннях енергоспоживання;
- спрацювання запобіжників на вході підключених пристроїв у разі перевантаження (вищий струм для безпечного відключення; див. характеристику спрацювання запобіжника на рисунку 4).

З урахуванням усіх цих вимог було розроблено модуль VISM 17791063215 у корпусі SIP-8 серії Fusion. Новий модуль MagI³C, що працює на шині з напругою 9/12/24 і 36 В у дуже широкому діапазоні вхідної напруги 8–42 В. Він являє собою ізолюваний DC/DC-перетворювач, що складається з ІС ШІМ-керування, силового каскаду, трансформатора та вхідних і вихідних конденсаторів.

Вихідна напруга, що точно стабілізується, налаштовується в діапазоні 3.3–6.0 В. Вихід модуля постійно захищений від короткого замикання. 1-Вт модуль за допомогою функції Power Boost забезпечує потрібну вихідну потужність, що перевищує номінальну. Таким чином, здійснюється живлення навантаження із ліковою споживаною потужністю до 3 Вт. Виводи ВКЛ./ВИКЛ. перетворюють модуль на джерело живлення з дистанційним керуванням. Завдяки своїм унікальним функціям цей модуль призначений для таких застосувань: живлення інтерфейсів, мікроконтролерів, систем промислового керування та контрольно-вимірювального обладнання.

DC/DC-перетворювачі серії NPH від Murata Power Solutions

Адаптований переклад українською та технічне редагування:
Ілля Кирпатенко, к.т.н., доцент, кафедра ПРЕ, РТФ, КПІ ім. Ігоря Сікорського

У типовому застосуванні DC/DC-перетворювачам серії NPH для формування заданої вихідної напруги потрібна тільки вхідна напруга постійного струму з коректною полярністю. У цю продуктову лінійку входять перетворювачі з виводами керування, розташованими на кожній стороні ізолюючого бар'єру. Ці виводи програмуються за допомогою зовнішніх пристроїв для багатьох функцій. У статті розглядаються питання використання цих перетворювачів та рекомендації, що дозволяють повністю розкрити їхній потенціал.

РЕГУЛЮВАННЯ НАПРУГИ

Регулювання вхідної напруги на вторинному боці дозволяє здійснювати зміну та підтримку вихідної напруги у допустимих межах. Регулювання напруги за допомогою зовнішніх компонентів, що підключаються до виводу ADJ, дозволяє змінювати вихідну напругу майже на 50%. Базова схема регулювання складається з підключеного до виходу потенціометра, з номіналом 10–100 кОм. Повзунок потенціометра підключається до виводу ADJ (див. рис. 1). Залежно від моделі, вихідну напругу можна зменшити приблизно на 15%, якщо повзунок знаходиться на позитивному виході, або збільшити цю напругу на 24%, якщо він під'єднаний до негативної шини. У будь-якому випадку регулювання забезпечується принаймні на рівні 10% від повної величини напруги.

Якщо потрібне точніше регулювання, між повзунком та виводом встановлюється резистор. Наприклад, опір

величиною 62 кОм обмежує вхідну напругу 3.3 В діапазоном $\pm 5\%$. Для інших напруг відповідними значеннями є 5:56 кОм, 12:100 кОм і 15:150 кОм.

ВСТАНОВЛЕННЯ НАПРУГИ

Вихідна напруга всіх модулів задається на 100 мВ вище за номінальне значення для компенсації падіння напруги на провідниках схеми, щоб, таким чином, зменшити розрахункові похибки для найгіршого сценарію. У випадку версій E1, цей допуск можна змінити за допомогою одного постійного резистора, підключеного до регулюючого виводу.

РЕЖИМ ЗУПИНКИ

Для того, щоб перевести перетворювач у режим зупинки (shutdown), відповідний зовнішній вивід мікросхеми з'єднується з негативною шиною вхідної

напруги. У цьому випадку споживаний струм виявиться меншим 1 мА за номінальної напруги живлення. Величина напруги не повинна перевищувати 1.5 В, щоб припинити роботу модуля та зменшити невеликий вхідний струм.

Перетворювач відновить свою роботу, якщо залишити керуючий вивід вільним або подати на нього напругу, величина якої близька до нормальної напруги розімкнутого кола. Як правило, ця величина дорівнює 10 В. Зауважимо, що перетворювач не відповідатиме вимогам специфікації доти, поки струм на цьому виводі досить великий.

Якщо вивід для режиму зупинки необхідно підключити до провідника великої довжини, щоб уникнути помилкових спрацьовувань, рекомендується використовувати згладжуючий конденсатор. Також можна використовувати звичайний пасивний RC-фільтр. Рекомендована величина опору — 1 кОм, ємності — 10 нФ. Декілька перетворювачів серії NPH можна послідовно з'єднати; при цьому їх керуючі виводи слід з'єднати один з одним.

ПІДСТРОЮВАННЯ ЧАСТОТИ

Якщо вхідна напруга постійного струму на первинній стороні відхилиться від напруги холостого ходу, робоча частота перетворювача зміниться приблизно пропорційно напрузі. За напруги на виводі SS 8.5 В DC типове значення робочої частоти становить 300 кГц. Якщо воно збільшиться до 15 В DC, комутаційна частота підвищиться до 510 кГц. Таким чином компенсується зміна вхідної напруги і перетворювач продовжує працювати в безпечній зоні. Відхилення щонайменше досягає $-10\dots 30\%$, а ефективність змінюється набагато більше. Зауважимо також, що якщо частота знижується, то й збільшується пульсація вихідної напруги.

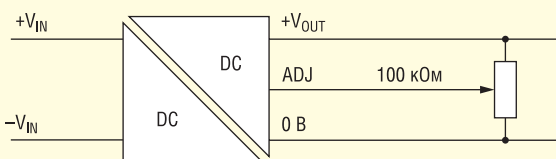


Рис. 1. Регулювання напруги

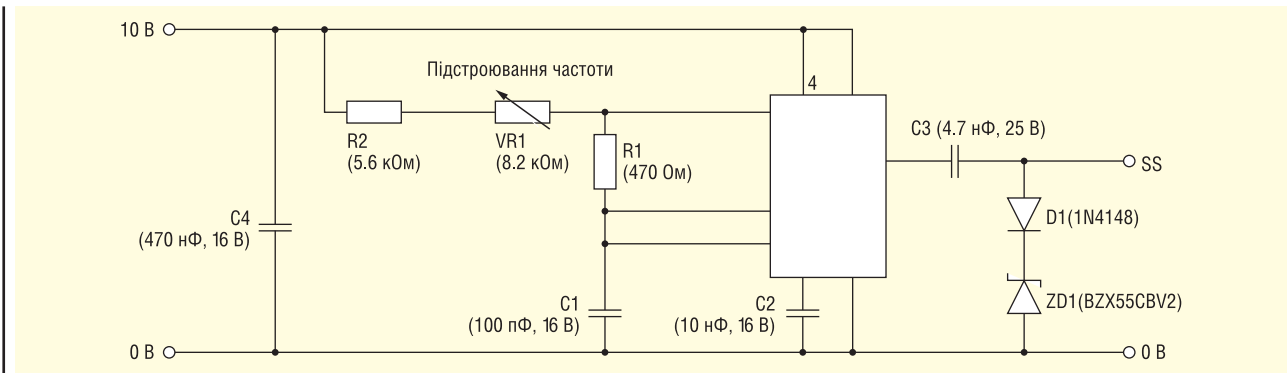


Рис. 2. Синхронізація

Оскільки в схемі, що розглядається, не застосовуються великі електролітичні конденсатори, будь-яке зниження частоти призводить до збільшення пульсацій. В результаті можуть знадобитися додаткові зовнішні фільтри.

СИНХРОНІЗАЦІЯ

Частоту перетворювача можна синхронізувати з частотою зовнішнього джерела, для чого на вивід синхронізації подається опорний інверсний сигнал від зовнішнього джерела синхронізації. Амплітуда керуючого сигналу, як правило, становить 8–12 В, тривалість імпульсу — 100–200 нс. Відповідна схема складається з КМОН-таймера (серії 7555 або TL C555), що працює як генератор або формувач імпульсів. Його логічний вихід необхідно підключити через роздільний конденсатор ємністю 4.7 нФ до виводу перетворювача. Якщо частота синхронізації вища за робочу частоту перетворювача, можна змінити робочу частоту. Приклад схеми, що застосовується на практиці, показаний на рисунку 2.

Деякі перетворювачі цього сімейства синхронізуються за допомогою одного й того самого джерела опор-

ної частоти за умови, що цей сигнал буферизується драйвером з відповідною характеристикою навантаження. Наприклад, якщо час наростання імпульсу перевищує 20 нс, синхронізація не досягається в заданому частотному діапазоні.

ФІЛЬТРУВАННЯ

У складі перетворювача є вихідний фільтр, якого достатньо для багатьох застосувань. За потреби забезпечити малий шум додаються зовнішні фільтри. Як відомо, DC/DC-перетворювач генерує шум двох видів — випромінюваний та кондуктивний. Існують три різні режими кондуктивного шуму: вхідний диференціальний, вихідний диференціальний та синфазний.

Синфазні завади не можна видалити фільтруванням лише на вході або виході. Перший рівень фільтрації реалізується шляхом встановлення конденсатора між земляними шинами входу та виходу. Як правило, у шумі містяться гармоніки комутаційної частоти високого порядку, піки яких з'являються у зовнішніх колах. Номінальна напруга цього конденсатора повинна відповідати заданій величині електричної міцності

ізоляції (через широкий діапазон значень цього параметра і необхідної шумової характеристики цей конденсатор не входить до складу перетворювача, що розглядається).

Пульсації на вході придушуються розв'язуючим конденсатором, ємність якого залежить від вихідного імпедансу джерела первинної напруги. Ці пульсації можна придушити і вхідним дроселем, але його застосування погіршує стійкість. Таким чином, рекомендується встановити шунтуючий конденсатор на вхідних виводах перетворювача, щоб він отримував живлення по провідниках з низьким імпедансом. Якщо фільтрація не потрібна, стійкість може погіршитися через індуктивність довгих провідників живлення. У такому випадку на вхід встановлюється розв'язуючий конденсатор. Електролітичні конденсатори найкраще забезпечують стійкість. На рисунку 3 представлена рекомендована конфігурація, що дозволяє позбутися негативного впливу трьох згаданих режимів.

Значення компонентів та їх номінальні величини залежать від характеристик перетворювача та напруги, а також від заданої шумової характеристики. Значення, вказані на рисунку 3, відповідають випадку застосування 10-Вт перетворювача 48/5 В. Приду-

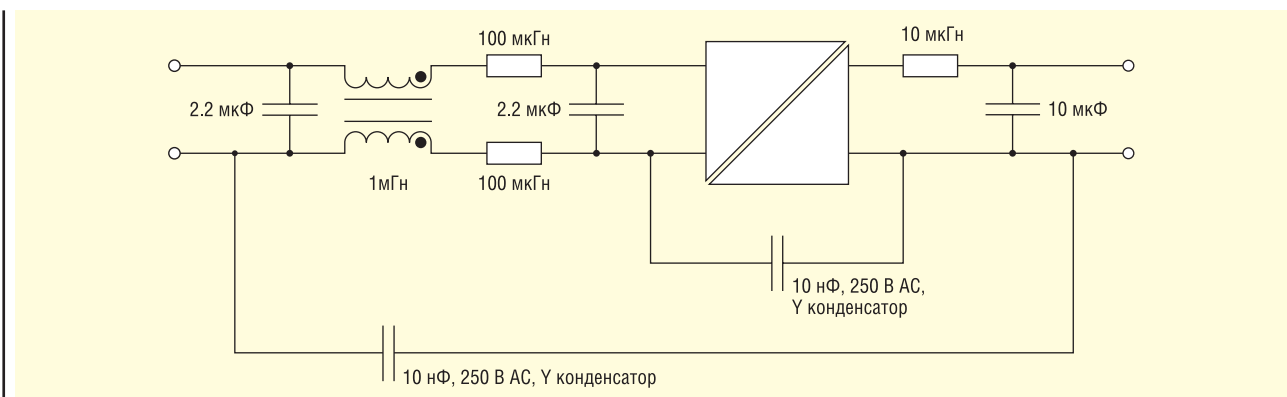


Рис. 3. Рекомендована конфігурація для зменшення шуму

шення синфазних завод здійснюється синфазним дроселем в первинному колі. Якщо його встановити на виході, регулювання погіршиться і зменшаться переваги з урахуванням заданого розміру, вартості та втрат потужності.

Випромінений шум присутній у вигляді магнітного та електростатичного полів. Вплив другого з них нейтралізується металевим корпусом, який заземлений по виходу — як правило, під'єднаний до точки з нульовою напругою. Завдяки малому розміру модулів жодного зі згаданих видів шуму не спостерігається.

МОНТАЖ

Мідний корпус з'єднаний із вихідним контактом (0 В). Необхідно приділити належну увагу при розробці друкованої плати, на яку встановлюється перетворювач. Верхні бічні провідні доріжки не повинні контактувати з краєм цього корпусу або з феритовим осердям, який видно з нижньої сторони модуля.

ЗАХИСТ

Абсолютні¹ максимальні показники у специфікації визначають умови, за яких може зменшитися термін служби, але при цьому може не спостерігатися негайного виходу з ладу. Йдеться про ті немінучі або ненавмисні випадки, коли номінальні значення перевищені. Модуль має захист від широкого ряду позаштатних режимів експлуатації. В інших випадках, коли відмова немінуча, наступні фактори ризику зведені до мінімуму.

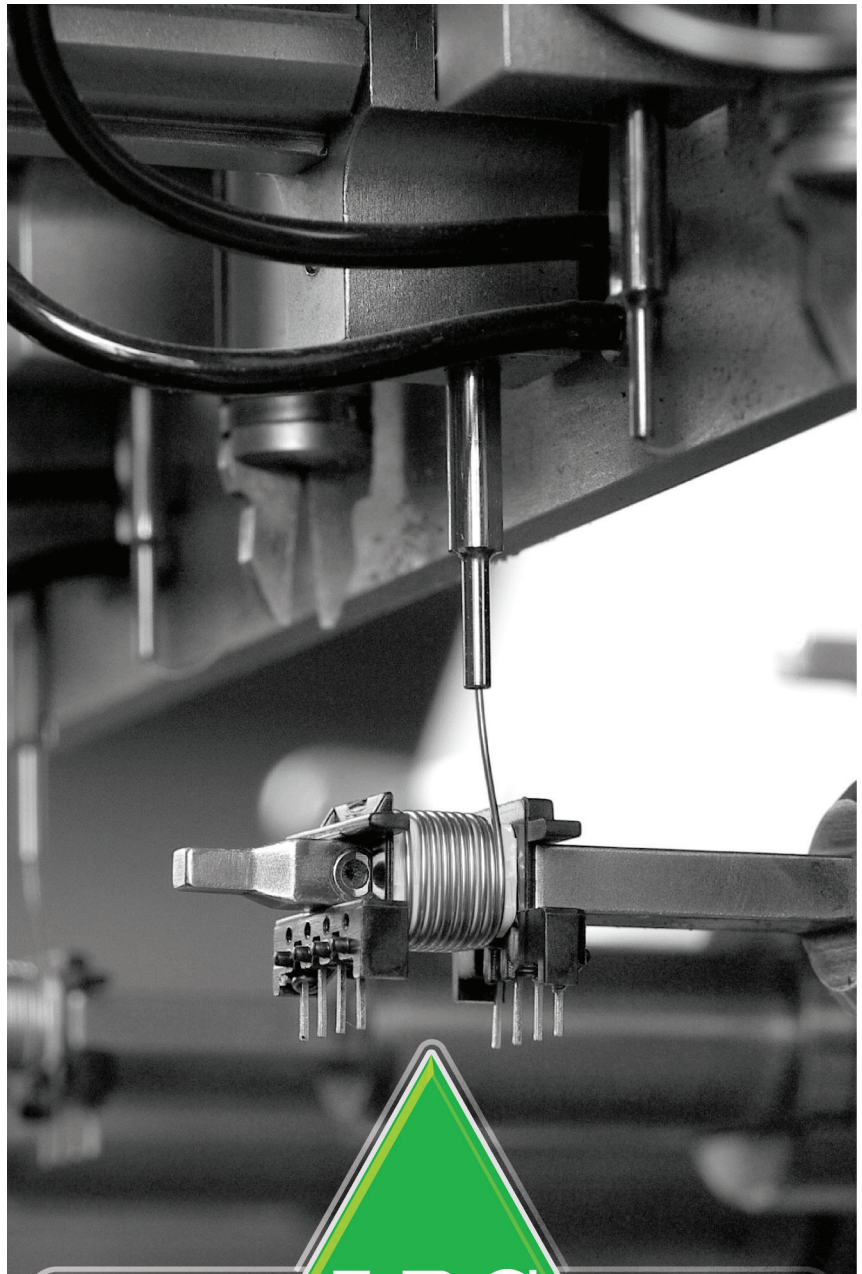
У модулі немає вбудованого захисту від подачі живлення зворотної полярності. Використання послідовно встановленого діода як превентивний захід викликає неприпустимі втрати потужності базового виробу, але в деяких випадках можна застосувати зовнішній діод.

За відсутності захисту від зворотної полярності через некоректну подачу живлення виникає великий струм короткого замикання, що викликає відмову перетворювача.

**За матеріалами компанії
Murata Power Solutions**

CN

¹ Абсолютні максимуми визначають значення, вище яких може статися відмова. Тривале функціонування поза вказаними умовами експлуатації не рекомендується і може погіршити надійність. В такому разі специфікація не визначає ефективність функціонування.



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

www.adcgr.com
www.adc-team.com

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

Вбудований термодавач та «віртуальна» температура кристала: як використовувати сенсор для аналізу теплових режимів силового модуля

Пол Дрекседж (Paul Drexhage), Арент Вінтріч (Arendt Wintrich)

Переклад з англійської та коментарі: Андрій Колпаков

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

Багато сучасних силових модулів мають у своєму складі давач температури, як правило, чип-резистор, встановлений на ізолюючій DBC-підкладці. Насамперед це необхідно для роботи схеми захисту від перегріву, але є ще одне законне питання: чи можна використовувати вбудований сенсор для визначення «віртуальної» температури кристалів? Існує кілька варіантів вирішення проблеми, що залежать від необхідної точності та мети виміру. У цій статті описані два можливі методи, що відрізняються складністю реалізації.

Пояснення даються на прикладі трифазного дворівневого IGBT-інвертора, але все сказане можна застосувати і до інших схем та напівпровідникових приладів. Описані методика розрахунку відносяться до вбудованих давачів температури, проте вони придатні при використанні зовнішніх сенсорів (наприклад, встановлених на радіаторі). Передбачається, що розрахунки реалізуються з допомогою цифрового процесора, що є на платі керування.

НАВИЩО ПОТРІБНІ ДАНІ ПРО ТЕМПЕРАТУРУ КРИСТАЛІВ?

Термозахист

Основна мета вимірювання температури силових модулів — захист напівпровідникових кристалів від перегріву. При їх повільному нагріванні (наприклад, при підвищенні температури навколишнього середовища або невеликих, але тривалих перевантажень) термозахист забезпечується шляхом порівняння показань давача із заданим (на стадії проектування) граничним станом. Для динамічних навантажень можна формувати криві профілю потужності, які визначають допустимий вихідний струм за заданої температури

(наприклад, можливе підвищення навантаження через зниження температури навколишнього середовища).

Оптимізація робочих режимів

Максимальна вихідна потужність системи в заданій робочій точці залежить від багатьох факторів, у тому числі зовнішніх (температура навколишнього повітря, висота над рівнем моря) та електричних (основна частота вихідного сигналу). Проте завжди можна визначити граничний струм кожного конкретного стану системи, що виключає перегрів кристалів. Однак такий підхід пов'язаний з ризиком скорочення терміну служби силового модуля, оскільки він не враховує впливу термомеханічних

стресів при циклічній зміні потужності навантаження [2].

Розрахунок терміну служби

Більшість ресурсних моделей, що враховують фактор термоцикування, ґрунтуються на значенні середньої температури T_m та кількості перепадів температури кристала dT_i (розділ 2.7.6 [2]). Теоретично це означає, що система, яка здатна обчислювати і зберігати фактичне значення T_i в процесі роботи, може використовувати ресурсну модель для визначення терміну служби силового модуля, «який ще залишився». Однак на практиці це важко досягти через низьку достовірність ресурсних моделей у поєднанні зі складністю (і вартістю) зберігання та обробки даних в умовах реального застосування.

ВБУДОВАНИЙ ТЕРМОДАВАЧ

Сучасні напівпровідникові силові модулі містять термочутливий сенсор (термістор NTC або PTC), припаяний до ізолюючої DBC-підкладки. Через обмеження компонування (вимоги до напруги ізоляції) він може бути встановлений тільки в певних зонах, тому показання давача (T_s), як правило, не відповідають фактичному нагріванню кристала IGBT або діода.

У модулях SEMIKRON температура сенсора вважається наближеною до однієї з контрольних точок визначення теплового опору R_{th} (T_c — корпус або T_s — радіатор).

Таблиця 1. Порівняння двох методів визначення температури кристалів	
Спрощене рішення для квазістаціонарних умов	Комплексне рішення для короткочасних високих перевантажень і режиму перекидання крутильного моменту
Розрахунок втрат в одному транзисторі за умови, що всі ключі у симетричному ланцюзі мають рівні втрати (наприклад, трифазний IGBT-інвертор).	Розрахунок втрат для всіх ключів відповідно до фактичних режимів роботи схеми (V_{CC} , V_{out} , $I_{out} \cos(\varphi)$, f_{sw} , T_j).
Потрібна лише одна теплова модель « T_j – сенсор T_s » на ключ (FWD і IGBT)	Розрахунок температури з використанням матриці $Z_{th(j-r)}$, що враховує зв'язок усіх ключів.
Частоти дискретизації близько 100 мс – 1 с, що дозволяє використовувати R_{th} замість Z_{th} .	Частота дискретизації порядку $1/f_{sw}$ (або кратній величині).
Результат: середні втрати для періодичної функції та середні значення температури кристалів.	Результат: миттєві значення втрат та температури кристалів.
Поправочний коефіцієнт для обліку температурної пульсації на низькій частоті вихідного сигналу.	Зміни температури на вихідній частоті інвертора розраховуються в режимі реального часу.
Формування огинаючої кривої для температури, що використовується для захисту від перегріву.	
Переваги: малі обчислювальні потужності та малий обсяг даних.	Переваги: можливий захист на низькій частоті огинаючої або при перекиданні моменту. Доступна інформація щодо температурного циклу.
Недоліки: обмежені можливості захисту при перекиданні моменту чи при короткочасних високих навантаженнях. Нема інформації щодо розрахунку параметрів термциклу.	Недоліки: складність реалізації моделі. Потрібна висока обчислювальна потужність. Великий обсяг даних.

- матеріал та товщина основи радіатора;
- теплопровідність та товщина шару термопасти;
- розташування модуля та давача на радіаторі (відстань до країв та напрямок потоку охолоджувача, рис. 2);
- відстань до інших модулів на тому самому радіаторі.

Тому для силових напівпровідникових ключів у специфікації вказують значення теплових опорів $R_{th(j-s)}$ та $R_{th(j-d)}$, а не $R_{th(j-r)}$. Винятком є модулі, які виробляються, кваліфікуються та постачаються разом із радіатором (наприклад, IPM SKiiP).

Режими роботи системи

Робочі режими визначають величину та розподіл втрат між ключами,

Наприклад:

- SEMiX 3s — давач знаходиться на окремій DBC-підкладці, величина T_r близька до T_s (рис. 1);
- SKiiP4 — давач знаходиться на загальній мідній трасі з IGBT і діодом, при цьому $T_s < T_r$

Однак це спрощення слід використовувати з обережністю, оскільки показання сенсора залежать від ряду факторів. Так, у деяких випадках T_r виявляється нижчою, ніж температура радіатора під найбільш нагрітим чипом.

Термодавач можна розглядати як вузол у спрощеній тепловій схемі Фостера. Якщо потрібен тільки захист від перегріву при навантаженнях, що повільно змінюються, і $T_r \approx T_s$, то для оцінки температури кристала T_j використовується величина теплового опору $R_{th(j-s)}$, яка визначена в специфікації, з деяким запасом для надійності. Для більш точних результатів у динамічних режимах слід визначити тепловий імпеданс $Z_{th(j-r)}$.

Чому значень $R_{th(j-r)}$ / $Z_{th(j-r)}$ немає у специфікаціях модулів?

Температура давача і результируючий тепловий імпеданс «кристал–сенсор» залежать від багатьох чинників, які пов'язані з конструкцією самого модуля. Основний вплив на поширення температури у горизонтальній площині та вертикальну теплопровідність системи здійснюють параметри радіатора та робочі режими системи.

Параметри радіатора

Розподіл тепла під модулем залежить від наступних факторів:

- охолоджувальне середовище (повітря чи рідина);

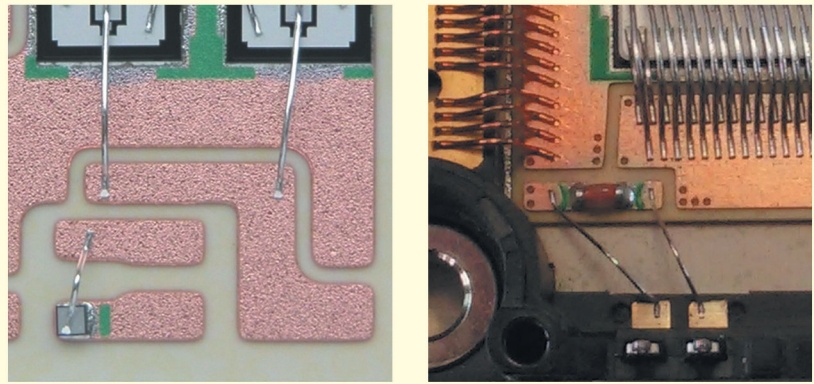


Рис. 1. Положення термодавачів у безбазовому модулі MiniSKiiP (ліворуч) та стандартному модулі з базовою платою SEMiX 3r (праворуч)

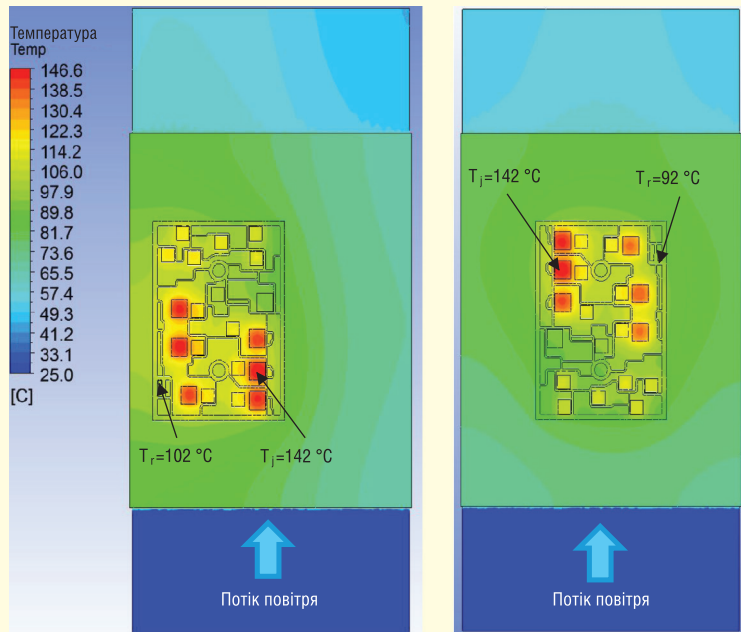


Рис. 2. Вплив положення модуля та термодавача на розподіл тепла

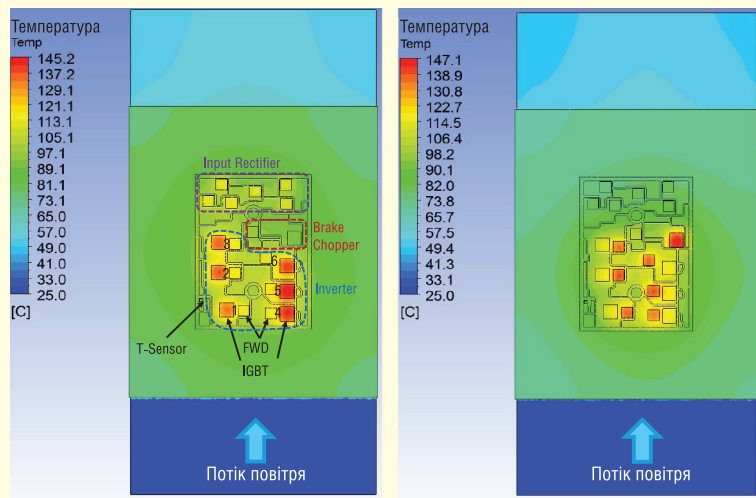


Рис. 3. Модуль CIB MiniSKiiP на повітряному радіаторі (вид зверху) в інверторному режимі ($\cos \phi = 0.85$) і гальмівному режимі ($\cos \phi = -0.85$)

Таблиця 2. Тепловий опір $R_{th(j-r)}$ у двох режимах роботи

Контрольні точки визначення $R_{th(j-r)}$	$R_{th(j-r)}$ інверторний режим	$R_{th(j-r)}$ гальмівний режим
«нагрітий IGBT — сенсор»	0.81 К/Вт (IGBT 5)	0.73 К/Вт (гальмівний IGBT)
«нагрітий FWD — сенсор»	2.25 К/Вт (діод 5)	1.18 К/Вт (діод 2)
«Нагрітий випрямний діод — сенсор»	0.96 К/Вт (діод 9)	Немає втрат

Таблиця 3. Вплив припущення « $T_s \approx T_r$ » на розрахунок температури

Параметр	Інверторний режим ($\cos \phi = 0.85$). Втрати: IGBT — 60 Вт, FWD — 12 Вт, випрямний діод — 20 Вт
$R_{th(j-r)}$: «нагрітий IGBT — сенсор»	0.81 К/Вт (IGBT 5)
$\Delta T_{(j-r)}_{IGBT}$	60 Вт \times 0.81 К/Вт = 48.6 К
$R_{th(j-r)}$: «специфікація»	0.71 К/Вт
Розрахунок $\Delta T_{(j-r)}_{IGBT}$ (за умови $T_s \approx T_r$)	60 Вт \times 0.71 К/Вт = 42.6 К (-6 К)
$R_{th(j-r)}$: «нагрітий FWD — сенсор»	2.25 К/Вт (діод 5)
$\Delta T_{(j-r)}_{FWD}$	12 Вт \times 2.25 К/Вт = 27 К
$R_{th(j-r)}$: «специфікація»	0.95 К/Вт
Розрахунок $\Delta T_{(j-r)}_{FWD}$ (за умови $T_s \approx T_r$)	12 Вт \times 0.95 К/Вт = 11.4 К (-15.6 К)
$R_{th(j-r)}$: «нагрітий випрямний діод — сенсор»	0.96 К/Вт (діод 9)
$\Delta T_{(j-r)}$: випрямний діод	20 Вт \times 0.96 К/Вт = 19.2 К
$R_{th(j-r)}$: випрямний діод (специфікація)	0.9 К/Вт
Розрахунок $\Delta T_{(j-r)}$: випрямний діод (за умови $T_s \approx T_r$)	20 Вт \times 0.9 К/Вт = 18 К (-1.2 К)

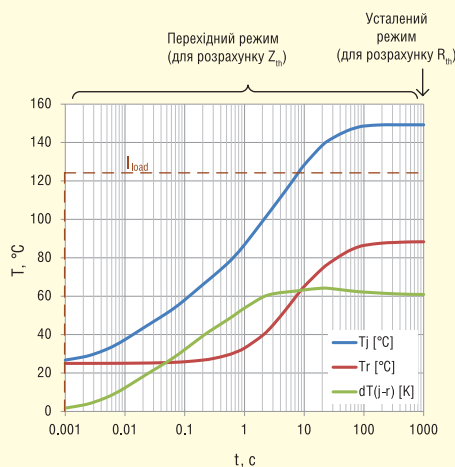
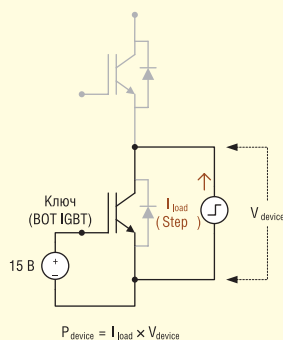


Рис. 4. Зміна температури чипа під час пропускання струму

що входять у модуль. На рисунку 3 показані результати теплового моделювання приводного модуля MiniSKiiP CIB (Converter-Inverter-Brake) 50 A/1 200 В на радіаторі з повітряним охолодженням ($T_a = +25 \text{ }^\circ\text{C}$, $R_{th(s-a)} \approx 0.13 \text{ К/Вт}$). У лівій частині рисунка модуль працює в «інверторному» режимі (22 кВт, $\cos \phi = 0.85$), що відрізняється високим навантаженням на IGBT та живленням DC-ланцюга від вхідного випрямляча. Справа — той самий модуль у «гальмівному» режимі (22 кВт, $\cos \phi = -0.85$), коли енергія гальмування розсіюється у зовнішньому резисторі. Давач температури знаходиться в нижньому лівому кутку підкладки. Як видно з таблиці 2, тепловий опір давача дуже залежить від режиму роботи. Крім того, $R_{th(j-r)}$ може значно відрізнятись від $R_{th(j-r)}$, тобто згадане раніше припущення « $T_r \approx T_s$ » не завжди справедливе (табл. 3).

ВИЗНАЧЕННЯ $R_{th(j-r)}/Z_{th(j-r)}$

Методи вимірювань

З вищевказаних причин тепловий опір/імпеданс «кристал-радіатор» повинен визначатися для кожного конкретного застосування. Існує три експериментальні методи вимірювання величини R_{th} між IGBT або діодом і термодавачем. Отримані результати слід порівняти з комп'ютерною моделлю, створеною методом кінцевих елементів, для верифікації та спрощення визначення R_{th} за інших умов експлуатації.

У процесі випробувань через кожен транзистор пропускається струм і вимірюється температура сенсора і відповідного ключа (рис. 4). Величина $R_{th(j-r)}$ фіксується в режимі, що встановився при заданому навантаженні. Під час вимірювання опору $Z_{th(j-r)}$ струм збільшується поступово, а температура безперервно вимірюється давачем. Для розрахунку втрат використовуються значення струму I_{load} та напруги V_{device} на ключі. Насправді застосовується знижувальна функція (відключення потужності), а виміряні значення потім інвертуються, оскільки це єдиний спосіб досягти стійкого стану для температурно-залежних втрат.

Методи вимірювання теплового опору

Використання термопар

Для проведення тестів виготовляється спеціальний модуль із термопарами, приклеєними до поверхні чипів за допомогою

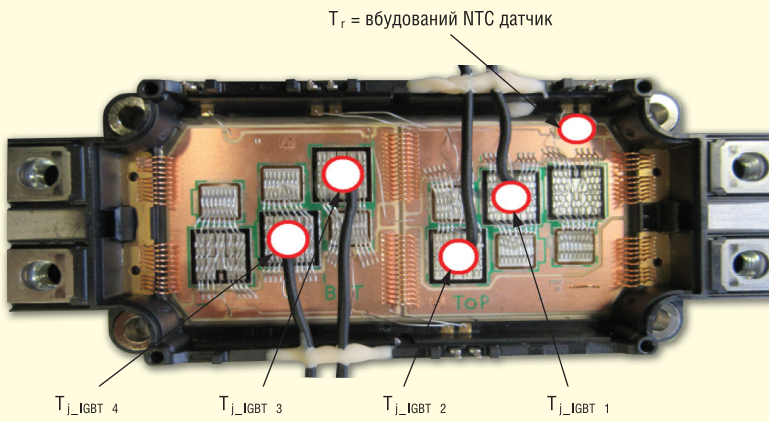


Рис. 5. Модуль SEMiX 3р з термопарами на поверхні чипів

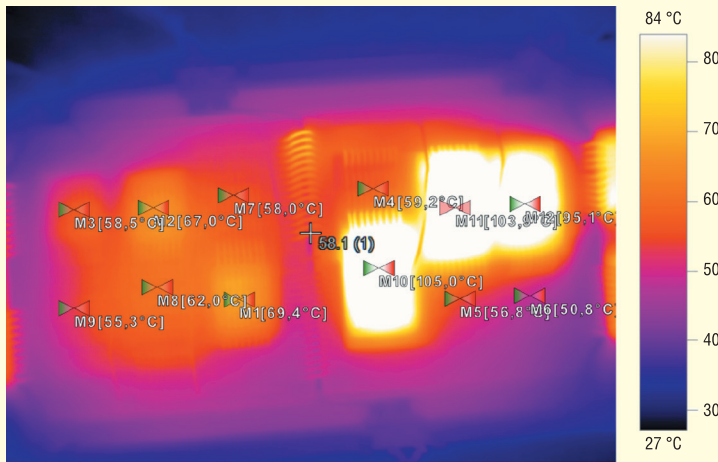


Рис. 6. Тепловий профіль модуля SEMiX 3р, отриманий за допомогою інфрачервоної камери

теплопровідної епоксидної смоли (рис. 5). Регульований постійний струм (за низької напруги) пропускається через IGBT або діод. Для розрахунку градієнта температури та теплового опору використовуються показання термопар та датча:

$$R_{th(j-r)} = \frac{T_{j_device_thermocouple} - T_r}{P_{device}}$$

Через повільну реакцію термопар з їх допомогою можливе визначення лише статичної величини $R_{th(j-r)}$.

Крім того, вони самі вносять похибку +5...+15 °С, оскільки металевий провід на поверхні чипа діє як радіатор. До того ж з міркувань безпеки доводиться ізолювати термопари у місцях їхнього з'єднання.

Використання інфрачервоної камери

Аналіз теплового профілю за допомогою інфрачервоної камери проводиться на спеціально підготовленому модулі без кришки та без заливання силіконовим гелем. Внутрішня поверхня модуля покривається матовою фарбою з рівномірною випромінювальною здатністю, щоб не було відбиття. Регульований постійний струм (при низькій напрузі) пропускається через IGBT або діод; температура, що вимірюється камерою та датчем, використовується для розрахунку градієнта та теплового опору (рис. 6):

$$R_{th(j-r)} = \frac{T_{j_device_IR_camera} - T_r}{P_{device}}$$

При правильному калібруванні інфрачервона камера високої роздільної здатності дає точні показання, хоча й із досить низькою частотою оновлення, що дозволяє визначити лише статичний тепловий опір $R_{th(j-r)}$. Крім того, використання інфрачервоної камери в модулях із внутрішньою DC-шиною (наприклад, стандартні IGBT 62 мм) утруднено, оскільки деякі чипи знаходяться під DC-терміналами.

Контроль $V_{CE(sat)}$ (R_{th} та Z_{th})

Особливістю напівпровідникових приладів є лінійна залежність між температурою кристала T_j та прямим падінням напруги (V_{CE}/V_i) на малих струмах. Поступово нагріваючи модуль в ла-

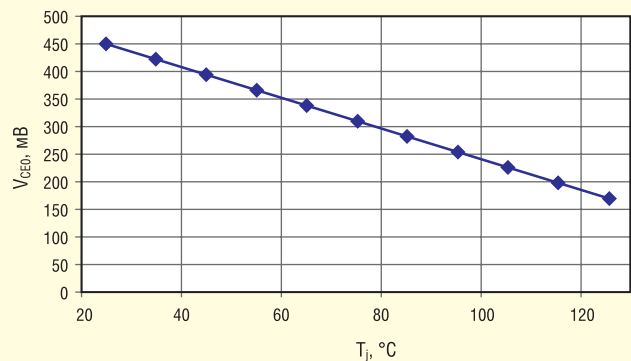
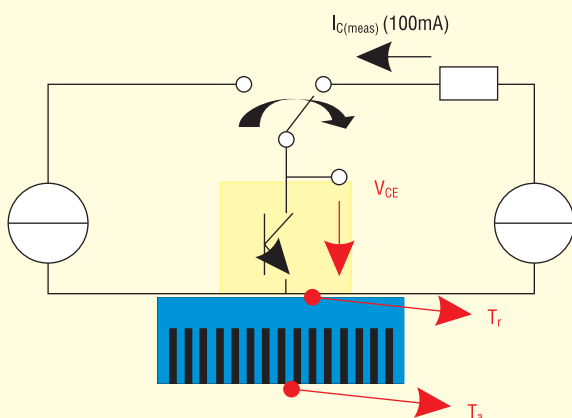


Рис. 7. Схема вимірювань V_{CE} , приклад калібрувальної кривої

бораторних умовах, можна отримати калібрувальну криву для кожного конкретного елемента (рис. 7). Модуль розміщується на випробувальний стенд (схема на рис. 7), де на нього подаються імпульси струму високої амплітуди, що створюють втрати. Безпосередньо після відключення імпульсів через кристал пропускається малий фіксований струм (100 мА) і виконується вимірювання прямої напруги та визначення температури T_j по калібрувальній кривій.

Цей метод забезпечує дуже точні результати і широко використовується провідними виробниками силових модулів для визначення динамічного теплового імпедансу $Z_{th(j-r)}$ «кристал–сенсор».

Метод кінцевих елементів (R_{th} та Z_{th})

Аналіз методом кінцевих елементів (FEA — Finite Element Analysis) проводиться шляхом комп'ютерного моделювання системи «модуль–радіатор». Для створення подібної моделі потрібна наступна інформація, яку надає виробник модуля:

- графічне положення чипів у модулі (координати X-Y) та топологія їх з'єднання;
- товщина, щільність, теплопровідність та теплоємність конструктивних шарів модуля по осі Z (поперечний переріз).

Використання FEA моделі дозволяє за відомого значення втрат розрахувати температуру кристалів, радіатора і термодавача. Даний метод слід застосовувати спільно з одним із інших видів випробувань для верифікації точності моделі (і навпаки).

СПРОЩЕНИЙ МЕТОД ДЛЯ ПЕРІОДИЧНИХ ФУНКЦІЙ (КВАЗІСТАЦІОНАРНІ УМОВИ)

Інтегральне рішення дозволяє обчислити середню розсіявану потужність за період P_D (наприклад, період основної частоти f_{out} для ШІМ-інвертора), що представляє собою суму статичних P_{cond} і динамічних втрат P_{sw} . Частота дискретизації при цьому низька, вона знаходиться в діапазоні від $10/f_{out}$ до 1 с, таким чином, при розрахунках допускається використання статичного теплового опору $R_{th(j-r)}$. Втрати залежать від температури, тому розрахунок вимагає кількох ітерацій, де як додатковий вхідний сигнал береться T_j . Якщо величина P_D не змінюється від одного тимчасового кроку до іншого (або не-

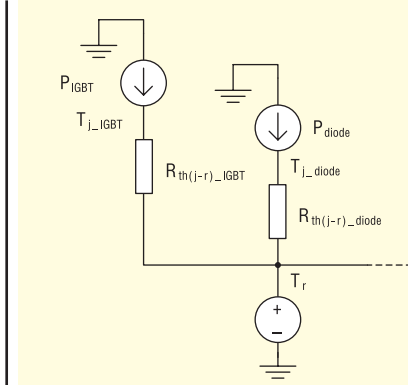


Рис. 8. Еквівалентна теплова схема щодо термодатчика

$$T_{j_IGBT(avg)} = R_{th(j-r)_IGBT} \times P_{IGBT} + T_r \quad (7)$$

$$T_{j_diode(avg)} = R_{th(j-r)_diode} \times P_{diode} + T_r \quad (8)$$

значно змінюється), то застосовується значення T_j з попереднього розрахункового циклу.

Необхідні параметри схеми (приклад трифазного інвертора)

I_{rms} — середньоквадратичне значення вихідного струму на основній частоті сигналу;

M — коефіцієнт модуляції;

$\cos \phi$ — коефіцієнт потужності;

V_{cc} — напруга DC-шини;

f_{sw} — частота комутації;

f_{out} — основна частота вихідного сигналу.

Розрахунок втрат

Втрати IGBT у складі трифазного ШІМ-інвертора (за один період):

$$P_{cond_IGBT} = \left(\frac{1}{2\pi} + \frac{M \cos \phi}{8} \right) (V_{CE0,25C} + TC_{V_{ce}} (T_j - 25C)) I_{pk} + \left(\frac{1}{8} + \frac{M \cos \phi}{3\pi} \right) (r_{CE25C} + TC_{r_{ce}} (T_j - 25C)) I_{pk}^2,$$

$$P_{sw_IGBT} = f_{sw} E_{on+off} \frac{1}{2\pi} \left(\frac{I_{pk}}{I_{ref}} \right)^{K_i} \times \left(\frac{V_{cc}}{V_{ref}} \right)^{K_v} (1 + TC_{sw} (T_j - T_{ref})) \gamma(K_i).$$

Втрати FWD у складі трифазного ШІМ-інвертора (за один період):

$$P_{cond_D} = \left(\frac{1}{2\pi} + \frac{M \cos \phi}{8} \right) (V_{FO,25C} + TC_{V_f} (T_j - 25C)) I_{pk} + \left(\frac{1}{8} + \frac{M \cos \phi}{3\pi} \right) (r_{L,25C} + TC_{r_f} (T_j - 25C)) I_{pk}^2,$$

$$P_{sw_D} = f_{sw} E_{rr} \frac{1}{2\pi} \left(\frac{I_{pk}}{I_{ref}} \right)^{K_i} \times \left(\frac{V_{cc}}{V_{ref}} \right)^{K_v} (1 + TC_{sw} (T_j - T_{ref})) \gamma(K_i).$$

K_i — ступеневий коефіцієнт корекції залежності втрат від струму (IGBT ≈ 1 , FWD ≈ 0.6);

K_v — ступеневий коефіцієнт корекції залежності втрат від напруги (IGBT ≈ 1.35 , FWD ≈ 0.6);

TC_{sw} — температурний коефіцієнт (IGBT ≈ 0.003 , FWD ≈ 0.006);

$\gamma(K_i)$ — $\int_{\phi}^{n+\phi} \sin^{K_i}(\alpha - \phi) d\alpha$ (IGBT: $\gamma(1) = 2$, FWD: $\gamma(0.6) = 2.3$).

Наступні параметри наводяться у технічних специфікаціях:

$V_{CE0,25C}$

$r_{CE,25C}$

E_{on+off} (вимірюється у I_{ref} , V_{ref} , T_{ref});

$TC_{V_{ce}}$ (обчислюється як лінійна залежність між $V_{FO(low temp)}$ та $V_{FO(high temp)}$);

$TC_{r_{ce}}$ (обчислюється як лінійна залежність між $r_{ce(low temp)}$ та $r_{ce(high temp)}$);

$V_{FO,25C}$

$r_{F,25C}$

E_{rr} (вимірюється у I_{ref} , V_{ref} , T_{ref});

TC_{V_f} (обчислюється з лінійної залежності між $V_{FO(low temp)}$ та $V_{FO(high temp)}$);

TC_{r_f} (обчислюється з лінійної залежності між $r_{f(low temp)}$ та $r_{f(high temp)}$).

Розрахунок температури кристалів

Спрощений метод, заснований на одиночному статичному вимірі теплового опору кожного ключа, не враховує ефекту теплового зв'язку між ними. Отже:

1. Чип, що тестується (IGBT або FWD) повинен розташовуватися максимально близько до давача.
2. Метод справедливий лише для схем зі збалансованими втратами (наприклад, трифазний інвертор у номінальному режимі роботи). Він не підходить для режиму зупинки приводу (коли напівміст працює як знижуючий перетворювач, а власне модуль IGBT знаходиться далеко від сенсора). Тут використовується стандартна схема Фостера з тепловими опорами, прив'язаними до

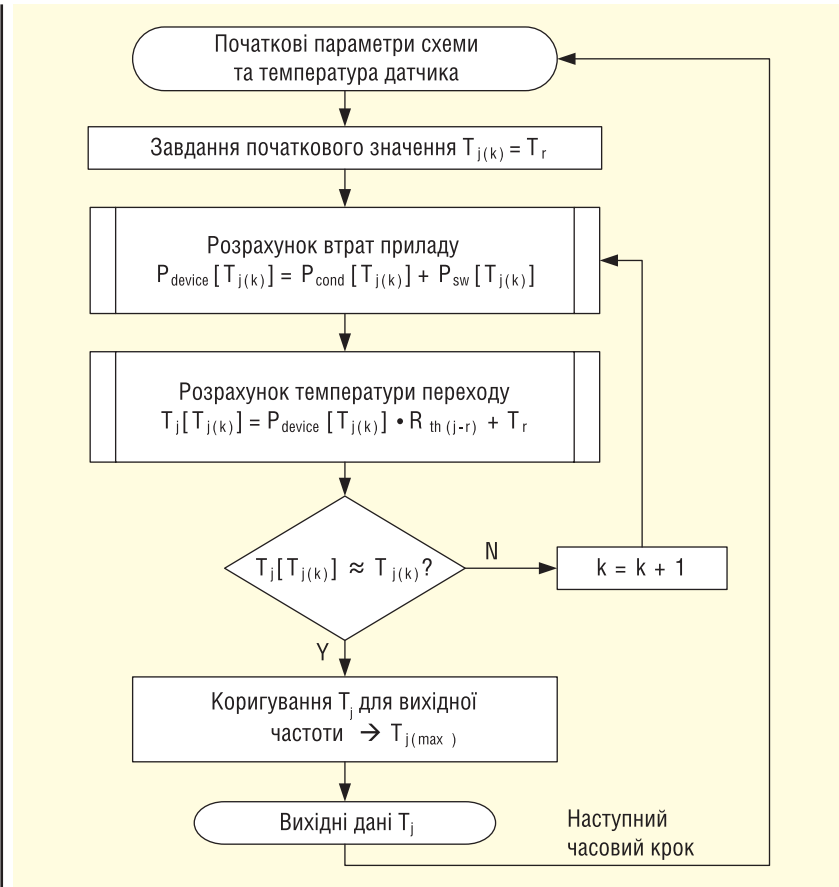


Рис. 9. Процес розрахунку на одному часовому кроці

вимірюваної температури датчика T_r на даному часовому кроці (рис. 9).

Обчислення температури датчика на одному часовому кроці (вибірка) — це ітераційний процес, оскільки багато параметрів чипа є термозалежними.

Коефіцієнт корекції на низьких частотах

Описаний вище метод дозволяє обчислити середнє нагрівання кристалів,

але не визначає пікових значень, що виникають при коливаннях температури на основній частоті вихідного сигналу. В основному це стосується роботи приводу на низьких частотах вихідної напруги (< 10 Гц) або пускового режиму. Для коригування розрахованих середніх значень використовується простий поправочний коефіцієнт (рис. 10), який залежить від теплового опору приладів, що застосовуються.

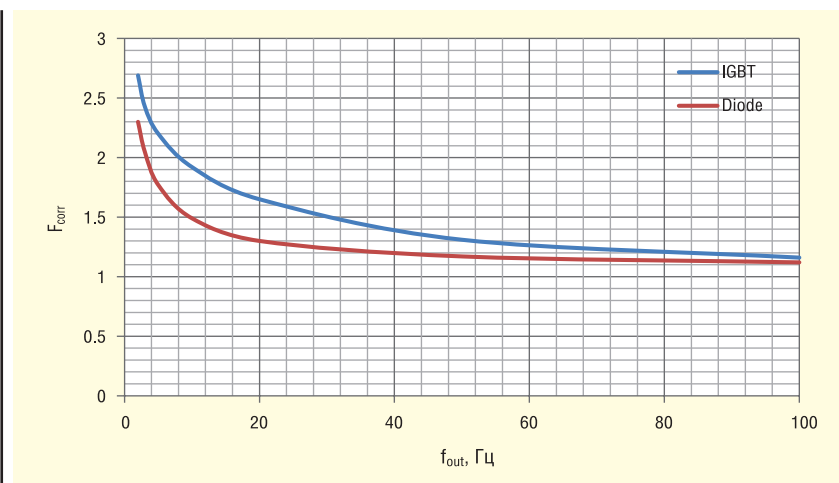


Рис. 10. Коригуючий коефіцієнт для $T_{j(max)} = f(f_{out})$

НОВИЙ ПІДХІД ДОЗВОЛИТЬ ОТРИМУВАТИ ЕЛЕКТРИКУ ІЗ СОНЯЧНОГО СВІТЛА ЦІЛОДОБОВО

Незважаючи на прогрес у перетворенні сонячного світла на електричну енергію, її серйозним обмеженням залишається зміна дня і ночі. Американські вчені повідомили про прорив у цьому напрямі досліджень — вони створили новий тип системи отримання сонячної енергії, яка б'є рекорди ефективності серед усіх існуючих технологій. До того ж вона дозволяє генерувати чисту електрику цілодобово.

«За допомогою нашої архітектури ефективність збору сонячної енергії може бути збільшена до термодинамічної межі», — повідомив Бо Чжао, професор Університету Х'юстона та керівник проекту.

Термодинамічна межа — це абсолютний максимум ефективності конверсії сонячного світла в електрику.

У традиційній сонячній термофотовольтаїці (СТФВ) для більшої ефективності використовується проміжний шар, пише Science Daily. Його лицьовий бік, спрямований до світла, абсорбує фотони. Сонячна енергія перетворюється на теплову і нагріває проміжний шар. Але термодинамічна ефективність обмежує СТФВ на рівні 85.4%, що набагато нижче, ніж так звана межа Ландсберга, абсолютна межа ефективності отримання сонячної енергії, яка дорівнює 93.3%.

Команда професора Чжао показала, що дефіцит ефективності викликаний неминучою зворотною емісією проміжного шару. Вчені запропонували вирішення цієї проблеми: незворотні системи СТФВ, які використовують проміжний шар із незворотними випромінювальними здібностями. Такий шар міг би придушувати зворотну емісію та спрямовувати більше фотонів у бік фотоелемента.

Такий новаторський підхід дозволяє досягти межі Ландсберга, що на практиці відкриває можливість суттєвого збільшення продуктивності фотоелементів.

Крім цього, нова технологія обіцяє зробити сонячні панелі більш компактними та гнучкими. В одному з варіантів використання СТФВ можна поєднати з економною системою зберігання теплової енергії, яка генеруватиме електрику цілодобово.

Отже, максимальна температура кристала з урахуванням пульсацій на низькій частоті:

$$T_{L_IGBT(max)} = F_{corr_IGBT} \times R_{th(j-r)_IGBT} \times P_{IGBT} + T_r$$

$$T_{L_FWD(max)} = F_{corr_FWD} \times R_{th(j-r)_FWD} \times P_{FWD} + T_r$$

**ПРИКЛАД:
ТРИФАЗНИЙ ШІМ-ІНВЕРТОР**

Параметри модуля SKiiP39AC12T4V1 із технічної специфікації:

IGBT: $V_{CE,25C} = 0.8 \text{ В}$, $r_{ce,25C} = 7 \text{ мОм}$,
 $E_{sw} = 36.5 \text{ мДж}$, $TC_{VCE} = -0.0008 \text{ В/К}$,
 $TC_{rce} = 2.67E-5 \text{ Ом/К}$;

FWD: $V_{FO,25C} = 1.3 \text{ В}$, $r_{f,25C} = 5.6 \text{ мОм}$,
 $E_{rr} = 11.4 \text{ мДж}$, $TC_{Vf} = -0.0032 \text{ В/К}$,
 $TC_{rf} = 1.76E-5 \text{ Ом/К}$.

Виміряні значення $R_{th(j-r)}$:

$R_{th(j-r)I} = 0.3 \text{ К/Вт}$,
 $R_{th(j-r)D} = 0.6 \text{ К/Вт}$.

Перший часовий крок, виміряні значення:

$I_{out} = 76 \text{ А}$, $A_{rms} = 107.48 \text{ Арк}$,
 $M = 1$,
 $\cos\phi = 0.85$,
 $V_{cc} = 650$,
 $F_{sw} = 4 \text{ кГц}$,
 $F_{out} = 20 \text{ Гц}$,
 $T_r = 100 \text{ °C}$.

Розрахунок втрат (перша ітерація):

$$P_{cond_IGBT} = \left(\frac{1}{2\pi} + \frac{1 \times 0.85}{8} \right) (0.8 \text{ В} + 0.0008 \text{ В/К} \times (100C - 25C) \times 107.48 \text{ А} + \left(\frac{1}{8} + \frac{1 \times 0.85}{3\pi} \right) \times (0.007 \text{ Ом} + 0.0000267 \text{ Ом/К} \times (100C - 25C) \times 107.48 \text{ А}^2 = 43.49 \text{ Вт},$$

$$P_{sw_IGBT} = 4000 \text{ Гц} \times 0.0365 \text{ Дж} \times \frac{1}{2\pi} \left(\frac{107.48 \text{ А}}{150 \text{ А}} \right)^{0.6} \times \left(\frac{650 \text{ В}}{600 \text{ В}} \right)^{0.6} (1 + 0.006(100C - 150C)) \times 2 = 31.53 \text{ Вт},$$

$$P_{cond_IGBT} = \left(\frac{1}{2\pi} + \frac{1 \times 0.85}{8} \right) (1.3 \text{ В} + 0.0032 \text{ В/К} \times (100C - 25C) \times 107.48 \text{ А} + \left(\frac{1}{8} + \frac{1 \times 0.85}{3\pi} \right) \times (0.0056 \text{ Ом} + 0.0000176 \text{ Ом/К} \times (100C - 25C) \times 107.48 \text{ А}^2 = 8.81 \text{ Вт},$$

$$P_{sw_IGBT} = 4000 \text{ Гц} \times 0.0365 \text{ Дж} \times \frac{1}{2\pi} \left(\frac{107.48 \text{ А}}{150 \text{ А}} \right)^{0.6} \times \left(\frac{650 \text{ В}}{600 \text{ В}} \right)^{0.6} (1 + 0.006(100C - 150C)) \times 2.3 = 10.04 \text{ Вт},$$

$$T_{j(avg)_IGBT} = (43.49 \text{ Вт} + 31.53 \text{ Вт}) \times 0.3 \text{ К/Вт} + 100 \text{ °C} = +122.5 \text{ °C},$$

$$T_{j(avg)_D} = (8.81 \text{ Вт} + 10.04 \text{ Вт}) \times 0.6 \text{ К/Вт} + 100 \text{ °C} = +111.3 \text{ °C}.$$

ТЕПЛОВИЙ ЗВ'ЯЗОК

У процесі роботи інвертора втрати, що генеруються сусідніми чипами, впливають на температуру досліджуваного ключа, і, отже, на ефективний тепловий опір між ним і давачем температури (рис. 11). Кількісна оцінка взаємних теплових імпедансів дозволяє використувати комплексний метод розрахунку температури T_j описаний далі.

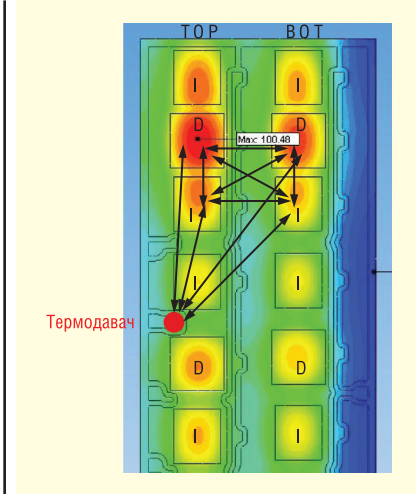


Рис. 11. Модель FEA напівмостового модуля, що ілюструє тепловий зв'язок між чипами та термодавачем

Таким чином, тепловий зв'язок між кристалом і давачем температури залежить від того, наскільки втрати в інших ключах впливають на об'єкт випробувань (рис. 12). Напівпровідниковий еле-

Таблиця 4. Приклад стабілізації температури після двох ітерацій

К	P_{cond_IGBT} Вт	P_{sw_IGBT} Вт	P_{cond_D} Вт	P_{sw_D} Вт	$T_{j(avg)_IGBT}$ °C	$T_{j(avg)_D}$ °C
0	-	-	-	-	100	100
1	43.49	31.53	8.81	10.04	123	111
2	44.47	34.04	8.68	11.01	124	112
3	44.51	34.16		11.05		
4	44.52			11.06		

$T_{j(max)_IGBT} = 1.65 \times (44.52 \text{ Вт} + 34.16 \text{ Вт}) \times 0.3 \text{ К/Вт} + 100 \text{ °C} = +139 \text{ °C}$
 $T_{j(max)_D} = 1.3 \times (8.68 \text{ Вт} + 11.06 \text{ Вт}) \times 0.6 \text{ К/Вт} + 100 \text{ °C} = +115 \text{ °C}$

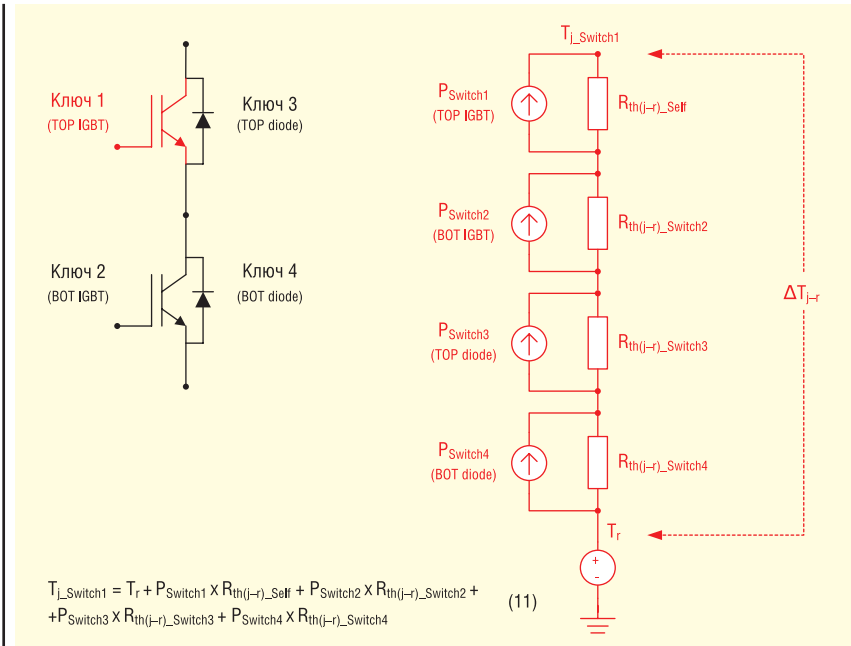


Рис. 12. Визначення статичного теплового зв'язку для одного ключа в гіпотетичному напівмості

мент, для якого необхідно визначити кінцеву температуру у конкретній схемі, позначимо Self. Уточнимо, що в цій статті визначення «ключ» відноситься до одного електричного елемента (наприклад, IGBT або діод). У деяких інших документах під одиночним ключем маєтись на увазі з'єднання IGBT та антипаралельного діода.

Визначення матриці R_{th}/Z_{th}

У лабораторних умовах втрати повинні генеруватися кожним ключем окремо, а температура кристалів вимірюватиметься за допомогою одного з методів, описаних вище. Наступний приклад відноситься до напівмостової схеми (рис. 12).

1. Втрати прикладені лише до ключа 1 (Self), вимірюються $T_{L_Switch1}$ та T_r . Розрахунок:

$$R_{th(j \rightarrow)_{Self}} = \frac{(T_{j-Switch1_A} - T_{r_A})}{P_{Switch1}}$$

2. Втрати прикладені лише до ключа 2, вимірюються $T_{L_Switch1}$ та T_r . Розрахунок:

$$R_{th(j \rightarrow)_{Switch2}} = \frac{(T_{j-Switch1_B} - T_{r_B})}{P_{Switch2}}$$

3. Втрати прикладені лише до ключа 3, вимірюються $T_{L_Switch1}$ та T_r . Розрахунок:

$$R_{th(j \rightarrow)_{Switch3}} = \frac{(T_{j-Switch1_C} - T_{r_C})}{P_{Switch3}}$$

4. Втрати прикладені лише до ключа 4, вимірюються $T_{L_Switch1}$ та T_r . Розрахунок:

$$R_{th(j \rightarrow)_{Switch4}} = \frac{(T_{j-Switch1_D} - T_{r_D})}{P_{Switch4}}$$

Кроки АВ повторюються для інших трьох ключів. Результати представлені як матриці (табл. 5).

При використанні динамічного теплового імпедансу параметр $R_{th(j \rightarrow)_{Switch\#,c}}$ замінюється елементом моделі Фостера — $Z_{th(j \rightarrow)_{Switch\#,c}}$. Зазначимо, що матрицю можна спростити, якщо, наприклад, відсутній тепловий зв'язок між кристалами або якщо кроковий відгук

системи може бути змодельований із застосуванням лише одного елемента R_{th}/Tau .

КОМПЛЕКСНИЙ МЕТОД STEP BY STEP (КОРОТКОЧАСНІ, ВИСОКІ НАВАНТАЖЕННЯ ТА РЕЖИМ ПЕРЕКИДАННЯ КРУТИЛЬНОГО МОМЕНТУ)

Під час роботи системи втрачає будь-якого ключа обчислюються в режимі реального часу з використанням вимірних значень. Частота дискретизації висока: наприклад, $1/f_{sw}$ чи кратне число. Якщо $f_{sw} \gg f_{out}$ а струм змінюється протягом кількох циклів комутації незначно, можна об'єднати кілька періодів ШІМ за один крок розрахунку, щоб знизити навантаження контролера. Для реалізації алгоритму необхідно створити матрицю Z_{th} як описано вище. У процесі розрахунку можна спростити до матриці R_{th} , якщо частота дискретизації >0.5 с.

Необхідні параметри схеми (інвертор)

- $i(t)$ — миттєве значення вихідного струму;
- $v(t)$ — миттєве значення вихідної фазної напруги;
- M — коефіцієнт модуляції для поточного періоду комутації;
- V_{cc} — напруга DC-шини;
- F_{sw} — частота комутації.

Розрахунок втрат

Методика розрахунку втрат полягає в використанні миттєвих значень параметрів понижуючого DC/DC-конвертера.

$$DC_{IGBT} = 0.5 + v(t)/V_{cc};$$

$$DC_{FWD} = 1 - DC_{IGBT}$$

Розрахунок температури кристалів

Температуру будь-якого з N ключів у модулі можна розрахувати в момент часу t_{m+1} таким чином:

$$T_{j_switch\#}(t_{m+1}) = T_r(t_m) +$$

$$+ \sum_{c=1}^N \sum_{j=1}^n \left[\Delta T_{j_switch\#,c,j}(t_m) e^{\frac{-\Delta t_m}{T_{j_switch\#,c,j}}} + R_{th_switch\#,c,j} \times \right.$$

$$\left. \times P_{switch\#,c}(t_{m+1}) \left(1 - e^{\frac{-\Delta t_m}{T_{j_switch\#,c,j}}} \right) \right]$$

де:

- $Switch\#$ — досліджуваний ключ (також індекс рядка);
- c — індекс стовпця досліджуваного ключа;
- N — загальна кількість ключів/рядків/стовпців;
- i — індекс елемента схеми Фостера;
- n — загальна кількість елементів схеми Фостера для досліджуваного ключа.

Для фіксованого градієнта Δt_m значення e^{-x} і $(1 - e^{-x})$ стають набором констант, які можуть бути включені в матрицю Z_{th} .

Приклад розрахунку

У цьому прикладі температура верхнього ключа напівмостового модуля розраховується за допомогою величини втрат (табл. 6) для теоретичної системи, що працює протягом 1 с. Для спрощення використовуються постійні значення втрати і постійна температура давача, але цей підхід можна застосувати і для змінних значень. Температура на кожному наступному циклі розраховується з урахуванням результатів, отриманих на попередньому часовому кроці (рис. 13, табл. 7).

Користуючись наведеною у статті формулою, визначаємо $T_{L_IGBT_TOP}(1c) = +97.8$ °C. У цьому прикладі температура TOP IGBT підвищилася на 17.8 °C після 1 с роботи. Збільшення на 15.7 °C викликано саморозігрівом кристала (виділено червоним кольором), додаткове нагрівання на 2.08 °C обумовлене впливом інших трьох ключів (виділено синім, зеленим і фіолетовим кольором). У цьому випадку всі значення позитивні, але вони можуть бути негативними, якщо втрати в інших кристалах зменшу-

Таблиця 5. Матриця R_{th} для гіпотетичного напівмосту

Втрати на:	TOP IGBT (Ключ 1)	BOT IGBT (Ключ 2)	TOP FWD (Ключ 3)	BOT FWD (Ключ 4)
Вимірювання T_j				
TOP IGBT (Ключ 1)	$R_{th(j \rightarrow)_{Switch1,1}}$ (Self)	$R_{th(j \rightarrow)_{Switch1,2}}$	$R_{th(j \rightarrow)_{Switch1,3}}$	$R_{th(j \rightarrow)_{Switch1,4}}$
BOT IGBT (Ключ 2)	$R_{th(j \rightarrow)_{Switch2,1}}$	$R_{th(j \rightarrow)_{Switch2,2}}$ (Self)	$R_{th(j \rightarrow)_{Switch2,3}}$	$R_{th(j \rightarrow)_{Switch2,4}}$
TOP FWD (Ключ 3)	$R_{th(j \rightarrow)_{Switch3,1}}$	$R_{th(j \rightarrow)_{Switch3,2}}$	$R_{th(j \rightarrow)_{Switch3,2}}$ (Self)	$R_{th(j \rightarrow)_{Switch3,4}}$
BOT FWD (Ключ 4)	$R_{th(j \rightarrow)_{Switch4,1}}$	$R_{th(j \rightarrow)_{Switch4,2}}$	$R_{th(j \rightarrow)_{Switch4,3}}$	$R_{th(j \rightarrow)_{Switch4,4}}$ (Self)

Таблиця 6. Часові кроки та вихідні дані для розрахунку температури кристалів

Часовий крок	0 с	1 с
P_{IGBT_TOP} Вт	300	
P_{IGBT_BOT} Вт		
P_{FWD_TOP} Вт	100	
P_{FWD_BOT} Вт		
T_{sensor} °C	80	80
$T_{L_IGBT_TOP}$ °C		$T_{L_IGBT_TOP}(1c)$

Таблиця 7. Приклад матриці Z_{th} для модуля SEMiX603GB12E4р на рідинному радіаторі

Ключ	TOP IGBT			BOT IGBT			TOP FWD			BOT FWD		
	Ключ#	$R_{th(j-r)}$	tau	i	$R_{th(j-r)}$	tau	i	$R_{th(j-r)}$	tau	i	$R_{th(j-r)}$	tau
TOP IGBT	1	0.0054	0.0028	1	0.0064	3.7000	1	0.0248	1.2	1	0.0087	4.7
	2	0.0086	0.025	2	0	1	2	0.0024	3	2	0	1
	3	0.0190	0.1	3	0	1	3	0	1	3	0	1
	4	0.0224	0.5	4	0	1	4	0	1	4	0	1
BOT IGBT	$Z_{th(j-r)_IGBT_BOT_IGBT_TOP}$			$Z_{th(j-r)_IGBT_BOT_Self}$			$Z_{th(j-r)_IGBT_BOT_FWD_TOP}$			$Z_{th(j-r)_IGBT_BOT_FWD_BOT}$		
TOP FWD	$Z_{th(j-r)_FWD_TOP_IGBT_TOP}$			$Z_{th(j-r)_FWD_TOP_IGBT_BOT}$			$Z_{th(j-r)_FWD_TOP_Self}$			$Z_{th(j-r)_FWD_TOP_FWD_BOT}$		
BOT FWD	$Z_{th(j-r)_FWD_BOT_IGBT_TOP}$			$Z_{th(j-r)_FWD_BOT_IGBT_BOT}$			$Z_{th(j-r)_FWD_BOT_FWD_TOP}$			$Z_{th(j-r)_FWD_BOT_Self}$		

ють різницю температур між давачем і досліджуваним ключем.

ВИСНОВКИ

Показання вбудованого давача температури можна використовувати для розрахунку T_p , проте точність таких обчислень багато в чому залежить від обчислювальних ресурсів, які розробник готовий закласти в процесі проектування. Надійний захист від перегріву може забезпечуватися при використанні високого запасу перегріву та відключення силового каскаду при досягненні заданого порога температури.

Більш просунутий «спрощений» підхід включає вимірювання теплового імпедансу $R_{th(j-r)}$ і припущення рівномірного розподілу втрат потужності між ключами, при цьому обчислюються середні втрати для періодичних функцій. Такий метод вимагає невеликої обчислювальної потужності та може забезпечити ефективний тепловий захист у тому випадку, якщо перетворювач має чітко визначений профіль навантаження з повільними перехідними процесами.

Для захисту від динамічних перевантажень та роботи в особливих умовах, таких як, наприклад, робота інвертора при «нульовій» частоті, потрібна докладна теплова модель, яка враховує перехідні теплові імпеданси між чипами та давачем температури. Ретельні виміри параметрів дозволяють створити індивідуальну модель кожного ключа, яка визначає матрицю динамічного теплового імпедансу всього модуля. За наявності високих обчислювальних потужностей така матриця дає достатню інформацію про миттєві температури в робочій області, які можуть бути використані для моніторингу та динамічного захисту.

Література:

1. Матеріали сайту www.SEMIKRON.com
2. Wintrich A., Nicolai U., Tursky W., Reimann T. *Application Manual Power Semiconductors. 2nd edition, ISLE Verlag, 2015.*
3. Колпаков А. *Контрольная точка, или Как читать datasheet между строк. Часть 1 // Электронные компоненты. 2005. № 6.*
4. Колпаков А. *Контрольная точка, или Как читать datasheet между строк. Часть 2 // Электронные компоненты. 2005. № 9.*

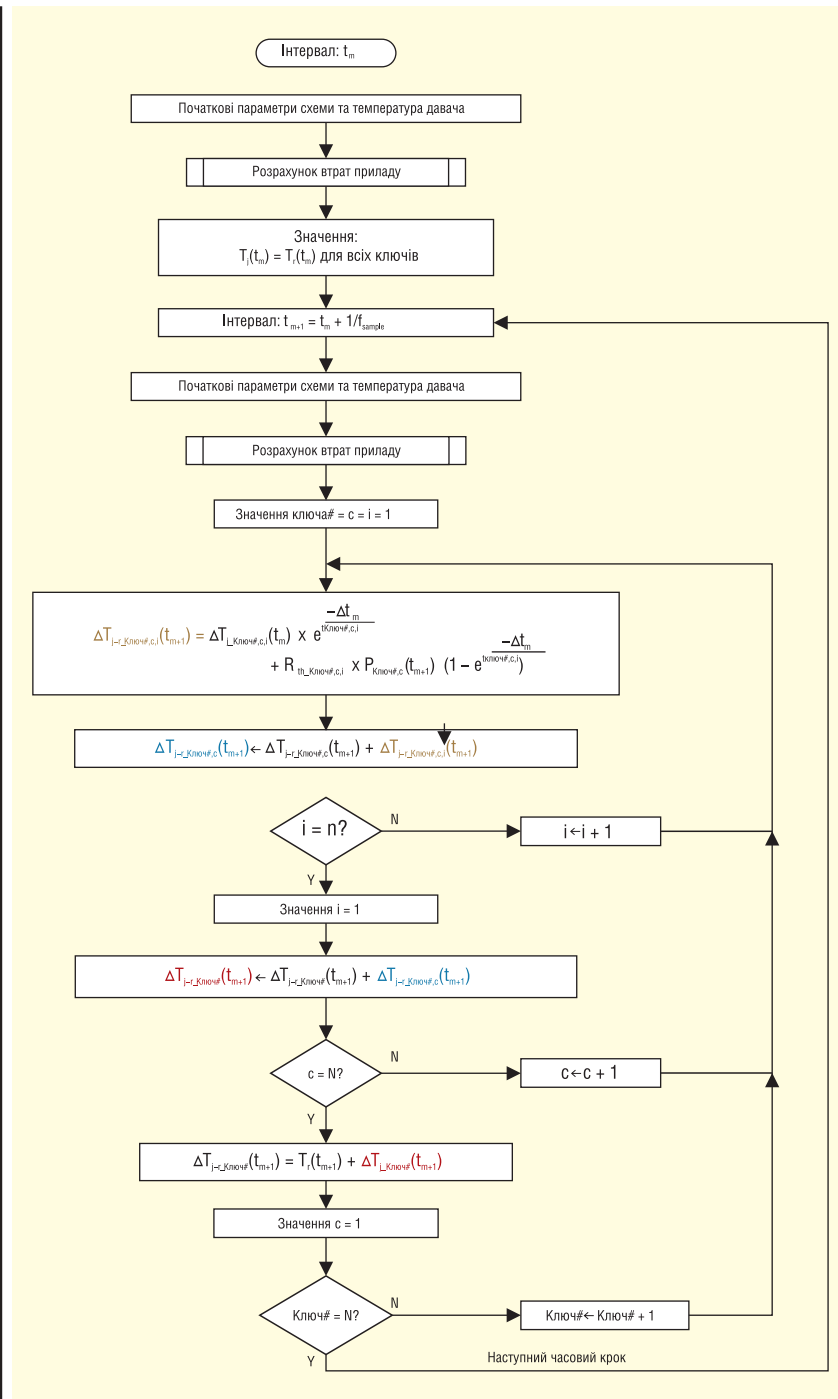


Рис. 13. Процес обчислень на одному часовому кроці

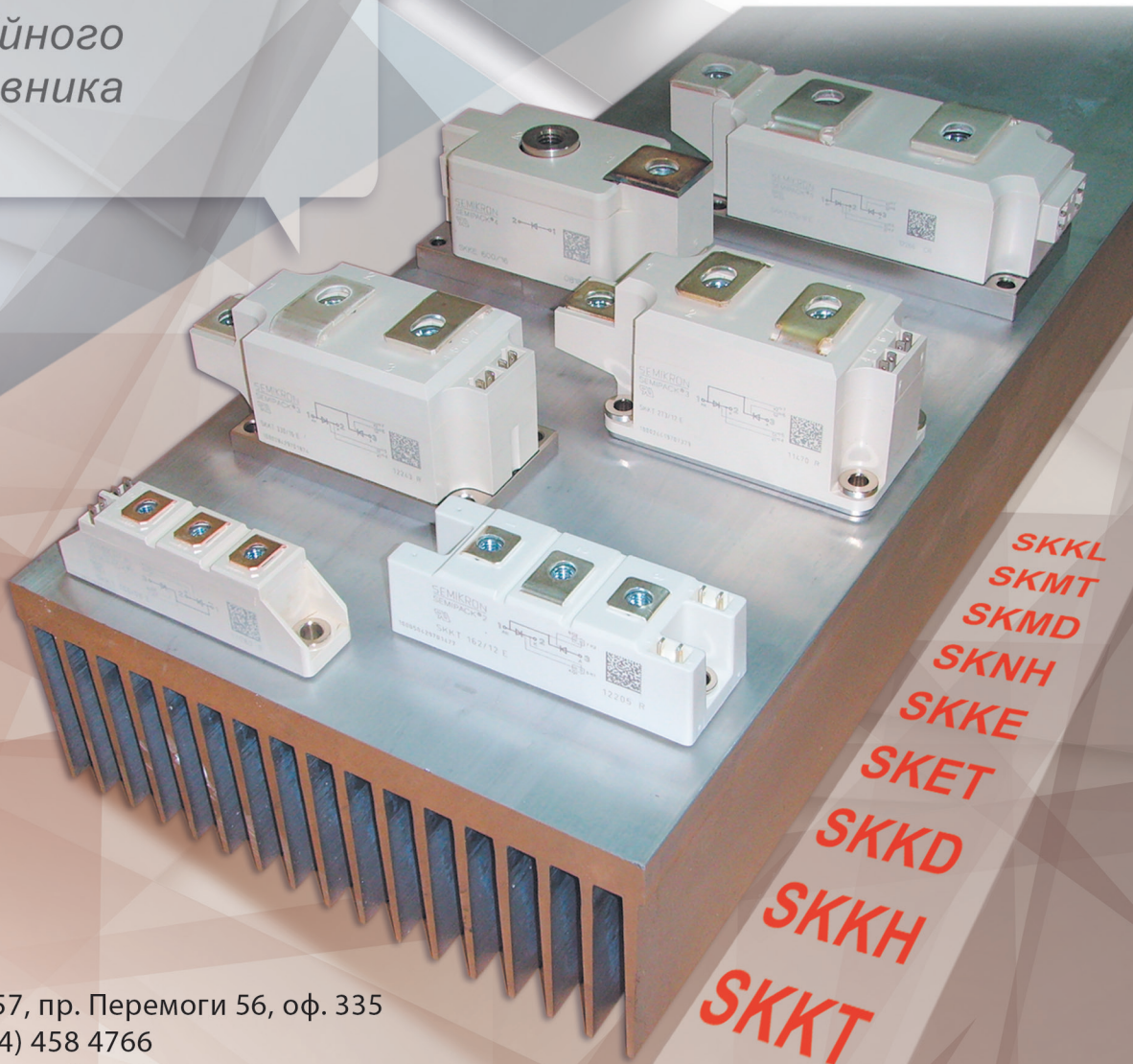
НВП "ТЕХНОСЕРВІСПРИВІД"

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

Дискретні SiC-діоди та транзистори у корпусах TO-247 від Mitsubishi Electric

У статті описані лінійки дискретних діодів та MOSFET-транзисторів на основі карбід-кремнію у двох типах корпусів, показаний модельний ряд, розкрито основні характеристики.

ВСТУП

Силкові модулі на основі карбід-кремнію все інтенсивніше освоюються на ринку силової електроніки. Однак сфера застосування таких модулів все ще сильно звужена їх високою вартістю. Альтернативою модульним збіркам стають дискретні SiC-транзистори, що поєднують відносно низьку вартість і високу продуктивність на більших частотах. Вони використовуються багатьма виробниками силової електроніки у таких застосуваннях, як джерела живлення, DC/DC-перетворювачі та подібні до них. Маючи багаторічний досвід виробництва карбід-кремнієвих транзисторів, компанія Mitsubishi Electric на додаток до існуючих модульних рішень запустила виробництво дискретних SiC-транзисторів та діодів у корпусах типу TO-247.

ДІОДИ ШОТКІ НА ОСНОВІ SiC

Використання лише діодів на основі карбиду кремнію здатне суттєво знизити втрати в інверторі. У загальному випадку зниження втрат становить до 21%. Крім того, підвищення частоти ШІМ дозволяє мінімізувати розмір периферійних компонентів. На рисунку 1 показана лінійка доступних діодів у трьох типах корпусів. Розширений асортимент SiC-діодів Mitsubishi Electric задовольняє попит для різних застосувань, включаючи автомобільні (сертифікація AEC-Q101).

MOSFET-ТРАНЗИСТОРИ В ТРИВИВІДНИХ КОРПУСАХ

У таблиці 1 показана лінійка доступних SiC MOSFET-транзисторів N-серії в трививідних корпусах із зазначенням основних параметрів, таких як $R_{DS(on)}$ та I_{Dmax} . Розроблена Mitsubishi Electric особлива технологія легування JFET-області в каналі

Таблиця 1. Лінійка доступних MOSFET-транзисторів у корпусах TO-247-3

Тип	Стандарти	Модель	V_{DS} В	$R_{DS(on),typ}$ мОм	$I_{Dmax}@25^{\circ}C$ А	Корпус
SiC-MOSFET	AEC-Q101	BM080N120SJ	1200	80	38	TO-247-3
		BM040N120SJ		40	68	
		BM022N120SJ		22	102	
	-	BM080N120S		80	38	
		BM040N120S		40	68	
		BM022N120S		22	102	

Таблиця 1. Лінійка доступних MOSFET-транзисторів у корпусах TO-247-4

Тип	Стандарти	Модель	V_{DS} В	$R_{DS(on),typ}$ мОм	$I_{Dmax}@25^{\circ}C$ А	Корпус
SiC-MOSFET	AEC-Q101	BM080N120KJ	1200	80	38	TO-247-4
		BM040N120KJ		40	68	
		BM022N120KJ		22	102	
	-	BM080N120K		80	38	
		BM040N120K		40	68	
		BM022N120K		22	102	

MOSFET знижує як комутаційні втрати, так і прямий опір, досягаючи показника добротності 1450 мОм·нКл. З використанням SiC MOSFET-транзисторів підсумкові втрати у перетворювачі знижуються приблизно на 85% проти звичайних Si-IGBT. Також за рахунок зменшення ємності Міллера (збільшення показника Ciss/Crss) стійкість до паразитного включення підвищується у 14 разів порівняно із порівняними продуктами.

MOSFET-ТРАНЗИСТОРИ В ЧИРИВИВІДНИХ КОРПУСАХ

У таблиці 2 показана лінійка доступних SiC MOSFET-транзисторів N-серії у чотирививідних корпусах із зазначенням основних параметрів, таких як $R_{DS(on)}$ та I_{Dmax} . Крім нової технології легування, згаданої вище, чотирививідні корпуси дозволяють знизити паразитну індуктивність, що є проблемою при великих швидкостях комутації. Усунення падіння напруги затвор-витік за рахунок допоміжного виводу витоку дозволяє знизити втрати при перемиканні приблизно на 30% порівняно з продуктами в корпусах TO-247-3.

ВИСНОВОК

Продуктова лінійка SiC-приладів Mitsubishi Electric пополнилася свого часу трьома новими типами пристроїв у корпусах TO-247: діодами, трививідними MOSFET-транзисторами, а також чотирививідними MOSFET-транзисторами. Для всіх трьох типів приладів доступні рішення із сертифікатом відповідності AEC-Q101, необхідним для використання в автомобільній промисловості.

Тип корпусу		TO-247-3		TO-247-2		TO-63-2	
		Застосування		Номинал		Номинал	
Автомобільне	1200 В	20 А	BD20120SJ				
		10 А	BD10120S	BD10120P			
Загально-промислове	1200 В	20 А	BD20120S	BD20120P			
		600 В	20 А	BD20060S			BD20060A

Рис. 1. Лінійка доступних SiC-діодів

З'єднувачі компанії Fischer Connectors для волоконно-оптичних ліній зв'язку

Інтенсивний розвиток телекомунікаційних мереж в останні десятиліття немислимий без використання нових інформаційних каналів, що мають високу пропускну здатність, велику дальність зв'язку, надійність, простоту і економічність розгортання. Одним з найперспективніших кабельних варіантів подібних каналів є волоконно-оптичні лінії зв'язку (ВОЛЗ), що з'явилися наприкінці 1970-х років і застосовуються на всіх ділянках мереж, аж до «останньої милі». Для експлуатації в жорстких умовах навколишнього середовища виробники захищених з'єднувачів випускають широку номенклатуру оптичних роз'ємів — розглянута серія FiberOptic від компанії Fischer Connectors.

Основні переваги ВОЛЗ у порівнянні з традиційними мідними електричними кабелями — мале погонне загасання сигналів, висока захищеність від зовнішніх електромагнітних полів та завлад від інших засобів зв'язку, відсутність випромінювання у зовнішнє середовище, хороші масогабаритні показники, низька металомісткість лінії передачі та відсутність у ній дорогих кольорових металів (міді, свинцю), підвищена надійність мережі зв'язку за рахунок збільшення довжини окремих ділянок. ВОЛЗ не позбавлені і недоліків, до них, зокрема, належать менший, ніж у електричних аналогів, енергетичний потенціал (на

15–20 дБ) за рахунок підвищеного рівня шумів в оптичному діапазоні та меншої потужності передавачів, підвищені вимоги до кваліфікації персоналу та потреба у більш складному та дорогому технологічному обладнанні.

Передача інформації з ВОЛЗ здійснюється за допомогою електромагнітного випромінювання оптичного (зазвичай ближнього інфрачервоного) діапазону довжин хвиль, переважно в дуплексному режимі по двох волоконних світловодах із надчистого кварцового скла. Інформаційний обмін можливий і по одному волокну (напівдуплексний режим). У цьому випадку для розв'язки каналів

застосовується оптичний спрямований відгалужувач (циркулятор). Однак подібне рішення рідко використовується на практиці через суттєві енергетичні втрати у відгалужувачах і спричинене цим значне скорочення дальності зв'язку.

У телекомунікаційних ВОЛЗ застосовують одномодові (single mode, SM) та багатомодові (multi mode, MM) світловоди. У багатомодових світловодах діаметр осердя повинен значно перевищувати довжину хвилі оптичного випромінювання, при цьому умови повного внутрішнього відображення виконуються для 1000–2000 мод (типів електромагнітних хвиль, що розповсюджуються у світловоді). В одномодових світловодах діаметр осердя порівнянний з довжиною лише однієї хвилі.

Під час розгортання ВОЛЗ завдання з'єднання світловодів між собою вирішується за допомогою нероз'ємних та роз'ємних оптичних з'єднувачів. Нероз'ємні з'єднувачі зазвичай застосовуються під час створення ліній зв'язку великої протяжності (наприклад, магістральних мереж зв'язку загального користування), і навіть під час виготовлення кінцевих комутаційних пристроїв. У тих випадках, коли під час експлуатації необхідно часто змінювати конфігура-

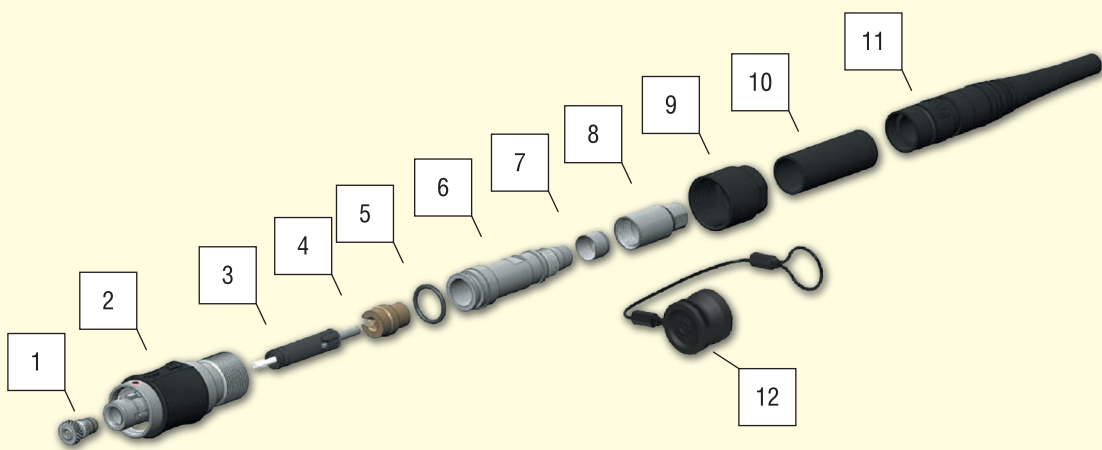


Рис. 1. Складові частини з'єднувача (з прикладу FO1): 1 — наконечник; 2 — корпус з'єднувача; 3 — оптоволоконний контакт (ферула); 4 — тримач контакту; 5 — кільце ущільнювача типу O-ring; 6 — гільза (корпус затискного механізму); 7 — конічне кільце; 8 — затискна гайка; 9 — задня (стяжна) гайка; 10 — термозбіжна трубка; 11 — хвостовик; 12 — захисний ковпачок (заглушка)

цію трактів передачі інформації або існує підвищена ймовірність пошкодження ВОЛЗ на певній ділянці тракту, кращими є оптичні роз'єми з'єднувачі (оптичні рознімачі або просто оптичні з'єднувачі, ОЗ), які відповідно до міжнародних стандартів TIA/EIA 568-B та ISO/IEC-11801 повинні відповідати таким основним технічним вимогам:

- мінімальні вносимі втрати (Insertion Loss, IL);
- високі втрати при відбитті (Return Loss, RL);
- довготривала стабільність та відтворюваність параметрів;
- мінімальні масогабаритні показники;
- висока механічна міцність;
- необхідний рівень надійності;
- простота конструкції з'єднувача та його монтажу;
- простота процесу з'єднання та роз'єднання ВОЛЗ.

ВОЛЗ часто застосовуються у outdoor-проектах, а також у складі електронної апаратури промислового та спеціального призначення, що піддається впливу зовнішніх механічних та кліматичних факторів. Для експлуатації в жорстких умовах докілья провідні компанії — виробники захищених з'єднувачів випускають широку номенклатуру ОЗ: компанія Fischer Connectors (Швейцарія) пропонує сімейство FiberOptic.






Як приклад розглянемо продукцію компанії Fischer Connectors (Швейцарія), що відповідає найсуворішим галузевим стандартам. Сімейство надійних та мініатюрних ОЗ FiberOptic, розрахованих більш ніж на 1000 циклів з'єднання та роз'єднання, характеризується високою допустимою швидкістю передачі інформації та дальністю зв'язку за рахунок малих втрат, великої міцності (ступінь захисту — IP68), зручності експлуатації та обслуговування (навіть у польових умовах).

Компанія Fischer Connectors у складі сімейства FiberOptic випускає досить велику номенклатуру з'єднувачів для одно- та багатомодових світловодів:

- FO1 — одноканальні ОЗ (рис. 1);
- FO2, FO4 — з'єднувачі з двома або чотирма оптичними контактами;
- FOH — гібридні з'єднувачі з оптичними та електричними контактами.

ОЗ компанії Fischer Connectors можуть бути конструктивно виконані у вигляді розеток та вилок для монтажу на кабелі та блокові панелі (табл. 1). Для зниження внесених втрат виконується полірування оптичних поверхонь, що сполучаються. Fischer Connectors пропонує ОЗ з поліруванням оптично-

Таблиця 1. Варіанти з'єднувачів FiberOptic: вилок та розетки

Тип	Найменування	Зовнішній вигляд
Кабельна вилка	P01	
Кабельна розетка	R50	
Блокові розетки	R01 (встановлюється всередині)	
	R03 (встановлюється зовні)	
	R13 (встановлюється зовні, з фланцем)	

го контакту (ферули) типів UPC (Ultra Physical Contact) та APC (Angle Physical Contact). Завдяки скошеній під кутом 8–9° до поверхні оптичного контакту ОЗ з поліруванням APC забезпечують зменшення потужності сигналу, відбитого у бік джерела сигналу, порівняно з прямим поліруванням UPC.

Основні технічні параметри з'єднувачів сімейства FiberOptic наведені в таблиці 2. Вони значно перевершують вимоги міжнародних стандартів на кабельні системи TIA/EIA-568-B та ISO/IEC-11801. Рисунок 2 ілюструє процес випробувань ОЗ за екстремально низької робочої температури –40 °С.

Для запобігання неправильній комутації в ОЗ FiberOptic передбачено механічне (за допомогою ключів типу «паз-виступ») та візуальне кодування з'єднувачів. Конструкція механічних ключів гарантує коректність з'єднання, у тому числі «наосліп». Візуальне кодування дозволяє ідентифікувати тип ОЗ (багатомодовий; одномодовий у виконаннях UPC та APC). Для цього відповідно до стандартів TIA/EIA 568 B та ISO/IEC 11801 використовується колірне кодування корпусів вилок/розеток або їх окремих видимих деталей (табл. 3).

Оптичні кабельні вилок P01 сімейства FiberOptic оснащені надійною

автоматичною заціпкою Push-Pull, що відрізняється простотою використання, легкістю та швидкістю з'єднання та роз'єднання, неможливістю випадкового роз'єднання через вібрацію та удари, а також герметичністю.

Крім спеціалізованих ОЗ, компанія Fischer Connectors випускає гібридні з'єднувачі, що відрізняються гнучкістю конфігурації. Так, у замовних з'єднувачах можлива одночасна наявність вставок для електричних сигналів (до 12 силових та інформаційних контактів), коаксіальних контактів для радіочастотних сигналів, волоконно-оптичних вставок та вставок для передачі рідин та газів. При цьому склад вставок можна вибирати виходячи з необхідних характеристик з'єднувача.

До серійних гібридних з'єднувачів відносяться вироби FOH (FiberOptic Hybrid) — вилок та розетки з двома оптичними та двома силовими електричними контактами (рис. 3).

Слід зазначити, більшість виробників ОЗ пропонують своїм клієнтам комплексні рішення, поставляючи крім з'єднувачів ще й інші компоненти: готіві оптичні кабельні збірки, оптичні контакти і контактні групи, хвостовики, ковпачки, кабельні котушки, заглушки. У той же час, популярність захище-

Таблиця 2. Основні технічні параметри з'єднувачів сімейства FiberOptic			
Параметр	Тип світловода	Значення	Методика вимірювання
Механічні параметри			
Діаметр з'єднувача		24 мм	
Діаметр осердя/ оболонки світловода	Одномодовий	9/125 мкм	
	Багатомодовий	50/125; 62.5/125 мкм	
Кількість циклів з'єднання/роз'єднання		Не менше 1 000	IEC 61300-2-2
Оптичні параметри			
Втрати, що вносяться (на довжині хвилі 1 300 нм)	Одномодовий або багатомодовий	≤0.2 дБ (середнє значення)	IEC 61300-3-34
		≤0.45 дБ (максимальне значення для більш ніж 97% зразків)	
		≤0.2 дБ (зміна під час та після випробування)	IEC 61300-3-3
Втрати на відбиття (на довжині хвилі 1 300 нм)	Одномодовий з прямим поліруванням контакту (SM UPC)	≥50 дБ	IEC 61300-3-6
	Одномодовий з кутовим поліруванням контакту (SM APC)	≥70 дБ (у з'єднаному стані) та ≥50 дБ (у роз'єднаному стані)	
Параметри стійкості до зовнішніх впливів			
Герметичність у з'єднаному стані		IP68	IEC 60529
Герметичність у роз'єднаному стані		IP67	IEC 60529
Діапазон робочих температур		-40...+85 °С	IEC 61300-2-22
Вібростійкість		Синусоїдальні коливання у трьох напрямках частотою 10–55 Гц з амплітудою 0.75 мм та прискоренням 10g	IEC 61300-2-1
Ударостійкість		Удари з піковим прискоренням до 100g	IEC 61300-2-9
Стійкість до корозії		Надійна робота протягом 1 000 годин у 5%-му сольовому тумані за температури +35 °С	IEC 61300-2-26

Таблиця 3. Стандарти кодуючі кольори елементів корпусів ОЗ		
Тип рознімача	Колір	
	ISO/IEC 11801:2002	TIA/EIA-568-B
Багатомодовий	Бежевий або чорний	Бежевий
Одномодовий з прямим поліруванням контакту (SM UPC)	Блакитний	Блакитний
Одномодовий з кутовим поліруванням контакту (SM APC)	Зелений	–

них з'єднувачів швейцарської компанії Fischer Connectors пояснюється повною реалізацією технічних вимог замовників, високою якістю виробів, за-

безпеченням їх поставки у встановлені терміни, тривалим періодом підтримки серійного виробництва. Висока якість з'єднувачів сімейства FiberOptic під-

тверджена сертифікацією за стандартами ISO 9001:2000, ISO 14001:2004, ISO 13485:2003, стандартами RoHS, регламентом REACH тощо. **CN**

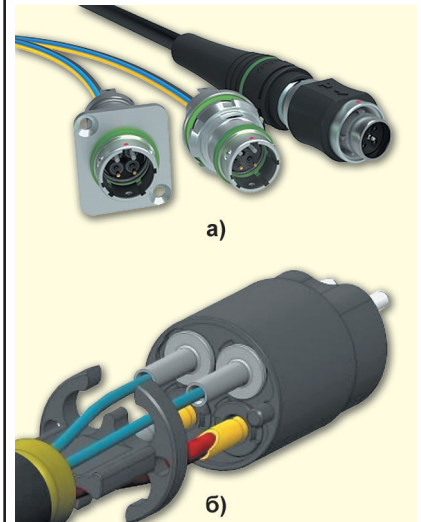


Рис. 3. Гібридні з'єднувачі: зовнішній вигляд (а); конструкція (б)



Рис. 2. ОЗ сімейства FiberOptic при випробуваннях за зниженої робочої температури

MICRODIS
www.microdis.net

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

Роман Прокопець
Менеджер з продажу

Microdis Electronics GmbH
Rheinauer Straße 1
68766 Hockenheim
Germany

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

fischer
CONNECTORS

Майбутнє з'єднувачів для силових агрегатів електромобілів

Такуя Фудзімото (Takuya Fujimoto), директор, автотранспортний відділ, Hirose Electric

Виробники гібридних автомобілів (HEV) і електромобілів (EV), як і раніше, мають вирішити безліч завдань, щоб сприяти подальшому вдосконаленню і поширенню цього виду транспорту в усьому світі.

Популярність гібридних автомобілів та електромобілів продовжує швидко зростати. Цей факт можна пояснити споживчим попитом на екологічний автотранспорт у поєднанні із зростанням довіри до цієї технології. Майже кожен автовиробник має намір випускати електромобілі, реалізовані за технологіями HEV чи EV. Ці технології, які стали значно досконалішими за останні роки, забезпечують безліч переваг у порівнянні з використанням традиційних двигунів внутрішнього згоряння (ДВЗ). Однак є низка завдань, вирішивши які, можна розраховувати на якнайширше розповсюдження цих технологій у всьому світі.

Останні розробки силових агрегатів електромобілів спрямовані на збільшення часу та відстані пробігу транспортного засобу, скорочення часу зарядки та підвищення якості електроенергії при одночасному зниженні витрат. Зокрема, силовим агрегатом потрібні потужні та компактніші з'єднувачі, що відповідають вимогам щодо вібро- та термостійкості. Сучасні міцні міжплатні рознімачі дозволяють покращити експлуатаційні характеристики під час застосування і водночас зменшити витрати на розробку та складання. Високовольтні рознімачі із системою плаваючих контактів не тільки спрощують складання, а й забезпечують підвищену вібростійкість під час експлуатації в силових агрегатах гібридного автотранспорту та електромобілів.

ОСНОВНІ ЗАСАДИ ПЕРЕДАЧІ ПОТУЖНОСТІ

Силова передача електромобіля є більш простою і ефективною сис-

темою порівняно з двигунами внутрішнього згоряння. Електромобілі можуть працювати виключно від електричної силової установки або при попутному використанні ДВЗ. До електромобілів основного типу відносяться ті, в яких як джерело енергії застосовуються тільки батареї, але є такі, які використовують інші режими джерела енергії. До них належать гібридні електромобілі. Кількість деталей у системі електромобіля на 60% менша; менша і кількість рухомих елементів. По суті, стандартна система електромобіля містить зарядний пристрій, акумуляторну батарею, перетворювач, контролер та електродвигун.

Надалі розглянемо кожен із цих блоків окремо.

- **Зарядний пристрій** перетворює напругу змінного струму, що отримується через порт зарядки, на постійний струм і контролює величину струму, що протікає в акумуляторний блок.
- **Батарейний блок**, що складається з кількох літєво-іонних елементів, накопичує енергію, необхідну для роботи автомобіля. Батарейні блоки забезпечують вихідну напругу постійного струму.
- **DC/AC-перетворювач** перетворює напругу постійного струму акумуляторної батареї на напругу змінного струму для живлення електродвигуна.
- **Контролер електромобіля** — електронний блок між батареями і двигуном, що керує швидкістю і прискоренням електромобіля, що багато в чому схоже з роботою карбюратора в автомобілі з ДВЗ.
- **Електродвигун** перетворює електричну енергію на механічну під час переміщення транспортного засобу

без допомоги коробки перемикання передач (КПП) для зменшення швидкості обертання коліс та збільшення обертального моменту.

ВИМОГИ ДО РОЗНІМАЧА СИЛОВОГО АГРЕГАТУ

При застосуванні в автомобілях рознімачі повинні забезпечувати високу надійність з точки зору стійкості до нагрівання, ударів, вібрацій та інших умов експлуатації. Крім того, системам трансмісії потрібні міцні та надійні схеми з'єднань, що витримують перебіг великих струмів. Наприклад, двигун електромобіля може працювати від напруги 96–192 DC. Трифазний двигун змінного струму, як правило, функціонує при 240 В від 300 В акумулятора.

ПЕРЕХІД НА ПЛАВАЮЧУ МІЖПЛАТНУ СХЕМУ З'ЄДНАННЯ

Насамперед у трансмісіях HEV і EV застосовувалися рознімачі для з'єднання проводів із платами для підключення контролерів двигунів, інверторів тощо. Однак такі рознімачі займають більше місця і часто вимагають більше зусиль при інтеграції та складанні. Нові міжплатні з'єднувачі із системою плаваючих контактів спрощують складання та скорочують трудовитрати, займаючи порівняно менше місця (див. рис. 1).

Ці компактні універсальні міжплатні рознімачі з кроком виводів 1 мм розраховані на високу напругу до 125 В змінного або постійного струму. Діапазон робочої температури нових рознімачів із плаваючим контактом досягає 140 °C. Крім того, вони вирізняються дуже високою вібростійкістю, гарантуючи надійну роботу.

Плаваючі контакти компенсують похибки центрування до ± 0.7 мм по осях X і Y, забезпечують допуск ± 0.75 мм між

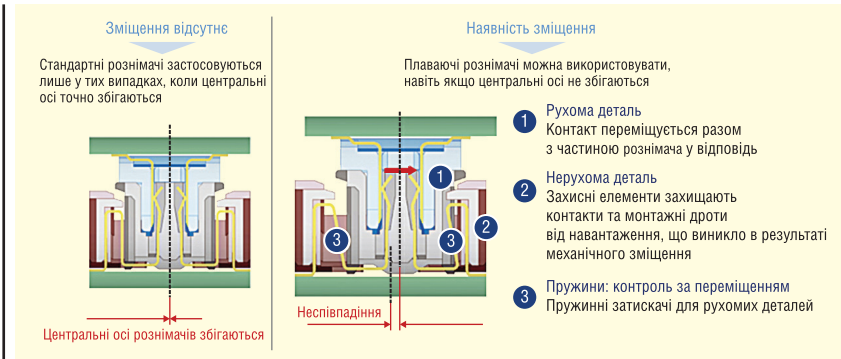


Рис. 1. Система плаваючих контактів, яка використовується, наприклад, у міжплатному з'єднувачі Нігосе серії FX26, підвищує надійність за рахунок зниження навантаження на паяні з'єднання при зміщенні рознімачів. Плаваюча конструкція також збільшує термін служби, запобігаючи розтріскуванню припою

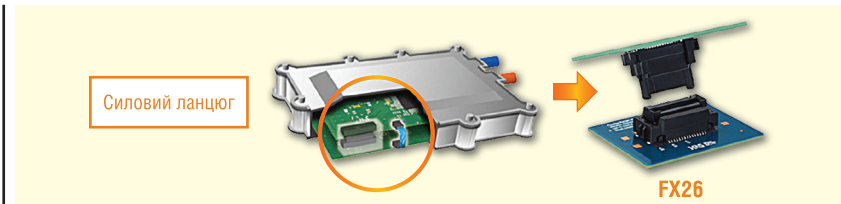


Рис. 2. Приклад використання рознімачів серії FX26 у контролері двигуна

платами у напрямку Z. Така конструкція запобігає зміщенню елементів під час встановлення та монтажу плати. Завдя-

ки тому, що пружинна частина виводу компенсує похибки складання, знижується потреба в операціях з коригуван-

ня. Система з плаваючими контактами ідеально підходить для трансмісійних систем HEV та EV, яким потрібно кілька рознімачів на одній платі. На рисунку 2 показаний приклад використання рознімачів серії FX26 у контролері двигуна.

ВИСНОВКИ

Розробка електромобілів займає центральне місце у стратегіях більшості виробників автотранспортних засобів. Щоб задовольнити попит на цьому ринку, виробники рознімачів продовжують створювати інноваційні міжплатні з'єднувачі для силових агрегатів HEV і EV. Ці з'єднувачі забезпечують надійну та тривалу роботу у невеликих та легких корпусах з підвищеною функціональністю. Інноваційні міжплатні рознімачі з плаваючим контактом, які є економічною альтернативою рознімачам типу «провід-плата», спрощують складання та займають менше місця в обмеженому просторі силових агрегатів. Конструкції з плаваючими контактами підвищують надійність та довговічність силових агрегатів електромобілів, знижуючи трудовитрати на інтеграцію та складання. **CN**



Все для інфраструктури зарядки електричних транспортних засобів

Оснастіть свою зарядну станцію виробами CHARX від компанії Phoenix Contact. Наш широкий асортимент продукції сягає від зарядних кабелів CCS до систем керування навантаженням для потужних зарядних мереж для електромобілів.

За детальнішою інформацією, звертайтеся:
ТОВ "Фенікс Контакт"
(044) 594 55 22
phoenixcontact.com/uk-ua/



Методи зниження рівня електромагнітних завад

Андрій Горін

Адаптований переклад українською та технічне редагування:

Ілля Кирпатенко, к.т.н., доцент, кафедра ПРЕ, РТФ, КПІ ім. Ігоря Сікорського

Існує ціла низка методів зниження рівня електромагнітних завад. Як правило, насамперед увагу звертають на використання різних фільтрів, починаючи з феритової намистини та закінчуючи складними входними ЕМЗ-фільтрами, а також на топологію друкованої плати. У статті розглядаються не такі популярні, проте не менш ефективні методи. Причому це не альтернативні, а додаткові варіанти зменшення завад.

читати, що при псевдовипадковій трикутній модуляції рівень кондуктивних завад приблизно на 5 дБ нижче [1].

Ще більш вражаючі результати вдається отримати під час використання подвійної випадкової модуляції розширення спектра (dual random spread spectrum). В цьому випадку відбувається накладення двох типів модуляції з різ-

МЕТОД РОЗШИРЕННЯ СПЕКТРУ

Одним із відносно малопоширених методів забезпечення електромагнітної сумісності (ЕМС) є розширення спектра (Spread spectrum) або його розподіл. Суть цієї технології відображає рисунок 1: ліворуч на ньому зображена часова область, праворуч — частотна.

Як видно з рисунку, за рахунок зміни робочої частоти перетворювача в інтервалі $2\Delta f_c$ енергія електромагнітних завад розподіляється на ділянці спектра. Відповідно, пікове значення енергії завад зменшується. Втім, не все так просто, і цього зменшення може виявитися недостатньо, щоб укластися в суворі вимоги стандартів ЕМС, до того ж багато залежить від чутливості та смуги пропускання приладу, що реєструє завади.

Зазвичай частота f_c варіюється в межах $\pm 5... \pm 10\%$, а частоту f_m обирають рівною приблизно 9 кГц. Якщо при цьому величина електромагнітних завад все ж таки не відповідає необхідним значенням, доведеться змінити модуляцію, наприклад, вдатися до трикутної модуляції. На рисунку 2а показана трикутна модуляція (лінія червоного кольору) та псевдовипадкова трикутна модуляція (лінія зеленого кольору). На рисунку 2б показаний рівень кондуктивних завад від обох типів модуляції, колір відповідних кривих збігається з рисунками 2а і 2б. Порівнюючи результати вимірювання, можна побачити,

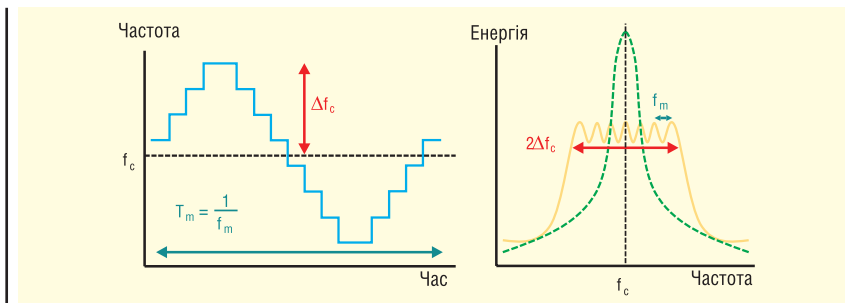


Рис. 1. Технологія розширення спектра (Spread spectrum)

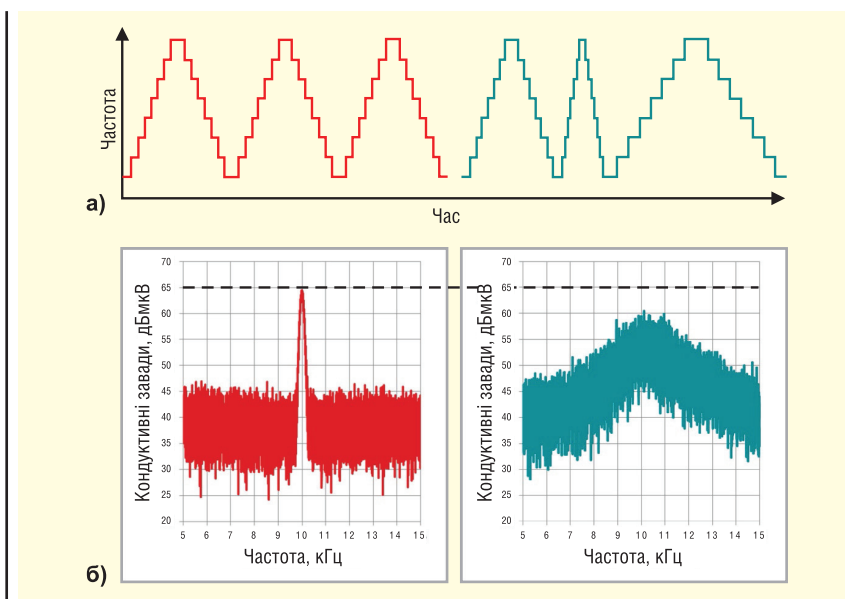


Рис. 2. Трикутна модуляція (лінія червоного кольору) та псевдовипадкова трикутна модуляція (лінія зеленого кольору) (а); рівень кондуктивних завад при обох типах модуляції (б)

ною смугою. Приклад подібної модуляції у часовій області представлений на рисунку 3. На рисунку 4 наведено результат вимірювання кондуктивних завод при використанні технології розширення спектра без подвійної модуляції DRSS (лінії червоного кольору) та з подвійною модуляцією (лінії зеленого кольору) [1]. Коментарі зайві, оскільки перевага методу модуляції DRSS є очевидною і виріб повністю відповідає жорстким вимогам стандарту CISPR 25.

АКТИВНА ФІЛЬТРАЦІЯ КОНДУКТИВНИХ ЕЛЕКТРОМАГНІТНИХ ЗАВАД

Суть методу зрозуміла з рисунка 5. Фільтр, вбудований у контролер або перетворювач, інвертує та посилює сигнал і через конденсатор C_{INJ} повертає його на вхід, де він віднімається з вхідного сигналу. Таким чином, за тієї ж величини послаблення завод вхідним пасивним ЕМЗ-фільтром рівень завод суттєво знижується. Слід звернути увагу, що в даному випадку підвищення коефіцієнта послаблення завод відбувається не за рахунок збільшення

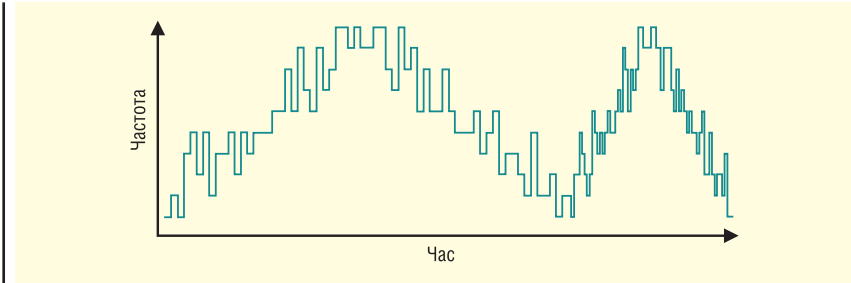


Рис. 3. Подвійна випадкова модуляція розширення спектра DRSS

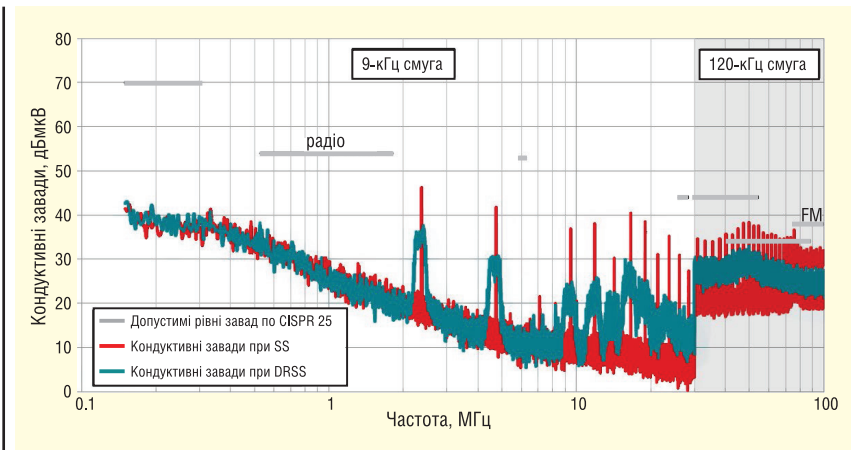


Рис. 4. Кондуктивні завади при використанні технології розширення спектру без подвійної модуляції DRSS (лінії червоного кольору) та з подвійною модуляцією (лінії зеленого кольору)

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)

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

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

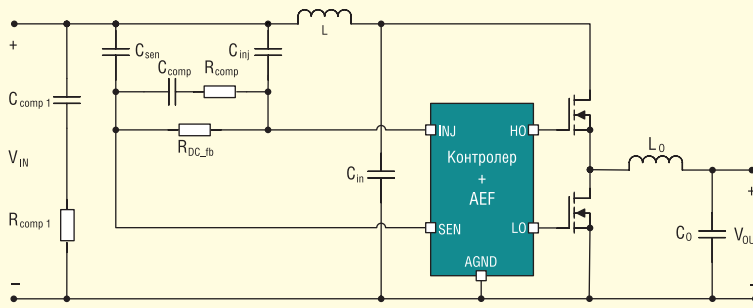


Рис. 5. Активна фільтрація електромагнітних завад

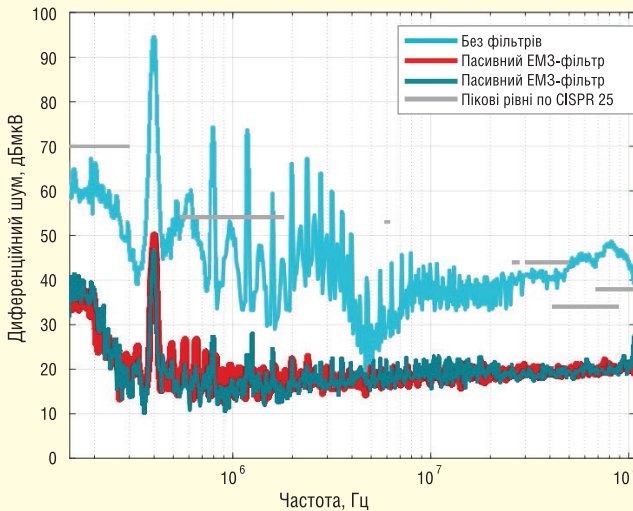


Рис. 6. Кондуктивні завади понижуючого DC/DC-перетворювача при різних типах фільтрації

габаритів вхідного EM3-фільтра, що є дуже важливою перевагою методу, що розглядається.

Результат застосування активної фільтрації можна побачити на рисунку 6, де показані кондуктивні завади понижуючого DC/DC-перетворювача з робочою частотою 400 кГц. Зауважимо, що при застосуванні активної фільтрації пасивним фільтром з дроселем величиною 1 мкГн і конденсатором 100 нФ, можна досягти такого ж придушення завад, що і при використанні пасивного фільтра з дроселем 3.3 мкГн і конденсатором 100 мкФ. Таке зменшення номінальних значень компонентів пасивного фільтра дозволяє суттєво зменшити його габарити.

ЗМЕНШЕННЯ КОНДУКТИВНИХ ЕЛЕКТРОМАГНІТНИХ ЗАВАД У ІЗОЛЬОВАНИХ ПЕРЕТВОРЮВАЧАХ

В ізольованих перетворювачах через паразитні ємності трансформатора утворюються додаткові шляхи протікання синфазних струмів. Отже, збільшуються за рівнем синфазні кондуктивні завади. Зазвичай, для їх придушення користуються додатковим синфазним дроселем, що збільшує габарити фільтра, а це не завжди прийнятно. Альтернативою може стати введення в ізолюючому трансформаторі додаткових обмоток. При цьому його розміри, а отже, і розміри модуля живлення не змінюються.

Розташування додаткових обмоток, балансної обмотки, що компенсує синфазну складову, і допоміжної обмотки ізолюючого трансформатора показано на рисунку 7. Для їх виготовлення застосовується дріт мінімального перерізу і

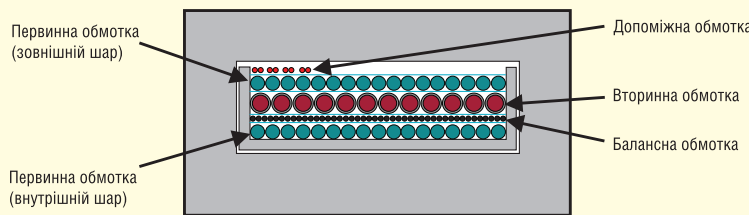


Рис. 7. Розташування додаткових обмоток в ізолюючому трансформаторі

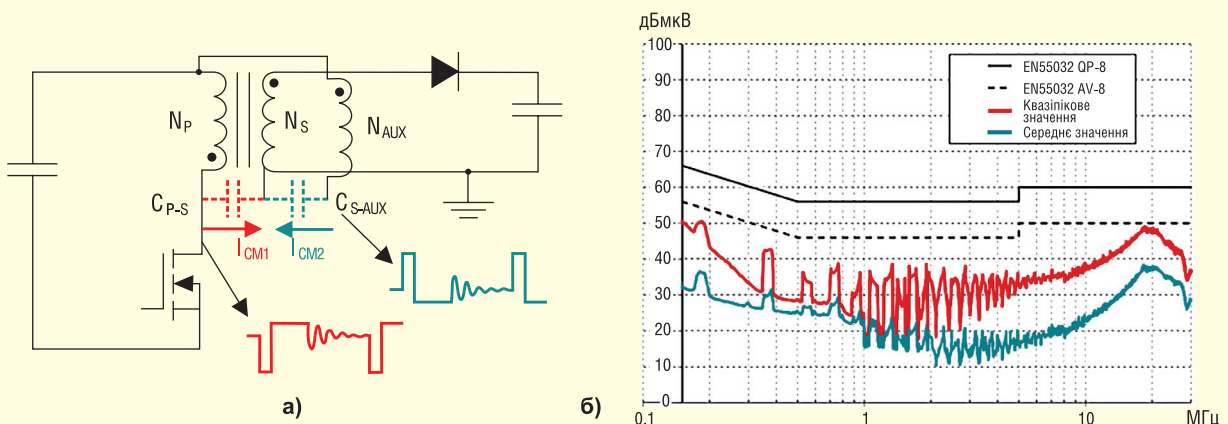


Рис. 8. Еквівалентна схема трансформатора зворотного перетворювача з додатковими обмотками (а); кондуктивні електромагнітні завади (б)

тому не вимагається збільшення розміру вікна осердя. На рисунку 8а представлена еквівалентна схема трансформатора зворотногоходового перетворювача з ємностями, сформованими додатковими обмотками трансформатора. На цій схемі конденсатор $C_{P.S}$ утворений паразитною ємністю між первинною та вторинною обмоткою трансформатора, а конденсатор $C_{S.AUX}$ — ємністю між допоміжною та вторинною обмоткою.

Допоміжна балансна обмотка екранує внутрішню половину первинної обмотки від вторинної обмотки, зменшуючи тим самим практично до нуля паразитну ємність між ними. Тому і синфазна напруга, і синфазний струм зводяться майже до нульового значення. Допоміжна обмотка, розміщена поруч із зовнішньою половиною первинної обмотки, породжує паразитну ємність $C_{S.AUX}$ струм в якій спрямований зустрічно синфазному струму, що протікає через паразитну ємність $C_{P.S}$ між первинною та вторинною обмотками.

В результаті синфазні завади значно зменшуються за рівнем, і перетворювач відповідає вимогам стандартів електромагнітної сумісності, маючи запас і по квазіпіковому, і середньому рівнях.

РАДІОЗАВАДИ

Віще йшлося в основному про кондуктивні електромагнітні завади. У цьому розділі будуть розглянуті деякі методи та засоби зниження радіозавад. Зрозуміло, заходи, які вживаються щодо зменшення кондуктивних завад, призводять і до зниження радіозавад, але, на жаль, часто лише цих заходів виявляється недостатньо.

Якщо для зменшення рівня кондуктивних завад дієвими є схемотехнічні методи, то для зменшення рівня радіозавад обираються відповідні конструктивні методи. У будь-якому перетворювачі у складі вихідного згладжуючого LC-фільтра використовуються дроселі. Добре, якщо розробник наведе на схемі вивід початку обмотки дроселя, але, на жаль, часто це не беруть до уваги.

Навряд чи відмітить початок обмотки дроселя і фахівець, який розробляє топологію плати, і, звичайно, не звернуть на це увагу на монтажній ділянці або в цеху. Тим не менш, некоректне підключення дроселя призводить до того, що в результаті не вдається виконати вимоги стандартів електромагнітної сумісності.

Будь-який дросель має паразитну індуктивність розсіювання, яка стає джерелом радіозавад. Для того щоб їх зменшити, можна використовувати екранований дросель, але при цьому, на жаль, зменшується струм насичення, що не завжди припустимо.

Некоректне під'єднання дроселя у схемі здатне збільшити рівень радіозавад. Тому на електричній схемі необхідно вказувати початок обмотки дроселя. Якщо є дросель з багат шаровим намотуванням, то початок його обмотки слід підключати до джерела завад — вузла комутації перетворювача. У такому випадку зовнішній шар обмотки стане екраном і послабить пульсації.

Трохи докладніше слід розглянути конструкцію дроселя на прикладі виробів компанії Coilcraft. Зовнішній вигляд дроселя та його конструкція показані на рисунку 9. Конструкція дроселів інших фірм не мають принципових відмінностей, тому наші міркування будуть справедливими й до них. У контактних виводів дроселя бу-

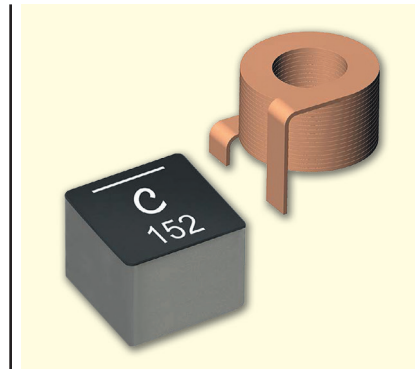


Рис. 9. Дросель компанії Coilcraft

ває різний розмір. Вивід меншої довжини маркується на корпусі тонкою смужкою білого кольору. Саме цей вивід необхідно підключати до джерела завад із максимальною величиною dV/dt .

По можливості слід обрати дросель з виводами, розташованими під обмоткою і не виступають назовні. У цьому випадку обмотка та осердя дроселя також частково екрануватимуть радіозавади від виводів. На рисунку 10 показані дроселі з виводами під обмоткою (див. рис. 10а) та з виводами, що виступають назовні (див. рис. 10б), а на рисунку 10в наведено результати вимірювання електричного поля для обох конструктивних виконань [2]. Відстань відраховувалося від зовнішнього боку дроселя, де розташований вивід.

Література:

1. *Time-Saving and Cost-Effective Innovations for EMI Reduction in Power Supplies*// www.ti.com.
2. *Does the Assembly Orientation of an SMPS Inductor Affect Emissions?*// www.analog.com.

СН

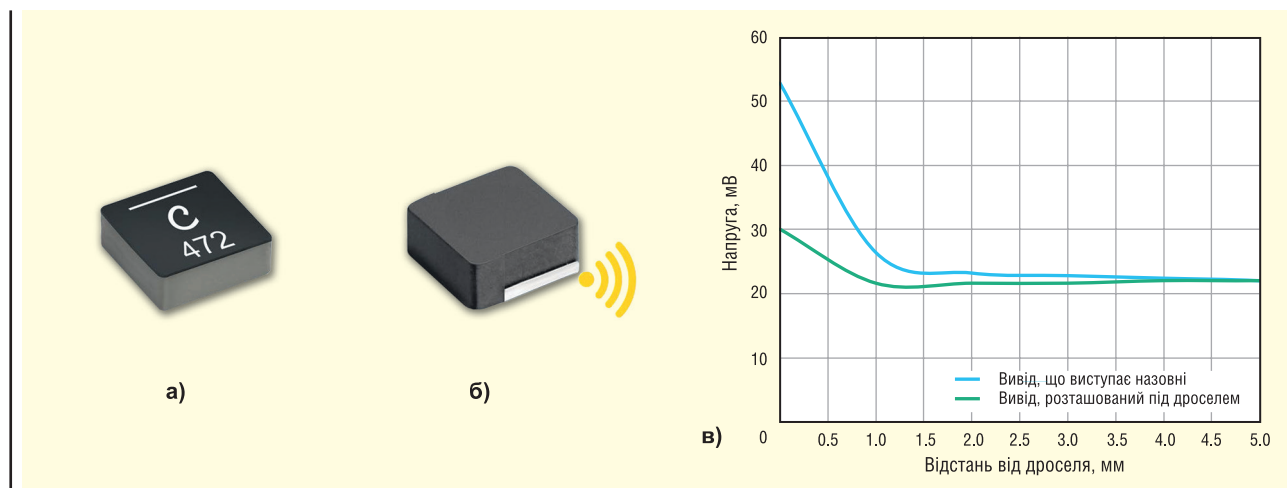


Рис. 10. Дроселі з виводами, розташованими під обмоткою (а); дроселі з виводами, що виступають назовні (б); результати вимірювання електричного поля для обох конструктивних виконань дроселів (в)

IsoMOV – інноваційні компоненти компанії BOURNS для захисту ланцюгів

Володимир Рентюк

Існує кілька варіантів технологій чи рішень для захисту інтерфейсів обладнання. Однак вибір рішення, яке не підходить для цієї області застосування, може призвести до плачевних наслідків. Відповідаючи на цей виклик, компанія Bourns представляє лінійку гібридних пристроїв IsoMOV, призначених для захисту ланцюгів від перенапруги. Завдяки гібридному рішенню – інтегрованому безпосередньо у варистор у газовому розряднику – ці компоненти пропонують більший вигравш, ніж просто їхнє спільне включення. Сімейство IsoMOV – чергове інноваційне гібридне рішення BOURNS – встановлює новий стандарт якості та надійності у своєму класі.

ВСТУП

Удари блискавки та електричні перемикання здатні викликати небезпечні перехідні процеси у сучасному електричному устаткуванні та чутливій електроніці. Стрибки напруги можуть потенційно призвести до незворотного пошкодження продуктів, втрати даних, простою обладнання або в гіршому випадку – до відкликання продукту та пов'язаної з цим відповідальності. Для захисту обладнання рекомендується включати пристрій захисту від перенапруги. Компоненти, які при цьому використовуються, призначені для відведення надлишкового струму від перехідних процесів і стрибків напруги на «землю», запобігаючи цим його протіканню через електричне устаткування.

Однак обійтися одним компонентом не вдається: для захисту знадобиться комплексне рішення, в якому один компонент – газовий розрядник – приймає на себе перший удар, обмежуючи напругу, а подальшим обмеженням і поглинанням потужності займаються інші елементи – варистор і TVS-діод. Але тут є підводний камінь: недостатньо простого паралельного включення приладів, необхідне створення резистивних або індуктивних затримок. В іншому випадку при потужній перешкоді, особливо з малою швидкістю наростання, першим

вийде з ладу TVS-діод, за ним варистор, а розрядник навіть не встигне ввімкнутися. Тут, як у відомому інженерному анекдоті.

Замовник: «А чи спрацює розроблений вами захист при перевантаженні?»

Інженер-розробник: «Звичайно! Одразу, як тільки обладнання вийде з ладу».

Вирішити проблему було можна, але непросто й виходило не вигідно, оскільки раніше для захисту вхідних ліній (або, як зараз прийнято говорити, інтерфейсів обладнання) – зв'язку, керування та живлення – було два захисні пристрої: варистор і газовий розрядник. Тепер завдяки рішенню компанії BOURNS доступний один інтегрований елемент, що не потребує функціонального поділу. Вперше такі гібридні компоненти було запропоновано компанією у 2019 році під торговим найменуванням GMOV [1]. Але оскільки зараз в портфель компанії додані серії гібридних компонентів нової технології IsoMOV, слід спочатку коротко розглянути два первинні компоненти цього гібрида, щоб зрозуміти загальну ідею BOURNS.

ГАЗОВИЙ РОЗРЯДНИК

Газові розрядники (Gas Discharge Tube, GDT) – це одні з найперших захисних пристроїв. Спочатку вони були негерметичні, і розряд проходив повітрям. Старше

покоління ще пам'ятає такі розрядники, встановлені на антенах радіоприймачів як грозозахист. Зараз це цілком досконалі захисні прилади, хоча принцип їхньої роботи загалом не змінився.

Коли перехідний процес досягає рівня напруги пробоя, газовий розрядник через іонізацію газу, що його наповнює, перемикається з високого імпедансу на дуже низький (рис. 1) [2]. Ця зміна тимчасово закортить лінію доти, доки вплив на неї не зникне. Як тільки перенапруга буде знята, розрядник повертається до стану високого імпедансу з вкрай малим струмом витоку. Однак використовувати один розрядник на лініях живлення змінного струму не рекомендується, оскільки він не може погасити наступний струм без будь-якого допоміжного ланцюга. Заради справедливості слід зазначити, що в технічній літературі наводиться повніша версія характеристики спрацювання газового розрядника, в якій присутня ділянка у вигляді сходинок, що описує появу дугового розряду, де відбувається короткочасне обмеження напруги [7].

Газові розрядники призначені для захисту персоналу та чутливого обладнання від небезпечної перехідної напруги. BOURNS® GDT використовуються у первинних та вторинних застосуваннях і можуть витримувати багаторазові застосування з високими імпульсними

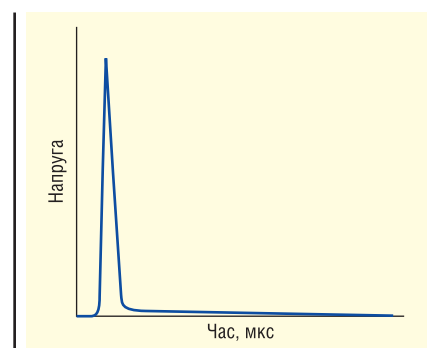


Рис. 1. Характеристика спрацювання газового розрядника

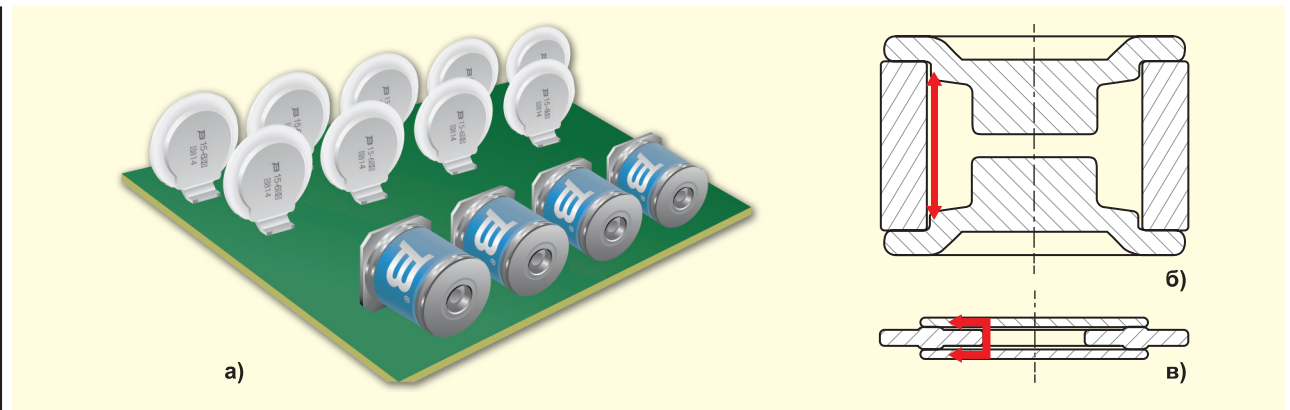


Рис. 2. Інноваційна технологія газових розрядників FLAT компанії BOURNS для захисту інтерфейсів чутливих електронних пристроїв: типовий варіант (а); типове конструктивне виконання газових розрядників (б); розрядників технології FLAT (в)

струмами енергії, що перевищують 25 кА. Вони пропонуються у двох- і трьохелектродних версіях (для усунення такого негативного ефекту, як тепловий розгін), які відрізняються тривалим терміном служби, низькою ємністю та втратами. Приклад виконання інноваційних газових розрядників компанії BOURNS, виконаних за технологією FLAT [7] та призначених для забезпечення захисту інтерфейсів малогабаритних, чутливих електронних пристроїв в порівнянні двох технологій, показано на рисунку 2.

Значення розрядних струмів тісно пов'язані з параметрами експлуатаційного ресурсу. На жаль, розрядники не є ідеальними та тим більше «вічними» приладами. З часом вони виходять з ладу — руйнуються електроди, погіршуються параметри інертного газу. Чим потужніший рівень перешкод, що блокуються ними, тим швидше розрядник стає непридатним, а процес відновлення їх високого опору досить сильно затягнутий у часі (з цією метою в потужні розрядники вводять елементи гасіння розряду). Сказане є причиною того, що ці елементи захисту використовуються, як правило, у комплексі з варисторами та TVS-діодами.

Однак якщо говорити загалом, то, окрім залежності їх характеристик від температури, що в цілому характерно для будь-яких пристроїв захисту, газові розрядники програють через великий розкид напруги спрацьовування і найголовніше для сучасної радіоелектронної апаратури (PEA) — за габаритами. Хоча щодо останнього нерідко виграють у класичних варисторів.

ВАРИСТОРИ

Під варистором зазвичай маються на увазі об'ємні металооксидні вари-

стори — MOV (від англ. Metal Oxide Varistor). Такі компоненти виконані на основі оксиду цинку (ZnO) з невеликим вмістом вісмуту, кобальту, магнію та інших елементів, що утворюють мікрогранули. У місцях зіткнення мікрогранул варистора виникає ефект провідності. Оскільки кількість гранул в обсязі варистора дуже велика, енергія, що абсорбується варистором, значно перевищує енергію, яка може пройти через одиничний р-п-перехід в діодах або поглинутися в газовому розряднику. У процесі проходження струму через варистор весь заряд рівномірно розподіляється у всьому об'ємі. Таким чином, кількість енергії, яку може абсорбувати варистор, безпосередньо залежить від його об'єму та може досягати більших величин.

Типова структура об'ємного металооксидного варистора та його вольт-амперна характеристика показані на рисунку 3, а тимчасова характеристика спрацьовування — на рисунку 4 [2]. Однак варистори мають дуже високу власну ємність, що не дозволяє використовувати їх для захисту сучасних високошвидкісних цифрових ліній, і відносно високі струми витоку, а також схильні до тимчасової деградації. Для захисту сучасних високошвидкісних цифрових ліній більш прийнятними є багатогранові варистори, але суть їхнього функціонування від використання тієї чи іншої технології не змінюється.

Одним із недоліків варисторів є його струм витоку, який в умовах постачання зазвичай перевищує 1 мкА. Але в процесі експлуатації, у міру того, як ефективність металооксидних варисторів погіршується через напругу зміщення і температуру, його струм витоку починає збільшуватися доти, поки не відбудеться тепловий некерований стан, створюючи небезпечну ситуацію. Ця деградація та

пов'язана з нею катастрофічна відмова можуть статися, якщо варистор піддається перехідним стрибкам або умовам тимчасової перенапруги (temporary over voltage, TOV), що перевищує його максимально допустимі характеристики. Термін служби варистора визначає час розгону, необхідний для досягнення умови теплової рівноваги. Порушення цієї характеристики призводить до катастрофічної відмови — короткого замикання, обриву ланцюга або деякого залишкового лінійного опору, що навантажує лінію, яку він захищає. В окремих випадках варистор може стати пожежонебезпечним, що вимагатиме додаткових компонентів у вигляді плавких або самовідновлюваних запобіжників. Використання гібридного рішення (комбінація шунтуючого та обмежуючого пристрою) дозволяє практично виключити струм витоку та продовжити термін служби, а крім того, пропонує розробникам ще низку переваг.

КОМБІНОВАНЕ РІШЕННЯ: ВАРИСТОР + ГАЗОВИЙ РОЗРЯДНИК

Компанія BOURNS знайшла оригінальне, інноваційне вирішення проблем, пов'язаних із використанням традиційних об'ємних варисторів. Інженерам вдалося поєднати в одному пристрої позитивні властивості газового розрядника та об'ємного варистора. Це пропрієтарне рішення було представлено у квітні 2019 р. у вигляді інноваційної лінійки гібридних компонентів захисту від перенапруги під торговою назвою GMOV [1]. У цьому продукті інженери компанії поєднали інноваційний та компактний газовий розрядник BOURNS, виготовлений за технологією

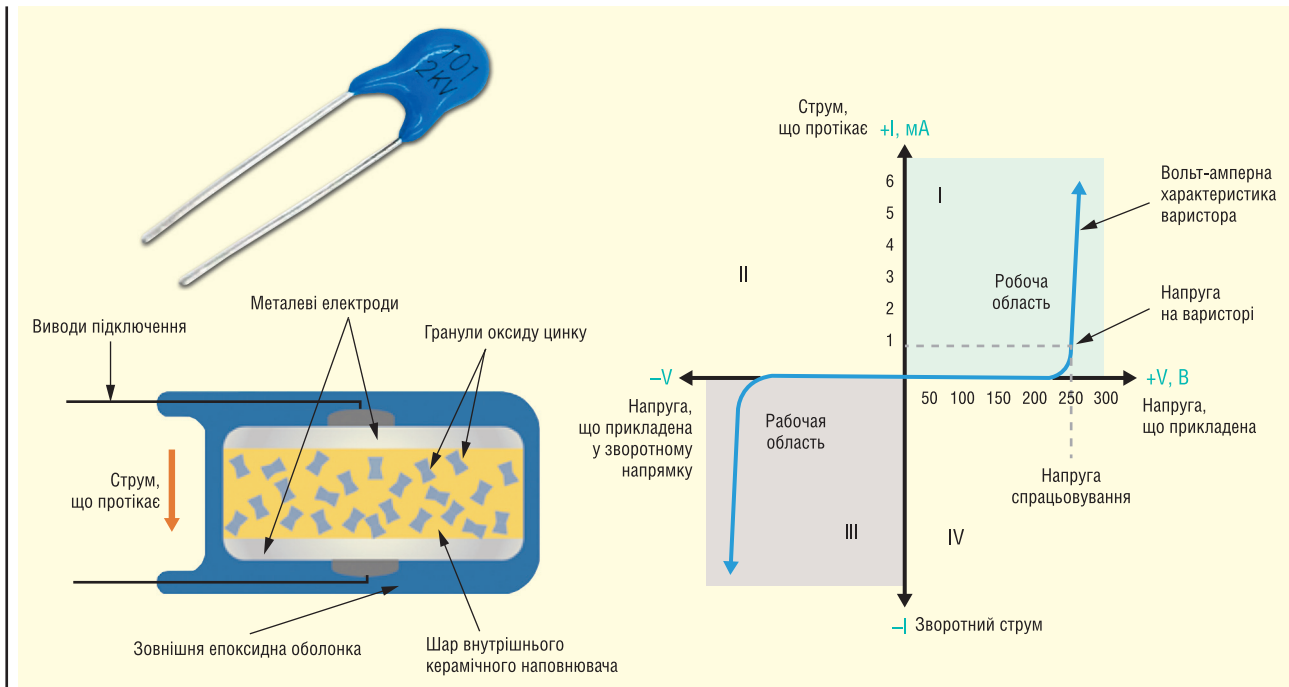


Рис. 3. Типовий об'ємний металооксидний варистор та його вольт-амперна характеристика

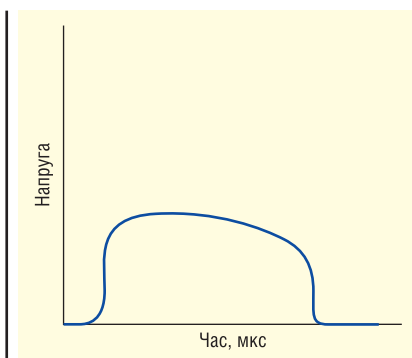


Рис. 4. Характеристика спрацьовування металооксидного варистору

FLAT, з об'ємним металооксидним варистором — MOV. В результаті вдалося отримати пристрій, чий габаритні розміри значно менші за розміри варистора, з порівнянними технічними характеристиками (рис. 5).

Гібридний пристрій для виключення струму витoku та продовження терміну служби варистора поєднує два дискретні компоненти — послідовно підключені газовий розрядник та варистор. Газовий розрядник використовується для ізоляції варистора від напруги в лінії, тому він спрацьовує лише при необхідності і захищає апаратуру від перехідних процесів і стрибків тимчасової перенапруги, які, як було зазначено, з часом призводять до його uszkodження. Варистор, у свою чергу, здатний погасити дугу газового розрядника при зниженні рівня імпульсу перенапруги до номінальних

значень напруги — можна сказати, що це той випадок, коли один плюс один виходить більше двох.

Наднизький струм витoku гібрида, що не перевищує 0.1 мкА, стає величезною перевагою поєднання двох технологій, що не тільки зменшує енергетичні втрати, оскільки в цій послідовній конфігурації варистор і розрядник мають ємнісний зв'язок, а розрядник відрізняється малою власною ємністю. У результаті загальна ємність такого гібридного варистора може бути лише на рівні 4 пФ. В результаті вдається отримати надійніше захисне рішення практично з нульовим енергоспоживанням (струмом витoku) в режимі очікування та гарантією цілісності високошвидкісних сигналів. Послідовна комбінація варистора та розрядника та-

кож стійка до перепадів напруги в мережі змінного струму.

При низьких частотах обмеження напруги гібридного компонента дорівнює сумі обмеження напруги окремих варисторів і розрядників. У разі високошвидкісної лінійної зміни напруги ситуація інша. При дії високошвидкісної лінійної зміни напруги, подібної до того, що відбувається під час удару блискавки або перехідного процесу, пов'язаного з комутацією індуктивного навантаження, більша частина лінійної зміни напруги спочатку з'являється на розряднику через його відносно низьку ємність порівняно з варистором. Коли розрядник іонізується, він заряджає ємність варистора, який починає обмежувати напругу та входить



Рис. 5. Гібридний компонент для захисту від перенапруги GMOV компанії BOURNS

до зони провідності. Коли варистор повністю перейде в провідний стан, об'єднане обмеження напруги пари буде приблизно дорівнювати напрузі обмеження варистора. Тим не менш, під час повної провідності опір варистора все ще достатній, щоб обмежити наступний струм для розрядника. Процес включення та утримання для GMOV представлений на рисунку 6. Як бачимо, це сума характеристик газового розрядника (рис. 1) та металооксидного варистора (рис. 4).

У розвиток технології комбінованих варисторів компанія BOURNS нещодавно запропонувала її новий варіант під назвою IsoMOV; на відміну від GMOV у новому компоненті використовується два варистори (рис. 7).

Використовуючи запатентовані методи автоматизованого проектування, інженери компанії BOURNS створили абсолютно нову конструкцію пристрою, яка забезпечує безліч переваг, змогли підвищити продуктивність комбінованих пристроїв захисту інтерфейсів, в першу чергу ліній електроживлення, і дійшли до рішення IsoMOV. Унікальна інтегрована структура пристрою дає дві основні переваги. По-перше, вони, як і їхні побратими GMOV, пропонують еквівалентну функціональність послідовного дискретного варистора та розрядника. По-друге, у конструкції компонентів IsoMOV використовується революційна технологія EdgMOV, розроблена компанією BOURNS та значно підвищує надійність MOV. Відмови варистора зазвичай характеризуються «перфораційним отвором» на краю металізованої області, як правило, викликаним підвищеною температурою всередині варистора на цьому краї під час перенапруги. Технологія BOURNS EdgMOV призначена для значного зменшення чи усунення цього режиму відмови [4].

Однак необхідно враховувати, що, на відміну від свого побратима GMOV, IsoMOV через використання двох варисторів має більш високу напругу спрацьовування та більш високу власну ємність, але не настільки, щоб виключити їх застосування для захисту високовольтних інтерфейсів. Порівняння трьох технологій представлено у таблиці 1.

Аналізуючи технічні характеристики гібридних пристроїв, у тому числі останні інноваційні компоненти IsoMOV компанії BOURNS, можна з упевненістю сказати, що переваги, що досягаються, — це більше, ніж сума властивостей компонентів, що входять до них, тобто

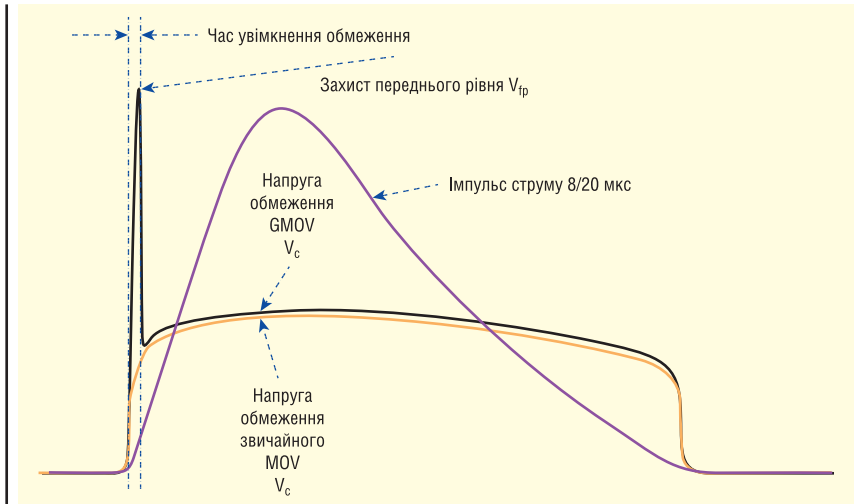


Рис. 6. Характеристика спрацьовування гібридних варисторів технології GMOV

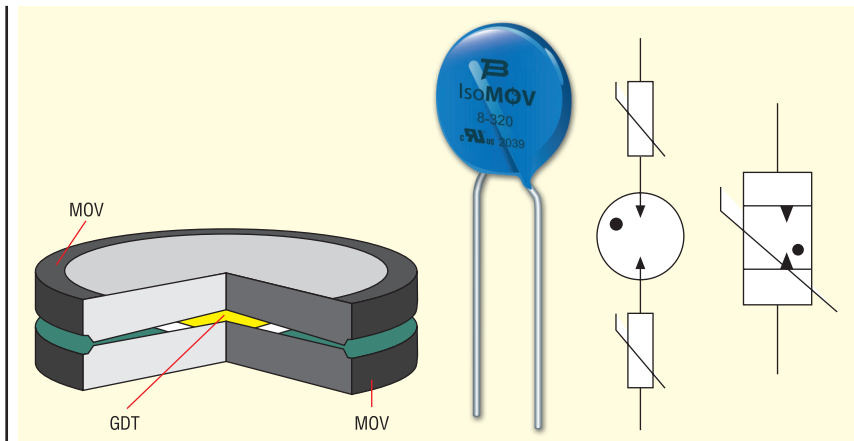


Рис. 7. Гібридний компонент для захисту від перенапруги IsoMOV компанії BOURNS: конструкція, зовнішній вигляд та варіанти умовного графічного позначення на електричних схемах

Таблиця 1. Порівняння компонентів захисту інтерфейсів

Тип	Технологія захисту	Номинальний струм	Піковий імпульсний струм (8/20 мкс), кА	Швидкість спрацьовування/обмеження напруги	Термін служби
Газовий розрядник	Шунтування	Дуже високий	100	Невелика	Тривалий
Варистор	Обмеження	Середній	80	Висока	Середній
Гібридний компонент GMOV/ IsoMOV	Гібридна	Середній	15	Середня	Тривалий

в цьому випадку один плюс один явно виходить більше, ніж два. При використанні IsoMOV компанії BOURNS розробники щонайменше отримують:

- пристрої захисту з номінальною робочою напругою змінного струму 175–555 В (с. к. з.) з номінальними імпульсними струмами 3, 5, 8 кА;
- широкий діапазон робочих температур: $-40 \dots +125 \text{ }^\circ\text{C}$;
- низький струм витоку;
- низьку ємність і малі втрати, що вносяться;
- підвищені рейтинги перенапруги;
- підвищені можливості захисту;
- стійкість до хвилі (IEC 61000-4-12);

- стабільні характеристики протягом усього терміну служби без деградації, що впливає на захисні властивості;
- підвищену надійність кінцевого обладнання, скорочення часу простою/витрат на його обслуговування;
- сертифікат UL.

Гібридні компоненти захисту IsoMOV компанії BOURNS мають високий прийнятний рівень якості AQL 0.65 Level II (за ISO 2859) [3] та характеристики продуктивності, які зазвичай зустрічаються у більших традиційних варисторах. Це дозволяє розробникам вибрати рішення на основі IsoMOV, фізично менше, ніж еквівалентний

Таблиця 2. Електричні характеристики IsoMOV — IsoM3, IsoM5 та IsoM8 (за температури навколишнього середовища $T_A = +25\text{ }^\circ\text{C}$)

Артикул	Робочі характеристики				Захисні характеристики					
	Максимальна робоча напруга (MCOV)		Максимальний струм витоку при MCOV ¹	Номинальна ємність	Номинальний струм, $I_{\text{ном}}^{2,3}$		Максимальний струм, I_{max}^3	«Лунка» хвиля, В (IEEE 62.41)	Максимальна напруга обмеження	
	V_{rms}	V_{dc}	A_{dc}	20 кГц	15 спрацьовувань	10 спрацьовувань	Одноразово	При струмі 200 А	V_c	I_c
	В	В	мкА	пФ	кА		кА		В	А
IsoM3-175	175	225	<10	30	3		6	±250	470	50
IsoM3-230	230	300	<10	30	3		6	±250	620	50
IsoM3-250	250	320	<10	30	3		6	±250	675	50
IsoM3-275	275	350	<10	30	3		6	±250	730	50
IsoM3-3	300	385	<10	30	3		6	±250	800	50
IsoM3-320	320	415	<10	30	3		6	±250	875	50
IsoM5-175	175	225	<10	40	5		10	±250	470	100
IsoM5-230	230	300	<10	40	5		10	±250	620	100
IsoM5-250	250	320	<10	40	5		10	±250	675	100
IsoM5-275	275	350	<10	40	5		10	±250	730	100
IsoM5-3	300	385	<10	40	5		10	±250	800	100
IsoM5-320	320	415	<10	40	5		10	±250	875	100
IsoM5-380	385	505	<10	40	5		10	±250	1000	100
IsoM5-420	420	560	<10	40	5		10	±250	1100	100
IsoM5-510	510	670	<10	40	5		10	±250	1300	100
IsoM5-555	555	745	<10	40	5		10	±250	1400	100
IsoM8-250	250	320	<10	50		8	15	±250	675	200
IsoM8-275	275	350	<10	50		8	15	±250	730	200
IsoM8-3	300	385	<10	50		8	15	±250	800	200
IsoM8-320	320	415	<10	50		8	15	±250	875	200
IsoM8-380	385	505	<10	50		8	15	±250	1000	200
IsoM8-420	420	560	<10	50		8	15	±250	1100	200
IsoM8-510	510	670	<10	50		8	15	±250	1300	200
IsoM8-555	555	745	<10	50		8	15	±250	1400	200

Примітки.

- Межі струму витоку після закінчення терміну служби можуть перевищувати 10 мкА, але функції захисту на рівні MCOV будуть збережені.
- Струм $I_{\text{ном}}$ вказаний для 3-хвилинних інтервалів часу між імпульсами з номінальним MCOV, застосовується протягом усього періоду спокою, і через 15 хв після останнього впливу викиду напруги.
- Профіль перенапруги 8/20 мкс згідно з IEC 61000-4-5.

йому традиційний варіант. При цьому розробники також можуть розширити можливості своєї схеми захисту від перенапруги, вибравши IsoMOV того ж розміру та лінійне розташування виводів, як у варистора, що раніше використовувався. Хоча пристрій захисту IsoMOV підходить для застосування або модернізації практично будь-якого рішення, виконаного на основі звичайного варистора, це особливо стосується обладнання, розташованого у віддалених місцях, що важко обслуговується, і призначеного для жорстких умов експлуатації, оскільки IsoMOV підходить і для відкритих негерметичних конструкцій [6].

Основні сфери застосування нових гібридних компонентів для захисту від перенапруги IsoMOV компанії BOURNS:

- критичні застосування з живленням від електромережі змінного струму;
- промислове обладнання;
- обладнання зв'язку лініями електропередачі;

- високошвидкісне обладнання інформаційних та комунікаційних технологій;
- побутова техніка;
- моторні приводи;
- інвертори змінного струму;
- світлодіодне освітлення та цифрові вивіски;
- пристрої захисту від перенапруги.

Загальні характеристики та малі втрати, що вносяться, роблять IsoMOV ще одним оптимальним рішенням для захисту промислових комунікацій, ліній електропередачі та високошвидкісного обладнання інформаційно-комунікаційних технологій. В даний час доступні три серії IsoMOV — IsoM3, IsoM5 та IsoM8 з номінальними значеннями імпульсного струму 3, 5 і 8 кА відповідно (табл. 2) [3].

ВИСНОВОК

Вибір правильного рішення для захисту може здатися простим, але з такою кількістю стандартів, які необхід-

но перевірити на відповідність, це може збивати з пантелику. Однак завдяки революційній конструкції пристрою захисту IsoMOV компанії BOURNS прилади з його застосуванням тепер можуть отримати новий рівень надійності захисту від перенапруги. Нова серія захисних пристроїв BOURNS IsoMOV, що забезпечує підвищені характеристики перенапруги та захист від напруги, а також стійкість до викличних сигналів, вирішує багато проблем, пов'язаних з відмовами варисторів, забезпечуючи захист приладів із тривалішим терміном служби. Тепер розробники мають гнучке і надійне рішення, спеціально розроблене для усунення найбільш поширених видів відмов, що виникають при використанні схем захисту на базі металооксидних варисторів. Причому, і це важливо, пристрій виконано в тих же габаритах і без будь-яких додаткових компонентів, що дозволяє не тільки проектувати нове, але й легко модернізувати обладнання, що випускається серійно, і обладнання на місцях експлуатації.

При виникненні проблем, пов'язаних із захистом інтерфейсів обладнання, завжди можна звернутися до компанії BOURNS за підтримкою вибору правильного варіанту захисту або технологій для використання. BOURNS має досвід, щоб допомогти задовольнити всі вимоги до захисту. Обширна технічна документація щодо використання гібридних варисторів IsoMOV доступна за посиланням [5]. Додаткова інформація щодо описаних у цій статті компонентів доступна на сайті компанії BOURNS [7] та у її авторизованих дилерів.

Література:

1. Рентюк В. Комбинированный варистор компании BOURNS — эффективное решение проблемы защиты оборудования // Компоненты и технологии. 2019. № 6.
2. Designing Effective Surge Protection for AC and DC Powered Systems. Application Note, 2021, BOURNS, Inc. www.bourns.com/docs/technical-documents/technical-library/isomov/application-notes/surge_protection_for_ac_and_dc_powered_systems_appnote.pdf?sfvrsn=693a4bf6_14
3. IsoMOV Series — Hybrid Protection Component. REV. A — 06/21. www.bourns.com/docs/product-datasheets/isomov.pdf?sfvrsn=623e4bf6_2
4. Hybrid protection component IsoMOV. New Surge Protective Device Solves Circuit Protection Design Issues. White Paper, 2021, BOURNS, Inc. www.bourns.com/docs/technical-documents/technical-library/isomov/publications/isomov_hybrid_protection_component_spd_circuit_protection.pdf?sfvrsn=73d4bf6_12
5. IsoMOV Hybrid Protector — Technical Library. www.bourns.com/resources/technical-library/library-documents/isomov
6. BOURNS Fully Integrated Hybrid IsoMOV Protector. 2021, BOURNS, Inc. www.bourns.com/docs/technical-documents/technical-library/isomov/publications/isomov_npb.pdf?sfvrsn=b33b4bf6_16
7. Solving High Performance Circuit Protection Needs in Space-constrained, High Density Electronics. White Paper. 2016, BOURNS, Inc. www.bourns.com/docs/technical-documents/technical-library/gas-discharge-tubes/publications/BOURNS_FLAT_Surge_Arrestor_White_Paper.pdf

CN

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

Інтернет речей зі штучним інтелектом (AIoT) на основі мікроконтролерів

Дмитро Огоньков

У цій статті ми продовжуємо знайомство з новим напрямом, який поступово входить у повсякденну інженерну практику. З першою статтею циклу можна ознайомитись у [1].

У системах Інтернету речей проводиться велика кількість обчислень, тому вони будуються на процесорах, які мають відповідну обчислювальну потужність. Однак і сучасні мікроконтролери, незважаючи на обмеженість ресурсів, можна використовувати для створення систем Інтернету речей зі штучним інтелектом.

Поєднання штучного інтелекту (ШІ) та Інтернету речей (IoT) відкрило нові сфери застосування мікроконтролерів (МК). Йдеться, зокрема, і про використання простих мікроконтролерів з апаратними модулями нейроприскорення (ШІ-прискорення), що полегшують інтелектуальне керування. Мікроконтролери з підтримкою штучного інтелекту є унікальною комбінацією обчислювальних можливостей сигнальних процесорів і здатності алгоритмів ШІ будувати припущення і виводити закономірності. В даний час вони використовуються в таких різноманітних програмах, як визначення ключових слів, об'єднання датчиків, аналіз вібрацій та розпізнавання голосу. Високопродуктивні мікроконтролери дозволяють реалізувати більш складні програми в галузі візуалізації — наприклад, розпізнавання облич, аналіз відбитків пальців та автономні роботи.

ТЕХНОЛОГІЇ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ

Розглянемо деякі технології, що дозволяють застосовувати алгоритми ШІ у системах Інтернету речей.

Машинне навчання. Алгоритми машинного навчання ґрунтуються на моделях, які за репрезентативними даними автоматично ідентифікують шаблони

без втручання людини. Виробники систем машинного навчання надають алгоритми, API (Application Programming Interface) та інструменти, необхідні для навчання моделей. Вони завантажуються у вбудовувані системи для первинного навчання, які потім можуть самостійно керувати результатами та прогнозами згідно з новими вхідними даними. Приклади програм — концентратори датчиків, модулі визначення ключових слів, системи предиктивного обслуговування та класифікації.

Глибоке навчання. Глибоке навчання — різновид машинного навчання, під час якого використовується безліч рівнів нейронної мережі для отримання все більш високорівневих функцій та детальної інформації від складних та різноманітних вхідних даних великого обсягу. Навчання системи відбувається ітеративно, результати покращуються з кожним кроком. Приклади програм, які використовують глибоке навчання, — обробка зображень, чат-боти для обслуговування клієнтів та системи розпізнавання облич.

Обробка природної мови (ОПМ). ОПМ (Natural language processing, NLP) — це галузь штучного інтелекту, яка, використовуючи природну мову, займається взаємодією між системами та людьми. ОПМ допомагає системам розуміти та інтерпретувати людську мову (текст чи мову) та приймати рішення на її основі. Прикладами програм є системи розпізнавання мови, машинний переклад і предиктивний набір тексту.

Комп'ютерний зір. Машинний або комп'ютерний зір — область штучного інтелекту, яка навчає машини збирати, інтерпретувати та розуміти дані з зображень та робити дії на основі отриманої інформації. Машини здійсню-

ють збір цифрових зображень або відео з камер і далі за моделями глибокого навчання з використанням інструментів аналізу зображень здійснюють точну ідентифікацію та класифікацію об'єктів, а також виконують дії на основі цих даних. Як приклад можна навести системи виявлення несправностей на виробничій складальній лінії, обладнання для медичної діагностики, системи розпізнавання осіб у роздрібних магазинах та системи тестування безпілотних автомобілів.

AIOT ТА МІКРОКОНТРОЛЕРИ

У минулому технологія ШІ могла бути реалізована тільки на мікропроцесорах та графічних процесорах з потужними обчислювальними ядрами, великими ресурсами пам'яті та можливістю підключення до хмари для аналізу. В останні роки спостерігається бурхливий розвиток систем ШІ, і мікроконтролери набули поширення у вбудовуваних системах штучного інтелекту речей (Artificial intelligence of things, AIoT). Ця тенденція обумовлена прагненням скоротити затримки обробки та вартість систем. Блоки обчислень розміщуються ближче до вузлів збору даних. Таким чином, вузли мережі Інтернету речей, оснащені МК з ШІ, приймають рішення в режимі реального часу, тобто швидше реагують на події та висувують нижчі вимоги до пропускної спроможності, потужності, тимчасової затримки. При цьому скорочуються витрати та підвищується безпека. Сучасні МК мають достатні обчислювальні ресурси для забезпечення AIoT. До того ж виникли тонкі нейронні мережі, що доповнюють МК з обмеженими ресурсами.

Нейронна мережа це набір вузлів, зібраних у шари. Вхідними даними для вузлів наступного шару є вихідні дані попереднього шару. За ними (вихідними даними) генеруються вихідні дані у вигляді суми вхідних даних з урахуванням вагових коефіцієнтів та коефіцієнтів змі-

щення. Далі результат передається на наступний рівень по всіх його вихідних сполуках. Під час навчання дані подаються на перший або вхідний рівень. Далі вони переходять вище шарами, і на виході останнього шару з'являється прогноз моделі, який порівнюється з відомими очікуваними значеннями для оцінки правдивості моделі. Процес навчання включає уточнення або коригування вагових коефіцієнтів та коефіцієнтів зміщення на всіх рівнях.

Ряд ітерацій виконується за допомогою зворотного розповсюдження до тих пір, поки вихідні дані мережі не будуть відповідати очікуваним значенням. Іншими словами, мережа ітеративно «вчиться» на наборі вхідних даних та поступово підвищує точність їх прогнозування. Навчання нейронної мережі потребує дуже високої обчислювальної продуктивності та пам'яті. Як правило, воно реалізується у хмарі.

Попередньо навчена модель записується в МК та використовується для прогнозування вихідних значень на основі нових вхідних даних (див. рис. 1). Такий процес набагато менш ресурсоємний, ніж навчання моделі, тому підходить для МК. Вагові коефіцієнти попередньо навченої моделі незмінні і можуть бути поміщені у флеш-пам'ять. Відповідно, потрібно менший обсяг пам'яті SRAM, тобто завдання може бути виконане на МК з більш обмеженими ресурсами.

РЕАЛІЗАЦІЯ НА МІКРОКОНТРОЛЕРАХ

Застосування рамкових моделей нейронних мереж, наприклад Caffe або TensorflowLite, є найбільш поширеним підходом. Навчання моделі нейронної мережі проводиться у хмарі під контролем спеціалістів. Оптимізація моделі нейронної мережі та її інтеграція в МК виконуються за допомогою інструментів, що надаються постачальником ШІ та виробником МК. Формування логічних висновків відбувається на МК з використанням попередньо навченої моделі нейронної мережі.

Перший крок у цьому процесі відбувається повністю в автономному режимі і включає збирання великого обсягу даних з кінцевого пристрою або програми. Отримана інформація призначається для навчання моделі нейронної мережі, чия топологія визначається розробником алгоритмів ШІ, щоб найкраще використовувати наявні дані та забезпечити вихідний сигнал, який вимагає програма. Навчання

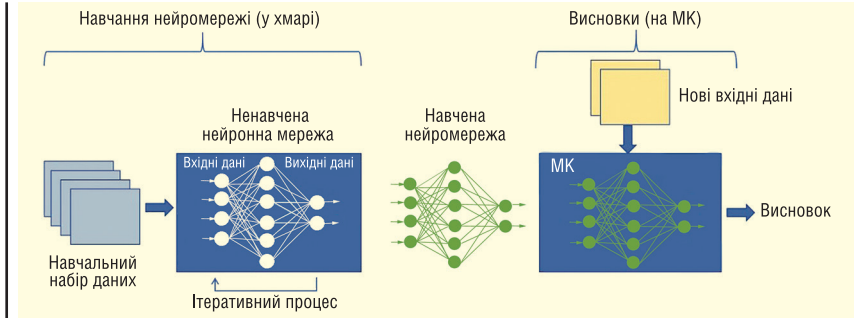


Рис. 1. Навчання та принцип роботи нейронної мережі на МК

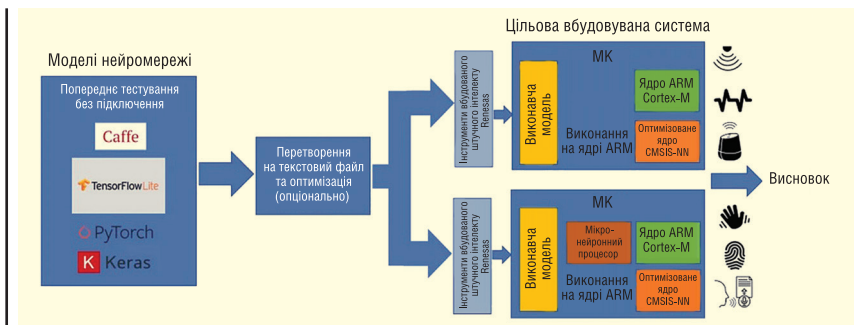


Рис. 2. Реалізація ШІ на мікроконтролерах з використанням попередньо навчених автономних моделей

здійснюється ітеративною передачею наборів даних через модель для скорочення кількості помилок на виході.

На другому етапі попередньо навчені та оптимізовані для певних функцій моделі перетворюються на формат, що підходить для мікроконтролерів (див. рис. 2). За допомогою інструмента Alconverter моделі представляються у вигляді простих бібліотечних файлів. Такий файл може бути переведений у більш компактний формат для скорочення розміру та оптимізації для МК. Далі файл перетворюється на код С і передається на цільовий МК у вигляді виконуваного файлу.

Мікроконтролер із записаною в нього попередньо навченою моделлю ШІ встановлюється в кінцевий пристрій. Дані з входу МК передаються в модель, і вона генерує логічні висновки. Коли надходять дані нового класу, не врахованого раніше, модель нейронної мережі відправляється назад у хмару для повторного навчання, потім у оновленій версії записується в МК. Ця процедура може бути проведена за допомогою функції оновлення прошивки по ефіру (OTA).

Розглянемо два способи створення систем ШІ на основі МК. Для певності припустимо, що в цільовому МК використовується ядро ArmCortex-M.

Перший метод припускає, що перетворена модель нейронної мережі запускається на ядрі процесора Cortex-M. Для прискорення використовують бібліотеки CMSIS-NN. Це проста

конфігурація, яка може бути виконана без будь-якого додаткового апаратного прискорення та підходить для більш простих програм штучного інтелекту, таких як визначення ключових слів, аналіз вібрації та концентрованих датчиків.

Більш складний і високопродуктивний варіант передбачає включення в мікроконтролер прискорювача нейронної мережі або модуля мікронейронного процесора (u-NPU). Мікронейронний процесор дозволяє прискорити процес машинного навчання кінцевих пристроїв Інтернету речей з обмеженими ресурсами. Також вони можуть підтримувати функцію стиснення для зменшення живих потужності та розміру моделі. Не всі мережі підтримують мікронейронні процесори, для прискорення слід використовувати бібліотеки CMSIS-NN.

У міру того, як підвищується продуктивність МК, наближаючись до рівнів, що очікуються від мікропроцесорів, їх застосування в системах Інтернету речей з ШІ буде розширюватися. У майбутньому з'являться полегшені алгоритми навчання та формування логічних висновків, які можна запускати безпосередньо на МК.

Література:

1. Огоньков Д. Адаптований переклад українською та технічне редагування: Боярінова Ю. Машинне навчання — сьогодення технологія майбутнього // CHIP NEWS. 2022. № 4–5.

Ефективне обслуговування та діагностика військових радіоелектронних засобів

Рекомендації щодо застосування

До військових радіоелектронних засобів (РЕЗ) відносять широкую номенклатуру обладнання: радіостанції ДВЧ/УВЧ-діапазону, зв'язкову апаратуру діапазону НВЧ та різні радіотехнічні засоби — радіолокатори, супутникове та навігаційне обладнання. Всі вони можуть монтуватись стаціонарно, а також на наземних транспортних засобах, морських, річкових та повітряних суднах.

У всіх цих застосуваннях погіршення характеристик і навіть відмови систем можна простежувати до рівня несправних компонентів: приймачів-передавачів, кабелів, хвилеводів, антен, фільтрів або підсилювачів. Забезпечення їх оптимальних характеристик великою мірою залежить від можливості тестування систем та компонентів у польових умовах.

Раніше всі необхідні вимірювання виконували настільні прилади в стаціонарній або пересувній майстерні, або лабораторії. Сьогодні ручний аналізатор Keysight FieldFox дозволяє технікам та інженерам-експлуатаційникам виконувати вимірювання стендового рівня в польових умовах, що забезпечує дві важливі переваги. Перше — це впевненість у отриманих результатах, які можна порівняти за якістю з вимірами, виконаними висококласними настільними приладами. Друге — це зниження експлуатаційних витрат, оскільки цей відповідний військовим стандартам міцності та захищеності аналізатор вагою всього 3 кг поєднує можливості десяти вимірювальних приладів та має вбудоване самокалібрування.

Можливості аналізатора будуть показані на двох прикладах: тестуванні та атестації радіолокаційних систем та тестуванні радіостанцій ДВЧ/УВЧ-діапазону.

КОРОТКИЙ ОПИС ПРОБЛЕМ

Виконувати військові операції неможливо без використання численних

радіотехнічних засобів, що працюють у діапазоні від ВЧ до НВЧ. До них відносяться, наприклад, РЛС, що використовуються для навігації, виявлення та відстеження цілей. Вони працюють у діапазонах L (1.4–1.7 ГГц), S (1.9–2.7 ГГц), X (7.25–8.4 ГГц) та вище.

Важливим елементом системи зв'язку є радіостанції ДВЧ/УВЧ-діапазону, що з'єднують штаби з передовими підрозділами. Такі радіостанції мають дальність 16–50 км і можуть працювати на частотах до 1 ГГц. На надійність зв'язку у діапазоні ДВЧ/УВЧ великий вплив мають характеристики антен.

Іншим прикладом є система із наземних станцій супутникового зв'язку та радіорелейних ліній. Наземні станції зазвичай розташовуються неподалік командного пункту і працюють з дуже високою вихідною потужністю. Радіорелейні лінії відрізняються високою надійністю та, як правило, працюють на частотах нижче 26 ГГц.

Більшість цих рішень розраховано на задоволення спеціальних вимог, а унікальні системи вимагають унікальних методів тестування. Але проблеми їх технічного обслуговування та діагностики часто дуже схожі. Наприклад, у кожній із цих систем потрібно тестувати кабелі, антени, антенні розгалужувачі та комутатори, резонаторні фільтри, малощумливі підсилювачі, атенюатори та підсилювачі потужності. Для цього можуть знадобитися численні ВЧ-виміри:

- вимірювання втрат у кабелі та відстані до неоднорідності (DTF);
- векторний аналіз ланцюгів для тестування компонентів;
- аналіз спектру для оцінки якості сигналу;
- вимірювання потужності;
- аналіз спектру для виявлення небажаних сигналів.

Вирішення цих завдань ускладнюється в екстремальних умовах. До факторів електромагнітної обстановки відноситься присутність електромагнітних

завад, у тому числі потужних ВЧ-сигналів. До кліматичних факторів відносяться температура, вологість, запиленість та атмосферні опади, а також потенційно вибухонебезпечні середовища (наприклад, що містять пари палива). Однією з основних проблем є забезпечення точності та відтворюваності вимірювань за екстремальних температур.

ОПИС РІШЕННЯ

Аналізатори Keysight FieldFox розраховані на роботу у найжорсткіших умовах. Для прискорення технічного обслуговування та діагностики досліджуваного обладнання кожен режим роботи має інтерфейс користувача, що відповідає меті конкретних вимірювань, що економить час у польових умовах. Аналізатори розраховані на виконання будь-якого завдання — від повсякденних вимірів до поглибленої діагностики під час ремонту.

Доступні конфігурації FieldFox можуть об'єднувати функції до десяти приладів в одному портативному корпусі: кабельного та антенного аналізатора; повнофункціонального векторного двопортового аналізатора ланцюгів (VNA) з функціями аналізу в часовій області; аналізатора спектра зі слідуючим генератором; вимірювача потужності; аналізатора завад; векторного вольтметра; частотоміра; незалежного генератора сигналів; регульованого джерела постійного струму та амперметра; вбудованого приймача GPS. Завдяки цьому ви отримуєте порівняно недороге рішення, і вам доведеться вивчити, відкалібрувати та носити із собою лише один прилад (рис. 1).

Міцний і надійний FieldFox розрахований на роботу в несприятливих польових умовах, що сподобається найвибагливішим користувачам. Він відповідає дуже жорстким технічним вимогам:

- MIL-PRF-28800F клас 2: можливість роботи у несприятливих умовах,



Рис. 1. FieldFox зручний у використанні та перенесенні, а його змінна батарея забезпечує роботу протягом чотирьох годин

включаючи застосування на відкритому повітрі у некерованих кліматичних умовах;

- MIL-STD-801G, метод випробувань 511.5, процедура 1: робота у вибухонебезпечній атмосфері;
- IEC/EN 60529: ступінь захисту від потрапляння твердих сторонніх предметів та води IP53 (пило- та вологозахисність).

Спеціальні можливості FieldFox забезпечують точність та відтворюваність вимірювань у польових умовах. Наприклад, функції CalReady та QuickCal покращують вимірювання кабелів, антен та електричних кіл.

CalReady — це повне двопортове калібрування, яке виконується в заводських умовах під час виготовлення кожного приладу. Завдяки ньому ви можете просто увімкнути прилад, підключити до нього пристрій, що тестується (ТП), і одразу ж виконати досить точні двопортові векторні вимірювання. CalReady забезпечує високу точність при безпосередньому підключенні ТП до вимірювальних портів.

QuickCal дозволяє вносити еталонну площину в кінець кабелів або адаптерів, усуваючи тим самим їх вплив на вимірювання без зовнішніх калібрувальних комплектів. Це дозволяє виконувати точні вимірювання S-параметрів, використовуючи вбудовані можливості QuickCal для усунення систематичних помилок, пов'язаних з кабелями та адаптерами, підключеними до вимірювального порту. Оскільки QuickCal працює з будь-якими типами рознімачів, то вам не доведеться брати з собою різні адаптери для польових вимірювань.

Функція InstAlign використовується для аналізу спектра та вимірювання

потужності. Вона автоматично коригує амплітуду за зміни кліматичних умов. Точність амплітуди ± 0.5 дБ гарантується без прогріву після включення живлення аналізатора.

ТЕСТУВАННЯ КАБЕЛІВ ТА АНТЕН

Для тестування та перевірки параметрів кабелів та антен, що є найважливішими елементами будь-якої радіосистеми, використовується безліч вимірювальних функцій. На базовому рівні основним завданням є перевірка цілісності лінії передачі сигналу, включаючи антени. Будь-яке з'єднання, дефект або антена відбивають деяку частину сигналу назад у джерело. Параметри відбиття визначаються відношенням амплітуд до різниці фаз між падаючою і відбитою хвилею. Для оцінки відбиття застосовується один із двох показників: зворотні втрати або коефіцієнт стоячої хвилі (КСХ). Обидві ці величини показують рівень відбиття в деякій точці лінії передачі: в кабелі, рознімачі або пристрої (наприклад, в антені). По суті ці показники пов'язані між собою зворотною залежністю: чим більше зворотні втрати, тим краще; що менше КСХ, то краще (в ідеалі, близькі до 1.0).

Спрощення вимірів

Функції CalReady та QuickCal спрощують вимірювання кабелів та антен. CalReady ідеально підходить для вимі-

рювання відбиття у кабелях та антенах, підключених прямо до аналізатора FieldFox. Крім того, вона корисна для вимірювання пропускання та відбиття у коаксіальних кабелях, підключених між вимірювальними портами 1 та 2.

Для використання функції QuickCal з однопортовими ТП потрібен лише один крок: виконується свіпування розімкнутого кабелю або адаптера; для покращення неузгодженості джерела може використовуватися додаткове навантаження. Для вимірювання двопортових пристроїв знадобиться два кроки: вимірювання розімкнених випробувальних кабелів; і свіпування при двох підключених кінцях кабелю. Після завершення будь-якого процесу еталонна площина зсувається до кінця кабелю або адаптера, після чого можна вимірювати реальний відгук пристрою, що тестується.

Визначення відстані до неоднорідності

Розрахунок відстані до неоднорідності спирається на вимір зворотних втрат. Для цього FieldFox пропонує два режими роботи: режим смугового фільтра та режим ФНЧ.

Режим смугового фільтра корисний для вимірювання систем, що мають обмежену смугу. Він вимагає введення п'яти параметрів: початкової та кінцевої відстані, початкової та кінцевої частоти та типу кабелю. Крім того, прилад використовує спеціальний алгоритм для

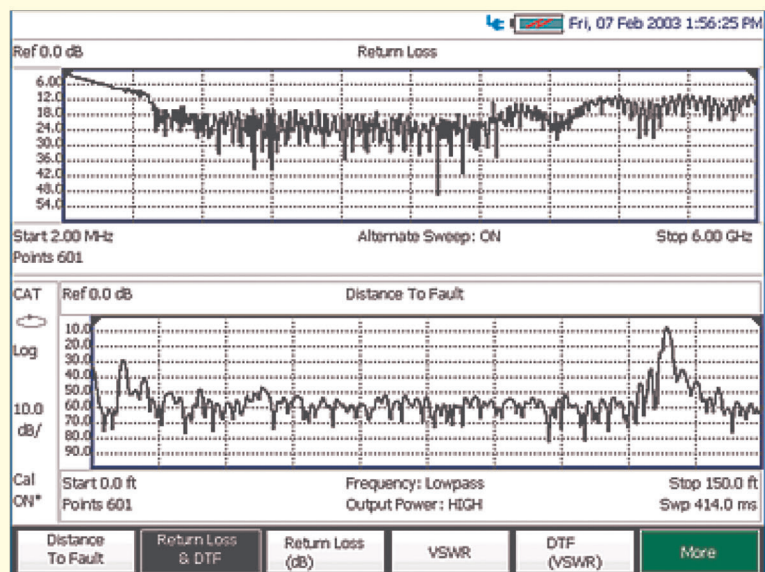


Рис. 2. Спектральний вигляд зворотних втрат за допомогою ШПФ (верхній рисунок) дозволяє знайти відстань до місця ушкодження (нижній рисунок), яка являє собою ті ж зворотні втрати, але представлені в часовій області

придушення хибних піків, які можуть з'являтися під час використання цього методу.

Режим ФНЧ є корисним для вимірювання широкосмугових систем або пристроїв (наприклад, кабелів). У цьому режимі користувач вводить три параметри: початкова та кінцева відстань та тип кабелю.

У будь-якому режимі FieldFox відображає результати як залежність амплітуди в децибелах від відстані в метрах, причому пікові значення вказують на пошкодження лінії передачі (рис. 2). Фізична роздільна здатність залежить від обраної смуги огляду: чим ширша смуга огляду, тим вища фізична роздільна здатність при вимірюванні відстані.

Вимірювання втрат у кабелях

Для вимірювання втрат широко використовуються два методи: однопортовий вимір втрат в кабелі і двопортовий вимір втрат. Однопортовий метод зазвичай застосовується для вимірювання довгих коаксіальних кабелів. Для досягнення точних результатів цей метод використовує функцію CalReady і забезпечує досить точне вимірювання. Якщо кабель, що тестується, підключається до приладу через кабель-перехідник, то за допомогою QuickCal можна перенести еталонну площину на кінець цього кабелю-перехідника.

Двопортові вимірювання внесених втрат використовуються, коли легкодоступні обидва кінці кабелю або обидва порти пристрою. Цей метод вимагає двопортового механічного калібрування, яке, як правило, робить його більш точним порівняно з однопортовим методом.

На рисунку 3 порівнюються однопортовий та двопортовий методи. Але, незважаючи на очевидний програв в точності, однопортовий метод використовується набагато частіше, оскільки в реальній комунікаційній системі зазвичай не вдається отримати доступ до обох кінців кабелю.

ВЕКТОРНИЙ АНАЛІЗ ЛАНЦЮГІВ

У аналізаторі FieldFox використовується архітектура із чотирма приймачами, яка показана на рисунку 4. Вона дозволяє виконувати широкий діапазон вимірювань та підтримує передові методи калібрування, які забезпечують чудові результати. Виконуються вимірювання S-параметрів (амплітуди та фази); групової затримки, електромагнітної інерції, діаграми Сміта, по-

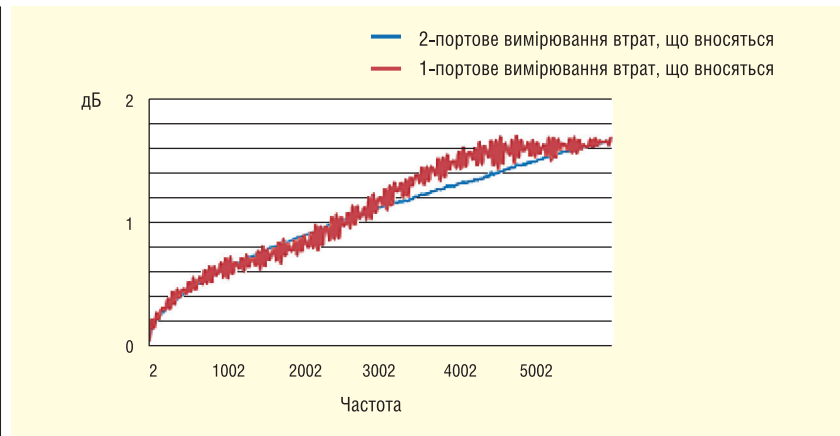


Рис. 3. Хоча двопортовий метод (синя лінія) значно точніший, однопортовий метод використовується частіше

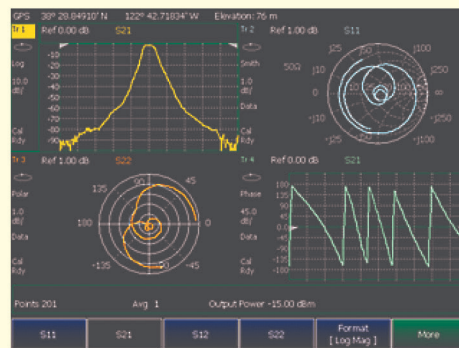
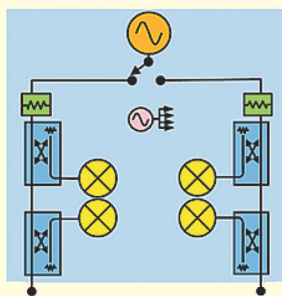


Рис. 4. Реалізація архітектури з чотирма приймачами в портативному приладі дозволяє виконувати розширений векторний аналіз ланцюгів у польових умовах

лярної діаграми та імпедансу, у тому числі з винесенням тестового порту.

Крім того, FieldFox підтримує різні методи калібрування: CalReady і QuickCal, однопортове, двопортове, наскрізне, швидке калібрування методом короткозамкнутого навантаження зі зміщенням (QSOLT), хвилеводне, «перемичка-відбиття-лінія» (TRL), відгук та розширений відгук, а також користувальницький.

Найпростіший підхід полягає у застосуванні методів CalReady, QuickCal з подальшою нормалізацією. При цьому жодних калібрувальних комплектів не потрібно. Це зменшує склад комплексу польового обладнання та скорочує час вимірювання.

Якщо потрібна більш висока точність, то FieldFox підтримує розширені методи калібрування, що вимагають застосування калібрувального комплекту: однопортове калібрування з використанням калібрувальних заходів XX, K3, Навантаження (OSL), повне двопортове калібрування та калібрування SOLR, які вимагають застосування заходів XX, K3, Навантаження та Перемичка (SOLT). Це вносить додаткові труднощі: високо-

якісні калібрувальні комплекти містять коаксіальні та хвилеводні вимірювальні заходи, які потребують періодичного чищення та повинні бути захищені від пошкоджень.

АНАЛІЗ СИГНАЛІВ

Як зазначалося вище, FieldFox можна налаштувати так, щоб він містив аналізатор спектру, вимірювач потужності, аналізатор завад (з відображенням спектрограми) та вимірювач імпульсів. Опції включають повнодіапазонний передпідсилювач, стробовані виміри спектру, повнодіапазонне джерело сигналів і повнодіапазонний слідкуючий генератор. Згадана раніше функція InstAlign забезпечує номінальну точність спектрального аналізу та вимірювань потужності відразу після включення живлення.

Аналіз спектру

Типові завдання включають виявлення слабких сигналів у присутності потужних або пошук сигналів поблизу від потужної носійної. Режим аналіза-

тора спектру відрізняється дуже широким динамічним діапазоном, вільним від паразитних складових — понад 105 дБ, а також вкрай низьким рівнем фазового шуму, що становить -111 дБн/Гц при відстроюванні 10 кГц.

Для вимірювання напруженості електричного та магнітного полів потрібно враховувати посилення антени та втрати в кабелі. Коефіцієнти посилення антени та втрати в кабелі можна завантажити у FieldFox за допомогою органів керування на передній панелі або через Keysight Data Link.

Під час аналізу завод спектрограма та водоспадна діаграма допомагають виявляти короточасні сигнали в коротких та довгих інтервалах часу. Сигнали можна записувати у вбудовану пам'ять або зовнішні флеш-накопичувачі, а потім відтворювати для обробки та аналізу в режимі офлайн.

Вимірювання потужності

Вбудований вимірювач потужності досить гнучкий для виконання вимірювань потужності, що задаються користувачем, в каналі з точністю ± 0.5 дБ. У широкій смузі каналу FieldFox може імітувати вимірювання середньої потужності.

Вимірювання імпульсів

Ця опціональна функція працює з USB-датчиками пікової потужності, що забезпечують ефективні вимірювання параметрів імпульсних ВЧ-сигналів. Вимірюються пікова потужність, відношення пікової потужності до середньої (PAR) та такі параметри імпульсів, як час наростання та спаду, а також частота слідування.

ПРИКЛАДИ ВИМІРІВ

Кожна одиниця польового комплексу обладнання має використовуватися з максимальною ефективністю. І тут FieldFox не має собі рівних. Короткий аналіз двох прикладів — вимірювань параметрів РЛС та радіостанцій ДВЧ/УВЧ-діапазону — допоможе продемонструвати цінність аналізатора FieldFox у відповідальних додатках.

Тестування та атестація РЛС

У РЛС є ряд компонентів, що впливають на загальні характеристики системи: антени, коаксіальні кабелі, хвилеводи, антенні розгалужувачі та комутатори, підсилювачі потужності, малошумливі підсилювачі (МШП), генератори імпульсів та стабілізовані гетеродини (STALO).

Наведемо список важливих вимірювань при тестуванні та випробуваннях радіолокаційних систем:

- тест кабелів та антен;
- імпульсні виміри;
- вимірювання фазованих антенних решіток:
 - вимірювання амплітуди та фази S21 за допомогою VNA;
 - вимірювання A/B за допомогою векторного вольтметра (VVM);
- налаштування каналу в системі генерації тестової мети:
 - вимірювання амплітуди та фази за допомогою VNA або VVM;
- атестація антенного комутатора;
- налаштування фази сигналу STALO за допомогою VNA або VVM;
- налаштування фази антенного порту (сигма та дельта):
 - вимірювання A/B за допомогою векторного вольтметра (VVM);
- вимірювання атенюатора:
 - вимірювання S21 або S11 за допомогою VNA;
- тестування хвилеводів.

Під час тестування та атестаційних випробувань РЛС особливо важливими є імпульсні вимірювання. Основним показником є профіль імпульсів, для оцінки якого потрібно перевірити точність синхронізації та підтримки рівня потужності імпульсних послідовностей. До вимірюваних величин відносять пікову та середню потужність, відношення пікової потужності до середньої, ширину імпульсу, час наростання та спаду, час-

тоту слідування та період повторення імпульсів.

В якості альтернативи ці вимірювання можна виконувати в режимі аналізатора спектру або за допомогою опції стробування за часом. Це дозволяє виконувати одночасний аналіз у часовій та частотній областях, а ширину строба можна задати такою, щоб аналізувати один імпульс. Крім традиційних базових функцій запуску, розширені можливості включають запуск пакету, затримку запуску та запуск з випередженням, що дозволяє надійно захоплювати фронти конкретних імпульсів.

Тестування та атестація радіосистем ДВЧ/УВЧ-діапазону

Переносні або автомобільні радіостанції ДВЧ/УВЧ-діапазону забезпечують місцевий зв'язок на останній милі. Їм властиві переривання радіоканалу через завади або обрив фідерних ліній, причому на надійність зв'язку сильно впливають характеристики антени.

Підтримка високої якості каналу ВЧ є критично важливим завданням, яке включає перевірку обладнання та проходження радіосигналів. Спрощена блок-схема показана на рисунку 5. У радіостанції вимірюються характеристики фільтрів та підсилювачів, коаксіального кабелю, антени, а також потужність передачі. Основні проблеми проходження радіосигналу пов'язані з його якістю та заводами.

Тестування та атестація таких систем у польових умовах породжує кілька



Рис. 5. У зв'язку з безперервним ускладненням пасивних та активних компонентів сучасні радіосистеми вимагають все більшої кількості складніших польових вимірювань

метрологічних проблем. Наприклад, активні компоненти, такі як підсилювачі потужності та підсилювачі на антенних щоглах, можуть генерувати інтермодуляційні сигнали між каналами або системами.

Інша проблема пов'язана з присутністю шумів та завад, які впливають на мережні з'єднання, пропускну здатність системи, якість мови та швидкість передачі даних. До потенційних проблем відносяться завади поєданого та сусіднього каналів, інтермодуляційні завади, завади в низхідному та висхідному каналах, зовнішні завади.

В антенно-фідерних системах надмірні зворотні втрати в тракці передачі знижують відношення сигналу до шуму (С/Ш) у висхідному каналі, а надмірні зворотні втрати та тракт прийому знижують С/Ш в низхідному каналі. Крім того, високі рівні потужності у фідерах та антенах можуть породжувати пасивну інтермодуляцію.

Три функції аналізатора FieldFox спрощують та покращують процес вимірювання: це готові набори налаштувань для певних стандартних ВЧ-сигналів, функція налаштування та прослуховування, а також функція запису/відтворення.

У меню готових наборів налаштувань FieldFox можна вибирати частоту та інші параметри каналу, які відповідають деяким конкретним стандартам; параметри інших стандартів можна імпортувати у вигляді файлів текстового формату CSV. Прилад встановлює потрібну центральну частоту і вибирає смугу огляду, що включає частоти висхідного та низхідного каналів. Користувач може керувати вимірами, вибираючи канал, а не частоту. Вбудовані вимірювальні функції включають вимірювання потужності каналу, займаної смуги частот і відносного рівня потужності в сусідньому каналі (ACPR).

Функція налаштування та прослуховування, яку можна використовувати для ідентифікації перешкод, охоплює три діапазони: АМ із смугою 35 кГц, вузький ЧС із смугою 12 кГц та широкий ЧС із смугою 150 кГц. Демодульовані сигнали можна прослуховувати через вбудований гучномовець або навушники (штекер 3.5 мм). Оскільки тюнер відокремлений від дисплея аналізатора спектра, користувач може прослуховувати одну частоту, а відобразити інший діапазон частот.

Режим запису/відтворення є особливо корисним для виявлення короткочасних сигналів. Спектр або сигнали можна записати і потім відтворити для детального аналізу — прямо на місці

або пізніше, у більш спокійній обстановці. Дані можна зберігати у вбудованій пам'яті або на зовнішньому пристрої, такому як USB-накопичувач або картка SD.

ВИСНОВОК

Більшість військових РЕЗ розраховано на задоволення спеціальних вимог, а унікальні системи вимагають унікальних методів тестування. Але проблемами їх технічного обслуговування та діагностики часто дуже схожі. Надійні аналізатори FieldFox компанії Keysight здатні вирішувати будь-які завдання від щоденного технічного обслуговування до поглибленої діагностики. Їх точність можна порівняти з точністю настільних приладів, що дає велику впевненість у достовірності польових вимірів.

Завдяки широкому набору вбудованих функцій FieldFox підтримує загальну діагностику радіостанцій, РЛС, систем РЕБ та супутникових систем. Ось тільки деякі види тестів:

- рівень сигналу;
- вимірювання потужності;
- оцінка втрат у сигнальному тракці;
- аналіз перешкод;
- свіпання антени, хвилеводу та кабелю;
- атестація фільтра/суматора;
- атестація та налаштування передавача/приймача.

Наше головне завдання — допомогти вам ліквідувати всі «вузькі місця». З ускладненням технологій забезпечувати експлуатаційну готовність радіосистем стає все складніше, але з продукцією Keysight ви можете бути впевнені в успіху. Завдяки нашому багатому досвіду в галузі метрології та випробувань у вас з'явиться більше часу та можливостей для вирішення серйозних проблем, виконання поточних завдань та переходу до перспективних рішень. Допмагаючи підтримувати експлуатаційну готовність систем, компанія Keysight дозволяє вам зосередитись на головному.

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

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

CN

РОЗШИРЕННЯ ЛІНІЙКИ ВИСОКОШВИДКІСНИХ РІШЕНЬ 800G ДЛЯ ТЕСТУВАННЯ ЦИФРОВИХ СИСТЕМ

Компанія **Keysight Technologies** розширила лінійку високошвидкісних цифрових рішень 800G для тестування оптичних трансиверів з метою підвищення продуктивності компонентів та модулів обладнання центрів обробки даних (ЦОД).

800G — найновіша технологія для перевірки можливостей підключення ЦОД, яка знайшла широке застосування у зв'язку зі зростанням використання хмарно-орієнтованих застосунків, мереж 5G, штучного інтелекту (ШІ) та Інтернету речей (IoT), а також програм з великим обсягом передачі даних, таких як платформи для відеоконференцій, стрімінгу та демонстрації розважального контенту.

Портфоліо рішень 800G від компанії Keysight нещодавно поповнилося новими рішеннями для розробки та налагодження пристроїв, що підтримують передачу даних багатомодовим волокном, які відіграють вирішальну роль у формуванні високопродуктивної інфраструктури ЦОД. Багатомодальні тестові рішення 800G забезпечують унікальний рівень підтримки високошвидкісної передачі (до 100 Гбіт/с).

«Постійне зростання обсягів передачі даних у поєднанні з потребою ЦОД у зниженні витрати енергії підштовхнуло компанію Keysight до створення нових багатомодальних вимірювальних рішень 800G», — заявив д-р Йоахім Пірлінгс, віце-президент підрозділу технологій для комп'ютерних мереж та ЦОД компанії Keysight Technologies. «Ці нові рішення допоможуть скоротити енерговитрати під час експлуатації обладнання ЦОД. Економія енергії та підвищення продуктивності ЦОД позитивно вплинуть на екологію нашої планети».

Компанія Keysight представила інноваційні вимірювальні рішення 800G для прискорення розробки технологій для нового покоління ЦОД. Багатомодальні тестові рішення 800G забезпечують перевірку функціонування модулів та компонентів оптичних трансиверів, у т.ч. лазерів поверхневого випромінювання з вертикальними резонаторами (VCSEL), фотодіодів, підмодуляторів, трансімідансних підсилювачів (TIA) та чипів фізичного рівня (PHY).

www.keysight.com

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 КОМПОНЕНТ



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

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

м. Київ, вул. О. Довженка, 3
www.aironics.com.ua
www.aironics.prom.ua

АА
Га

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

ОПЕРАТИВНІ ПОСТАВКИ
ЕЛЕКТРОННИХ КОМПОНЕНТІВ

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

ТОВ «НВП АСТЕРА»
директор **ТЕРЕЙКОВСЬКИЙ Артем Семенович**
Ферритові осердя, аксесуари, індуктивні елементи

61072, Україна, Харків, вул. Тобольська 42 оф. 222
тел.: 057-757-2859, факс: 057-728-1808
050-323-3763, 067-575-4440, 068-616-7777
http://www.ferrite.com.ua E-mail: ferrite@ukr.net

SONISON Amphemol LTW TE DARKCO OSRAM SAMSUNG MORNUSUN

- Електронні компоненти
- Світлодіодне освітлення
- Друковані плати
- Контрактне виробництво



bis_electronics @BISelectronic bis@bis-el.kiev.ua | bis-el.com
+38 (044) 490-35-99

VD MAIS

ДИСТРИБ'ЮЩА +
КОНТРАКТНЕ
ВИРОБНИЦТВО

03061, Київ,
вул. Михайла Донця, 6
тел.: +380 (44) 201 02 02
info@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)

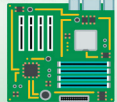
- автоматизований монтаж SMD-компонентів (до 2.5 млн на добу)
- автоматизована селективна пайка компонентів, що монтуються у отвори
- монтаж прототипів друкованих плат
- 100% автоматичний оптичний контроль якості монтажу
- виготовлення дослідних зразків виробів
- дрібносерійне та серійне виробництво
- 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) 245-5478, (048) 734-1954,
info@vdmals.ua; www.vdmals.ua

ВЕРІКОМ КОМПОНЕНТ

- Виробництво друкованих плат від 1 шт
- Контрактне виробництво
- Власний склад електронних компонентів
- Покриття плат лаком і компаундами
- Відповідаємо вимогам стандарту ISO 9001:2015



Україна, м. Київ
вул. Марії Капніст, 2а, оф. 114
URL: www.verikom.kiev.ua



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

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

Gamma
радіокомпоненти

ГАММА УКРАЇНА
www.microchip.ua sale@microchip.ua

(056) 745-46-65, (0562) 36-07-92
(044) 494-35-72, (044) 223-84-63

група компаній
GRAND
Electronic

Прямі поставки від виробника

FLUKE Biomedical AED group ALEXANDER ELECTRIC JE

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

Незалежний постачальник електронних компонентів

www.evocom.ua

- 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

ДРУКОВАНІ ПЛАТИ

Виробництво одно-, дво-, багатшарових друкованих плат, плат на алюмінієвій основі з технологічними показниками відповідно до вимог міжнародного стандарту IPC-A-600

Мембранні клавіатури
– мембранні клавіатурні панелі
– лицеві і накладні панелі

www.pcbetal.com

ТОВ «РСВ-ЕТАЛ»
28000, Кіровоградська обл., м. Олександрія, вул. Заводська, 1

Для замовлення:
Тел.: +38 (066) 872-60-65
e-mail: pcb@etal.ua

Ціни знижено

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

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 ВІДОБРАЖЕННЯ, ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙ, 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
T./ф: (+380 44) 501 93 44, GSM: (+380 50) 447 39 12

Промислові комп'ютери та монітори, модулі вводу виводу

ekzot.com.ua

ask@ekzot.com.ua
Київ, М. Донца, 6, оф. 102 Б
+38 (050) 807-97-62
+38 (068) 972-95-70

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

ІМРАД
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

we who are not as others 

Телефон: 044 501 90 90 Web: info@cogito.com.ua

КОМПАНИЯ СК-ТЕХНО
контрактное производство

- контрактне виробництво
- друковані плати
- монтаж
- комплектація

http://spcb.com.ua
e-mail: info@spcb.com.ua
тел./факс: (044) 369-53-67



Microdis Electronics GmbH
Rheinauer Straße 1
68766 Hockenheim
Germany

MICRODIS

Дистриб'ютор
електронних
компонентів


Роман Прокопець
Менеджер з продажу

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

www.microdis.net

ОПТОВИЙ ПРОДАЖ ЕЛЕКТРОННИХ КОМПОНЕНТІВ



 Польша | 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

Pcb24 — сервіс з експрес виробництва прототипів і невеликих партій одна- та двошарових друкованих плат

За 24 години ВИГОТОВИМО Ваше замовлення

Власне виробництво у м. Львів

ТОВ «Крійтив Лоджикс»
www.pcb24.com.ua
info@pcb24.com.ua
pcbprint24@gmail.com
068 614 38 28



 **ОЛЬВІЯ**

ТОВ "КОМПАНИЯ ОЛЬВІЯ"
Корпуса пластиковые. Клавиатура плевковая.
Кабельно-проводникова продукция.

[044].599.7550 [044].503.3323 KORPUS.KIEV@GMAIL.COM
ICQ#: 268-782-777
03113, м. Київ, вул. Дружківська, 12 А  korpus.kiev.ua



 **MASTEK**

м. Київ, пров. Радищева, 3, офіс 307
тел. +38 (044) 451-60-80 info@mastek.com.ua
моб. +38 (067) 919-51-15 www.mastek.com.ua

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



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.otlodka.com.ua

 Автоматизований SMD монтаж
друкованих плат

 Фрезерування панелей,
корпусів та пластику

 3D-друк

+38 050 447-12-58 +38 098 661-97-97

ФОП Сарієв Р.Б.



КОНТРАКТНИЙ
ВИРОБНИК ЕЛЕКТРОНІКИ
ПІД ЗАМОВЛЕННЯ


 **PCBA**

+38 044 338 97 73
info@pcba.com.ua
pcba.com.ua

вбудовані процесорні плати

www.proxis.ua
+380(44)4675977
+380(44)5995977

COMexpress
Qseven
PC-104
ETX



ПРОКСИС


промислові комп'ютери та системи

RADIODETAILI

- Паяльне обладнання
- Вентилятори
- Трансформатори
- Реле
- Конденсатори
- Резистори
- Світлодіодне обладнання
- Акумулятори
- Блоки живлення
- Мобільні аксесуари

КУПУЙ ВИГІДНО

radiodetaili.com.ua



РАДІОМАГ
МЕРЕЖА МАГАЗИНІВ РАДІОДЕТАЛЕЙ

Львів Київ Харків
Одеса Дніпро

www.rcscomponents.kiev.ua
+38(044)299-77-55 sales@radiomag.com.ua

- мікросхеми
- транзистори
- діоди і діодні містки
- GSM, GPS, GPRS
- паяльне обладнання
- вимірювальне обладнання
- блоки живлення
- рознімачі
- інструмент
- пасивні компоненти
- батарейки та акумулятори та багато іншого

RAINBOW TECHNOLOGIES

Rainbow Technologies – офіційний дистрибутор і постачальник в Україні:

MICROCHIP, MAXIM, INFINEON, WINBOND, ALTERA, SAMSUNG (LED), LEDIL, VISHAY, ANALOG DEVICES, TEXAS INSTRUMENTS

04112, Україна, м. Київ, вул. Дегтярівська, 62, оф. 46
Тел./факс: +38 (044) 290-41-69, 290-41-82
e-mail: cov@rainbow.com.ua

МП "РЕМІКС"
www.remix.com.ua
Офіційний дистрибутор в Україні

FineTek, Venanzetti Vibrazioni, Nivelko

Пропонує датчики рівня рідин та сипучих матеріалів, датчики тиску, різноманітні регулятори, панель метри, пневмо та електровібратори

Тел./факс +38 04563 99-760, 99-926, 99-775

Rich El
electronic components

ТОВ "РИЧЕЛ"

Поставки електронних компонентів
Асортимент зі складу та технічна підтримка

вул. Семена Склярєнка, 9, оф. 401
04073, м. Київ
info@rekkon.kiev.ua
http://rekkon.kiev.ua

тел.: +38 (044) 490-92-50
факс: +38 (044) 494-27-08

Committed to excellence
CONSULT | COMPONENTS | LOGISTICS | QUALITY

RUTRONIK
ELECTRONICS WORLDWIDE

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

Михайло Єлізаров
представник в Україні
Тел. +038 (050) 312 01 07
Mail: Mykhaylo.Yelizarov@rutronik.com

- Напівпровідники
- Пасивні компоненти
- Електромеханіка та кабельні рішення
- Дисплеї та монітори
- Промислові комп'ютери
- Рішення по DDR 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!

ЕЛЕКТРОННІ КОМПОНЕНТИ
ТА
КОНТРАКТНЕ ВИРОБНИЦТВО

SMD UKRAINE

03057, м. Київ, вул. Желябова, 2-А,
корп. 7, кім. 303

тел.: (044) 223-12-42
(073) 705-70-05
(096) 705-70-05

info@smdua.in.ua www.smdua.in.ua

SOFTPROM
VALUE ADDED IT DISTRIBUTOR

Дистрибутор Altium в Україні
www.softprom.com/ua/vendor/altium
altium@softprom.com

Altium Designer

ТОВ "Софтпром Солошнина"

НВП ТЕХНОСЕРВІСПРИВІД
ВСЕ ДЛЯ СИЛОВОЇ ЕЛЕКТРОНИКИ ТА ЕЛЕКТРОТЕХНІКИ

Діоди та містки,
 діодні, тиристорні, IGBT модулі,
 силові напівпровідники (**SEMİKRON**),
 конденсатори косинусні, імпульсні, моторні
 (**ELECTRONICON**)
**Продаж, ремонт перетворювачів частоти,
 пристроїв плавного пуску (**DANFOSS**)**

Для пошти: 04211, Київ-211, а/с 141
 Тел./факс: (044) 458-47-66, 456-19-57
 E-mail: tsdrive@ukr.net, Web: www.tsdrive.com.ua

TRANSFER MULTISORT ELEKTRONIK

понад **800**
 ПРОВІДНИХ ВИРОБНИКІВ

понад **160 000**
 ПРОДУКТІВ

■ ЕЛЕКТРОННІ КОМПОНЕНТИ ■
 ■ ЕЛЕКТРОТЕХНІКА ■ ПРОМИСЛОВА АВТОМАТИКА ■
 ■ ВИМІРЮВАЛЬНІ ПРИЛАДИ ■ ІНСТРУМЕНТИ ■

tme.eu

Łódź, Poland, +48 42 645 54 44, export@tme.eu

ELFA DISTRELEC
 ПОСТАВКИ ЕЛЕКТРОННИХ КОМПОНЕНТІВ
 ЗІ СКЛАДУ У ЄВРОПІ.

ТОК ЕЛЕКТРОНІКС
 ОФІЦІЙНИЙ ДИСТРИБ'ЮТОР В УКРАЇНІ

04080, м. Київ
 вул. Вікентія Хвойки, 18/14
 склад 10/8

e-mail:
 ula@tok-el.com
 oksana@tok-el.com

Тел. +38 066 781 66 11
 +38 093 896 40 88

PHOENIX CONTACT

phoenixcontact.ua

People · Power · Partnership

HARTING
 Pushing Performance

HARTING
 Polska
 Sp. z o.o.

Kateryna Bodaratska
 Business Manager

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

Trafaret

Полімерні трафарети для SMD монтажу

www.trafaret.net.ua
 e-mail: order@trafaret.net.ua
 тел. 063-851-12-76, 098-871-58-76

ФІЛУР ЕЛЕКТРИК

Електронні компоненти
 Електротехнічна продукція
 Технологічне обладнання, інструмент, матеріали

1-й пов., вул. Попудренка, 22/14, м. Київ
 тел. 044 495 75 75, моб. 068 496 75 75

www.filur.net
 office@filur.net

КОНТРОЛЬНО-ВИМІРЮВАЛЬНІ ПРИЛАДИ

ЮНІТЕСТ
 ТЕХНІКА

ТОВ «ЮНІТЕСТ»
 вул. Олеся Гончара, 6
 04053, м. Київ, Україна
 тел: +38 (044) 272-60-94
 тел./факс: +38 (044) 272-60-95
 e-mail: web@unitest.com
 http://www.unitest.com

KEYSIGHT TECHNOLOGIES
 Авторизований дистриб'ютор

АВТОРИЗОВАНИЙ ДИСТРИБ'ЮТОР В УКРАЇНІ
 продаж · навчання · сервіс



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	550 грн
для студентів і бібліотек	450 грн

* 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»

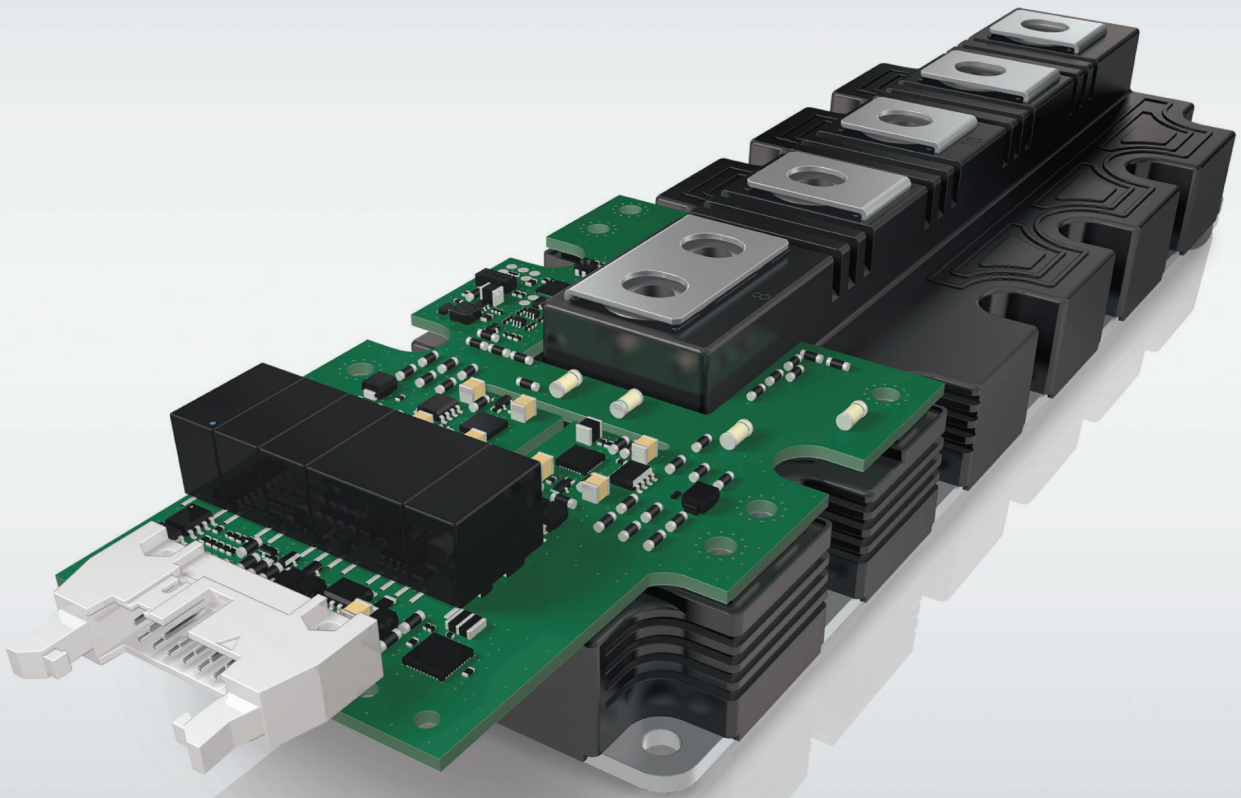
Тут також вкажіть точну поштову адресу (індекс обов'язково), телефон, П.І.Б. особи, відповідальної за передплату.

ВИМОГИ ДО РЕКЛАМНИХ І АВТОРСЬКИХ МАТЕРІАЛІВ

Рекламні матеріали приймаються **тільки українською мовою в форматах «.eps» або «.tif» (300 dpi)**. Кольорова модель — **СМΥК**. Сумарний процент фарб — не більше 300%. Якщо в форматі «.eps» є впроваджені растрові зображення, вони також повинні мати роздільну здатність 300 dpi і кольорову модель СМΥК. **Всі шрифти обов'язково повинні бути переведені в криві.**

Авторські матеріали. Текст статті приймається в форматі «.doc» (Microsoft Word). Всі рисунки повинні бути підготовлені **тільки в форматах «.eps»**, фотографії — в форматі **«.tif» (300 dpi)**, кольорова модель — **СМΥК** і надані окремими файлами. Кожний рисунок повинен мати підписувачий підпис і посилання на нього в статті. Якщо в статті є таблиці, то кожна таблиця повинна мати назву, посилання на неї в статті і надаватись в форматах «*.doc» або «*.xls».

Нове покоління модулів SEMITRANS 10 і цифрових драйверів SKYPER PRIME



Діапазон потужностей 500 кВт–1,5 МВт

Модулі IGBT в стандартному промисловому корпусі

Висока стійкість до термоцикування

Цифровий драйвер із наднизьким рівнем джиттеру та вихідним струмом 50 А

Два ізольованих канали передачі сигналів сенсорів з ШИМ-модуляцією

Волоконно-оптичний інтерфейс (опціонально)



Моторні
приводи



Альтернативні
джерела енергії



Перетворювачі
потужності



Електротранспорт

www.semikron.com

shop.semikron.com



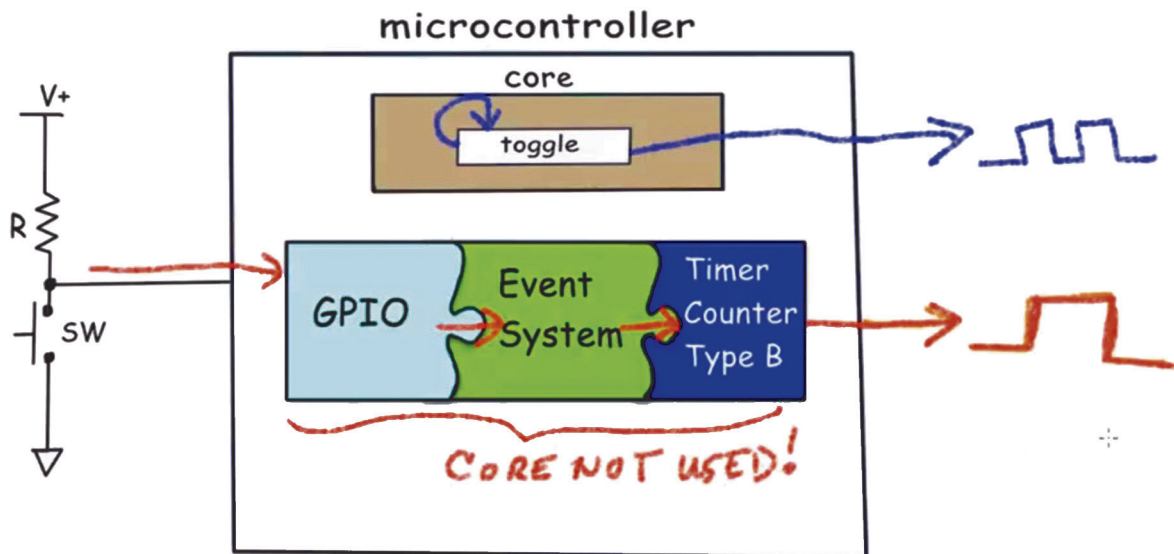
Нова концепція побудови 8-бітних мікроконтролерів від Microchip

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) 290-41-69, 290-41-82

ted@rainbow.com.ua