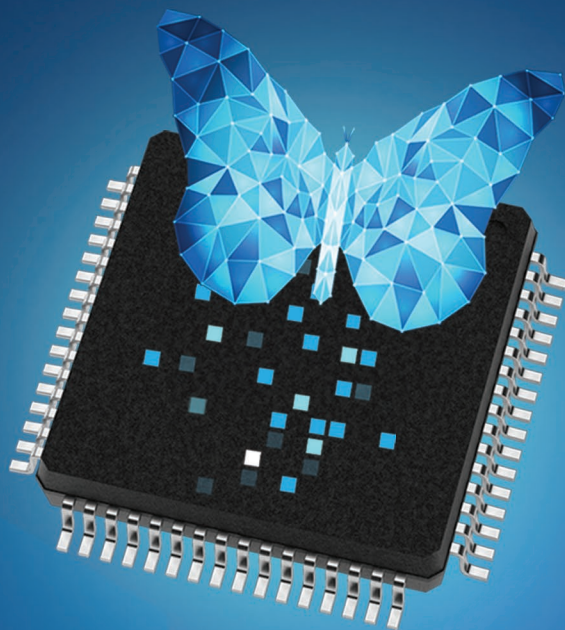


CHIP NEWS



- dsPIC33A DSC від Microchip ... [стор. 10](#)
- Вседіапазонні GNSS-приймачі ... [стор. 16](#)
- Чек-лист для розробників ДП ... [стор. 26](#)

- Осердя з порошкових матеріалів ... [стор. 36](#)
- Дискретні ОП Sparkos Labs ... [стор. 52](#)
- SiC модулі в електроприводах ... [стор. 62](#)

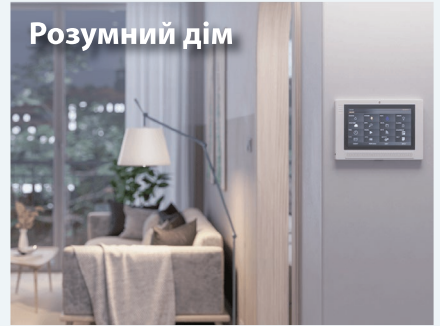
Розширений бездротовий зв'язок



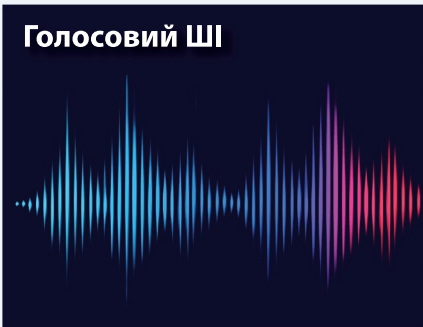
Інтеграція з хмарою IoT



Розумний дім



Голосовий ШІ



ESP

Безпека IoT



ML та периферійні обчислення



Промисловий IoT

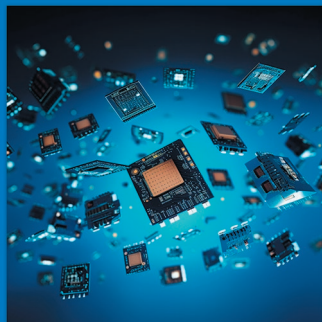


Машинний зір



Ми прагнемо надати користувачам інноваційні та інтуїтивно зрозумілі продукти, які вирішують складні та важливі проблеми

№ 09 (234), 2024 р.

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

ЗМІСТ

НОВИНИ

Новини світу електронних компонентів. 4

МІКРОКОНТРОЛЕРИ

Праміт Нанді (Pramit Nandy)
Переклад та редактування:
Нікіта Єзерський

Розширення можливостей керування в реальному часі за допомогою обчислювальної потужності dsPIC33A DSC від Microchip Technology 10

СИСТЕМИ ЗВ'ЗКУ

Мортен Стрьом (Mårten Ström)

Всесіпазонні GNSS-приймачі покращують точність позиціонування, навігації та синхронізації. Ось як це відбувається. 16

ТРАНСПОРТ

Розширення можливостей автономного транспорту та контролери штучного інтелекту 22

КОНСТРУКТИВИ

Пластикова шафа AX від RITTAL — екстрім у квадраті 24

ПРОЄКТУВАННЯ ДРУКОВАНИХ ПЛАТ

Девід Марракчі (David Marrakchi)

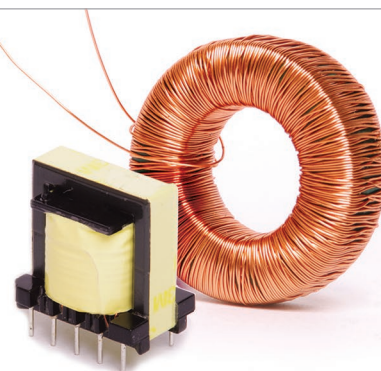
Чек-лист для розробників друкованих плат. Як досягти цілісності високошвидкісних сигналів 26

www.adcgr.com

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



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



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

ВИМІРЮВАЛЬНА ТЕХНІКА

Переклад: Вадим Потапенко

Редагування: Віктор Бутирін

**Оптимізація налаштувань
для підвищення чутливості
аналізатора спектра.**

**Підвищення чутливості вимірювань
спектра є ключем до вимірювання
низькорівневих сигналів**

30

НА ДОПОМОГУ РОЗРОБНИКУ

Артем Терейковський

Осердя з порошкових матеріалів

36

Міхаель Пітерс (Michael Peters)

**Вимірювання сили струму навантаження
за допомогою ІС цифрового керування
електроживленням по шині PMBus.**

Частина 2

44

ПАСИВНІ КОМПОНЕНТИ

Александр Шайє (Alexandre Chaillet),

Евелін Хуанг (Evelyn Huang)

**Схеми для усунення брязкоту контактів
механічних перемикачів**

48

ОПЕРАЦІЙНІ ПІДСИЛЮВАЧІ

Переклад та редагування:

Олексій Панфьоров

Дискретні операційні підсилювачі.

**Чому вони кращі за інтегральні
мікросхеми**

52

Підсилювачі з автоматичним

встановленням нуля.

58

СИЛОВА ЕЛЕКТРОНІКА

Carsten Schreiter (Карстен Шрайтер)

Переклад та редагування:

Сергій Поліщук

**Semikron Danfoss: компактні
та ефективні перетворювачі
для електроприводів на основі
модулів з карбідом кремнію**

62

Огляд силових промислових запобіжників

компанії Littelfuse

66

Штефан Бушхорн (Stefan Buschhorn)

Клаус Фогель (Klaus Vogel)

**Модернізація силових модулів
для підвищення густини потужності
та терміну служби**

70

Безпечна система з'єднань для тягових

батареї VCON+

72

ВІЗИТКИ

74

ВИСТАВКИ

79

ІНФОРМАЦІЙНА СТОРІНКА.

80

Мийний засіб для друкованих плат PCB Cleaner Ultrasonic ECS



Cleaning Solutions & Services

Рідина для ультразвукового очищення PCB Cleaner Ultrasonic від ECS ідеально підходить для видалення як дуже стійких залишків флюсу, так залишків безвідмивних флюсів, видалити які може бути надзвичайно важко. Мийний засіб для друкованих плат ECS PCB Cleaner Ultrasonic видалить їх відповідно до військових стандартів чистоти. Він готовий до використання, а також містить інгібітор корозії для використання з чутливими металами. Він також має слабкий запах і його легко змити під час ополіскування. ECS PCB Cleaner Ultrasonic є негорючою сумішшю на водній основі, яка біологічно розкладається та призначена для очищення відповідно до військових стандартів чистоти (ANSIJ-001B/IPC TM-650).

- Видаляє всі види залишків флюсу; ідеально підходить для очищення дуже стійких відкладень
- Має покращену ефективність очищення для більш ефективних процесів очищення
- Має покращену ефективність очищення для більш ефективних процесів очищення
- Негорючий продукт, 100% безпечний для озону, придатний для використання в стандартному обладнанні для відмивання електроніки

Інструкції з використання

Мийний засіб ECS PCB-Cleaner Ultrasonic був спеціально розроблений для використання в 3- або 4-ступеневих системах групового відмивання з використанням ультразвуку або в струменевих системах типу «струміль в рідині». Він постачається в концентрації, придатній для негайного використання, і подальше розведення не рекомендується. У типових умовах використання та температурах ECS PCB Cleaner Ultrasonic має відмінну сумісність з більшістю матеріалів, що використовуються в електронній промисловості, а також з матеріалами, які використовуються в обладнанні для відмивання. Для чутливих пластмас, таких як полікарбонат і ABS, рекомендована перевірка на сумісність.

Параметр	Значення
Зовнішній вигляд	Синя рідина
Точка кипіння, °C	98
Температура спалаху, °C	Не існує
Точка замерзання, °C	-5
В'язкість за 20 °C, мПа·с	5-10
Рівень pH	11,7
Провідність за 18 °C, мСм	1,4
Відповідність RoHS-2 (2011/65/EU)	Так

Для замовлення:

Артикул	Назва
43887	Мийний засіб PCB Cleaner Ultrasonic 1L ECS
43888	Мийний засіб PCB Cleaner Ultrasonic 5L ECS

 Вироблено в Німеччині 

ТОВ „ФІЛУР ЕЛЕКТРИК, ЛТД“ —
офіційний дистриб'ютор продукції ECS в Україні

Ультразвукові настільні ванни виробництва SD ULTRA (Корея)

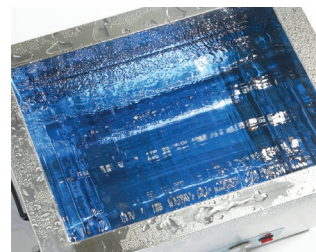


Ультразвукові ванни призначені для відмивання будь-яких предметів складної форми, що не мають протипоказань для УЗ відмивання. Ультразвукові коливання утворюють кавітаційні бульбашки у відмивній рідині, які вибухають біля поверхні предмета, що відмивається, і таким чином руйнують забруднення, що утворились на його поверхні. Використання відповідних відмивних рідин в УЗ ваннах значно підсилює ефективність відмивання, а для видалення найбільш важких для відмивання залишків в УЗ ваннах передбачено підігрів робочої рідини.

Для відмивання великогабаритних предметів УЗ ванни постачаються у роздільному виконанні – контролер з вбудованим генератором та великогабаритна УЗ ванна з підігрівом.

У програмі поставок є УЗ ванни з наступними характеристиками:

- Керування – аналогове, цифрове
- Функція дегазації мийного розчину у цифрових УЗ ваннах
- Частота ультразвуку — 28 кГц, 40 кГц
- Потужність ультразвуку — 80–1500 Вт
- Підігрів – 30 – 80 °C
- Потужність підігріву — 55–320 Вт
- Місткість 1,2 — 74 л



ТОВ „ФІЛУР ЕЛЕКТРИК, ЛТД“ —
офіційний дистриб'ютор УЗ ванн виробництва SD ULTRA в Україні



вул. Гетьмана Павла Полуботка, 22/14
м. Київ, Україна, 02100
www.filur.net
www.payalnik.com.ua

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

Новини світу електронних компонентів

ЛІНІЙКА ОПТИМІЗОВАНИХ СИЛОВИХ ПРИСТРОЇВ IGBT 7

Силові компоненти розвиваються, щоб задовольнити зростаючі вимоги до більшої ефективності, меншого розміру та більшої продуктивності в силових електронних системах. Щоб забезпечити розробників систем широким спектром силових рішень, компанія **Microchip Technology** оголосила про своє портфоліо пристроїв IGBT 7, які пропонуються в різних корпусах, різних топологіях, а також у різних діапазонах струму та напруги.

Завдяки підвищеній потужності, зниженим втратам енергії та компактним розмірам, ця нова лінійка розроблена для сегментів ринку, що швидко зростають, таких як екологічно чиста енергетика, електромобільність та центри обробки даних. Ці високопродук-

тивні IGBT 7 є ключовими компонентами для застосування в сонячних інверторах, водневих екосистемах, комерційних і сільськогосподарських транспортних засобах, а також в електричних літальних апаратах (More Electric Aircraft, MEA).

Проектувальники можуть вибрати відповідне рішення для живлення, виходячи зі своїх вимог. Пристрої IGBT 7 пропонуються в стандартних корпусах D3 і D4 62 мм, а також в корпусах SP6C, SP1F і SP6L. Доступно багато конфігурацій в наступних топологіях: трирівневий з фіксацією нейтральної точки (Neutral-Point Clamped, NPC), трифазний міст, boost chopper, buck chopper, dual-common source, full-bridge, phase leg, з одним перемикачем і T-подібний тип. Пристрої доступні на напругу від 1200В до 1700В і струм від 50А до 900А.

«Універсальна лінійка IGBT 7 поєднує в собі простоту використання та економічну ефективність з високою густиною потужності та надійністю, пропонуючи нашим клієнтам максимальну гнучкість. Ці продукти призначені для загальнопромислового застосування, а також для спеціалізованих аерокосмічних та оборонних застосувань, — сказав Леон Гросс (Leon Gross), корпоративний віце-президент групи дискретних продуктів компанії Microchip. — Крім того, наші силові рішення можуть бути інтегровані з широким спектром ПЛІС, мікроконтролерів (MCU), мікропроцесорів (MPU), цифрових контролерів сигналів dsPIC® (DSC) та аналогових пристроїв Microchip, щоб забезпечити комплексне системне рішення від одного постачальника.

Нижча напруга на IGBT (Vce), покращений антипаралельний

діод (нижча Vf) і збільшена сила струму дозволяють знизити втрати потужності, підвищити густину потужності та ефективність системи. Менша індуктивність у поєднанні з вищою переважною здатністю при Tvj – 175 °C робить ці пристрої чудовими варіантами для створення надійних і високонадійних авіаційних і оборонних систем, таких як силові установки, приводи та розподілення енергії, за меншу вартість системи.

Для систем керування двигунами, де важлива покращена керованість dv/dt, прилади IGBT 7 розроблені з урахуванням м'якості вільного ходу для ефективного, плавного та оптимізованого керування перемикачами. Ці високопродуктивні прилади також мають на меті підвищити надійність системи, знизити рівень електромагнітних завод і звести до мінімуму стрибки напруги.

Компанія Microchip пропонує широкий асортимент рішень для керування живленням, який охоплює аналогові пристрої, технології живлення на основі кремнію (Si) та карбїду кремнію (SiC), цифрові контролери сигналів dsPIC®, а також стандартні, модифіковані та індивідуальні модулі живлення.

www.microchip.com

МІНІАТЮРНІ ІНКАПСУЛЬОВАНІ ПЕРЕТВОРЮВАЧІ ЗМІННОГО/ПОСТІЙНОГО СТРУМУ

Серія RAC04NE-K інкапсульованих AC/DC-перетворювачів, випущених компанією **RECOM**, має номінальну потужність 4 Вт безперервно, без зниження, у всьому вхідному діапазоні від 100 до 277 В змінного струму і в діапазоні температур від –40 до +80 °C, а пікова потужність 6 Вт доступна протягом обмеженої тривалості. Ці характеристики роблять модулі придатними для широкого спектра вимогливих, але чутливих до витрат застосувань, в тому числі для автоматизації будівель/будинків, освітлення, передачі даних/телекомунікацій, е-мобільності, промисловості та

www.chipnews.com.ua



багатьох інших. Додаткові характеристики містять ізоляцію класу II, рейтинг OVCIII до 3000 м, підвищену стійкість до лінійних перехідних процесів і відповідність стандарту кондуктивних електромагнітних завод EN55032, клас B, з плаваючим або заземленим виводом.

Доступні повністю регульовані вихідні напруги 5, 9, 12, 15 і 24 В, а вироби пропонуються у форматі з наскрізним отвором для монтажу на друковану плату, розміром 37 × 24 × 18 мм. Деякі моделі також доступні в дротовому форматі з монтажними наконечниками, розміром 37.8 × 24.8 × 18.7 мм, в герметичному корпусі та зі ступенем захисту IP65.

Для різних кінцевих застосувань отримано комплексні сертифікати безпеки та електромагнітної сумісності, а продукти мають надійний захист від перевантаження, короткого замикання та перенапруги на виході. Висока якість збірки забезпечує надійну роботу в складних умовах експлуатації, а розрахунковий час напрацювання на відмову становить понад 2 млн годин за температури 40 °C відповідно до умов

MIL-HDBK-217, GB. Розрахунковий термін служби складає понад 12 років при 230 В змінного струму, повному навантаженні та температурі навколишнього середовища 50 °C, що підтверджується трирічною гарантією RECOM.

www.recom-power.com

IGBT/SiC MOSFET DC/DC ДРАЙВЕР КЕРУВАННЯ ЗАТВОРОМ

З безперервним розвитком надротових технологій, пристрої IGBT (біполярний транзистор з ізолюваним затвором) та SiC (карбід кремнію) дедалі частіше застосовуються у широкому спектрі сфер, включаючи електронні вимірювальні прилади, джерела живлення, дата-центри, системи відновлюваної енергії та розподілені схеми. У відповідь на цей зростаючий попит, компанія **MEAN WELL** представила новий 2-ватний DC/DC драйвер затвора, розроблений спеціально для застосувань з IGBT або SiC транзисторами, які потребують двох ізолюваних каналів живлення — серію GD2.

Серія GD2 має модульну конструкцію та компактні розміри, а також високу ізоляцію «вхід-вихід» 4.2 кВ змінного струму/6 кВ постійного струму та різноманітні моделі драйверів на вибір. На відміну від традиційних рішень, які отримують допоміжне живлення від внутрішніх трансформаторів системи, серія GD2 має кілька ключових переваг, таких як спрощення периферійних драйверних схем на друкованій платі (PCB), покращення точності напруги, відсутність потреби у додаткових радіаторах та підвищення ізоляційних характеристик.

www.meanwell.com

UNO-2271G V3 ПЕРЕТВОРЮЄ ГРАНИЦІ ІОТ

Оскільки Індустрія 4.0 є рушійною силою ринку промислового ІоТ, виробники шукають потужні та компактні рішення для граничних обчислень і аналізу даних у реальному часі.

Новий **UNO-2271G V3** виробництва компанії **Advantech**, що вирізняється компактним фактором і широким темпера-

турним діапазоном, відповідає цим найважливішим потребам ринку, забезпечуючи виняткову продуктивність завдяки процесору Intel® Atom x7211RE (двоядерний) та інноваційній модульній конструкції. Завдяки трьом варіантам розширення другого стека він дає змогу розв'язувати різноманітні промислові завдання — від під'єднання обладнання та візуалізації процесів до керування навколишнім середовищем і диспетчеризації, являючи собою наступну еволюцію в галузі промислових обчислень на границі.

Підприємства все частіше стикаються з проблемами обмеженого простору для розміщення обладнання та системної інтеграції. UNO-2271G V3 розв'язує ці проблеми завдяки компактному дизайну (100 × 70 × 40 мм) та інноваційній модульній архітектурі, що пропонує три стековані варіанти розширення з підтримкою PoE PD, COM-портів і модулів iDoor. Пристрій підтримує безліч варіантів монтажу, включно з DIN-рейкою, задньою DIN-рейкою, стійкою, настінним кріпленням і кріпленням VESA, що значно знижує складність розгортання і витрати на обслуговування.



Серії HEP

100-1000 Вт
Безвентиляторні блоки живлення для суворих умов експлуатації

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

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

SEA ІННОВАЦІЇ ТА ЕФЕКТИВНІСТЬ

КАЛІННОГО ПАРТНЕРСТВА **30** РОКІВ

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

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

За 24 години виготовимо Ваше замовлення

Власне виробництво у м. Львів



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

pcbprint24@gmail.com
068 614 38 28

UNO-2271G V3, оснащений процесором Intel® Atom x7211RE (двоядерний), забезпечує потужні обчислювальні можливості з 8 ГБ пам'яті LPDDR5 і 64 ГБ eMMC для підтримки вимогливих промислових застосунків. Для забезпечення надійного під'єднання в різних промислових сценаріях він пропонує широкі можливості вводу/виводу, включно з 2 × i226 LAN, 1 × HDMI 1.4, 1 × USB 3.2 Gen2 і 1 × USB Type C, забезпечуючи безшовну інтеграцію з різними промисловими пристроями та системами.

UNO-2271G V3 підтримує бездротові мережі з модулями Wi-Fi через стандартний для галузі інтерфейс перетворювача ключів B+M в E в базовому блоці. Модульна конструкція дає змогу розширювати стек другого рівня, забезпечуючи під'єднання до мереж LTE, 4G і 5G для масштабованих високошвидкісних мобільних мереж. Інтеграція з платформою управління IoT-пристроями DeviceOn від Advantech забезпечує централізований моніторинг, контроль доступу до

пристроїв і оновлення програмного забезпечення повітрям, що дає змогу мінімізувати час простою і підвищити ефективність роботи.

UNO-2271G V3 виконаний у класичній колірній гамі Advantech 432C Pantone, зберігаючи при цьому фірмовий дизайн серії UNO. Завдяки 40-міліметровому радіатору та захисній верхній кришці він забезпечує оптимальне відведення тепла та безпеку оператора під час тривалої промислової експлуатації.

www.advantech.com

**DS-1300 CINCOZE
ДЛЯ РОБОТІВ
З ВІЗУАЛЬНИМ
КЕРУВАННЯМ**

З даними дослідження TrendForce, світовий ринок інтелектуального виробництва досягне 620 мільярдів доларів США до 2026 року. Серед нових технологій, що використовуються на ринку «розумних фабрик», що зро-

стає, має популярність машинний зір, що дає змогу використовувати такі нові технології, як роботи з візуальним керуванням (Vision Guided Robots, VGR), які роблять виробничі лінії гнучкішими та ефективнішими. Рекомендованим варіантом для VGR є серія DS-1300 Rugged Computing компанії Cincoze — DIAMOND.

DS-1300 — це вбудований комп'ютер із продуктивністю робочої станції та можливістю розширення PCIe, що має екстремальні обчислювальні можливості, два слоти розширення PCI/PCIe і захист промислового рівня. З моменту випуску він широко використовується в системах VGR для підбору матеріалів, складання виробів, керування верстатами, зварювання і штабелювання.

VGR отримують зображення та дані з камер і датчиків на маніпуляторі робота, надсилають на вбудований комп'ютер для оброблення та винесення рішення, а потім видають сигнали зворотного зв'язку, що дають змогу роботу переміщатися в задане положення для виконання ідентифікації та

виявлення дефектів на заготовках різної форми. Ключовим фактором є висока швидкість обробки даних, тому серія DS-1300 підтримує процесор Intel® Xeon®/Core™ (Comet Lake-S) 10-го покоління (до 10 ядер по 80 Вт), до 64 ГБ пам'яті та слот M.2 NVMe, що задовольняють вимогам VGR зі збирання, оброблення та аналізу візуальних даних. DS-1300 підтримує до двох наборів слотів розширення PCI/PCIe, що дає змогу під'єднувати різноманітні наявні у продажу високошвидкісні карти вводу/виводу, карти захоплення зображень, карти руху або карти GPU для аналізу зображень або керування роботами. Запатентований регульований фіксатор карти PCIe надійно утримує карту розширення на місці, забезпечуючи стабільну і надійну роботу навіть в умовах підвищеної вібрації.

Серія DS-1300 має багатий вибір власних високошвидкісних входів/виходів, як-от 2 × GbE LAN, 6 × USB3.2 та інші, що під'єднуються до камер і датчиків, необхідних VGR для високошвидкісного передавання даних із високою роздільною здатністю. Ексклюзивні модулі Cincoze забезпечують додаткові можливості розширення входів/виходів або функцій, як-от GbE LAN, 10GbE LAN, DIO, COM, USB 3.2 або PoE. Вбудований слот розширення Mini PCIe можна використовувати з наявними в продажу модулями Wi-Fi/4G/GPS для бездротового зв'язку та завантаження виробничої інформації до центрального центру керування в режимі реального часу.

VGR використовуються в суворих і складних умовах промислових підприємств. Усі моделі DS-1300 спроектовані так, щоб витримувати удари та вібрації, відповідаючи провідному в галузі стандарту перевірки військового обладнання США (MIL-STD-810G), та зберігаючи міцну конструкцію серії DIAMOND, з такими механізмами захисту, як підтримка широкого діапазону температури (-40–70 °C) та напруги (9–48 В постійного струму), а також захист від перенапруги, перевантаження за струмом та ESD. Незалежно від температури робочого середовища, серія DS-1300 може працювати без перебоїв протягом тривалого часу, забезпечуючи найстабільнішу та найнадійнішу продуктивність для граничних обчислень VGR.

www.cincoze.com

www.chipnews.com.ua

K206

Електронні компоненти

Все для виробництва та ремонту зі складу та на замовлення

www.k206.net

+38 096 77-99-665



СІМЕЙСТВО ПОВНОМОСТОВИХ ТРАНСФОРМАТОРНИХ ДРАЙВЕРІВ

Компанія **Infinion Technologies** представила сімейство повномостових трансформаторних драйверів EiceDRIVER™ Power 2EP1xxR для джерел живлення драйверів затворів IGBT, SiC і GaN. Завдяки сімейству 2EP1xxR компанія Infineon розширює свій портфель силових пристроїв, надаючи розробникам рішення для ізольованого живлення драйверів затворів. За допомогою цих пристроїв можна реалізувати несиметричні вихідні напруги для живлення ізольованих драйверів затворів в економічно ефективний і компактний спосіб. Це робить 2EP1xxR особливо придатним для промислових і побутових застосувань, які потребують ізольованих драйверів затворів, зокрема сонячні установки, зарядні пристрої для електромобілів, системи зберігання енергії, зварювання, джерела безперебійного живлення і привідні пристрої.

Мікросхеми нового сімейства випускаються в компактному корпусі TSSOP8 з інтеграцією

живлення та оптимізацією для отримання несиметричної вихідної напруги. Завдяки унікальній можливості регулювання робочого циклу мікросхеми оптимізовано для живлення несиметричних драйверів затворів. Пристрої підтримують широкий діапазон вхідної напруги до 20 В. Вони також мають вбудований захист від перегріву, короткого замикання і зниженої напруги (Undervoltage Lockout, UVLO) для запобігання небажаним системним несправностям.

Сімейство мікросхем 2EP1xxR доступне в наступних чотирьох варіантах: 2EP100R і 2EP101R оптимізовані для малокомпонентних конструкцій блоків живлення драйверів затворів IGBT і SiC MOSFET. 2EP110R дозволяє точно регулювати робочий цикл для узгодження співвідношення вихідних напруг з вимогами застосування силових перемикачів на SiC і GaN. 2EP130R оптимізовано для гнучких конструкцій, що відповідають різним вимогам застосування. Пристрій пропонує 5-ступеневий захист від перевантаження по струму, 41 вибір частоти перемикання або синхронізацію з зовнішнім ШІМ для

узгодження трансформатора, а також 41 вибір параметрів робочого циклу для регулювання вихідної напруги.

www.infineon.com

НАДІЙНИЙ РОЗПОДІЛ ЖИВЛЕННЯ ЗА ДОПОМОГОЮ ЕЛЕКТРОННИХ ЗАПОБІЖНИКІВ

Сучасні децентралізовані та зональні архітектури розподілу електроенергії вимагають надійних рішень. Завдяки PROFET™ Wire Guard компанія **Infinion Technologies** надає розробникам вдосконалений захист провідів для сучасного розподілу електроенергії. У порівнянні зі звичайними запобіжниками, це сімейство продуктів може набагато точніше імітувати характеристики напруги провідів за допомогою інтегрованої та точної кривої захисту провідів I²t, яка може бути обрана з шести реалізованих кривих залежно від вимог застосування. У поєднанні з іншими функціями, інтегрована точність захисту провідів I²t доз-

воляє оптимізувати джгут проводів при заміні механічних реле і запобіжників.

П'ять пристроїв PROFET Wire Guard випускаються в перевірених корпусах TS2SO-14 і TS2SO-24. Вони забезпечують повну сумісність «pin-to-pin» в межах сімейства і високу сумісність з пристроями PROFET +2 12 В і розраховані на струми до 27 А. Для розширення можливостей по струму до 36 А лінійка продуктів буде розширена додатковим пристроєм, який буде випущений в 4 кварталі 2025 року. Пристрої мають режим комутації ємнісного навантаження (Capacitive Load Switching, CLS) для заряджання ємнісних навантажень. Регульований поріг виявлення перевантаження по струму підтримує швидку ізоляцію несправності від джерела живлення. Вбудований автоматичний режим холостого ходу знижує споживання струму під час стоянки до 50 мкА, при цьому вихідний каскад залишається повністю увімкненим. Вбудована послідовна діагностика надає точні дані про роботу системи за п'ятьма адресами на одному виводі, що дозволяє проводити тестування цілісності



Китай «АНЬЗА» www.asanza.com

Ваш надійний партнер і друг у Китаї!

ПІЛЬГОВІ УМОВИ ЩОДО ОПЛАТИ!

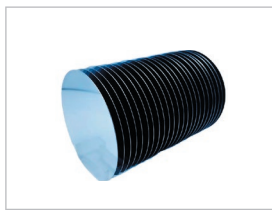
Компанія "Аньза" (Китай) вже понад 20 років спеціалізується на міжнародній торгівлі. Сьогодні з нашою компанією співпрацюють понад 400 партнерів з більш ніж 20 країн світу. Ми пропонуємо завжди вигідні умови щодо оплати завдяки тісній співпраці з державними банками. Як член китайської електротехнічної та енергетичної асоціації, ми маємо широкі зв'язки з виробниками електротехніки та енергетики, тому зможемо постачати Вам товари від різних виробників, різних брендів і в широкому асортименті відповідно до Ваших вимог. Ми можемо запропонувати Вам різноманітні способи щодо доставлення та допомогу в розмитненні.

Ми готові з усіма нашими партнерами разом знайти різні варіанти співпраці!

Силовая електроніка



Комплектація до приладів



Пластини кремнієві

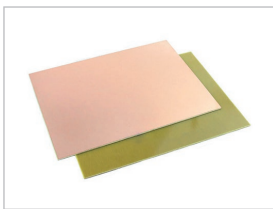


Автомат для пресування



Автомат для полірування пластин

Мікроелектроніка та витратні матеріали



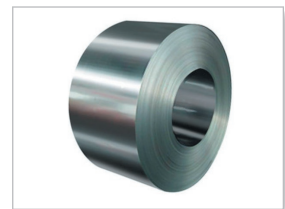
FR4 плати



Контактувальний пристрій



Підружнені контакти



Матеріали з металу

E-mail: sonia1102@163.com (Соня)

Тел.: +86-412-8518128 / +86-15042320637

системи на відповідність вимогам функціональної безпеки та подальшу оптимізацію джгутів проводів під час фейсліфтингу на основі аналізу стану захисту проводів під час експлуатації автомобіля. Пристрої були розроблені та випускаються як елемент безпеки ISO 26262:2018 поза контекстом вимог безпеки до ASIL D.

Для підтримки процесу проектування сімейство продуктів інтегровано в Infineon Automotive Power Explorer, який доступний в Центрі розробників Infineon. Цей інструмент моделювання підтримує, наприклад, оцінку здатності захисту системи пристроями PROFET Wire Guard із заданим профілем проводів і навантаження. Він також розраховує правильні значення опору для регульованого порогу виявлення перевантаження по струму, а також вибір інтегрованих кривих захисту проводів I²t. Інструмент також здатний розраховувати такі параметри, як точність kLIS або розсіювану потужність для всього сімейства продуктів.

www.infineon.com

**TRI-RADIO МОДУЛЬ
ДЛЯ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ
НОВІТНІХ БЕЗДРОТОВИХ
ТЕХНОЛОГІЙ ДЛЯ ІОТ**

Компанія **u-blox** оголосила про запуск MAYA-W4, економічно ефективного tri-radio модуля, який забезпечує новітні

технології бездротового зв'язку для масового ринку. Завдяки підтримці дводіапазонного Wi-Fi 6, Bluetooth Low Energy 5.4 і 802.15.4 (для Matter з підтримкою технології Thread), MAYA-W4 змінить ландшафт застосувань Інтернету речей у різних галузях промисловості, покращуючи зв'язок і сумісність пристроїв.

Поєднуючи три найважливіші бездротові технології в компактному енергоефективному модулі, універсальний MAYA-W4 задовольняє зростаючий попит на надійне та безпечне з'єднання. MAYA-W4 пропонує розробникам і виробникам безпрецедентну гнучкість, незалежно від того, чи дозволяє він створювати енергоефективні mesh-мережі для «розумних» будинків, чи забезпечує високошвидкісне з'єднання Wi-Fi 6 для промислових інструментів. Невеликий розмір і міцна конструкція роблять його ідеальним для застосування в умовах обмеженого простору, а всеосяжна глобальна сертифікація гарантує безперешкодне розгортання в різних регіонах.

MAYA-W4 задовольняє потребу ринку в рішеннях Wi-Fi 6, зумовлену швидким впровадженням Wi-Fi 6 в сегментах Інтернету речей, що підкреслюється останніми ринковими даними. Він зменшує перевантаження мережі, підвищує енергоефективність і, завдяки діапазону температур від -40 до +85 °C, підходить для використання в промислових умовах. Завдяки набору функцій початкового рівня та оптимізованій пропускну здатності

MAYA-W4 забезпечує економічно ефективне підключення без шкоди для продуктивності. Підтримка стандарту 802.15.4 дозволяє використовувати малопотужні IoT і mesh-мережі, забезпечуючи шлюз для наступного покоління інтелектуальних підключених пристроїв.

Новий модуль також полегшує розробку, дозволяючи виробникам масштабувати свої пристрої для поточних і майбутніх ринків. Пропонуючи широкий вибір варіантів антен, конструктори можуть вибирати між виведенням виводів, вбудованою антеною або конфігурацією роз'євів U.FL. Зберігаючи такі ж компактні розміри, як і у попередників (10 x 14 x 1.9 мм), u-blox спрощує міграцію з попередніх поколінь.

www.u-blox.com

**З'ЄДНУВАЧІ
З ТЕХНОЛОГІЄЮ PUSH-IN**

Тенденція до використання попередньо зібраних рішень у промисловому виробництві пропонує компаніям можливість швидшої та ефективнішої організації виробничих процесів. Однак також існують з'єднання для різних застосувань в польових умовах, які мають підключати фахівці на місці.

При цьому технологія з'єднання Push-in у нових з'єднувачах провідник-плата дозволяє гнучко підключати непідготовлені компоненти. Технологія безпосе-

реднього вставлення забезпечує можливість електромонтажу жорстких та гнучких провідників з наконечниками без використання інструментів. Для запобігання неправильному підключенню компанія **Phoenix Contact** пропонує штекери та основи колодки з механічним кодуванням.

Серія DD31PS підходить для застосування у найрізноманітніших сферах завдяки таким різним конструкціям і варіантам, як-от вільнопідвішувані з'єднання та прохідні панелі. Наприклад, у робототехніці, підйимальному обладнанні або системах керування акумулятором. В асортименті з'єднувачі провідник-плата зі з'єднанням Push-in у дворядному виконанні з кількістю полюсів від 4 до 20 і кроком 3.81 мм. Вони доповнюють наявний асортимент з'єднувачів провідник-плата з технологією обтискного з'єднання.

www.phoenixcontact.com

**GAMECHANGERS:
РЕВОЛЮЦІЯ
В ПІДКЛЮЧЕННІ
ПРИСТРОЇВ**

Компанія **Phoenix Contact** представила GameChangers для підключення пристроїв: завдяки провідним ідеям, технологіям і матеріалам вони пропонують швидші, компактніші, простіші, міцніші, гнучкіші та потужніші рішення для приладобудування.

Інноваційні з'єднувачі, як-от двожильні з'єднувачі для Single

MICRODIS
www.microdis.net

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



Роман Прокопець
Менеджер з продажу

Microdis Electronics GmbH
Rheinauer Straße 1
68766 Hockenheim
Germany

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



Pair Ethernet, не тільки вражають швидкістю передачі даних, але й забезпечують більшу швидкість під час проектування, монтажу та введення в експлуатацію. З'єднувачі для друкованих плат демонструють свою продуктивність в особливо малому просторі. Кожен міліметр використовується для підвищення продуктивності та функціональної щільності, наприклад, у з'єднувачах для друкованих плат з кроком 6.35 мм. Інноваційні технології з'єднання, як-от з'єднання для друкованої плати з керуванням за допомогою важеля або з'єднувачі M12 зі швидкою системою фіксації Push-Pull, забезпечують особливо просте підключення пристроїв.

Надійні виробни з високим ступенем захисту, наприклад стійкі до атмосферних впливів корпуси для експлуатації просто неба або монтажні з'єднувачі для безпечного розподілу енергії, підходять для використання навіть у складних умовах. Гнучкі з'єднувачі і корпуси з можливістю індивідуальної адаптації розширюють варіанти проектування пристроїв. Ефективні з'єднувачі забезпечують повну потужність для вимогливих систем. Наприклад, сумісні

незалежно від виробника з'єднувачі M17 і M23 для безперервної передачі сигналів і живлення або з'єднувачі для пристроїв накопичення енергії до 1 500 В.

www.phoenixcontact.com

РІШЕННЯ ДЛЯ БЕЗДРОТОВОЇ НАДШИРОКОСМУГОВОЇ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ БАТАРЕЯМИ

Компанія **NXP Semiconductors** представила нове, перше в галузі бездротове рішення для системи керування батареями (Battery Management System, BMS) з можливостями надширокопосмугового зв'язку (Ultra Wideband, UWB) з одного з найширших в галузі портфоліо UWB. Нове рішення UWB BMS знаменує собою наступний крок у подоланні проблем розвитку, включаючи дорогі та складні виробничі процеси, що прискорює впровадження електромобілів (Electric Vehicles, EV).

Бездротовий зв'язок всередині акумуляторних батарей забезпечує надійну та надій-

ну передачу інформації про елементи батареї, наприклад, вимірювання напруги та температури, від одного модуля до блоку керування батареєю без необхідності прокладання кабелів. Це допомагає забезпечити оптимальну продуктивність і запобігти умовам, що призводять до передчасного виходу з ладу або загрожують безпеці.

Бездротова технологія NXP UWB BMS розділяє механічну та електричну розробку, пропонуючи виробникам електромобілів підвищену гнучкість, скорочення часу виходу на ринок і зниження витрат на розробку, зберігаючи при цьому повну масштабованість системи на різних платформах.

Використання бездротових рішень зводить до мінімуму використання складних джгутів проводів в акумуляторній батареї та зменшує потребу в сильних до помилок ручних зусиллях під час виробництва, що робить збірку електромобілів ефективнішою і знижує загальні витрати на життєвий цикл. Відмова від роз'ємів і проводки між елементами батареї дозволяє збільшити густину енергії, що є ключовим параметром у дизайні та продуктивності

електромобіля для забезпечення більшої дальності пробігу.

Реалізація бездротової технології у відбивному корпусі акумуляторної батареї є складним завданням. UWB використовує широкопосмугові імпульси замість модульованої носійної частоти (синусоїдального сигналу), що використовується у вузькосмуговому діапазоні 2.4 ГГц, як, наприклад, технології Bluetooth® Low Energy (BLE). Це забезпечує вищу стійкість до віддзеркалень і частотно-селективних замирань для більш надійної та надійної передачі даних.

Рішення є частиною чипсету FlexCom від NXP, який підтримує дротові та бездротові технології, надаючи OEM-виробникам та постачальникам Tier-1 більшу гнучкість у виборі архітектури та технологій для транспортних засобів. Спільна архітектура програмного забезпечення та бібліотеки безпеки для обох конфігурацій BMS дозволяє їм повторно використовувати програмне забезпечення на різних платформах, що ще більше скорочує зусилля з розробки.

www.nxp.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

Розширення можливостей керування в реальному часі за допомогою обчислювальної потужності dsPIC33A DSC від Microchip Technology

Прамїт Нандї (Pramit Nandy), Microchip Technology

Переклад та редагування: Нікіта Єзерський, PhD, старший викладач кафедри ПРЕ, РТФ, КПІ ім. Ігоря Сікорського

Компанія Microchip пропонує інженерам ознайомитися з новітніми цифровими сигнальними контролерами dsPIC33A з розширеними можливостями, призначеними для керування в реальному часі у вбудованих системах.

В умовах швидкого розвитку вбудованих систем попит на точні та ефективні системи керування в режимі реального часу продовжує зростати. Мікроконтролери (MCU) залишаються ключовими компонентами в цих варіантах застосування, оскільки використо-

вуються в широкому спектрі галузей, таких як автомобілебудування, побутова електроніка, охорона здоров'я, аерокосмічна промисловість та промислова автоматизація.

З розвитком технологій компактні, але потужні мікроконтролери зазнають

значних змін, щоб відповідати дедалі зростаючим вимогам промисловості. Ця еволюція визначається кількома основними тенденціями, які формують майбутнє технології мікроконтролерів, і вимагають створення більш продуктивних мікроконтролерів з удосконаленими периферійними пристроями для точних вимірювань, при цьому спрощуючи процес впровадження завдяки повній екосистемі розробки.

ШЛЯХ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ ПРОДУКТИВНОСТІ

Сучасні мікроконтролери вирішують низку важливих завдань — від підвищення складності програмного забезпечення до необхідності підвищення енергоефективності (рис. 1). Вони оснащені вбудованими периферійними пристроями, що забезпечують багатофункціональність, і відповідають високим стандартам безпеки та захисту. У наступному розділі ми розглянемо особливості цих досягнень, підкреслюючи їхню роль у трансформації потенціалу мікроконтролерів у цифровому середовищі, що вимагає більшої продуктивності від сучасних мікроконтролерів.

Підвищена складність програмного забезпечення

- **Інтеграція проектування на основі моделей.** Сучасні мікроконтролери сприяють швидкому створенню прототипів і генерації коду за допомогою інструментів проектування

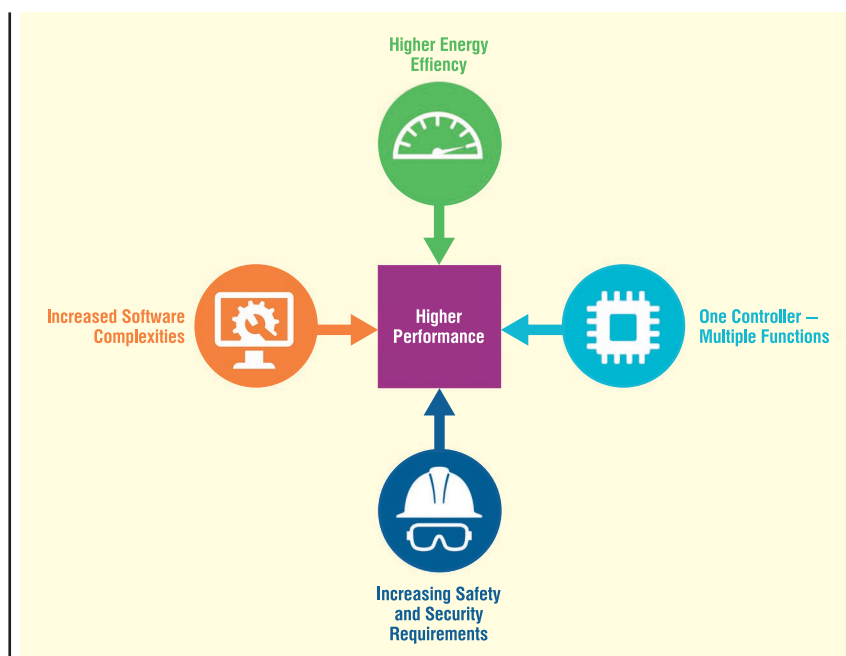


Рис. 1. Тенденції ринку вбудованих систем

на основі моделей. Це прискорює розробку складного програмного забезпечення та готовність виходу продукту на ринок.

- **Надійна безпека та захист.** Вдосконалені мікроконтролери мають комплексні екосистеми, що містять криптографічні модулі, механізми безпечного завантаження та відмовостійкої архітектури, які гарантують цілісність системи. Крім того, мікроконтролери повинні мати необхідну обчислювальну потужність для виконання діагностики функціональної безпеки та захисту, одночасно з основними прикладними функціями.
- **Розширена пам'ять та обробка даних.** Для задоволення зростаючих вимог до програмного забезпечення мікроконтролери мають більший об'єм пам'яті та підвищену обчислювальну потужність, що дозволяє ефективно підтримувати складні прикладні програми та багатозадачність.

Підвищення енергоефективності

Мікроконтролери все частіше розробляються з розширеними можливостями для підвищення енергоефективності системи. Це включає інтеграцію швидших і більш ефективних аналогових периферійних пристроїв, вдосконалення архітектури для оптимізації коду та підвищення продуктивності. Це дозволяє створювати ефективні системи керування двигунами, джерелами живлення та системами заряджання, які споживають менше енергії без шкоди для продуктивності.

Крім того, в мікроконтролери вбудовані складні алгоритми для динамічного керування та оптимізації енергоспоживання, що дозволяє забезпечити максимальну продуктивність при мінімальному споживанні енергії. Це сприяє збільшенню часу автономної роботи портативних пристроїв, зменшенню втрат енергії при перетворенні

та зниженню енергетичних витрат у різних сферах застосування.

Один контролер — кілька функцій

- **Багатофункціональність.** Сучасні мікроконтролери працюють як пристрої «все в одному», синхронізуючи виконання різних функцій.
- **Оптимізована архітектура.** Спрощує проектування системи, мінімізує кількість зайвих компонентів та підвищує продуктивність.
- **Вбудовані периферійні пристрої.** Знижують потребу в додаткових елементах на друкованій платі (зощаджуючи місце на ній), зменшують системні витрати та сприяють більш високій швидкості роботи.
- **Компактність і економічна ефективність.** Полегшують створення компактних, економічних та потужних електронних систем.

Підвищення вимог до безпеки та захисту

- **Відповідність вимогам безпеки.** Сучасні мікроконтролери призначені для автомобільного, промислового та побутового секторів, мають функції безпеки, що відповідають стандартам ISO 26262, IEC 61508, IEC 60730 тощо. Вони забезпечують відмовостійкість, виправлення помилок і самотестування, що зменшує ймовірність системних збоїв і підвищує безпеку користувача.
- **Підвищення безпеки.** Для боротьби з кіберзагрозами в мікроконтролери вбудовані криптографічні прискорювачі, механізми безпечного завантаження та контроль доступу, що забезпечує захист даних та інтелектуальної власності.

Це означає, що крім виконання своїх основних функцій, мікроконтролери тепер повинні забезпечувати додаткові

функції безпеки, що вимагає збільшення пропускну здатності процесора і підвищення продуктивності мікроконтролера.

ВИСОКОПРОДУКТИВНІ ЦИФРОВІ СИГНАЛЬНІ КОНТРОЛЕРИ (DSC) ВІД MICROCHIP

У сфері застосувань, що використовують вбудовані системи, програми керування в режимі реального часу потребують швидкої детермінованої реакції для забезпечення ефективної роботи. Сучасні мікроконтролери, оснащені можливостями ЦОС, необхідні для високошвидкісної обробки складних алгоритмів із низькою затримкою, що є критично важливим для варіантів застосувань у реальному часі, таких як керування двигуном, перетворення енергії та обробка даних з датчиків, де потрібна своєчасна і точна реакція системи. Цифрові сигнальні контролери від Microchip Technology® стали популярним рішенням, яке задовольняє складні потреби керування в реальному часі з високою точністю та надійністю.

НОВА ВДОСКОНАЛЕНА СЕРІЯ DSPIC33A: ЦИФРОВІ СИГНАЛЬНІ КОНТРОЛЕРИ НАСТУПНОГО ПОКОЛІННЯ ВІД MICROCHIP

У відповідь на ринкові тенденції, що вказують на попит на підвищену продуктивність, компанія Microchip активно вдосконалює цифрові сигнальні контролери dsPIC. Це вдосконалення охоплює інтеграцію високої продуктивності, збільшеного обсягу пам'яті в майбутніх пристроях, а також покращених і швидших периферійних пристроїв. Крім того, додаються вдосконалені функції безпеки та захисту для ефективного за-

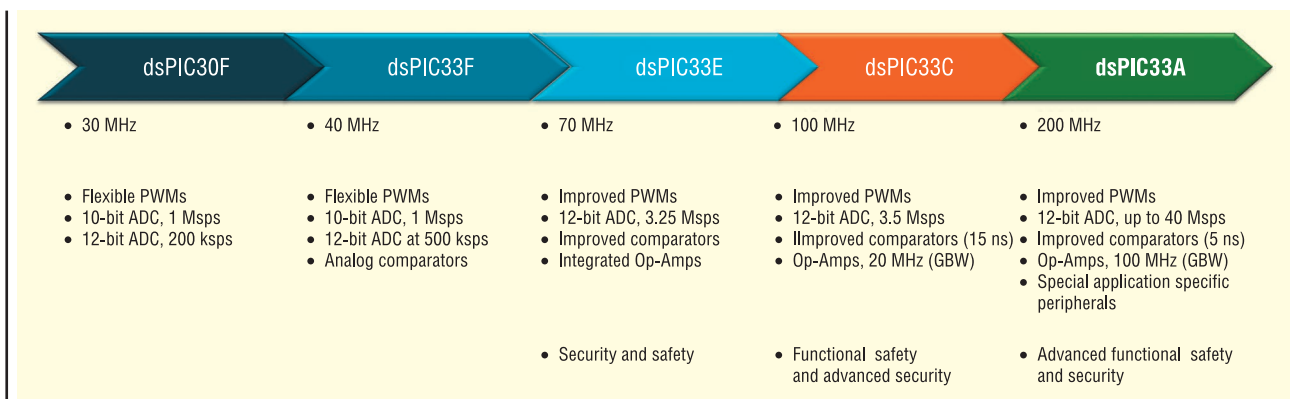


Рис. 2. Еволюція ядра dsPIC33 DSC

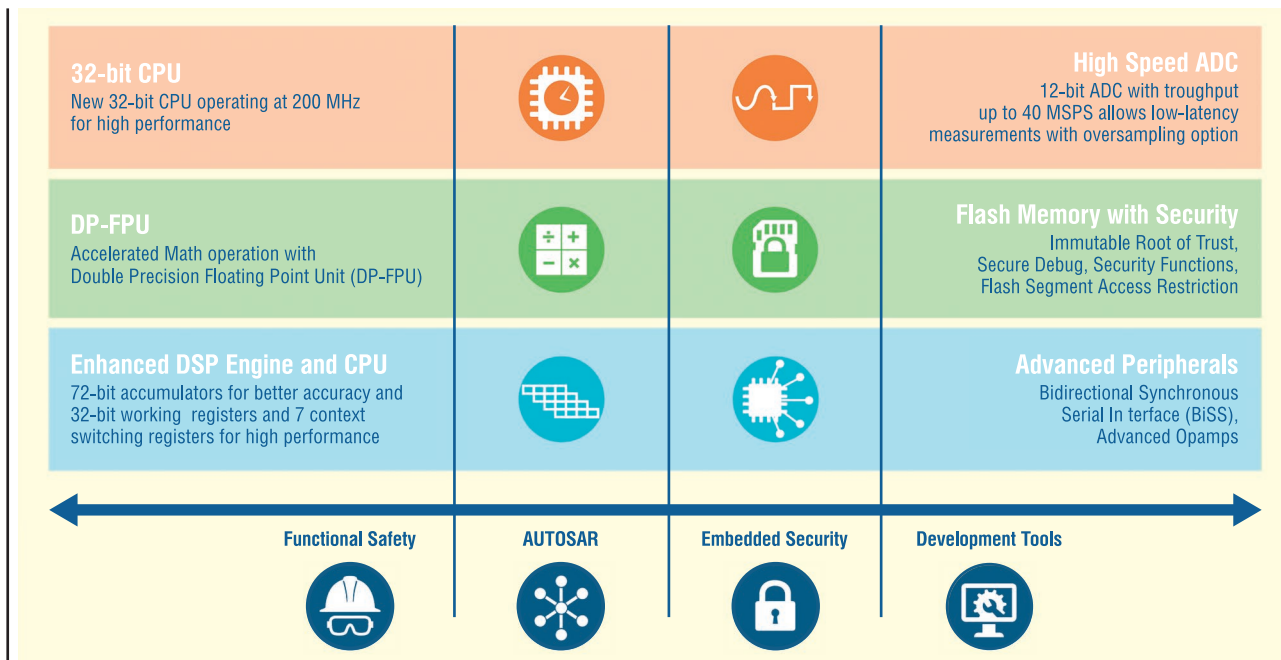


Рис. 3. Удосконалення в dsPIC33A DSC

доволення потреб ринку та вирішення його викликів. На рисунку 2 показана еволюція dsPIC DSC, де нова серія dsPIC33A є п'ятим поколінням DSC від Microchip Technology Inc.

Серія dsPIC33A DSC є революційним досягненням у технології мікроконтролерів, пропонуючи надійну та ефективну платформу для керування пам'яттю, оптимізації продуктивності та підтримки функціональної безпеки. Завдяки уніфікованій архітектурі пам'яті, високопродуктивному 32-розрядному процесору, блоку подвійної точності з рухомою крапкою (*Double-Precision Floating-Point Unit, DP-FPU*) та іншим передовим функціям (рис. 3), ця серія, зручна для розробників, підходить для широкого спектра застосувань, забезпечуючи точне керування в режимі реального часу та здатність вирішувати складні завдання. Високошвидкісні периферійні пристрої та розширені заходи безпеки роблять dsPIC33A привабливим вибором для тих, хто прагне впроваджувати найновіші інновації в сфері мікроконтролерів.

32-розрядний центральний процесор

dsPIC33A оснащений 32-бітним процесором з частотою 200 МГц і блоком FPU подвійної точності, що підвищує продуктивність для задач цифрової енергетики, надійного конструювання та керування двигунами. Це спрощує проектування на основі моделей та інтеграцію сторонніх інструментів, підвищуючи точність і швидкість розробки.

Блок подвійної точності з рухомою крапкою

Цей блок відповідає стандарту IEEE 754-2019, підтримує як одинарну, так і подвійну точність за допомогою виділеного конвейера. Це підвищує надійність програмного забезпечення, швидкість роботи контурів керування й одночасно знижує програмні помилки, пов'язані зі змінним масштабуванням. Блок включає апаратні функції синуса та косинуса для кращого керування двигуном.

Розширений механізм DSP і центральний процесор

Два 72-бітних акумулятори забезпечують високу роздільну здатність і точність, що значно зменшує ризик переповнення або нестачі результатів. 32-розрядні робочі регістри забезпечують високу продуктивність і роздільну здатність, мінімізують потребу в масштабуванні змінних та знижують ймовірність переповнень або недоповнень. Сім регістрів для перемикання контексту мінімізують затримки в системах, що працюють в реальному часі.

Удосконалені високошвидкісні периферійні пристрої

dsPIC33A має 12-бітний АЦП з частотою 40 MSPS, операційні підсилювачі з добутком коефіцієнта підсилення на ширину смуги пропускання 100 МГц (GBW) і швидкі компаратори з часом відгуку 5 нс, що покращує продуктивність і зменшує затримку для варіантів застосувань в реальному часі, таких як керування дви-

гуном, цифрове перетворення енергії, інтерфейси для датчиків тощо.

Крім того, спеціалізовані периферійні пристрої, як-от інтерфейс квадратурного енкодера (*Quadrature Encoder Interface, QEI*) і двонаправлений послідовний синхронний інтерфейс (*Bidirectional Serial Synchronous, BiSS*), забезпечують точне відстеження та обмін даними в реальному часі для оберткових положень валів без порушення у потоці даних. Незалежні периферійні пристрої, такі як конфігурувані логічні комірки (*Configurable Logic Cells, CLC*) та генератори периферійних тригерів (*Peripheral Trigger Generators, PTG*), підвищують ефективність процесора, виконуючи завдання автономно, щоб центральний процесор міг зосередитися на критичних операціях.

Розширені функції безпеки та архітектура пам'яті

Безпека пристрою забезпечується незмінними правами довіри (*Root of Trust*), безпечним налагодженням і обмеженням доступу до сегмента Flash. Пам'ять з ECC (*Error Correction Code*), моніторинг продуктивності та покращений моніторинг тактової частоти підвищують рівень безпеки. Уніфікована архітектура пам'яті та два банки оперативної пам'яті оптимізують продуктивність та спрощують прямий доступ до даних.

Спрощена екосистема розробки

Нова серія dsPIC33A спрощує розробку вбудованих систем завдяки

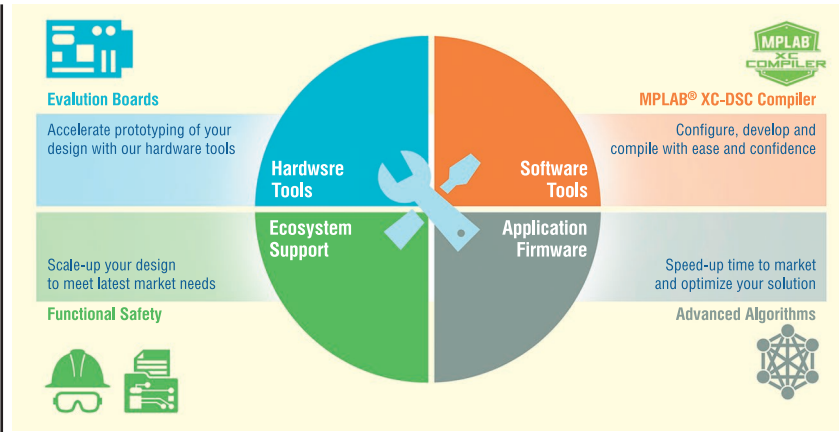


Рис. 4. Екосистема dsPIC33A

проектуванню на основі моделей і сумісній архітектурі інструкцій (Instruction Set Architecture, ISA) з існуючими DSC dsPIC33, що забезпечує плавний перехід (рис. 4).

Вона підтримується компілятором MPLAB® XC-DSC та MPLAB® Code Configurator та платою розробки серії dsPIC33A Curiosity Development Board (EV74H48A) із модулями, спеціально розробленими для керування двигуном, цифрової енергетики та інших вбудованих варіантів застосувань. У майбутньому планується розширення екосистеми для покращення підтримки проектування на основі моделей, керування двигунами та алгоритмів DSP для вдосконалених датчиків, цифрової енергетики та забезпечення функціональної безпеки.

ОБЛАСТІ ЗАСТОСУВАННЯ ТА РИНКИ

Нове сімейство DSC dsPIC33A допоможе підвищити продуктивність цілого ряду застосувань для керування в реальному часі в різних галузях промисловості (рис. 5):

- **Керування двигунами.** Будь то промислова автоматика, автомобільні системи або робототехніка, dsPIC DSC забезпечують точне керування двигуном, що сприяє безперебійній та ефективній роботі.
- **Силова електроніка.** У пристроях силової електроніки, таких як інвертори, перетворювачі та джерела живлення, dsPIC DSC відіграють важливу роль у досягненні точного

контролю та регулювання електричної потужності.

- **Взаємодія з сенсорами.** Обробка даних з сенсорів у режимі реального часу є важливою в таких випадках використання, як контрольно-вимірювальні прилади та моніторинг. DSC dsPIC ефективно обробляють дані з різних сенсорів, забезпечуючи швидку та точну реакцію за допомогою високопродуктивного ядра та вдосконалених високошвидкісних аналогових периферійних пристроїв.

ПЕРШИЙ ПРОДУКТ У СІМЕЙСТВІ DSPIC33A DSC

Перше сімейство сигнальних контролерів dsPIC33AK128MC1xx міститиме 128 КБ Flash-пам'яті та великий набір периферійних пристроїв, й буде пропонуватися в різних корпусах, таких як SSOP, VQFN і TQFP з кількістю виводів від 28 до 64, з розмірами корпусу всього 4 x 4 мм (рис. 6). Майбутні сімейства dsPIC33A з додатковою пам'яттю, периферійними пристроями та більшою кількістю контактів доповнять портфоліо.

ВИСНОВОК

Цифровий сигнальний контролер dsPIC33A від Microchip кардинально змінює правила гри для розробників

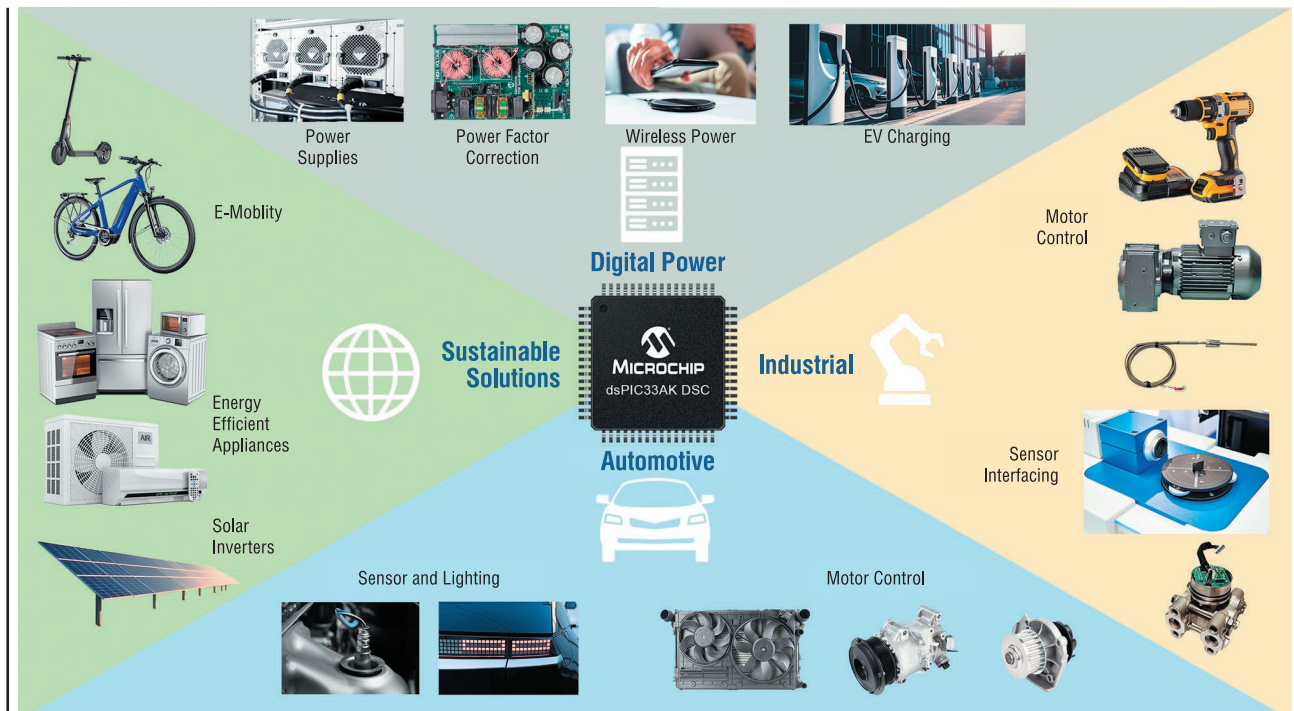


Рис. 5. Цільові застосування сімейства ЦСК dsPIC33A

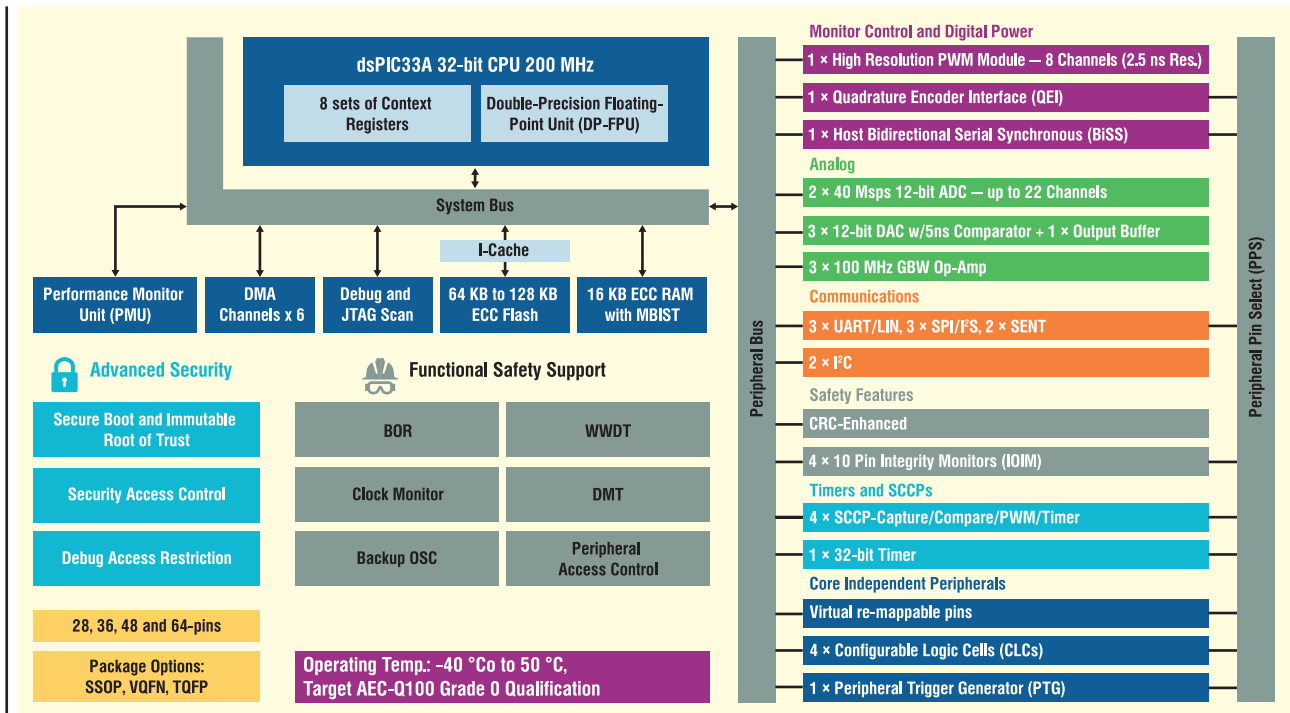


Рис. 6. Блок-схема dsPIC33A

вбудованих систем в автомобільному, промисловому та споживчому секторах. Завдяки вдосконаленому ядру, широкому набору периферійних пристроїв та універсальним інструментам

розробки, dsPIC33A DSC дає можливість інженерам розробляти складні алгоритми керування, які відповідають зростаючим вимогам до продуктивності, безпеки та ефективності. dsPIC33A

DSC — це не просто технологічний стрибок, це фундаментальний зсув у стратегіях керування в реальному часі, що обіцяє нову еру точності, надійності та інновацій. **СН**

ПРИСКОРЕННЯ ПЕРИФЕРІЙНОГО ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ В РЕАЛЬНОМУ ЧАСІ

Щоб дозволити розробникам створювати системи обробки інформації з датчиків на основі штучного інтелекту (ШІ), компанія **Microchip Technology** випустила сенсорний міст PolarFire® FPGA Ethernet, який працює з платформою обробки датчиків NVIDIA Holoscan.

ПЛІС PolarFire забезпечують багатопроTOCOLYну підтримку, і це перше рішення, випущене як частина платформи Microchip, сумісне з датчиками на основі MIPI® CSI-2® та фізичним рівнем MIPI D-PHY™. Майбутні рішення будуть підтримувати широкий спектр датчиків з різними інтерфейсами, в тому числі SLVS-EC™ 2.0, 12G SDI, CoaXPress® 2.0 і JESD204B. Платформа дозволяє розробникам використовувати можливості екосистеми NVIDIA Holoscan, а також енергоефективну технологію PolarFire FPGA з низькою затримкою зв'язку та підтримкою багатопроTOCOLYних датчиків.

NVIDIA Holoscan допомагає спростити розробку та розгортання програм штучного інтелекту та високопродуктивних обчислень (High-Performance Computing, HPC) на периферії для отримання аналітики в реальному часі. Вона об'єднує в єдину платформу необхідні апаратні та програмні системи для потокової передачі даних з датчиків з низькою затримкою та мережевого з'єднання. Платформа містить оптимізовані бібліотеки для обробки даних, зразки моделей штучного інтелекту для швидкого запуску конвеєра штучного інтелекту, шаблонні програми для швидкого створення прототипів і основні мікросервіси для запуску поточкових, візуалізаційних та інших додатків.

Завдяки здатності передавати дані датчиків у реальному часі до NVIDIA Holoscan і платформ NVIDIA IGX і NVIDIA Jetson для периферійного ШІ та робототехніки, Ethernet-датчик PolarFire FPGA Sensor Bridge відкриває нові периферійно-хмарні програми, дозволяє формувати висновки на основі ШІ/МЛ і сприяє впровадженню ШІ на медичному, промисловому та автомобільному ринках.

«Поєднуючи нашу гнучку структуру ПЛІС з передовою платформою NVIDIA для штучного інтелекту та багатопроTOCOLYною підтримкою, ми надаємо розробникам можливість створювати інноваційні рішення в реальному часі, які революціонізують інтерфейси датчиків у широкому спектрі потужних периферійних застосувань, керованих штучним інтелектом», — сказав Брюс Вейер (Bruce Weyer), віцепрезидент підрозділу ПЛІС компанії Microchip.

Використовуючи низьке енергоспоживання технології PolarFire FPGA від Microchip, сенсорний міст NVIDIA Holoscan ефективно керує високошвидкісними даними з різних датчиків через Ethernet, забезпечуючи високопродуктивну обробку ШІ в реальному часі на платформах NVIDIA AI. Енергоефективна конструкція також сприяє створенню малогабаритних продуктів, чутливих до енергоспоживання та витрат. ПЛІС PolarFire вирішують проблеми безпеки в сенсорних рішеннях, надаючи вбудовані функції безпеки та захисту від потенційних кіберзагроз і забезпечуючи фізичну цілісність, цілісність пристроїв, дизайну та даних.

www.microchip.com



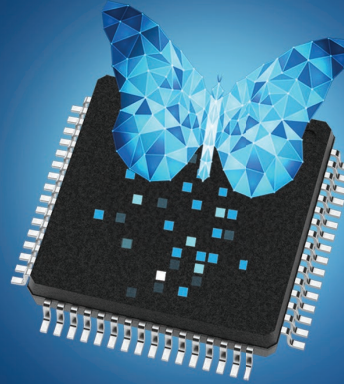
dsPIC33F
40 MHz



dsPIC33E
70 MHz



dsPIC33C
100 MHz



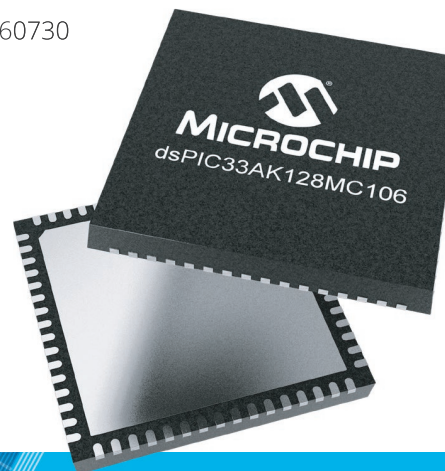
dsPIC33A
200 MHz
32-bit CPU with FPU
10x Faster Analog

Цифровий сигнальний контролер dsPIC® наступного покоління

Інновації та точність керування в реальному часі

Сучасні системи керування в реальному часі вимагають покращеної оптимізації, більшої обчислювальної ефективності та ширшої функціональності. Новітній цифровий сигнальний контролер dsPIC33A DSC від Microchip допомагає вирішувати складні завдання при реалізації високопродуктивних систем. Цей вдосконалений контролер має підвищену ефективність та інтеграційні можливості, що дозволяють виконувати декілька функцій на одному пристрої. Він спрощує інтеграцію коду з інструментів моделювання з особливою увагою до безпеки та захисту. Перші dsPIC33AK «MC1» у цій серії мають такі ключові характеристики:

- Повний 32-розрядний набір інструкцій
- Співпроцесор з рухомою крапкою (FPU) одинарної та подвійної точності
- До 128 Кбайт програмної флеш-пам'яті (ECC)
- До 16 Кбайт оперативної пам'яті (ECC та MBIST)
- Роздільна здатність ШІМ до 2,5 нс
- Два високошвидкісних 12-бітних АЦП зі швидкістю до 40 Мбіт/с (затримка перетворення 25 нс)
- Три аналогових компаратори із затримкою 5 нс
- Три операційних підсилювачі з частотою до 100 МГц
- Підтримка функціональної безпеки за стандартами ISO 26262/IEC 61508/IEC 60730
- Безпека контролю доступу
- 28-64 вивідні корпуси
- Автомобільна сертифікація Q100



microchip.com/dsPIC33A



Назва та логотип Microchip і логотип Microchip є зареєстрованими товарними знаками компанії Microchip Technology Incorporated в США та інших країнах. Всі інші торгові марки є власністю їх зареєстрованих власників.
© 2024 Microchip Technology Inc. Всі права захищені.
MEC2584A-RUS-10-24

Всесіпазонні GNSS-приймачі покращують точність позиціонування, навігації та синхронізації. Ось як це відбувається

Мортен Стрьом (Mårten Ström), u-blox

Оскільки технології GNSS/GPS продовжують розвиватися, наступним рубежем у впровадженні рішень для позиціонування, навігації та синхронізації (Positioning, Navigation, Timing, PNT) буде розширення переваг всесіпазонних GNSS для зростаючого спектру ринків і застосувань. У цій статті описано, як нове покоління потужних, компактних всесіпазонних модулів GNSS підвищує продуктивність за ключовими показниками, покращуючи точність, доступність GNSS і час конвергенції (збіжності), а також оптимізуючи виробництво і логістику, створюючи перспективні рішення, підвищуючи безпеку та знижуючи загальну вартість використання.

Понад чотири десятиліття GNSS/GPS технології постійно розвиваються, підвищуючи точність і надійність, а також надаючи можливість застосовувати все складніші системи позиціонування, навігації та синхронізації (Positioning, Navigation and Timing, PNT). Протягом

останніх років ця еволюція була прискорена постійним впровадженням нових супутникових сигналів, що охоплюють все ширший частотний спектр.

Сучасні багатодіапазонні GNSS-приймачі, здатні відстежувати сигнали в усіх доступних частотних діапазонах й

значно підвищили продуктивність PNT, що дозволяє використовувати їх у складних задачах. Однак їхня висока вартість значною мірою обмежила їхнє застосування у високовартісних секторах, зокрема в геодезії та використанні важкої техніки в будівництві й гірничодобувній промисловості.

У цій статті розглядаються переваги нового покоління компактних всесіпазонних GNSS-приймачів, призначених для задоволення потреб ключових застосувань, в тому числі безпілотних наземних транспортних засобів (*Unmanned Ground Vehicles, UGV*), безпілотних літальних апаратів (*Unmanned Aerial Vehicles, UAV*), важкої техніки і точного землеробства, автомобільних навігаційних систем, а також промислового хронометражу та синхронізації.

Після представлення супутникових сигналів, що передаються всіма основними глобальними та регіональними супутниковими системами, в статті описано, як всесіпазонні GNSS-приймачі підвищують продуктивність за ключовими комерційними показниками, окрім точності, надійності та стійкості, в тому числі оптимізацію виробництва, спрощення логістики, а також підвищення безпеки та цілісності даних.

Важливо, що здатність всесіпазонних GNSS-приймачів відстежувати всі частотні діапазони, що використовуються супутниками GNSS, гарантує, що їх можна модернізувати для доступу до нових послуг, таких як високоточна сервісна служба Galileo (*High Accuracy Service, HAS*) і японська служба доповнення сантиметрового рівня (*Centimeter Level Augmentation Service, CLAS*). Це робить всесіпазонні модулі

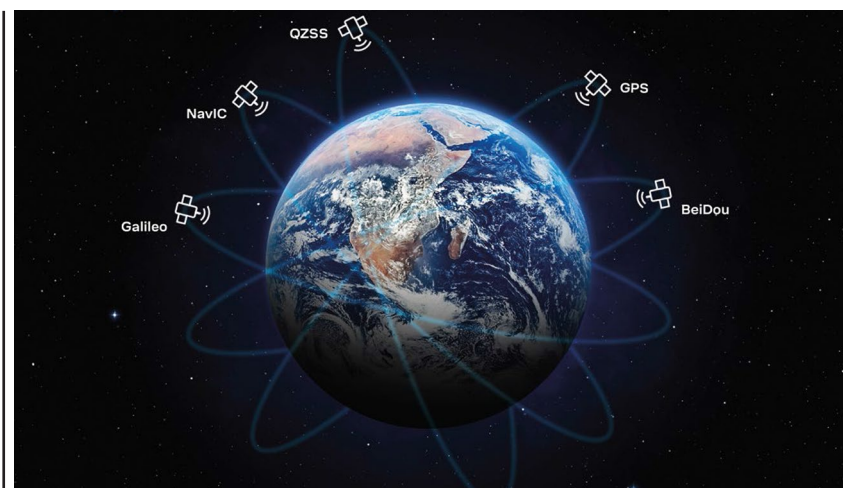


Рис. 1. Всесіпазонні GNSS-приймачі відстежують всі частотні діапазони, що використовуються супутниками GNSS

GNSS-приймачів ключовими інструментами для впровадження цих сервісів на масовому ринку (рис. 1).

Оскільки вседіапазонні GNSS-приймачі стають ідеальною платформою для перспективних застосувань, компанія u-blox продовжує сприяти впровадженню технології, розробляючи обладнання для позиціонування, доступне для високопродуктивних застосувань на масовому ринку.

ВСЕДІАПАЗОННА GNSS: ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ НАЙКРАЩОЇ ДОСТУПНОЇ ПРОДУКТИВНОСТІ GNSS ДЛЯ НОВИХ СФЕР ЗАСТОСУВАННЯ

З моменту їх впровадження у 1980-х роках продуктивність супутникових систем позиціонування, навігації і синхронізації (*Positioning, Navigation, and Timing, PNT*) визначалася високим ринковим попитом на покращення точності та доступності цих систем. Ця еволюція призвела до поширення супутникових сигналів, як завдяки додаванню нових супутників GNSS, так і, останнім часом, завдяки розширенню спектра супутникових сигналів у все більший кількість частотних діапазонів. Сьогодні сигнали GPS/GNSS транслюються на багатьох частотах в L-діапазоні від 1 до 2 ГГц. Ці частоти зазвичай поділяються на діапазони L1, L2, L5 і L6/E6 (рис. 2).

Перше покоління GNSS-приймачів для цивільного використання мало доступ лише до супутникових сигналів, які транслювалися в діапазоні L1, що обмежувало їхню продуктивність з погляду точності позиціонування і надійності. Ці обмеження також знижували їхню здатність підтримувати більш сучасні програми, особливо в складних умовах.

З розвитком технології GNSS впровадження багатодіапазонних приймачів стало значним кроком вперед. Ці пристрої, здатні відстежувати декілька частотних діапазонів, значно свою підвищили продуктивність, що дозволило використовувати їх у складніших випадках.

Сьогодні еволюція технології GNSS досягла кульмінації в розробці вседіапазонних GNSS-приймачів, що розширює сферу застосування цих високопродуктивних рішень для позиціонування на нових ринках і в нових сферах використання. За цим проривом стоїть нове покоління потужних, компактних і економічних GNSS-приймачів, здатних ви-

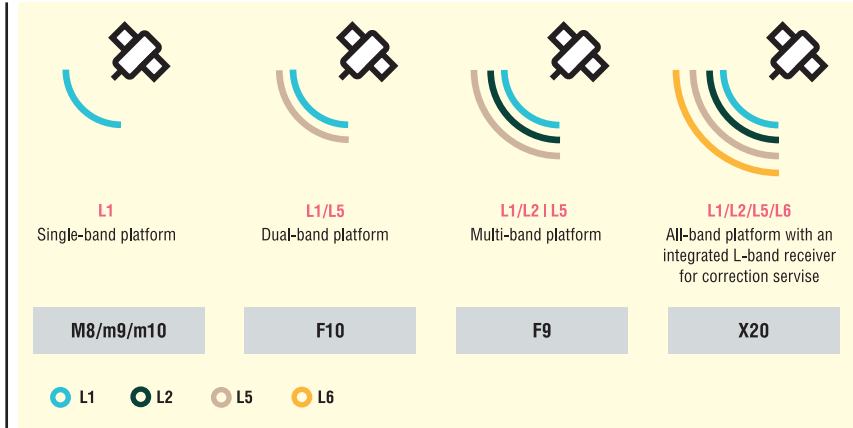


Рис. 2. Трансляція GPS/GNSS-сигналів на багатьох частотах в L-діапазоні

користувати весь спектр GNSS-сигналів, що передаються супутниками GNSS і наземною інфраструктурою. У цій статті досліджується потенціал вседіапазонних GNSS-приймачів для забезпечення високоточного позиціонування, навігації та синхронізації для зростаючого спектру промислових, автомобільних і комерційних застосувань.

ВИВЧЕННЯ ЦІННОСТІ БІЗНЕСУ ЗА МЕЖАМИ ДОСЯЖНОСТІ СУЧАСНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Технологія GNSS/GPS стала повсюдно використовуватися для позиціонування, навігації та визначення часу в промислових, автомобільних, комерційних і споживчих галузях. Забезпечуючи точність позиціонування до сантиметрів і точність синхронізації на рівні наносекунд у будь-якій точці планети, вона надає неперевершену цінність для різноманітних застосувань.

Використання повного спектра сигналів GPS/ GNSS дозволить отримати ще більшу вигоду для бізнесу від високопродуктивних застосувань PNT, які наразі покладаються на багатодіапазонні GNSS-рішення. Наведені нижче приклади використання демонструють потенційні переваги вседіапазонних GNSS-рішень не тільки з погляду продуктивності, але й з погляду дизайну рішення, безпеки та вартості використання.

Безпілотні наземні транспортні засоби (Unmanned Ground Vehicles, UGV)

Багатодіапазонні GNSS рішення. Безпілотні наземні транспортні засоби працюють в одних з найскладніших сигнальних середовищ, використовуючи багатодіапазонні GNSS-приймачі та послуги GNSS-корекції для досяг-

нення дециметрової точності позиціонування. Такі високоточні рішення для позиціонування зазвичай складаються з багатодіапазонного GNSS-приймача і підписки на локальний потік даних корекції, який часто передається через стільникові мережі.

Вседіапазонні GNSS-рішення. Вседіапазонні GNSS-приймачі обіцяють підвищити доступність, надійність і безпеку рішень для позиціонування UGV шляхом використання супутникових сигналів, що випромінюються у всіх частотних діапазонах. Здатність вседіапазонних GNSS-приймачів відстежувати всі сигнали, включно з даними глобальної GNSS-корекції, за допомогою одного пристрою ще більше підвищує гнучкість у розробці, виробництві, сертифікації та глобальному розповсюдженні рішень.

Переваги та можливості:

- максимальна доступність завдяки використанню всіх доступних сигналів GNSS;
- підвищена надійність рішення та швидша конвергенція;
- глобально доступний сервіс корекції для високоточного позиціонування;
- підвищена відмовостійкість завдяки незалежності від вразливих корекцій на основі IP;
- рішення, що застосовується в усьому світі та спрощує виробництво та логістику;
- просте, доступне рішення для позиціонування в одному пристрої.

Безпілотні літальні апарати (Unmanned Aerial Vehicles, UAV)

Багатодіапазонні GNSS-рішення.

Безпілотні літальні апарати зазвичай працюють в умовах відкритого неба, поєднуючи багатодіапазонні GNSS-приймачі з послугами GNSS-корекції для досягнення дециметрової точності позиціонування.

Вседіапазонні GNSS-рішення. Вседіапазонні GNSS-приймачі принесуть користь БПЛА завдяки розширенню діапазону частот і кращому захисту від навмисних і ненавмисних радіочастотних перешкод. Доступ до всевітньої визнаної служби корекції, інтегрованої в модуль «все в одному», радикально спростить розробку, виробництво, сертифікацію та глобальне впровадження продукту.

Переваги та можливості:

- максимальна доступність завдяки використанню всіх доступних сигналів GNSS;
- підвищена надійність рішення та швидша конвергенція;
- глобально доступний сервіс корекції для високоточного позиціонування;
- підвищена відмовостійкість завдяки незалежності від вразливих корекцій на основі IP;
- глобально доступне рішення, що спрощує виробництво та логістику;
- просте, доступне рішення для позиціонування в одному пристрої.

Важка техніка та точне землеробство

Багатодіапазонні GNSS-рішення.

Рішення PNT для будівельної та гірничодобувної техніки, а також для точного землеробства покладаються на багатодіапазонні високоточні GNSS-приймачі та дані корекції GNSS на основі IP-технологій. Часто використовуються у віддалених регіонах з нерегулярним прийманням даних стільникового зв'язку, вони можуть потребувати локально згенерованих опорних даних GNSS, що передаються з найближчої базової станції через UHF, щоб досягти сантиметрової точності, необхідної для застосування.

Вседіапазонні GNSS-рішення. На додаток до спрощення проектування систем позиціонування, що використовуються у важкій техніці та точному землеробстві, вседіапазонні GNSS-рішення дозволяють користувачам отримувати доступ до нових сигналів і сервісів GNSS, коли вони стають доступними. До них відносяться дані корекції GNSS, що передаються через супутник, наприклад, високоточна сервісна служба Galileo (High Accuracy Service, HAS), яка передається супутниками Galileo в діапазоні частот L6/E6.

Переваги та можливості:

- максимальна доступність завдяки використанню всіх доступних сигналів GNSS;
- підвищена надійність рішення та швидша конвергенція;

- легкий доступ до комерційних і нових безкоштовних сервісів корекції, в тому числі HAS;
- підвищена безпека завдяки використанню всіх доступних сигналів GNSS;
- просте, доступне рішення для позиціонування в одному пристрої.

Автомобільні системи позиціонування

Багатодіапазонні GNSS-рішення. Рішення GPS/GNSS, що використовуються в автомобільних навігаційних системах, зазвичай складаються з декількох апаратних компонентів і підписок на географічно релевантні послуги GNSS-корекції. Серед поширених проблем — низька доступність послуг у віддалених районах з ненадійним стільниковим покриттям, керування підпискою на коригувальні дані при виході на нові географічні ринки, високі очікування щодо безпеки та витрати, які перешкоджають масовому впровадженню на ринку.

Вседіапазонні GNSS-рішення. Об'єднуючи всі компоненти рішення для позиціонування в єдиний блок, вседіапазонні GNSS спрощує розробку рішення. Використання всіх доступних супутникових сигналів, включно з даними корекції супутникового мовлення, відкриває шлях до послуг GNSS корекції, що забезпечують глобальну високоточну роботу GNSS. Підвищена надійність і доступ до зашифрованих сигналів GNSS забезпечують найвищий захист від глушіння і підмін (спуфінгу).

Переваги та можливості:

- глобально доступний сервіс корекції для високоточних GNSS;
- підвищена надійність рішення та швидша конвергенція;
- глобально доступне рішення, що спрощує виробництво та логістику;
- чудова масштабованість супутникового мовлення для великих проєктів;
- підвищена безпека завдяки використанню всіх доступних сигналів GNSS;
- просте, доступне рішення для позиціонування в одному пристрої.

Мережева інфраструктура та синхронізація часу

Багатодіапазонні GNSS-рішення. Сучасні багатодіапазонні GNSS-приймачі забезпечують синхронізацію часу з точністю до п'яти наносекунд у типових середовищах макростільникових мереж. Однак, через постійне ущільнення мереж, мережі 5G все більше

залежать від вуличних установок, що створює нові виклики для приймання GNSS-сигналів.

Вседіапазонні GNSS-рішення. Сучасні вседіапазонні GNSS-приймачі синхронізації вирішують проблеми стільникового зв'язку, використовуючи більшу кількість доступних сигналів і пропонуючи підвищену точність синхронізації. Це забезпечує необхідний запас продуктивності для надійної мережевої синхронізації навіть у найскладніших умовах. Доповнені новітніми функціями безпеки, вони ідеально підходять для критично важливих інфраструктурних застосувань.

Переваги та можливості:

- глобально доступне рішення, що спрощує виробництво та логістику;
- підвищена безпека завдяки використанню всіх доступних сигналів GNSS;
- просте, доступне рішення для позиціонування в одному корпусі.

РОЗУМІННЯ ЧАСТОТНИХ ДІАПАЗОНІВ GNSS, ЩО ЛЕЖАТЬ В ОСНОВІ СУЧАСНИХ РІШЕНЬ PNT

Розглянемо детальніше частотні діапазони GNSS, що лежать в основі сучасних рішень PNT (рис. 3).

Діапазон L1: 1559–1610 МГц

Діапазон GNSS L1, який найчастіше згадується як такий, що зосереджений навколо частоти 1575.42 МГц, охоплює сигнали від усіх глобальних супутникових систем GNSS в діапазоні від 1559 до 1591 МГц (включно з ГЛОНАСС до 1610 МГц) (табл. 1). З моменту створення GPS сигнал GPS L1 C/A був основним сигналом для цивільних навігаційних і синхронізаційних застосувань GNSS.

Сьогодні всі основні глобальні GNSS-системи — GPS, Galileo, BeiDou і ГЛОНАСС — транслюють навігаційні сигнали в діапазоні L1, який також використовується супутниковою системою доповнення (SBAS) і регіональними системами для підвищення точності та цілісності.

Діапазон L1 продовжує розвиватися, оскільки GNSS-системи впроваджують нові модернізовані сигнали, такі як сигнал GPS L1C. Сигнал L1C, який зараз транслюється шістьма супутниками, є значним стрибком у розробці сигналу, і очікується, що до кінця десятиліття він буде повноцінно використовуватися щонайменше 24 супутниками.

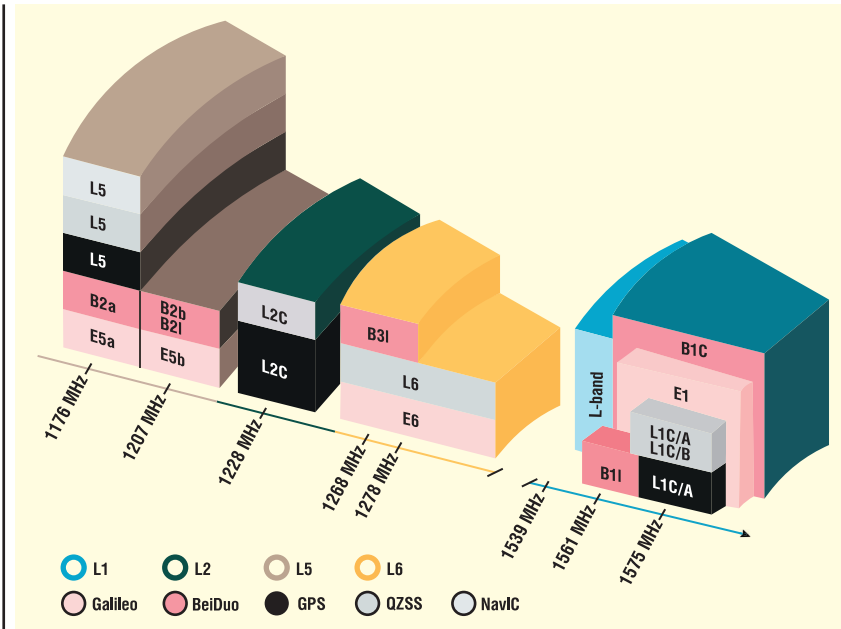


Рис. 3. Частотні діапазони GNSS, що лежать в основі сучасних рішень PNT

Діапазон L2: 1215–1252 МГц

Діапазон L2 з центром на частоті 1227.60 МГц відомий насамперед завдяки використанню його системою GPS, але в ньому також приймаються сигнали інших GNSS-систем, зокрема ГЛОНАСС і QZSS (табл. 2). Сигнали GPS L2 відіграють важливу роль у підвищенні точності GNSS-служб завдяки двочастотній роботі, яка забезпечує точнішу

корекцію іоносферних помилок і покращує проникнення сигналу крізь хмари, дерева та міську забудову.

З моменту свого створення GPS-система передавала в цьому діапазоні код L2 P(Y) для використання у військових цілях. Сучасні цивільні приймачі використовують цей військовий сигнал, використовуючи метод відстеження без коду. У своїй програмі модернізації Кос-

мічні сили США запровадили сигнал L2C як другий цивільний сигнал GPS для задоволення комерційних потреб, що зробило безкодове відстеження військового сигналу застарілим.

ГЛОНАСС передає сигнали в діапазоні L2 на дещо вищих частотах, що зумовлює потребу в розширеному частотному діапазоні. Система QZSS, яка покращує роботу GNSS над Японією і регіоном Азії та Океанії, також передає свій сигнал L2C в діапазоні L2.

Разом ці системи роблять діапазон L2 критично важливим компонентом для передових GNSS-застосувань. Модернізація GPS з поступовим розгортанням сигналу L2C обіцяє розширені можливості та надійність у найближчі роки.

Діапазон L5: 1164–1210 МГц

Діапазон GNSS L5 з центром на частоті 1176.45 МГц є одним з найсучасніших і найнадійніших частотних діапазонів, що використовуються сьогодні (табл. 3). Цей діапазон і його сигнали були швидко прийняті користувачами GNSS, в тому числі в побутовій електроніці й малопотужних GNSS-приймачах, які потребують помірного підвищення точності та доступності.

Діапазон L5 спеціально призначений для застосування у сферах безпеки життєдіяльності, таких як авіація, де ви-

Таблиця 1. Короткий опис сигналів цивільних GNSS та їхніх послуг, що транслюються в діапазоні L1

Frequency Band	GPS	GLONASS	Galileo	BeiDou	QZSS	NavIC
L1/E1	L1C/A: Standard Positioning Service (SPS) L1C: PNT Service, in development	L1OF: Standard Precision Signal	E1: Open Service (OS), Public Regulated Service (PRS), Search and Rescue (SAR), Open Service Navigation Message Authentication (OSNMA)	B1C and B1I: Basic Navigation Services	L1C/A, L1C/B, L1C: PNT Service, Signal Authentication Service L1S: Sub-meter Level Augmentation Service (SLAS), DC Report L1Sb: SBAS Transmission Service	L1: Standard Positioning Service, in development

Таблиця 2. Короткий опис сигналів GNSS та їхніх послуг, що транслюються в діапазоні L2

Frequency Band	GPS	GLONASS	Galileo	BeiDou	QZSS
L2	L2C: Enhanced civilian service, P(Y) code: Precise Positioning Service	L2OF: Standard Precision Signal	-	-	L2OF: Standard Precision Signal

Таблиця 3. Короткий опис сигналів GNSS та їхніх послуг, що транслюються в діапазоні L5

Frequency Band	GPS	GLONASS	Galileo	BeiDou	QZSS	NavIC
L5/E5	L5: Open PNT service (preoperational status)	-	E5a: Open Service (OS) E5b: Open Service (OS), Commercial Service (CS)	B2a and B2I: Basic Navigation Services B2b: Basic Navigation Services, Short Message Service (SMS), International Search and Rescue Services, and PPP services	L5: PNT Service, Signal Authentication Service L5S: Positioning Technology Verification Service	L5: Standard Positioning Service (SPS)

сока точність і надійність мають першорядне значення. Цей діапазон охоплює сигнали різних GNSS-систем, зокрема GPS, Galileo, BeiDou, а також регіональних систем QZSS і NAVIC.

Сигнал GPS L5, запроваджений в рамках модернізації GPS, призначений для забезпечення вищої точності та цілісності сигналу, особливо в складних умовах. Він працює разом із сигналами Galileo E5a та E5b, а також сигналами BeiDou B2a і B2b, які посилюють інфраструктуру GNSS в цьому діапазоні частот. Крім того, QZSS і NAVIC, які підтримують роботу GNSS у відповідних регіонах Азії та Океанії, також передають свої сигнали L5 у цьому діапазоні.

Впровадження діапазону L5 знаменує собою значний крок вперед у розвитку GNSS-технологій, пропонуючи розширені можливості для критично важливих застосувань, які вимагають найвищих рівнів точності та надійності. Розгортання сигналів L5 в різних системах GNSS триває з метою досягнення повного глобального покриття в найближчі роки.

Діапазон L6/E6: 1260–1300 МГц

Останнім доданим діапазоном частот є діапазон L6 з центром на частоті 1278.75 МГц (табл. 4). Діапазон L6, який дедалі більше визнають за його роль у передових застосуваннях GNSS, особливо тих, що вимагають високої точності та спеціалізованих послуг, охоплює сигнали від декількох GNSS систем, в тому числі Galileo, BeiDou та QZSS.

Розташований в цьому діапазоні, сигнал Galileo E6 використовується для забезпечення високоточних послуг системи (high-accuracy services, HAS) і нових захищених послуг. Сигнал B3I від BeiDou посилює ширшу екосистему GNSS, забезпечуючи додатковий рівень точності та надійності.

В Азійсько-Океанійському регіоні сигнал L6E діапазону L6 дозволяє надавати послуги доповнення, в тому числі послугу сантиметрової точності (CLAS), регіональну послугу PPP-RTK над ма-

териковою частиною Японії, і розширену демонстрацію мульти-GNSS для початкового вирівнювання координат (*Multi-GNSS ADvanced Orbit and Clock Augmentation, MADOCA*), регіональну послугу точного позиціонування (*Precise Point Positioning, PPP*), яка наразі охоплює Азійсько-Тихоокеанський регіон, але може бути розширена до глобальної послуги PPP.

Діапазон L6 швидко перетворився на важливий діапазон для високотехнологічних GNSS-пристроїв, які потребують розширених можливостей, таких як підвищена точність і цілісність. Оскільки ці системи продовжують розвиватися, діапазон L6 буде відігравати все більшу роль у передових навігаційних застосуваннях, зокрема, у визначенні часу і високоточних параметрів, з очікуванням застосуванням в автомобільній галузі.

L-діапазон: 1520–1559 МГц

L-діапазон забезпечує безперервний зв'язок по всьому світу і використовується для передачі високоточних сервісів на GNSS-приймачі в системах промислової автоматизації, точного землеробства і морських застосуваннях. Він підтримує критичні застосування, орієнтовані на безпеку, за допомогою спеціалізованих послуг доповнення, таких як диференціальні поправки та інформація про цілісність. Таким чином, L-діапазон є фундаментальним спектром для майбутніх інновацій GNSS, забезпечуючи масштабованість і більшу точність для передових технологій, таких як автономне водіння.

ВСЕДІАПАЗОННА GNSS ПІДВИЩУЄ ПРОДУКТИВНІСТЬ ЗА КЛЮЧОВИМИ КОМЕРЦІЙНИМИ ПОКАЗНИКАМИ

Завдяки поєднанню технологічних розробок супутникові приймачі позиціонування, здатні одночасно відстежувати всі доступні GNSS-сигнали, готові принести свої переваги для масового застосування. Використовуючи дані з усіх

частот, що транслюються орбітальними супутниками, ці компактні, легко інтегровані всередіапазонні GNSS-модулі відповідають точності, яку забезпечують сучасні рішення преміум-класу для позиціонування та синхронізації. Водночас вони підвищують продуктивність за ключовими комерційними показниками, оптимізуючи виробництво, спрощуючи логістику, суттєво зменшуючи загальну вартість використання та додаючи відчутну цінність у процесі експлуатації.

Оптимізоване виробництво

Оскільки всі функції позиціонування можна розмістити в одному пристрої з вбудованим приймачем L-діапазону, така установка спрощує доступ до високопродуктивного позиціонування, використовуючи послуги GNSS-корекції, що транслюються через супутник або наземну мережеву інфраструктуру.

Спрощена логістика

Один пристрій забезпечує глобальне розгортання, надаючи послуги на географічно фрагментованих ринках, чи то через покриття супутникових систем, чи то через підписку на послуги GNSS-корекції.

Підвищена доступність

Хоча точність і надійність залишаються порівнянними з тими, що досягаються багатодіапазонними приймачами, всередіапазонні GNSS-приймачі підвищують доступність сервісу PNT. Відстеження більшої кількості діапазонів означає більшу кількість відстежуваних сигналів, що забезпечує найвищу точність навіть у складних сигнальних умовах. Додаткове резервування підвищує захист від перебоїв з сигналом і простоїв.

Доступ до нових послуг

Оскільки екосистема GNSS продовжує розвиватися і з'являються нові сигнали і послуги, можливість відстежувати сигнали у всіх відповідних частотних діапазонах забезпечує надійність пристроїв, гарантуючи, що вони можуть бути модернізовані для використання

Таблиця 4. Короткий опис сигналів GNSS та їхніх послуг, що транслюються в діапазоні L6/E6

Frequency Band	GPS	GLONASS	Galileo	BeiDou	QZSS
L6/E6	-	-	E6: Galileo High Accuracy Service (HAS)	B3I: Basic Navigation Services	L6D: Centimeter Level Augmentation Service (CLAS) L6D and L6E: MultiGNSS Advanced Orbit and Clock Augmentation – Precise Point Positioning (MADOCAPP) L6E: Signal Authentication Service

новітні послуг, таких як високоточна сервісна служба (*High Accuracy Service, HAS*) від Galileo і CLAS в Японії, шляхом оновлення прошивки.

Розширення географічного покриття високоточного позиціонування (high precision positioning, HPG)

Використання всіх доступних супутникових сигналів дозволяє усунути місцеві атмосферні поправки без втрати точності. Це відкриває шлях до високоточного позиціонування з глобальним покриттям і розширює географічне охоплення ринку та доступність послуг, особливо в регіонах, які раніше не обслуговувалися існуючими технологіями.

Підвищена безпека та цілісність

Відстеження сигналів від усіх супутникових систем GNSS у всіх діапазонах забезпечує надлишковість, яку можна використати для підвищення безпеки та цілісності послуги PNT. У поєднанні з сучасними сервісами, орієнтованими на безпеку, таким як Galileo OSNMA, всюдіапазонні приймачі добре обладнані для захисту користувачів від різних загроз глушіння і спуфінгу.

ЯК РІШЕННЯ НОВОГО ПОКОЛІННЯ ЕКОНОМІЧНО ЕФЕКТИВНО ВИКОРИСТОВУЮТЬ ВЕСЬ ПОТЕНЦІАЛ СИГНАЛІВ GNSS

Як зазначалося на початку статті, переваги продуктивності всюдіапазонних GNSS-приймачів до цього часу були доступні лише для дорогих комерційних застосувань, здатних поглинути їхню високу вартість використання. Сьогодні зростаючі очікування щодо продуктивності низько- і середньовитратних застосувань збігаються зі зростаючим фінансовим тиском на високовартісні застосування, що призводить до зростання ринкового попиту на більш економічно ефективні всюдіапазонні GNSS-рішення.

Вперше на горизонті з'явилося нове покоління потужних, компактних всюдіапазонних GNSS-приймачів за ціною, яка робить їх доступними для всіх високопродуктивних GNSS-застосувань. Ключовими факторами, що сприяють цьому, є постійна мініатюризація кремнієвих приймачів та інтеграція приймача L-діапазону в GNSS-модуль.

Водночас виробники GNSS-антен випускають продукцію, налаштовану на прийом усіх відповідних частотних

діапазонів GNSS, в тому числі для передавання даних GNSS-корекції через супутникові та наземні мережі стільникового зв'язку.

ПІДВИЩІТЬ ПРОДУКТИВНІСТЬ ВАШОЇ PNT З U-BLOX

Понад 25 років компанія u-blox сприяє впровадженню GNSS-технологій, просуваючи інновації, що поєднують провідні ринкові характеристики з новітніми функціональними можливостями, і все це за конкурентоспроможною ціною.

У 2018 році компанія u-blox встановила стандарт високоточного позиціонування для масового ринку, ставши провідним постачальником технології з багатодіапазонною GNSS-платформою u-blox F9, включно з антенними рішеннями ANN-MB та ANN-MB1.

Сьогодні u-blox знову перевершує очікування завдяки своїй всюдіапазонній платформі високоточного позиціонування u-blox X20 та всюдіапазонній антені ANNMB2, розробленій для прискорення комерціалізації високопродуктивних рішень для позиціонування.

Поєднуючи в одному пристрої приймання сигналів GNSS у діапазонах L1, L5, L6/E6 та L, а також провідні світові технології RTK, PPPRTK та PPP з глобальною сантиметровою точністю, компанія u-blox забезпечує доступну та просту в інтеграції систему позиціонування, навігації та хронометражу для всіх користувачів у всьому світі.

Крім того, використання всіх доступних сигналів GNSS, зокрема нових сервісів автентифікації повідомлень, таких як Galileo OSNMA, покращує здатність виявляти та протидіяти глушінню і спуфінгу, підвищуючи безпеку критично важливих застосувань. Повний спектр сигналів, що транслюються супутниками GNSS, може задовольнити найвибагливіші очікування клієнтів щодо точності, стабільності, надійності тощо.

Щоб дізнатися більше про всюдіапазонну GNSS-платформу u-blox X20 та отримати додаткову інформацію щодо продукції компанії u-blox, що була представлена в цій статті, звертайтеся до її офіційного дистриб'ютора в Україні — компанії Мікродіс Електронікс ГмбХ:

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

МОДУЛЬ LTE CAT 1BIS З ВБУДОВАНОЮ SIM-КАРТКОЮ

Компанія **u-blox** випустила SARA-R10001DE, модуль LTE Cat 1bis із вбудованою SIM-карткою, що підтримує технологію multi-IMSI та eUICC. Підключення Wireless Logic призначене для підвищення продуктивності, надійності та відмовостійкості застосовувань IoT. Вбудована eSIM забезпечує гнучке керування підключенням і дає клієнтам можливість перемкнутися на найкращу мережу з урахуванням покриття та вартості, а також працює на регульованих або обмежених ринках у відомих регіонах, де це можливо. Завдяки швидкому розгортанню і надійному підключенню незалежно від географії, SARA-R10001DE пропонує безліч переваг в таких сферах застосування, як відстеження об'єктів, телематика, мікромобільність, сонячні технології, «розумні» будинки і міста, а також точки продажів.

Новий u-blox SARA-R10001DE забезпечує повну підтримку діапазону LTE Cat 1bis і підтримує eSIM з технологією multi-IMSI та функцією eUICC. eSIM вже забезпечена серією профілів SIM-карт Wireless Logic, які призначені для глобального розгортання за допомогою однієї SIM-карти, яка буде безперервно працювати після розгортання, але також може бути віддалено налаштована через OTA за допомогою функції Remote SIM Provisioning.

Кілька профілів SIM-карт, що зберігаються на eSIM-картці Wireless Logic, дозволяють модулю автоматично підключатися до найкращої мережі, а також отримувати доступ до інших мереж для додаткової надійності в будь-якій країні. Це дає впевненість у тому, що модуль завжди буде підключатися до найкращої мережі та що eSIM буде підтримувати надійне з'єднання, автоматично перемикаючись на іншого оператора в разі виникнення будь-яких проблем.

Сопеха eSIM спрощує логістику клієнтів, оскільки зводить до мінімуму час і зусилля, пов'язані з керуванням закупівлею SIM-карт, і усуває необхідність у пошуку супутніх компонентів, таких як тримачі для SIM-карт.

Розроблений для забезпечення глобального покриття LTE, SARA-R10001DE забезпечує простий шлях міграції для застарілих пристроїв 2G і 3G до глобального покриття 4G LTE.

www.u-blox.com

Розширення можливостей автономного транспорту та контролери штучного інтелекту

Автономні транспортні засоби стають дедалі поширенішими, тому зростає потреба в контролерах, здатних обробляти величезні обсяги даних у режимі реального часу.

ЗАВДАННЯ ТА ВИМОГИ

У міру поширення автономних транспортних засобів зростає потреба в контролерах, здатних обробляти величезні дані з датчиків, камер і систем LiDAR у режимі реального часу. Ці контролери мають ефективно виконувати алгоритми штучного інтелекту, щоб забезпечити точність ухвалення рішень, навігацію і безпеку, а також безперебійний зв'язок між компонентами автомобіля. Також важлива міцна і надійна конструкція для тривалої та безперебійної роботи.

Прагнення ринку до розумніших, безпечніших і ефективніших транспортних рішень підкреслює вирішальну роль контролерів автономного водіння в роз-

витку технологій і задоволенні вимог сучасної мобільності.

Загалом, до основних вимог до контролерів автономного водіння відносяться:

- висока обчислювальна потужність для розгортання алгоритмів штучного інтелекту для самокерованих автомобілів;
 - універсальні можливості підключення для підтримки датчиків і систем керування;
 - міцна, надійна конструкція для тривалої експлуатації.
- Реалізація проекту:
- *MIC-770V3 W-00A1*, компактна безвентиляторна система з процесорним гніздом Intel® Core™ (LGA 1700);
 - *MIC-75G20-10B1*, і-модуль GPU, 1 PCIe x16 + 1 PCIe x4, подвійний

відсік для зберігання даних із фронтальним доступом.

ОПИС СИСТЕМИ

У наведеному вище випадку система автономного транспортного засобу працює на основі поєднання передового обладнання та технологій штучного інтелекту, обробляючи та аналізуючи дані в режимі реального часу, забезпечуючи плавну та безпечну навігацію. Ядром системи є *MIC-770 V3*, безвентиляторна гранична система штучного інтелекту, що виступає як основний блок керування. У парі з і-модулем *MIC-75G20* вона підтримує інтеграцію додаткових компонентів, таких як карта NVIDIA RTX A4000 PCIe GPU і 4-портовий PCI Express GigE Vision Frame Grabber PCIe-1674 (рис. 1).

Графічний процесор NVIDIA RTX A4000 відіграє важливу роль у підвищенні продуктивності системи, прискорюючи обчислення ШІ та забезпечуючи складний аналіз даних, необхідний для автономного керування, включно з ухваленням рішень у реальному часі та алгоритмами на основі ШІ для таких завдань, як виявлення об'єктів, стеження за смугою руху та навігація. Фрейм-граббер PCIe-1674 під'єднується до промислових камер і датчиків LiDAR, отримуючи зображення високої роздільної здатності та просторові 3D-дані. Ці дані обробляються графічним процесором, що дає змогу автомобілю «бачити» і розуміти навколишнє оточення, відстежувати перешкоди, складати карту довкілля та ухвалювати навігаційні рішення. Поєднання цих компонентів гарантує, що система автономного транспортного засобу зможе обробляти величезні обсяги даних, необхідні для безпечного, ефективного та інтелектуального автономного водіння.

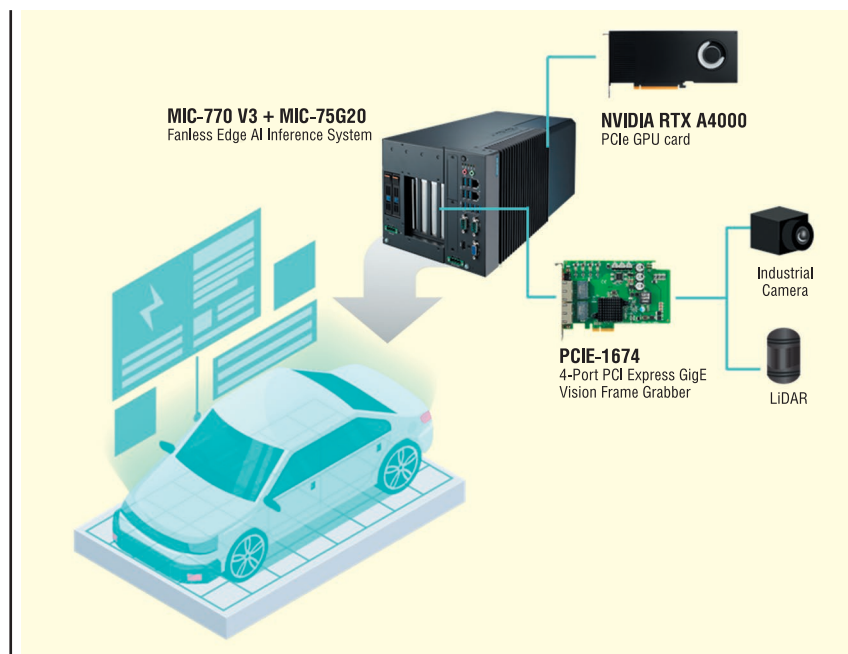


Рис. 1. Схема системи автономного транспортного засобу

Матеріал надано ПРОКСИС™
www.proxis.ua

СН

GameChangers

для підключення пристроїв



**PHOENIX
CONTACT**

Більше свободи для пристроїв

Модульні корпуси електронного обладнання серії BC призначені для систем у сфері автоматизації будівель. Корпуси електронного обладнання вирізняються сучасним дизайном, технологією з'єднання друкованих плат і шинними з'єднувачами для DIN-рейки.

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

Phoenix Contact в Україні:
ТОВ „Фенікс Контакт“

Пластикова шафа AX від RITTAL — екстрим у квадраті

Чи може виріб бути надзвичайно міцним і водночас надзвичайно універсальним?

Завдяки своїй пластиковій шафі AX компанія Rittal демонструє, що це дійсно можливо. Ця шафа поєднує в собі найкраще з обох світів — всі переваги надзвичайно міцного матеріалу та повну свободу дизайну.

Справжній характер кожної людини частіше всього проявляється в скрутній ситуації. І як не дивно, але шафи — не виняток. Якщо вони здатні з легкістю справлятися з екстремальними ситуаціями, повсякденна робота стає дитячою забавкою. Візьмемо для прикладу застосування шаф в тунелях (рис. 1), де в їхніх корпусах, що закріплені на стіні тунелю, можуть розміщуватися системи аварійного освітлення та джерела живлення для аварійних бригад. Це доводить, наскільки стійкими вони є насправді, адже високошвидкісний потяг створює величезну хвилю тиску при проходженні через тунель — ефект ще більше посилюється, якщо два потяги проїжджають тунелем один за одним. Шафи повинні витримувати екстремальні коливання тиску, а також високої швидкості вітру.

ПРОТЕСТОВАНИ В ТУНЕЛЯХ

Успішні випробування в Німецькому аерокосмічному центрі (DLR) підтвердили, що пластикові корпуси AX від Rittal відповідають саме цим вимогам. Три типорозміри нещодавно розроблених шаф були випробувані відповідно до директиви Deutsche Bahn (Ril 853.2001 A01). У аеродинамічній трубі та барокамері DLR вони продемонстрували свою надзвичайну стійкість і придатність як для тунельного застосування, так і для залізничних проєктів.

ПІД ВПЛИВОМ ЛЬОДУ, ДОЩУ ТА СОНЦЯ

Але ці новинки можуть запропонувати ще більше. Вони однаково добре

виглядають на відкритому повітрі, наприклад, у водопровідно-каналізаційному господарстві, де вони постійно піддаються впливу льоду, дощу та сонця. Rittal, як і раніше, використовує для своїх пластикових корпусів армований скловолокном поліестер, але завдяки модифікації складу цього матеріалу він став у сім разів стійкішим до ультрафіолетового випромінювання. Крім того, шафи відповідають стандарту UL F1 для використання на відкритому повітрі (UL 746C). Ще однією перевагою є їхня здатність захищати від пилу та води. Для дотримання ступеня захисту IP 66 (IP 56, якщо вбудоване оглядове вікно) компанія Rittal оснастила двері своїх шаф герметичним ущільнювачем по всьому периметру. Для захисту від пилу та води на верхньому та нижньому краях дверей розташовані захисні козирки від дощу.

Пластикові корпуси також мають відмінний протипожежний захист. Матеріал відповідає класу V-0 стандарту UL 94, який передбачає, що пластик повинен припинити горіння протягом десяти секунд і не утворювати палаючих крапель. З точки зору електричної ізоляції, шафи відповідають вимогам DIN EN 61140 класу захисту II.

ЗРУЧНІСТЬ ТА УНІВЕРСАЛЬНІСТЬ

Кали мова йде про внутрішнє оснащення пластикових шаф, можливості досі часто були дуже обмеженими, але так не повинно бути. Вперше компанія Rittal відтворила системну концепцію своїх шаф зі сталі в пластикових корпусах. Це означає, що всередині є численні інтегровані монтажні отвори, які дозволяють легко прикручувати аксесуари, такі як опорні рейки та дверні вимикачі. Універсальні кріплення створюють схему з кроком 25 мм, вже знайому за великими шафами компанії. Перевага полягає в тому, що аксесуари для великої шафи VX25 і компактної шафи AX також підходять до пластикової шафи AX — від світильників і перфорованих секцій до систем замків — для швидкого монтажу комплектуючих і повної свободи дизайну під час об-



Рис. 1. Застосування пластикових шаф AX в тунелях



Рис. 2. Аксесуари для великої шафи VX25 також підходять до компактної пластикової шафи AX

лаштування інтер'єру (рис. 2). Дверцята забезпечують додаткову монтажу поверхню у вигляді підсилювальної рами, на яку можна дуже легко встановити шини, перфоровані профілі, дверні стійки або кишеню для схеми електропроводки. Кріпильні втулки усувають необхідність механічної обробки, не знижуючи при цьому ступінь захисту шафи. Кріплення шафи на стіні або стовпі також є простим, оскільки задня панель оснащена пресованим різьбленням для кріплення тримачів за допомогою гвинтових кріплень.

ШВИДКО ТА ЗРУЧНО

Монтажна панель шафи входить до комплекту поставки окремо, а це означає, що обробку та монтаж компонентів

можна розпочинати одразу. Процес встановлення конфігурованої монтажної панелі також дуже простий — вона просто надягається на різьбові болти та міцно фіксується гвинтами. Пластикові шафи мають симетричну конструкцію, тому її легко повернути, якщо це необхідно. Крім того, дверна петля є взаємозамінною, і її можна переставити на інший бік, навіть безпосередньо на місці монтажу (рис. 3).

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

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

CN



Рис. 3. Швидка та зручна збірка навіть безпосередньо на місці монтажу



RiLineX

Це нещодавно розроблена відкрита платформа для систем розподілу електроенергії від Rittal.

Нова система шин спрощує раніше трудомісткий процес збирання шаф, забезпечуючи економію часу до 30% на проектування та 50% на збирання.



Чек-лист для розробників друкованих плат

Як досягти цілісності високошвидкісних сигналів

Девід Марракчі (David Marrakchi), Altium

Цілісність сигналу — це якість і надійність електричних сигналів під час їхнього проходження через друковану плату (ДП). При розробці високошвидкісних друкованих плат підтримка цілісності сигналу є критично важливою, оскільки навіть незначні спотворення сигналу можуть призвести до пошкодження даних, помилок зв'язку та загального збою системи. Такі фактори, як невідповідність імпедансів, перехресні завади, відбиття сигналу та коливання живлення, можуть значно вплинути на цілісність сигналу, що потребує ретельного проектування та аналізу.

РОЗУМІННЯ ІМПЕДАНСУ В ДП

Імпеданс у контексті дизайну друкованих плат — це опір, з яким стикається змінний струм під час проходження через електричне коло. Цей імпеданс формується різними факторами, зокрема шириною і товщиною доріжок, типом діелектричного матеріалу, що використовується між цими доріжками, і загальною конфігурацією шарів друкованої плати. Для високошвидкісних друкованих плат підтримка рівно-

мірного імпедансу є критично важливою, щоб уникнути відбиття сигналу і гарантувати надійне передавання даних.

Для забезпечення постійності імпедансу в дизайні високошвидкісних ДП застосовують кілька стратегічних методик:

- **Керовані імпедансні доріжки.** Інженери проектують геометрію доріжок, зокрема, їхню ширину та відстань між ними, для досягнення цільових значень імпедансу. Для моделювання та перевірки цих рівнів імпедан-

су до початку виробництва використовуються передові інструменти симуляції (рис. 1). Наприклад, вимога до проектування може полягати у встановленні імпедансу 50 Ом для певних сигнальних доріжок. За допомогою симуляції розміри доріжок тонко налаштовуються для того, щоб вони відповідали цій специфікації.

- **Диференціальні пари.** Для надійного передавання високошвидкісних сигналів їх часто маршрутизують як диференціальні пари, які передбачають одночасне передавання двох сигналів, що доповнюють один одного. Ця конфігурація не тільки стабілізує імпеданс, а й допомагає знизити рівень шуму. Найчастіше це застосовують в технології USB 3.0, де диференціальні пари покращують цілісність сигналу і зменшують електромагнітні завади.
- **Вибір матеріалу.** Вибір матеріалу підкладки може значно вплинути на стабільність імпедансу. Вибір матеріалів з постійними діелектричними

#	Name	Material	Type	Weight	Thickness	Dk	Copper Ordr	Top Ref	Bottom Ref	Width (W1)	Devs...	Impe...	Delay...
	Top Overlay		Overlay										
	Top Solder	Solder Resist	Solder Mask			3.5							
1	1_Top		Signal	1oz	0.045mm	3.6	Above	2-2_int1_gp	0.15512mm	0.01%	50	5.4407...	
	Dielectric 1	TU-883	Core		0.1mm	3.6							
2	2_int1_gnd		Signal	1/2oz	0.017mm	3.6	Below	1-1_Top	3-3_int2_gp	0.08872mm	0.03%	50.01	6.4295...
	Dielectric 2	TU-883	Prepreg		0.1mm	3.6							
3	3_int2_power		Signal	1/2oz	0.017mm	3.6	Above	2-2_int1_gp	4-4_int3_gp	0.08872mm	0.03%	50.01	6.4295...
	Dielectric 3	TU-883	Core		0.1mm	3.6							
4	4_int3_gnd		Signal	1/2oz	0.017mm	3.6	Below	3-3_int2_gp	5-5_int4_si	0.09714mm	0%	50	6.4234...
	Dielectric 4	TU-883	Prepreg		0.12mm	3.6							
5	5_int4_int5		Signal	1/2oz	0.017mm	3.6	Above	4-4_int3_gp	6-6_int5_gp	0.10729mm	0%	50	6.4170...
	Dielectric 5	TU-883	Core		0.12mm	3.6							
6	6_int5_power		Signal	1/2oz	0.017mm	3.6	Below	5-5_int4_si	7-7_int6_si	0.10729mm	0%	50	6.4170...
	Dielectric 6	TU-883	Prepreg		0.12mm	3.6							
7	7_int6_int7		Signal	1/2oz	0.017mm	3.6	Above	6-6_int5_gp	8-8_int7_gp	0.10729mm	0%	50	6.4170...
	Dielectric 7	TU-883	Core		0.12mm	3.6							
8	8_int7_power		Signal	1/2oz	0.017mm	3.6	Below	7-7_int6_si	9-9_int8_gp	0.10729mm	0%	50	6.4170...
	Dielectric 8	TU-883	Prepreg		0.12mm	3.6							
9	9_int8_int9		Signal	1/2oz	0.017mm	3.6	Above	8-8_int7_gp	10-10_int9_gp	0.10729mm	0%	50	6.4170...
	Dielectric 9	TU-883	Core		0.12mm	3.6							
10	10_int9_int10		Signal	1/2oz	0.017mm	3.6	Below	9-9_int8_gp	11-11_int10_gp	0.10729mm	0%	50	6.4170...
	Dielectric 10	TU-883	Prepreg		0.12mm	3.6							
11	11_int10_int11		Signal	1/2oz	0.017mm	3.6	Above	10-10_int9_gp	12-12_int11_gp	0.10729mm	0%	50	6.4170...
	Dielectric 11	TU-883	Core		0.12mm	3.6							
12	12_int11_int12		Signal	1/2oz	0.017mm	3.6	Below	11-11_int10_gp	13-13_int12_gp	0.10729mm	0%	50	6.4170...
	Dielectric 12	TU-883	Prepreg		0.12mm	3.6							
13	13_int12_int13		Signal	1/2oz	0.017mm	3.6	Above	12-12_int11_gp	14-14_int13_gp	0.09714mm	0%	50	6.4234...
	Dielectric 13	TU-883	Core		0.1mm	3.6							
14	14_int13_power		Signal	1/2oz	0.017mm	3.6	Below	13-13_int12_gp	15-15_int14_gp	0.08872mm	0.03%	50.01	6.4295...
	Dielectric 14	TU-883	Prepreg		0.1mm	3.6							
15	15_int14_int15		Signal	1/2oz	0.017mm	3.6	Above	14-14_int13_gp	16-16_bot...	0.08872mm	0.03%	50.01	6.4295...
	Dielectric 15	TU-883	Core		0.1mm	3.6							
16	16_Bottom		Signal	1oz	0.045mm	3.5	Below	15-15_int14_gp		0.15512mm	0.01%	50	5.4407...
	Bottom Solder	Solder Resist	Solder Mask		0.01mm	3.5							
	Bottom Overlay		Overlay										

Simulation Parameters:

Type: Single-Coplanar

Target Impedance: 50

Target Tolerance: 10%

Transmission Line:

Trace Inverted:

Ech: 0

Clearance (S): 0.127mm

Width (W1): 0.10729mm

Width (W2): 0.10729mm

Impedance (Zo): 50

Deviation: 0%

Delay (Tp): 6.41707ns/m

Inductance: 320.75809nH/m

Capacitance: 128.35597pF/m

Board:

Stack Symmetry:

Library Compliance:

Layers: 16

Dielectrics: 15

Conductive Thickness: 0.3301mm

Dielectric Thickness: 1.68mm

Total Thickness: 2.028mm

Рис. 1. Редактор компонентів друкованих плат в Altium Designer з інтегрованим обчислювачем електромагнітного поля

властивостями гарантує, що імпеданс не змінюватиметься по всій друкованій платі. Наприклад, стандартний матеріал FR4, відомий своєю стабільною діелектричною проникністю, часто обирають для підтримання однорідності імпедансу на всій платі (для не надто довгих доріжок).

ВІДБИТТЯ І ТЕРМІНУВАННЯ СИГНАЛУ

Відбиття сигналу відбувається, коли сигнал зустрічає на своєму шляху невідповідність імпедансу, наслідок чого частина сигналу відбивається назад до джерела. Це відбиття може спотворити сигнал, викликати помилки даних і знизити загальну цілісність сигналу. Найпоширенішими причинами невідповідності імпедансу є різкі зміни ширини доріжки, перехідних отворів і роз'ємів. Для узгодження імпедансу лінії передачі з навантаженням використовуються методи термінування (рис. 2), що мінімізують відбиття:

- **Послідовне термінування.** Воно передбачає розміщення резистора послідовно з сигналом поруч із джерелом. Це простий і ефективний метод для коротких доріжок. Наприклад, послідовний резистор на 33 Ом можна використовувати в інтерфейсі високошвидкісної пам'яті

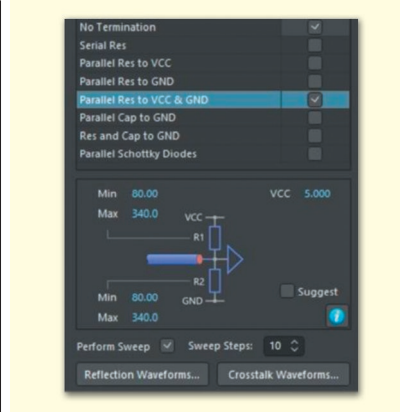


Рис. 2. Інструмент Signal Integrity в Altium Designer дає змогу розробникам вказувати відповідне термінування доріжок

для узгодження імпедансу доріжки та запобігання відбиттям.

- **Паралельне термінування.** Резистор розміщується в кінці доріжки для узгодження імпедансу лінії. Цей метод зазвичай використовується для довгих доріжок і диференціальних пар. Наприклад, у довгих лініях передачі усередині друкованої плати паралельний резистор на 50 Ом може завершувати доріжку та усувати відбиття.
- **АС термінування.** Цей метод поєднує в собі резистивні та ємнісні елементи для узгодження імпедан-

су на різних частотах. Наприклад, АС термінування може використовувати 50-омний резистор, під'єднаний паралельно з конденсатором, для термінування високошвидкісних тактових сигналів, що забезпечує узгодження в широкому діапазоні частот (з частотою зрізу (f_c), де імпеданс мережі термінування збігається з імпедансом лінії передачі, визначається такою формулою: $f_c = 1/2\pi RC$)

ВИБІР МАТЕРІАЛУ ДП ДЛЯ ВИСОКОШВИДКІСНИХ КОНСТРУКЦІЙ

Діелектрична постійна (D_k) і тангенс кута діелектричних втрат (D_f) матеріалів друкованих плат є критичними факторами для збереження цілісності сигналу. Діелектрична проникність (D_k) впливає на швидкість поширення сигналів, тоді як тангенс кута діелектричних втрат (D_f) впливає на втрати сигналу на відстані. Для високошвидкісних конструкцій кращими є матеріали з низьким D_k і низьким D_f , щоб мінімізувати спотворення і втрати сигналу (рис. 3).

Основні властивості матеріалів, що впливають на цілісність сигналу, такі:

- **Термічна стабільність.** Матеріали з високою термічною стабільністю забезпечують стабільну роботу за різ-

#	Name	Material	Type	Weight	Thickness	Dk	Df
	Top Overlay		Overlay				
	Top Solder	Solder Resist	Solder Mask		0.01mm	3.5	
1	1_Top		Signal	1oz	0.045mm		
	Dielectric 1	TU-883	Core		0.1mm	3.6	
2	2_int1_(gnd)		Signal				
	Dielectric 2	TU-883	Prepreg				
3	3_int2_(power)		Signal				
	Dielectric 3	TU-883	Core				
4	4_int3_(gnd)		Signal				
	Dielectric 4	TU-883	Prepreg				
5	5_int4_(sig)		Signal				
	Dielectric 5	TU-883	Core				
6	6_int5_(power)		Signal				
	Dielectric 6	TU-883	Prepreg				
7	7_int6_(sig)		Signal				
	Dielectric 7	TU-883	Core				
8	8_int7_(power)		Signal				
	Dielectric 8	TU-883	Prepreg				
9	9_int8_(gnd)		Signal				
	Dielectric 9	TU-883	Core				
10	10_int9_(sig)		Signal	1/2oz	0.017mm		
	Dielectric 10	TU-883	Prepreg		0.12mm	3.6	
11	11_int10_(gnd)		Signal	1/2oz	0.017mm		
	Dielectric 11	TU-883	Core		0.12mm	3.6	
12	12_int11_(sig)		Signal	1/2oz	0.017mm		
	Dielectric 12	TU-883	Prepreg		0.12mm	3.6	
13	13_int12_(gnd)		Signal	1/2oz	0.017mm		
	Dielectric 13	TU-883	Core		0.1mm	3.6	
14	14_int13_(power)		Signal	1/2oz	0.017mm		
	Dielectric 14	TU-883	Prepreg		0.1mm	3.6	
15	15_int14_(gnd)		Signal	1/2oz	0.017mm		
	Dielectric 15	TU-883	Core		0.1mm	3.6	
16	16_Bottom		Signal	1oz	0.045mm		
	Bottom Solder	Solder Resist	Solder Mask		0.01mm	3.5	
	Bottom Overlay		Overlay				

Рис. 3. Редактор компонування друкованих плат в Altium Designer з інтегрованим обчислювачем електромагнітного поля

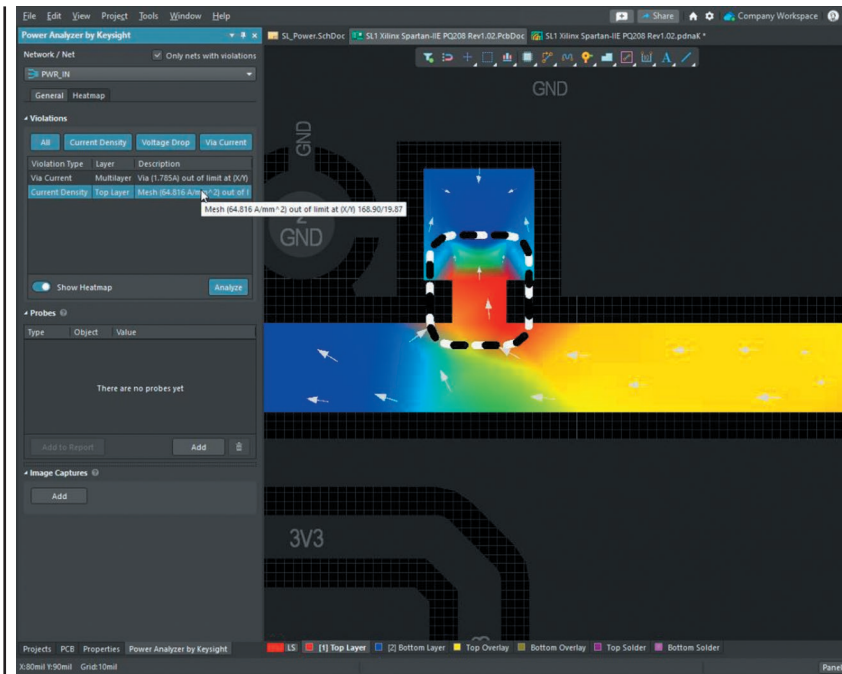
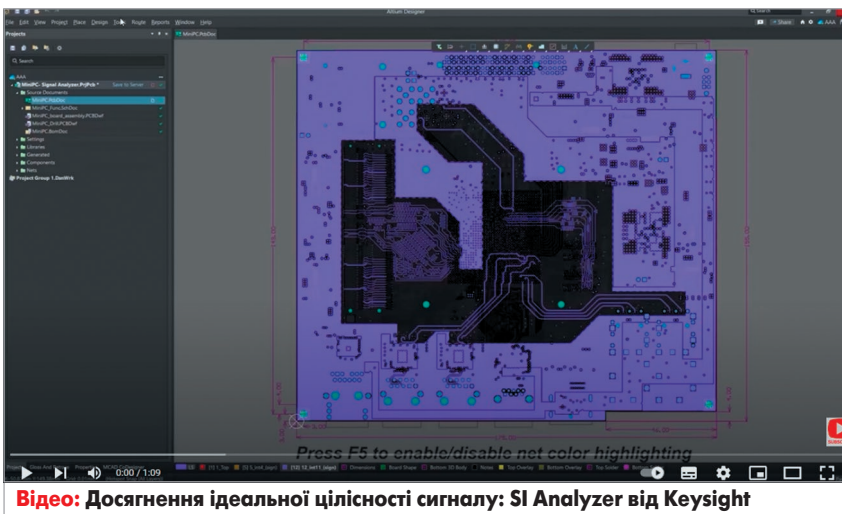


Рис. 4. Аналізатор цілісності живлення від Keysight в Altium Designer



Відео: Досягнення ідеальної цілісності сигналу: SI Analyzer від Keysight

них температур. Наприклад, матеріали High-Tg FR4 часто використовують у високошвидкісних конструкціях для забезпечення стабільної роботи в умовах коливань температур.

- **Низьке поглинання вологи.** Матеріали, що поглинають менше вологи, зберігають постійні діелектричні властивості, що критично важливо для високошвидкісних сигналів. Наприклад, матеріали на шталт Rogers 3003, які мають низьке поглинання вологи, використовуються у високошвидкісних конструкціях для забезпечення збереження цілісності сигналу навіть у вологих умовах.
- **Механічна міцність.** Міцні матеріали витримують механічні навантаження під час виробництва та експлуатації,

зберігаючи шляхи проходження сигналів. Поліімід є таким прикладом, і його часто вибирають для гнучких друкованих плат через його чудову механічну міцність і стабільність.

ЦІЛІСНІСТЬ ЖИВЛЕННЯ ТА ЇЇ ВПЛИВ НА ЦІЛІСНІСТЬ СИГНАЛУ

Цілісність живлення — це стабільна подача живлення до всіх компонентів на друкованій платі. Недостатня цілісність живлення може призвести до коливань напруги, які, зі свого боку, спричиняють проблеми з цілісністю сигналу, як-от тремтіння, шум і помилки синхронізації. Підтримка надійної цілісності живлення критично важлива для забезпечення за-

гальної цілісності сигналу у високошвидкісних конструкціях (рис. 4).

Методи забезпечення цілісності живлення наступні:

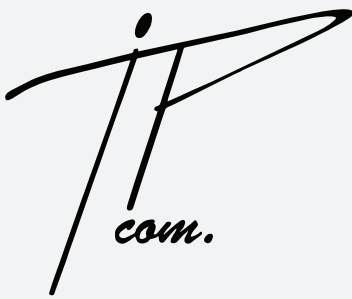
- **Розділові конденсатори.** Ці конденсатори, розміщені поруч із виводами живлення інтегральних схем, фільтрують завади та забезпечують стабільне живлення. Наприклад, розділовий конденсатор на 0.1 мкФ, встановлений поруч із виводом живлення високошвидкісної ПЛІС, може фільтрувати високочастотні завади та забезпечувати стабільну напругу живлення.
- **Площини живлення.** Спеціалізовані площини живлення знижують імпеданс і забезпечують стабільну опорну напругу для високошвидкісних сигналів. Наприклад, багатшарова друкована плата може містити окремі площини живлення і «землі» для зниження опору і забезпечення стабільної подачі живлення до високошвидкісних компонентів.
- **Правильне заземлення.** Забезпечення шляху з низьким імпедансом для зворотних струмів знижує завади та покращує цілісність сигналу. Безперервна площина заземлення під шарами сигналів може забезпечити низькоімпедансний зворотний шлях, знижуючи завади та покращуючи цілісність сигналу.

ВИСНОВОК

Підтримка цілісності високошвидкісного сигналу при проектуванні друкованих плат передбачає оволодіння методами контролю імпедансу, відбиття сигналу, вибору матеріалу та цілісності живлення. Ці методи дозволяють інженерам створювати надійні високошвидкісні ДП, які забезпечують точну передачу даних і надійну роботу системи. Завдяки ретельному плануванню, моделюванню та співпраці з виробником розробники можуть ефективно вирішувати проблеми, пов'язані з високошвидкісними ДП.

Майбутнє розширення Signal Analyzer для Altium Designer від Keysight пропонує передові інструменти аналізу, які допоможуть вирішити проблеми цілісності сигналу, надаючи цінні дані для проектування високошвидкісних ДП з упевненістю і точністю (див. відео).

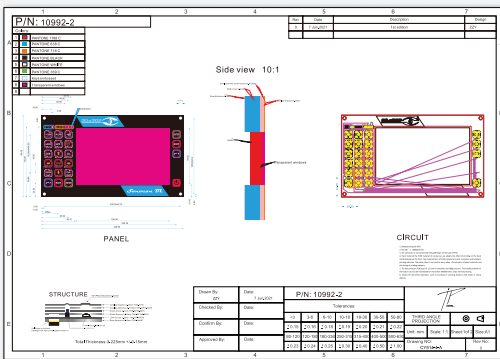
ТОВ «ЛТБ СОФТ» — партнер Altium в Україні:
 e-mail: sales@ltbsoft.com.ua,
<https://ltbsoft.com.ua/software/altium-designer>



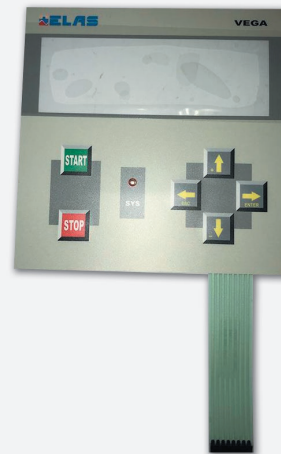
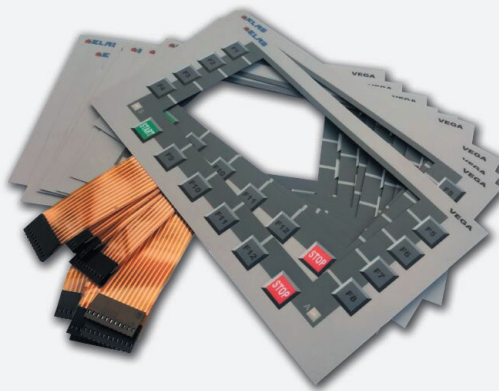
ТОВ «АЙПІ-КОМ. АЙСІ»
(044) 592-54-05
(098) 980-48-38
ill82@ ukr.net
<http://ip-com.net.ua/>

Виготовлення мембранних, плівкових клавіатур та приладових лицьових панелей

Компанія ТОВ «АЙПІ-КОМ. АЙСІ», пропонує послуги з розробки та виготовлення мембранних (плівкових) клавіатур та приладових панелей будь-якої складності з урахуванням технічних характеристик, які пред'являються замовником.



Використовуємо лише якісну сировину для виготовлення гнучких плат та зовнішньої оболонки клавіатур. Плівкова клавіатура, у тому числі мембранна клавіатура, — це найкраще рішення для більшості приладів та пристроїв.



На вимогу замовника можливе провадження за такими критеріями: будь-яка кількість кольорів та відтінків (вибір за каталогом Pantone); пило- та вологозахист не нижче IP65 або за ТЗ замовника; вбудована індикація (світлодіоди тощо); вікна під індикацію (наскрізні, тоновані та прозорі) по ТЗ замовника; компактність (товщина не більше 1,3 мм) або за ТЗ замовника; швидкий монтаж (забезпечується клейовим шаром); стійкість до агресивних середовищ, таких як: розчинники, олії, мастила, спирто-бензинові суміші, мийні засоби, мильний розчин тощо; мембрани різної форми, розміру, зусилля спрацьовування тощо.

Клавіатури можуть мати різний тактильний ефект, варіанти підсвічування клавш та індикаторів, виконання електричної схеми, комутації, а також різне конструктивне виконання (двошарове (двостороннє) виконання струмопровідного шару або більше).

Проекти приймаємо у форматі CorelDraw (*.cdr), креслення в інших форматах — за згодою.

Оптимізація налаштувань для підвищення чутливості аналізатора спектра

Підвищення чутливості вимірювань спектра є ключем до вимірювання низькорівневих сигналів

Переклад: Вадим Потапенко

Редагування: Віктор Бутирін, директор, Юнітест

E-mail: Victor_Butyryn@unitest.com

Аналізатори сигналів (також відомі як аналізатори спектра) широко використовуються для вимірювання як відомих, так і невідомих низькорівневих сигналів. Використання корекції шуму, зменшення рівня власних шумів (Noise Floor Extension, NFE) та оптимізація налаштувань аналізатора дають змогу досягти максимальної чутливості приладу, що полегшує виявлення та вимірювання низькорівневих сигналів.

Чутливість аналізаторів сигналів зазвичай вказується в їхніх технічних характеристиках і часто представлена у вигляді середнього рівня шуму (*Displayed Average Noise Level, DANL*) або коефіцієнта шуму (*Noise Figure, NF*). DANL, що виражений в дБм/Гц та визначається як амплітуда рівня власних шумів аналізатора сигналів у смузі розрешення (*Resolution Bandwidth, RBW*) 1 Герц у заданому діапазоні частот за умови 50-омного навантаження і вхідного ослаблення 0 дБ. Як правило, будь-яке усереднення, що застосовується до сигналу, виконується в логарифмічному масштабі, що знижує рівень власних шумів на 2.5 дБ; це зниження є основною відмінністю між DANL і NF.

Рівень власних шумів аналізатора сигналів складається з двох компонентів: коефіцієнта шуму, що позначається як NFSA (*Noise Figure of the Signal Analyzer*), і енергії теплового шуму.

Амплітуду енергії теплового шуму визначають за того самого навантаження на вході аналізатора сигналів, що й для DANL. Ця амплітуда часто виражається формулою kTB , де три параметри визначаються таким чином:

- k = постійна Больцмана (1.38×10^{-23} Дж/К);
- T = температура навколишнього середовища (у градусах Кельвіна);
- B = смуга пропускання, в якій вимірюється шум (Гц);
- -2.51 дБ = поправка на занижений відгук при використанні логарифмічного усереднення відеосигналу;

- 0.24 дБ = поправка на шумову смугу частот фільтрів RBW в аналізаторах сигналів серії X порівняно з номінальною смугою частот RBW.

Як правило, смуга пропускання нормалізується до смуги пропускання 1 Гц, у результаті чого вираз $10 \times \log(kTB)$ дорівнює -173.98 дБм/Гц за кімнатної температури. Тоді DANL у смузі пропускання 1 Гц визначається таким чином:

$$\text{DANL} = -173.98 \text{ дБм/Гц} + \text{NFSA} - 2.51 \text{ дБ} + 0.24 \text{ дБ}. \quad (1)$$

Що може бути переписано як:

$$\text{NFSA} = \text{DANL} + 176.25 \text{ дБ/Гц}. \quad (2)$$

Примітка. Якщо у специфікації DANL замість логарифмічного усереднення відеосигналу використовується усереднення за середньоквадратичним значенням (СКЗ), поправка 2.51 дБ може бути виключена з розрахунків. Наприклад: значення DANL -151 дБм/Гц відповідає значенню NFSA 25.25 (дБ).

НАЛАШТУВАННЯ, ЩО ВПЛИВАЮТЬ НА ЧУТЛИВІСТЬ

Правильно відкалібрований аналізатор сигналів — це той, який точно відображає сигнал, поданий на вхідний порт, повинен мати коефіцієнт підсилення, що дорівнює одиниці. Простіше кажучи, будь-який сигнал, поданий на вхідний порт, наприклад сигнал 0 дБм, повинен вимірюватися і відображатися з рівнем 0 дБм плюс-мінус похибка аналізатора. Однак регулювання ослаблення або підсилення впливає на цю залежність.

Збільшення вхідного ослаблення призводить до відповідного збільшення підсилення в каскаді смуг розрешення аналізатора сигналів. Ця компенсація допомагає підтримувати відкалібрований рівень, або постійне співвідношення сигнал/шум, на дисплеї завдяки підвищенню рівня власних шумів. Використання зовнішнього ослаблення призведе до аналогічного результату. Наведена нижче формула показує, як рівень власних шумів (*Noise Floor*) аналізатора сигналів залежить від ослаблення (*Attenuation*) і смуги розрешення.

Рівняння містить у собі член « $10 \times \log(\text{RBW})$ », який компенсує RBW, що перевищують 1 Гц:

$$\text{Noise Floor} = \text{DANL} + \text{Attenuation} + 10 \times \log(\text{RBW}). \quad (3)$$

Рівняння 3 визначає залежність, яку можна використовувати для покращення рівня власних шумів. У багатьох випадках існує додаткова специфікація DANL, що застосовується при використанні внутрішнього попереднього підсилення. Однак при використанні зовнішнього передпідсилювача модифікований DANL можна визначити за допомогою наступного рівняння, отриманого з формули каскадного коефіцієнта шуму за умови, що коефіцієнт підсилення аналізатора сигналів дорівнює одиниці. При розгляді комбінації передпідсилювача та аналізатора сигналів коефіцієнт шуму системи розраховується як:

$$NF_{\text{системи}} = NF_{\text{передпідсилювача}} + [(NFS\text{A} - 1)/G_{\text{передпідсилювача}}]. \quad (4)$$

Приклад

Використовуючи попередній приклад, де NFS\text{A} = 25.25 дБ, розглянемо передпідсилювач із коефіцієнтом підсилення 20 дБ і коефіцієнтом шуму 5 дБ. Перетворення цих значень у відношення потужностей і підстановка їх у рівняння 4 має такий вигляд:

Крок 1. Перетворення логарифмічних значень у лінійні:

$$NF_{\text{лінійн.}} = 10^{25.25/10} = 334.97,$$

$$G_{\text{передпідсилювача}} = 10^{20/10} = 100,$$

$$NF_{\text{передпідсилювача}} = 10^{5/10} = 3.16.$$

Крок 2. Підстановка лінійних значень у рівняння 4:

$$NF_{\text{системи}} = 3.16 + [(334.97 - 1)/100].$$

Крок 3. Знаходження логарифмічного значення:

$$NF_{\text{системи}} = 10 \times \log[3.16 + (334.97/100)] = 8.14 \text{ дБ}.$$

Потім це значення можна підставити в рівняння 1 як NFS\text{A} і визначити новий DANL із зовнішнім попереднім підсиленням.

У цьому прикладі DANL покращується з -151 дБм/Гц до -168 дБм/Гц:

$$\text{DANL} = -174(\text{дБм/Гц}) + 8.14(\text{дБ}) - 2.51(\text{дБ}) = -168.37(\text{дБм/Гц}).$$

Як бачимо з прикладу, використання зовнішнього передпідсилювача може значно знизити рівень власних шумів. Однак це зниження має свої недоліки. Зовнішній передпідсилювач може вносити нелінійні спотворення в систему, що потенційно обмежує здатність аналізатора сигналів точно вимірювати сильні сигнали. Найкращим рішенням є використання внутрішнього передпідсилювача, який можна вмикати і вимикати залежно від вимог до вимірювань. Така гнучкість особливо корисна в контексті автоматизованого тестування.

У цьому розділі ми розглянули, як зміни налаштувань ослаблення, смуги розрішення і попереднього підсилення можуть підвищити чутливість аналізатора сигналів. Більшість сучасних аналізаторів також оснащені функціями вимірювання рівня власних шумів та їхньої автоматичної компенсації в результатах вимірювання сигналу, що ми розглянемо далі.

ВНЕСЕННЯ ПОПРАВОК НА РІВЕНЬ ШУМУ

Під час вимірювання випробовуваних пристроїв (ВП) за допомогою аналізатора сигналів результуючий спектр,

що відображається на екрані аналізатора, є комбінацією вхідного сигналу (ВП), теплового шуму і коефіцієнта шуму аналізатора сигналів. Якщо ВП від'єднано від входу і замінено на 50-омне навантаження, то на екрані відображається тільки тепловий шум і NFS\text{A}, які визначають рівень власних шумів аналізатора.

З розвитком технологій аналізаторів сигналів цей рівень власних шумів може бути точно вимірний (з великим усередненням) і збережений у файлі під назвою Correction Trace. Коли вхідний сигнал ВП під'єднано і виміряно, отримана траса зберігається у файл під назвою Measurement Trace. Основний метод корекції шуму, розглянутий тут, передбачає отримання результуючої траси (Resultant Trace), яка є спектром вхідного сигналу ВП з видаленим надлишковим шумом. Результуюча траса розраховується за допомогою рівнянь 5 і 6:

$$\text{Resultant Trace} = \text{Measurement Trace} - \text{Correction Trace}, \quad (5)$$

$$\begin{aligned} \text{Resultant Trace} &= (\text{ВП}_{\text{вх. сигнал}} + \text{kTB} + \text{NFS\text{A}}) - \\ &- (\text{kTB} + \text{NFS\text{A}}) = \text{ВП}_{\text{вх. сигнал}} \end{aligned} \quad (6)$$

Зверніть увагу, що перед відніманням усі значення мають бути перетворені з логарифмічних (дБм) на лінійні в міліваттах (мВт). Потім результуюча траса перетворюється назад у дБм і виводиться на екран аналізатора сигналів. Цей процес має дві основні переваги:

- покращує видимість низькорівневих сигналів;
- дає змогу проводити точніші вимірювання амплітуди завдяки усуненню похибок, внесених власними шумами аналізатора сигналів.

На рисунку 1 показано відносно простий метод корекції шумів за допомогою математичних операцій з трасами. Спочатку виконується усереднення власних шумів аналізатора сигналів з 50-омним навантаженням на вході, і ці дані зберігаються як траса 1 (жовта). Потім підключається ВП, його сигнал реєструється і зберігається як траса 2 (синя). Нарешті, застосовується математична операція віднімання потужності цих двох трас, і результат зберігається як траса 3 (фіолетова). Корекція шумів найбільш ефективна, коли вхідний сигнал близький до рівня власних шумів аналізатора сигналів. Корекція практично не впливає на сильні сигнали, оскільки вони роблять набагато менший внесок у рівень шуму.

Основним недоліком цього методу є те, що під час зміни налаштувань необхідно вимикати ВП і підключати 50-омне навантаження. Альтернативний метод отримання коригуючої траси (Correction Trace) без від'єднання ВП полягає у збільшенні вхідного ослаблення (наприклад, до 70 дБ), щоб підняти рівень власних шумів аналізатора сигналів набагато вище за вхідний сигнал ВП, а потім зберегти його у вигляді коригуючої траси. Тепер коригуюча траса міститиме компоненти, показані в рівнянні:

$$\text{Correction Trace} = \text{ВП}_{\text{вх. сигнал}} + \text{kTB} + \text{NFS\text{A}} + \text{Ослаблення}. \quad (7)$$

Якщо $\text{kTB} + \text{NFS\text{A}} + \text{Ослаблення} \gg \text{ВП}_{\text{вх. сигнал}}$, то можна не вказувати рівень вхідного сигналу ВП і визначити коригуючу трасу відповідно до наступного рівняння:

$$\text{Correction Trace} = \text{kTB} + \text{NFS\text{A}} + \text{Ослаблення}. \quad (8)$$

Віднімаючи відоме значення ослаблення з рівняння 8, можна отримати вихідну коригуючу трасу, що використовується в ручному методі, яка представлена в наступному рівнянні:

$$\text{Correction Trace} = \text{kTB} + \text{NFS\text{A}} \quad (9)$$

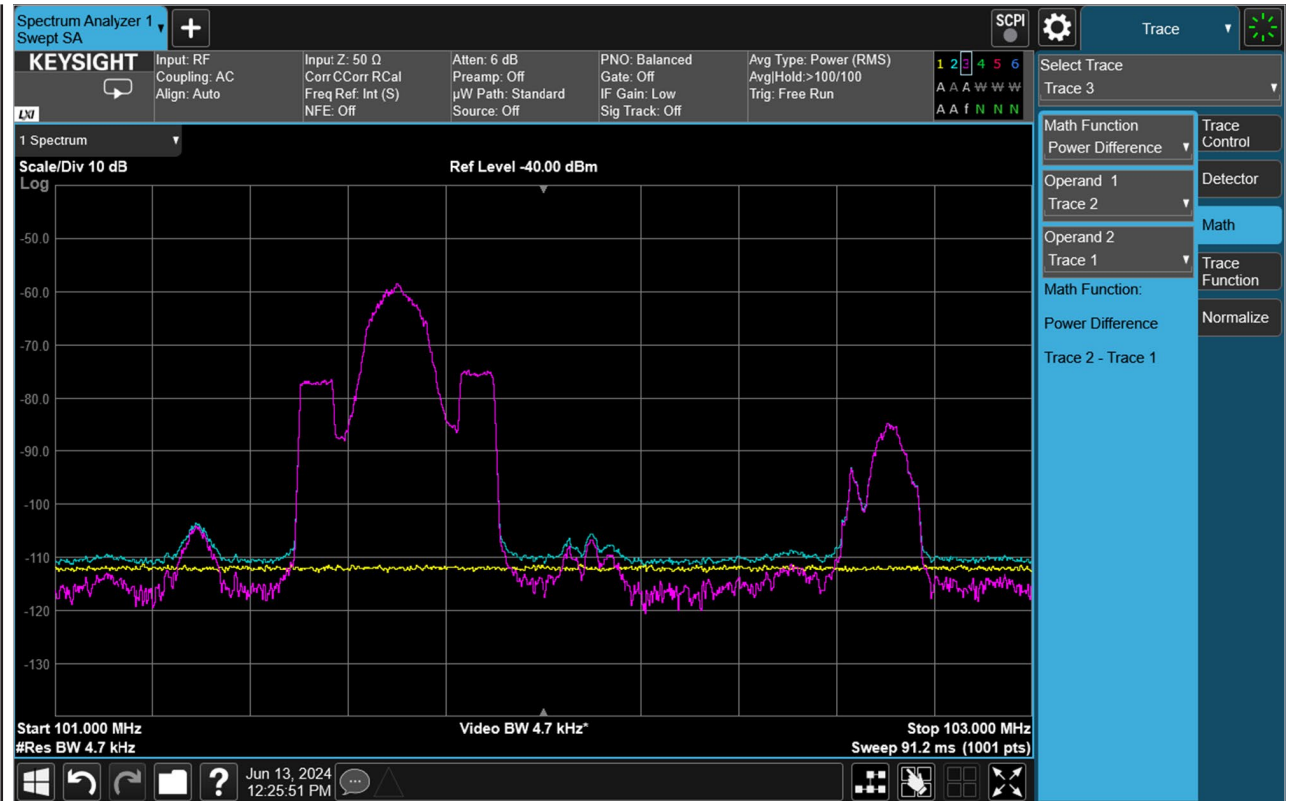


Рис. 1. Метод корекції шумів за допомогою математичних операцій з трасами

Ключовим обмеженням цього процесу є те, що коригуюча траса дійсна тільки для поточних налаштувань аналізатора сигналів. Зміна таких налаштувань, як центральна частота,

смуга огляду і смуга розрешення (RBW), зробіть недійсними значення, збережені в коригуючій трасі. Надійніший підхід передбачає знання конкретних значень NFSA у всіх частот-

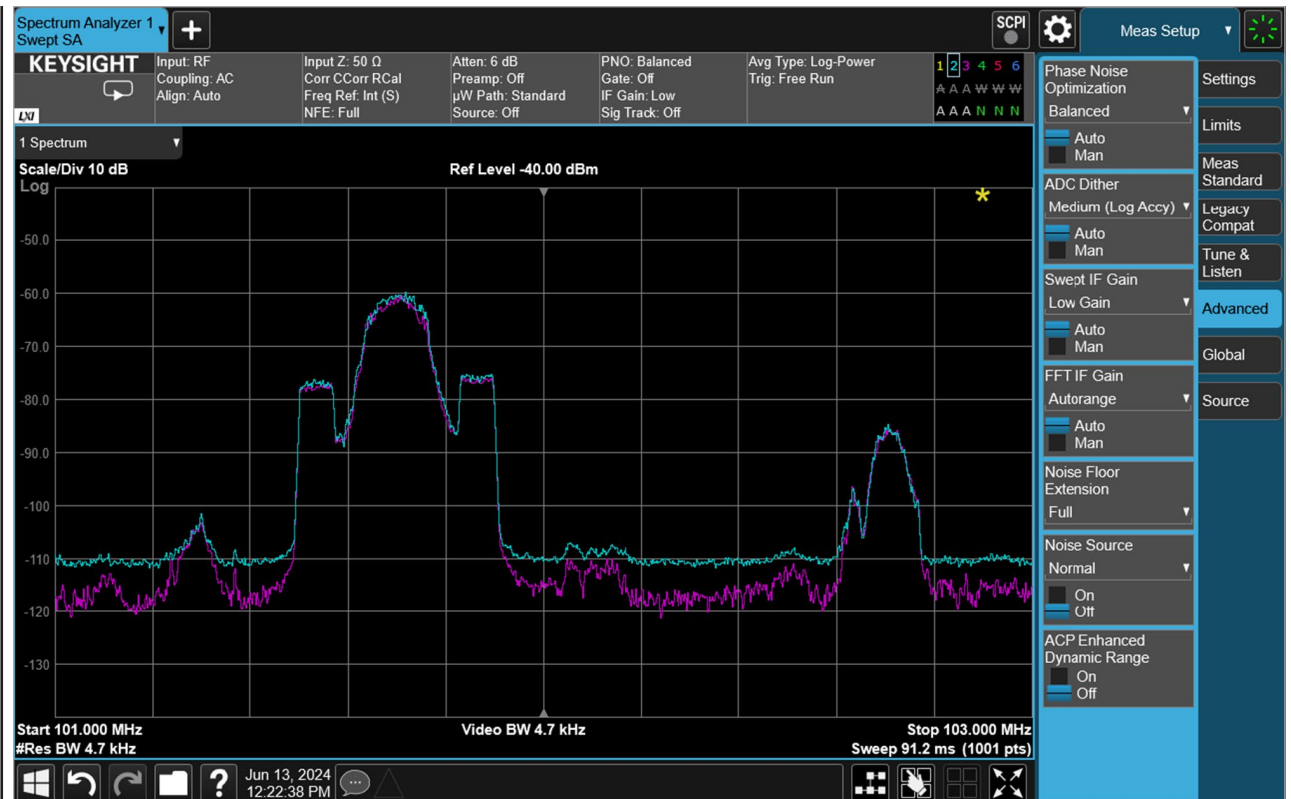


Рис. 2. Використання функції Noise Floor Extension (NFE) в аналізаторі сигналів Keysight N9040B UXA

них точках, що дає змогу застосувати коригуючу трасу для будь-яких налаштувань аналізатора.

В аналізаторах сигналів серії X компанії Keysight Technologies використовується удосконалена корекція під назвою Characterize Noise Floor для вимірювання та збереження залишкового рівня власних шумів у діапазоні частот аналізатора та в різних атенюаторах і трактах сигналу в рамках функції Noise Floor Extension (NFE) (рис. 2). Використання функції NFE в аналізаторі сигналів Keysight N9040B UXA допомагає покращити чутливість до низькорівневих сигналів. Синя траса — відгук аналізатора без використання функції NFE. Фіолетова траса — той самий сигнал після перемикавання функції NFE з режиму Off (вимкнено) в режим Full (повний).

У наведеному прикладі після перемикавання функції NFE в режим Full рівень власних шумів знижується приблизно на 10 дБм.

Дані зберігаються в пам'яті приладу. Коли користувач вмикає функцію NFE на аналізаторі, аналізатор розраховує коригуючу трасу на основі поточних налаштувань приладу і збережених значень коефіцієнта шуму. Це усуває необхідність вимірювання рівня власних шумів аналізатора, як це робилося в ручному режимі. Крім того, це також значно спрощує використання корекції рівня шуму та заощаджує час, усуваючи необхідність вимірювання рівня власних шумів приладу при кожній зміні налаштувань.

Для ефективної роботи функції NFE важливо використовувати достатню кількість усереднень траси. Рекомендується використовувати не менше 10 усереднень траси.

КОРОТКЕ КЕРІВНИЦТВО ЩОДО ВИКОРИСТАННЯ ФУНКЦІЇ NFE

У наведеному сценарії виявлено основний сигнал на частоті 1 ГГц, а також два слабші сигнали по обидва боки від нього. Підвищення відношення сигнал/шум (SNR) може зробити ці слабкі сигнали більш помітними.

Один зі швидких способів підвищити SNR — знизити рівень шуму. Швидкий спосіб знизити рівень власних шумів — використовувати функцію NFE. Почніть з натискання третього заголовка меню на панелі вимірювань у верхній частині екрана (рис. 3).

Потім натисніть функціональну клавішу *Noise Floor Extension* і виберіть *Adaptive* або *Full*. Крім того, увімкніть усереднення траси з достатньою кількістю усереднень (≥ 10 усереднень) (рис. 4).

Синя траса на рисунку 5 — це вимірювання того самого сигналу, але з увімкненим режимом NFE Adaptive. Рівень власних шумів зменшився приблизно на 5 дБ, що полегшує ідентифікацію слабких сигналів (рис. 5).

На рисунку 6 показано корекцію Characterize Noise Floor, яку можна відкрити, натиснувши *System Settings* → *Alignments* → *Advanced* → *Characterize Noise Floor*. Для досягнення найкращих результатів перед використанням функції NFE може знадобитися виміряти рівень власних шумів. Аналізатор буде автоматично сповіщати користувача про необхідність щорічного виконання цієї корекції, однак за бажання користувач може виконувати її частіше для підтримання максимальних характеристик приладу.



Рис. 3. Рисунок 3. Початок використання функції NFE: натисніть на третій заголовк меню на панелі вимірювань у верхній частині екрана



Рис. 4. Натисніть функціональну клавішу Noise Floor Extension і виберіть Adaptive або Full. Крім того, увімкніть усереднення траси з достатньою кількістю усереднень (≥ 10 усереднень)

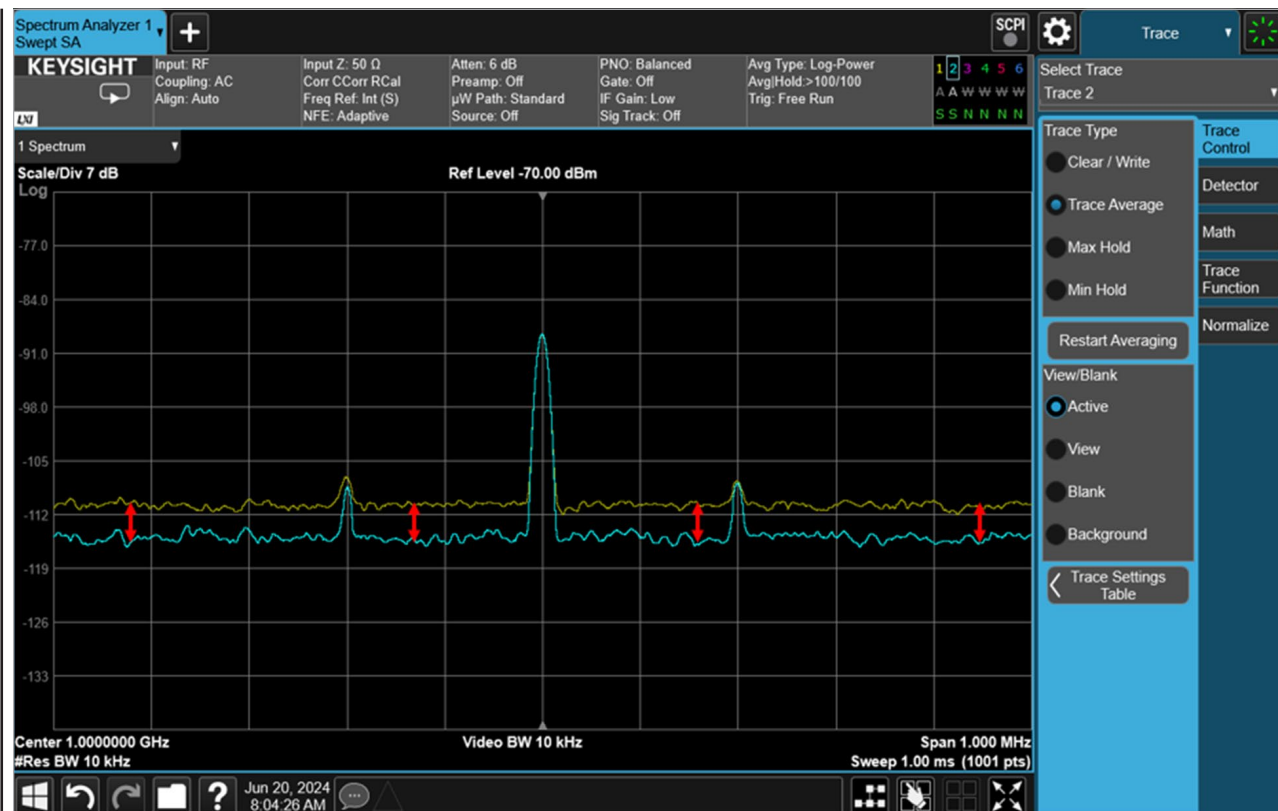


Рис. 5. Вимірювання того самого сигналу, але з увімкненим режимом NFE Adaptive

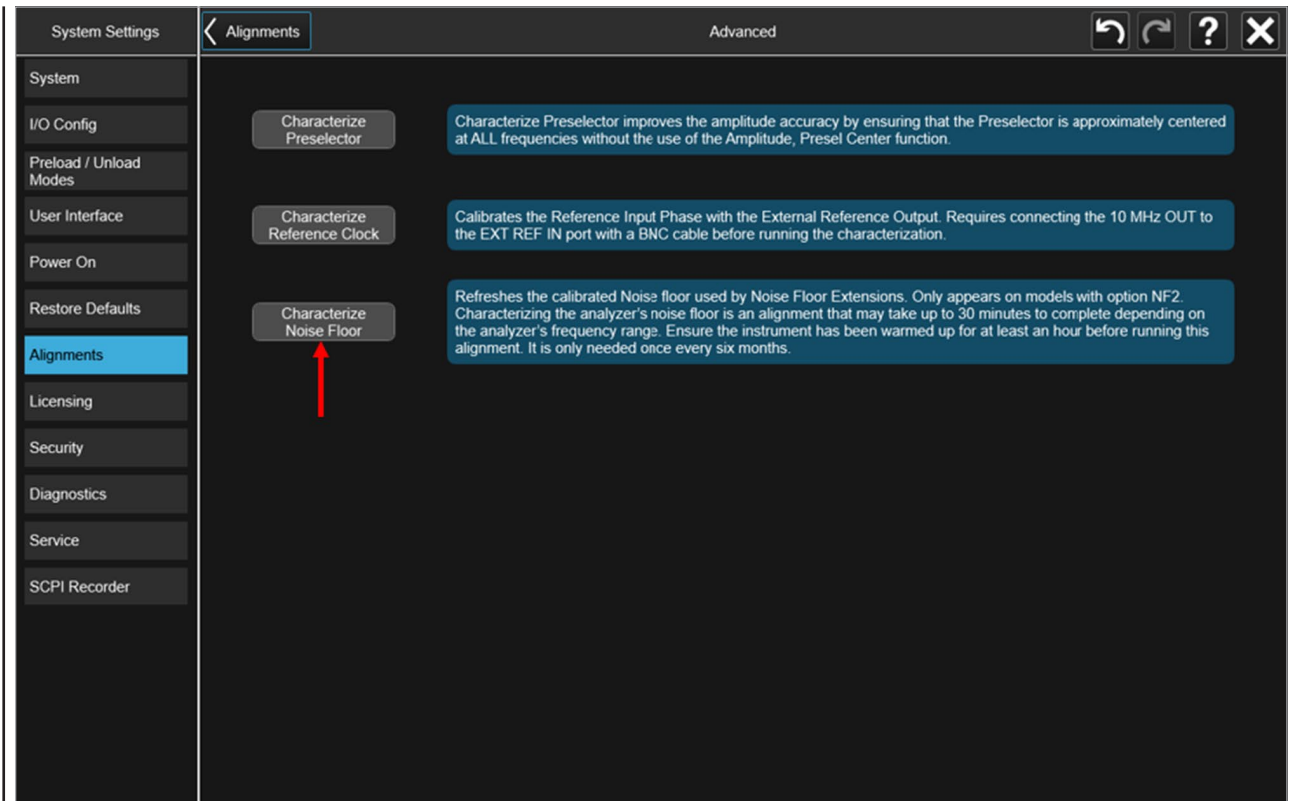


Рис. 5. Вимірювання того самого сигналу, але з увімкненим режимом NFE Adaptive

КОРЕКЦІЯ РІВНЯ ШУМУ В ІНШИХ ВИМІРЮВАННЯХ

Функції корекції шумів включені в різні інші програми для вимірювань в аналізаторах серії X. Вимірювання за допомогою програми Power Suite в аналізаторах спектра, такі як вимірювання потужності в сусідньому каналі (*Adjacent Carrier Power, ACP*), містять корекцію шумів з моменту появи аналізаторів сигналів серії X. Аналогічно, інші вимірювальні функції, такі як Fast Power (FP2), також використовують корекцію шумів. Крім того, за багаторазового вимірювання відомого повторюваного цифрового сигналу можна математично зменшити мінімальний рівень корельованих шумів.

ВИСНОВОК

У кожному з розглянутих методів корекції шуму віднімаються як тепловий шум (кТВ), так і коефіцієнт шуму аналізатора сигналів. Таке віднімання підвищує чутливість аналізатора, даючи йому змогу виявляти і вимірювати низькорівневі сигнали, які в іншому разі можуть бути перекриті мінімальним рівнем шуму. Однак, хоча ці методи можуть бути ефективними в багатьох ситуаціях, вони не є універсальними. Проблеми виникають, коли вимірювані значення близькі або дорівнюють рівню власних шумів приладу. Фактично, якщо вони рівні, то теоретично результат дорівнюватиме від'ємній нескінченності в дБ. Практична реалізація корекції шуму зазвичай містить порогове значення або градуїований рівень віднімання, близький до рівня власних шумів приладу. Також не забувайте використовувати достатнє усереднення при застосуванні функції NFE, щоб зменшити випадкові коливання в скоригованому рівні власних шумів.

У цій статті розглянуто різні методи вимірювання низькорівневих сигналів за допомогою аналізатора сигналів. Важливо розуміти, що на чутливість впливають такі чинники, як смуга розрешення, вхідне ослаблення і використання передпідсилювача. Для подальшого підвищення чутливості приладу можна застосовувати методи подавлення шуму, такі як корекція шумів і зниження рівня власних шумів. Крім того, необхідно мінімізувати втрати в зовнішніх колах, що ведуть до аналізатора сигналів, оскільки вони можуть ще більше знизити загальну чутливість.

Основний перелік контрольно-вимірювального обладнання, яке пропонує компанія Keysight Technologies, містить:

- прилади загального призначення (осцилографи, електронні лічильники, вимірювальні пристрої, генератори функцій, синтезатори сигналів, джерела живлення);
- радіовимірювальні прилади;
- контрольно-вимірювальне обладнання для телекомунікацій;
- устаткування для тестування бездротового зв'язку;
- вимірювальні стенди;
- оптичні прилади;
- техніка для налагодження цифрових пристроїв;
- техніка для тестування електронних компонентів.

Розширте межі своїх технічних можливостей разом із Keysight Technologies!

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

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

Осердя з порошкових матеріалів

Артем Терейковський, директор, ТОВ «НВП АСТЕРА»

E-mail: ferrite@ukr.net

ПОРОШКОВІ ГІБРИДИ – ПЕРЕВАГИ Й НЕДОЛІКИ

Ріст ринку промислових пристроїв, що містять перетворювачі напруги, висуває дедалі жорсткіші вимоги до їхньої ефективності. Насамперед це стосується перетворювачів, що використовуються в електромобілях, джерелах відновлювальної енергії (сонячні панелі, вітрові генератори тощо), і в акумуляторних системах безперебійного живлення та зберігання енергії (*Battery Energy Storage Systems, BESS*), (рис. 37). Для оцінки ефективності інверторів, що використовуються в промислових системах кондиціонування, Європейська Комісія та Каліфорнійська Енергетична Комісія (СЕС) розробили індекс, що визначається як середньозважене за контрольний час експлуатації значення ефективності, виміряне за різних коефіцієнтів навантаження (5%, 10%, 20% і т. д.). Кожне зі значень ефективності, що входять у формулу, має свій ваговий коефіцієнт [173].

Вбудовані зарядні пристрої електромобілів повинні мати значну питому потужність у поєднанні з високою надійністю та ефективністю пристрою в широкому діапазоні значень коефіцієнта навантаження. Як правило, найбільша ефективність відзначається при коефіцієнті навантаження 30%...70% і різко знижується за менш ніж 30% [174].

Існує безліч методів, кожен з яких окремо або в поєднанні з іншими здатний підвищити ККД перетворювача в широкому діапазоні потужності навантаження [175–178]. Вибір оптимального матеріалу осердя дроселя є одним із найефективніших рішень [179–181]. Зазвичай, для накопичувальних дроселів застосовують осердя з порошкових матеріалів, найважливішими характеристиками яких є сумарні втрати та індукція насичення. В осердях із МПМ із низькою відносною вартістю (MegaFlux і Sendust) ці параметри перебудують у зворотній залежності (див. табл. 6, 7 та рис. 29 (CHIP NEWS, № 4 (229), 2024)). Якщо осердя дроселя має поєднувати властивості обох МПМ, вибір єдиного придатного матеріалу може виявитися складним або неможливим. У деяких випадках проблема вирішується застосуванням осердь із композитних МПМ.

Раніше вже було описано експериментальні та комерційні композитні матеріали, що виготовляються з двох і більше видів порошків з різними магнітними властивостями (див. CHIP NEWS, № 3–4 (228–229), 2024). Осердя з композитних МПМ доступні в широкому діапазоні розмірів і значень проникності (табл. 9). У тих випадках, коли характеристики таких матеріалів не забезпечують необхідних параметрів осердя, застосовують так звані гібридні осердя, що складаються з двох або декількох осердь з різних магнітних матеріалів.

На практиці використовують кілька способів поєднання вихідних осердь у складі гібридного. Найпростіший — поєд-

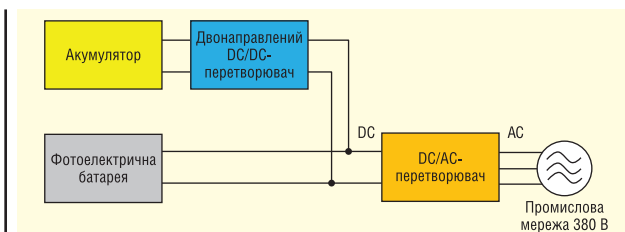


Рис. 37. Двонаправлений DC-DC перетворювач у системі зберігання енергії [182]

нання двох однакових за розмірами кілець. Необхідні параметри забезпечуються вибором вихідних осердь з відповідними характеристиками [182, 183]. Й. Імаока (J. Imaoka), Ю. Ісікура (Y. Ishikura) та співавтори [184] описали методику розробки дроселя на основі такого гібридного осердя. Завданням їхнього дослідження було отримання рівнішої кривої залежності ККД перетворювача від коефіцієнта навантаження. Результати вимірювань підтвердили високу точність застосованих математичних методів під час моделювання нелінійного магнітного опору осердь, тому описана методика може використовуватися під час практичних інженерних розрахунків.

Визначення втрат в дроселі

Втрати в дроселі складаються з втрат в осердді та втрат в обмотці. За малих коефіцієнтів навантаження втрати в осердді переважають і стають головною причиною зниження ККД перетворювача. За високих навантажень зниження ККД відбувається переважно завдяки зростанню втрат в обмотці. Втрати в осердді пропорційні розмаху індукції ΔB [185–187]. У разі збільшення кількості витків обмотки зменшується ΔB , що призводить до зниження втрат в осердді, але зростають втрати в обмотці. Таким чином, головне завдання під час проектування дроселя — визначення оптимальної кількості витків, яка забезпечує мінімальні втрати.

Значення індуктивності дроселя визначається обраною топологією перетворювача і розраховується за формулою:

$$L = \frac{N^2}{R_m} = \left(\frac{N^2 \mu_0 \mu_r(H) A_{core}}{l_{core}} \right), \quad (10)$$

де N — кількість витків обмотки, l_{core} — середня довжина магнітної лінії, A_{core} — площа поперечного перерізу, R_m — магнітний опір осердя, μ_0 — магнітна проникність вакууму, $\mu_r(H)$ — відносна проникність осердя, що нелінійно залежить від напруженості поля. Для коректного розрахунку індуктивності необхідно визначити точне значення проникності осердя в залежності від сили підмагнічування.

Зазвичай, МПМ з високою індукцією насичення є більш стійкими до підмагнічування, ніж матеріали з низькою індук-

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

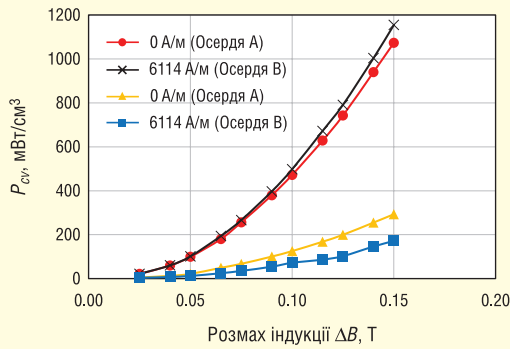


Рис. 38. Залежність сумарних втрат осердь А і В від розмаху індукції та підмагнічування [182]

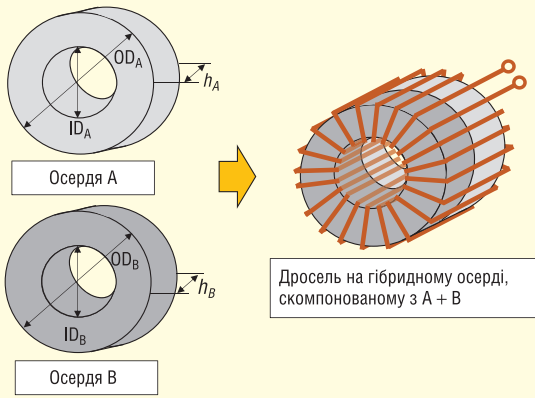


Рис. 39. Структура гібридного осердя з однакових за розміром кілець [182]

цією насичення. У межах прийнятної діапазону значень індуктивності дроселя, вища індукція насичення матеріалу осердя сприяє зменшенню кількості витків обмотки дроселя. Отже, втрати в обмотці перебувають у зворотній залежності від DCB-характеристики матеріалу осердя. З іншого боку, такі МПМ мають високі сумарні втрати.

Для порівняння характеристик дроселів на гібридному й однорідних осердях було взято однакові за розміром і початковою проникністю осердя FS-106060-2 з матеріалу FluxSan™ (осердя А) і сендастовий MS-106060-2 (осердя В), вироблені компанією Micrometals. Основні параметри цих матеріалів з $\mu = 60$ наведено в таблицях 6, 7 і в [188], [189]. Наочне порівняння продуктивності обох матеріалів надано на рисунку 29 (CHIP NEWS, № 4 (229), 2024).

На рисунку 38 наведено залежності втрат обох осердь від розмаху індукції (синусоїдальний сигнал 40 кГц) без підмагнічування і за напруженості поля 6114 А/м, виміряні за допомогою В-Н аналізатора. В всіх випадках, втрати в сендастовому осерді виявилися істотно нижчими, ніж в осерді з Fe-Si (FluxSan™). Примітно, що втрати в осерді з Fe-Si збільшуються при підмагнічуванні, а в осерді з Fe-Si-Al — знижуються.

З пар обраних осердь було виготовлено три екземпляри дроселів із розташуванням осердь один поверх іншого, об'єднаних спільною обмоткою, у поєднаннях А + А, А + В, В + В. Структура гібридного осердя зображена на рисунку 39.

Приникність гібридного осердя

Успіх розробки дроселя на гібридному осерді залежить від точності моделювання DCB-характеристик кожного окре-

мого осердя. Для цього використовується кілька моделей, які з різним ступенем точності описують залежність проникності від напруженості поля.

Одна з моделей заснована на рівнянні Брауера [190], [191]:

$$\mu_r(B) = \frac{1}{k_1(1 + 2k_2B^2)e^{k_3B^2} + k_3}, \tag{11}$$

де k_1, k_2, k_3 — константи, визначені з емпірично отриманої кривої.

Інша модель, запропонована в [192], описує залежність індукції в осерді від напруженості поля. Схоже рівняння сформульовано в [193]:

$$B(H) = 0.1 \left(\frac{a + bH + cH^2}{1 + dH + eH^2} \right)^x, \tag{12}$$

де a, b, c, d, e, x — коефіцієнти, що характеризують нелінійну залежність індукції в осерді від напруженості поля.

У рівняннях (11) і (12) присутня велика кількість коефіцієнтів, позбавлених фізичного сенсу, тому ці рівняння не дають інтуїтивного розуміння нелінійної залежності проникності МПМ від напруженості поля.

Й. Імаока (J. Imaoka) та співавтори [194] запропонували просте рівняння з трьома коефіцієнтами:

$$\mu_r(H) = 1 + \left(\frac{p}{1 + \left(\frac{H}{q} \right)^r} \right), \tag{13}$$

де p, q, r — коефіцієнти, що описують залежність відносної проникності від напруженості поля, яка визначається наступним чином:

$$H = \frac{NI}{l_{core}}, \tag{14}$$

де N — число витків обмотки, I — струм в обмотці, l_{core} — середня довжина магнітної лінії осердя.

Фізичний зміст коефіцієнтів p, q, r стає зрозумілим із рисунків 40, 41. Початкова магнітна проникність осердя μ_r за відсутності підмагнічування дорівнює $p + 1$, а коефіцієнт q дорівнює такій напруженості поля, за якої проникність осердя зменшується вдвічі, до значення $p/2 + 1$.

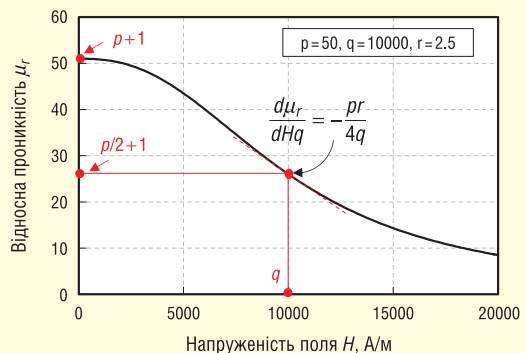


Рис. 40. Взаємозв'язок між коефіцієнтами p, q, r, напруженістю поля H і відносною проникністю осердя μ_r [194]

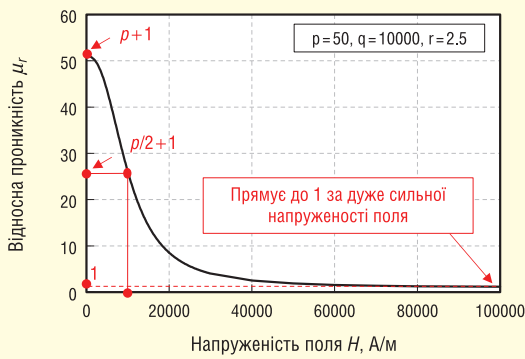


Рис. 41. Залежність μ_r від напруженості поля під час насичення осердя [194]

Перший елемент у правій частині (13) відповідає магнітній проникності осердя за повного його насичення. Отже, за нескінченного збільшення напруженості поля значення $p + 1$ буде наближатися до 1 (рис. 41). Коефіцієнт r характеризує негативний кут нахилу кривої відносної проникності на ділянці поблизу значення напруженості поля, що дорівнює q . Чим більше значення r , тим крутіший нахил графіка (рис. 42). Отже, взаємозв'язок між p , r , q може бути описаний таким чином [194]:

$$\frac{d\mu_r}{dH} = -\frac{pr}{4q}$$

Чим більше значення r , тим швидше зменшується відносна проникність μ_r зі зростанням напруженості поля. Усього три коефіцієнти, фізичний зміст яких інтуїтивно зрозумілий, дають змогу з незначною похибкою описувати DCB-характеристики різних магнітно-м'яких матеріалів. Рівняння (13) є адаптованою функцією розподілу Фермі-Дірака, графік якої досить точно відповідає графіку зміни відносної проникності матеріалу осердя залежно від напруженості поля.

Використовуючи (13), μ_r осердя А і В визначається таким чином:

$$\mu_{rA}(H) = 1 + \frac{p_A}{1 + \left(\frac{|H|}{q_A}\right)^{r_A}} = 1 + \frac{57.8}{1 + \left(\frac{|H|}{12500}\right)^2}, \quad (15)$$

$$\mu_{rB}(H) = 1 + \frac{p_B}{1 + \left(\frac{|H|}{q_B}\right)^{r_B}} = 1 + \frac{59.1}{1 + \left(\frac{|H|}{8200}\right)^{1.9}}. \quad (16)$$

Отримані з використанням В-Н вимірювача (позначено трикутниками та квадратами) і розраховані (позначено як суцільні лінії) за допомогою (15) і (16) значення μ_r наведено на рисунку 43. Емпіричні значення майже повністю збігаються зі змодельованими.

На рисунку 44 наведено схему магнітної моделі гібридно-го осердя, складеного з двох однорідних осердь з магнітними властивостями, що відрізняються одне від одного. NI — магніторушійна сила, R_{mA} і R_{mB} — перемінні магнітні опори осердь А і В, ϕ_A та ϕ_B — магнітні потоки в осердях А і В. Магнітний потік, що створюється струмом в обмотці, розділяється між осердями відповідно до магнітного опору кожного з них. Із наведеної на рисунку 42 схеми та рівняння (10), індуктивність дроселя може бути розрахована за формулою:

$$L = N^2 \frac{R_{mA} + R_{mB}}{R_{mA} R_{mB}} = N^2 \mu_0 \left(\frac{\mu_{rA}(H) A_{coreA}}{l_{coreA}} + \frac{\mu_{rB}(H) A_{coreB}}{l_{coreB}} \right). \quad (17)$$

Підставляючи рівняння (14), (15) і (16) у (17) і приймаючи рівність площ поперечного перерізу та середньої довжини магнітної лінії обох осердь ($A_{coreA} = A_{coreB}$ і $l_{coreA} = l_{coreB}$), отримуємо таке рівняння:

$$L = \frac{N^2 \mu_0 A_{core}}{l_{core}} (\mu_{rA}(H) + \mu_{rB}(H)) = \frac{N^2 \mu_0 A_{core}}{l_{core}} \left(2 + \frac{p_A}{1 + \left|\frac{NI}{l_{coreA} q_A}\right|^{r_A}} + \frac{p_B}{1 + \left|\frac{NI}{l_{coreB} q_B}\right|^{r_B}} \right). \quad (18)$$

Таким чином, за допомогою (18) можна розрахувати число витків обмотки N .

Виробники осердь з МПМ для опису DCB-характеристик матеріалів застосовують розширену формулу, яка є модифікацією (13):

$$\% \mu_i = \frac{1}{a + bH^c} + d, \quad (19)$$

де $\% \mu_i$ — частина початкової проникності (%) за напруженості поля H , вираженої в Ерстедах; a , b , c і d — коефіцієнти. Якщо вважати, що $\% \mu_i = 100\%(\mu_r/\mu_0)$, то (19) можна подати у вигляді:

$$\mu_r(H) = \frac{\mu_i}{100(a + bH^c)} + \frac{d}{100}. \quad (20)$$

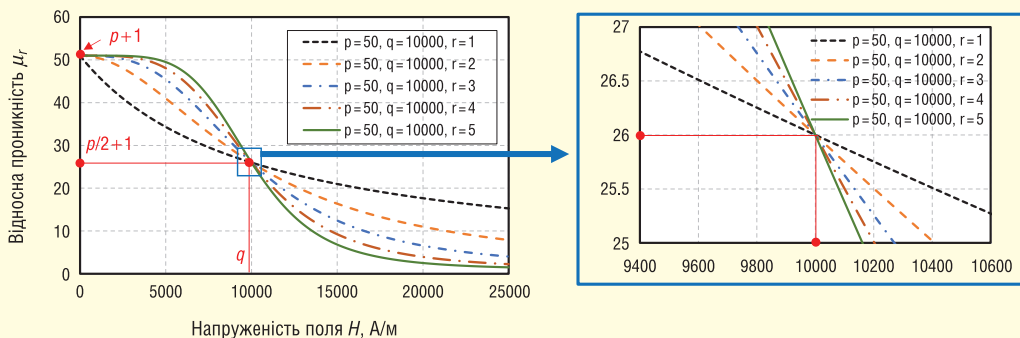


Рис. 42. Зміна відносної проникності μ_r в залежності від коефіцієнта r [194]

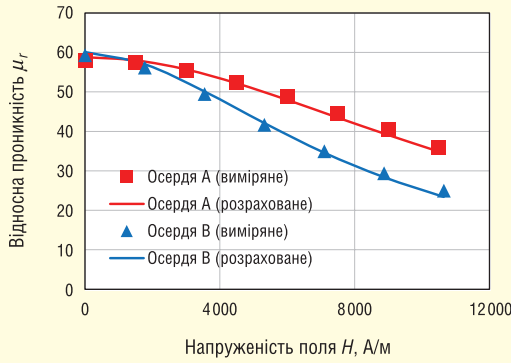


Рис. 43. Вимірні та розраховані значення відносної проникності μ_r осердь А і В [182]

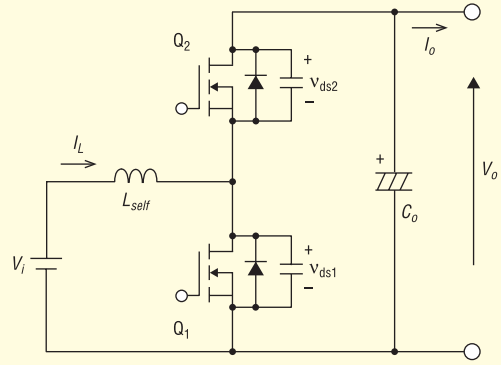


Рис. 45. Конфігурація двонаправленого DC/DC-перетворювача [182]

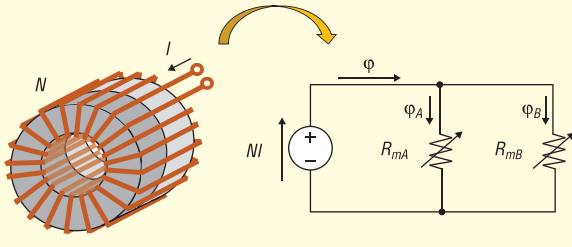


Рис. 44. Еквівалентна магнітна модель гібридного осердя

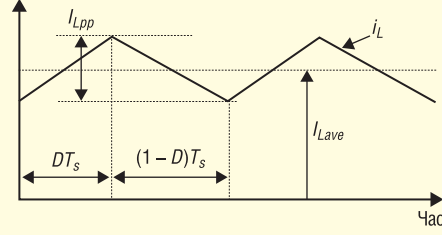


Рис. 46. Епіюра струму в обмотці дроселя [194]

Значення a , b , c і d для кожного матеріалу наведені в документації виробника:

FluxSan™ ($\mu = 60$)
 $a = 1.000E-02$, $b = 1.949E-07$, $c = 2.099E+00$, $d = 0.000E+00$ [188]

Sendust ($\mu = 60$)
 $a = 1.000E-02$, $b = 2.151E-06$, $c = 1.841E+00$, $d = 0.000E+00$ [189]

Підставляючи значення коефіцієнтів, наприклад, визначені для матеріалу **FluxSan™**, у (20), отримуємо:

$$\mu_r(H) = \frac{\mu_r}{(1 + 1.949E^{-05} H^{2.099})^c} \quad (21)$$

Вочевидь, коефіцієнти r у (13) і c у (19) мають однакові значення і фізичний сенс. Оскільки H у (13) має розмірність в А/м, а в (19)–(21) — в Ерстедах, коефіцієнти b , c в (20) і q у (13) пов'язані таким співвідношенням:

$$b = \left(\frac{1000}{4\pi q} \right)^c$$

Приклад розрахунку дроселя DC-DC перетворювача

Розглянемо розрахунок накопичувального дроселя, що використовується у двонаправленому DC/DC-перетворювачі. Конфігурацію схеми наведено на рисунку 45, епіюри струму в дроселі — на рисунку 46, параметри перетворювача — у таблиці 12.

У підвищувальному режимі амплітуда пульсацій струму становить $I_{Lpp} = 3$ А за постійної складової $I_{Lave} = 8$ А. Для забезпечення заданої амплітуди індуктивність дроселя має становити:

$$L_{self} = \frac{V_i}{I_{Lpp}} DT_s \quad (22)$$

Таблиця 12. Параметри двонаправленого DC/DC-перетворювача

Параметр	Значення
Вхідна напруга V_i , В	75
Вихідна напруга V_o , В	150
Коефіцієнт заповнення D	0.5
Вихідна потужність P_o , Вт	675
Частота перемикання f_{sw} , кГц	40

де D — коефіцієнт заповнення, T_s — період частоти перемикання. Підставляючи в (22) дані з таблиці 12, отримуємо $L_{self} = 300$ мкГн.

Визначити перевагу гібридного осердя допоможе порівняння параметрів дроселів, виготовлених на різних поєднаннях матеріалів вихідних осердь:

Дросель 1. Осердя А + Осердя А	FS-106060-2 + FS-106060-2
Дросель 2. Осердя А + Осердя В	FS-106060-2 + MS-106060-2
Дросель 3. Осердя В + Осердя В	MS-106060-2 + MS-106060-2

Порівняльний аналіз параметрів дроселів

Кількість витків, необхідних для забезпечення $L_{self} \geq 300$ мкГн, може бути визначена за допомогою (18) і (20). На рисунку 47 показана залежність L_{self} трьох варіантів дроселів від кількості витків обмотки N за постійної складової струму $I_{Lave} = 8$ А.

Осердя Дроселя 1 (А + А) має найбільшу індукцію насичення, тому для отримання 300 мкГн, згідно з розрахунком, достатньо лише 48.6 витків. Комбінації осердь Дроселя 2 (А + В) і Дроселя 3 (В + В) потребують 52.5 і 57.3 витків. Округлюючи до цілого числа, отримуємо $N = 49$, $N = 53$ і $N = 58$ відповідно.

На рисунку 48 наведено залежність індуктивності дроселів від постійної складової струму в обмотці.

Суцільні лінії на рисунку 48 утворені апроксимацією розрахованих значень, тоді як емпірично отримані значення позначені фігурами: квадрат, коло та трикутник. Вочевидь, що за $I_{Lave} < 8$ А пульсації струму I_{Lpp} в обмотці Дроселя 2 будуть меншими, ніж у Дроселя 1, через вищу індуктивність

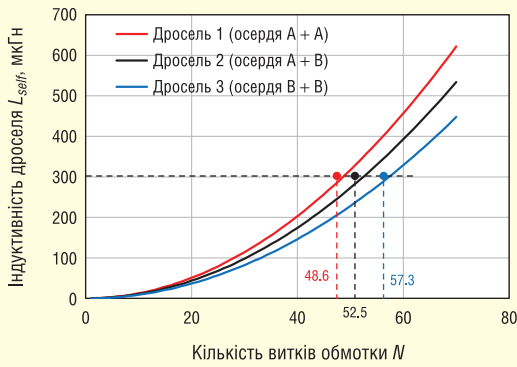


Рис. 47. Залежність індуктивності від числа витків обмотки за постійної складової струму 8А [182]

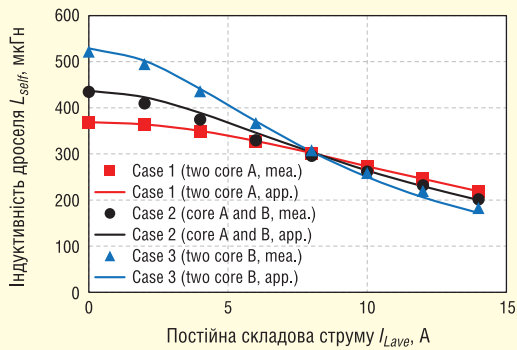


Рис. 48. Залежність індуктивності дроселя від постійної складової струму [182]

Дроселя 2. За струму $I_{Lave} > 8$ А втрати в обмотці Дроселя 2 будуть меншими, ніж у Дроселя 3, завдяки меншій кількості витків. Таким чином, Дросель 2 є найбільш збалансованим у широкому діапазоні струмів навантаження.

Втрати в дроселі складаються з втрат в осерді та втрат в обмотці, які, зі свого боку, складаються з втрат за постійним струмом і втрат за змінним струмом. Для виключення впливу проникності осердя, опір обмотки змінному струму вимірюється на немагнітному осерді, водночас враховуються тільки непарні гармоніки з 1-ї до 5-ї. Сума сигналів 1-ї, 3-ї та 5-ї гармонік дає сигнал, близький за формою до трикутного. Втрати в обмотці визначаються за формулою:

$$P_{cu} = R_{dc} I_{dc}^2 + \sum_{n=1}^5 R_{acn} I_{acn}^2 \quad (23)$$

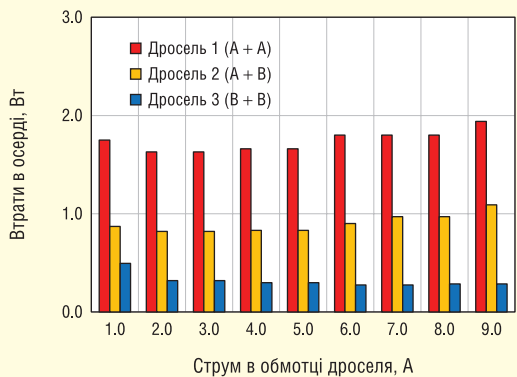


Рис. 49. Залежність втрат в осердях від струму в обмотці

Таблиця 13. Параметри обмоток дроселів			
Параметр	Дросель 1	Дросель 2	Дросель 3
Кількість витків обмотки N	49	53	58
Діаметр дроту \varnothing , мм	1.0	1.0	1.0
Опір постійному струму R_{dc} , мОм	72	78	90
Опір змінному струму R_{ac1} ($n=1$), мОм	223	267	340
Опір змінному струму R_{ac3} ($n=3$), мОм	442	531	679
Опір змінному струму R_{ac5} ($n=5$), мОм	587	705	897

де R_{dc} — опір постійному струму, R_{acn} — опір змінному струму на кожній гармоніці, I_{dc} — постійний струм, I_{acn} струм кожної з гармонік. Вимірні значення опорів для всіх трьох зразків наведено в таблиці 13. Оскільки в розглянутому прикладі коефіцієнт заповнення дорівнює 0.5, у струмі присутні тільки непарні гармоніки, відповідно, 2-а та 4-та гармоніки не враховуються.

Втрати в осердях А і В, зокрема за наявності підмагнічування, можуть бути визначені за допомогою рисунку 38 і модернізованих рівнянь Штейнмеца [186–187]. Оскільки гібридний варіант (Дросель 2) складається з двох осердь із різними характеристиками, втрати кожного з них визначаються окремо. Для гібридного осердя (рис. 39) втрати обчислюються за формулою:

$$P_{core} = P_{coreA} V_{coreA} + P_{coreB} V_{coreB} \quad (24)$$

де P_{coreA} , P_{coreB} — питомі втрати в осердях А і В, мВт/см³, V_{coreA} і V_{coreB} — об'єми осердь А і В, см³.

На рисунках 49, 50 наведено значення складових втрат Дроселів 1, 2 і 3. Найбільші втрати має Дросель 1, осердя якого складається з двох Fe-Si осердь. Зі збільшенням постійної складової струму I_{Lave} ці втрати незначно зростають. Дросель 3, виготовлений на осерді з двох сендастових кілець, має мінімальні втрати, які незначно знижуються зі зростанням I_{Lave} . Однак, втрати в обмотці Дроселя 3 є найвищими, що знижує ККД перетворювача. З іншого боку, осердя Дроселя 2, що складається з Fe-Si та Fe-Si-Al кілець, забезпечує найбільш збалансовані втрати. За слабких струмів, низькі втрати в осерді В забезпечують незначні втрати гібридного осердя. При великому навантаженні висока індукція насичення і DCB-характеристика осердя А сприяють зменшенню втрат в обмотці. Таким чином, гібридне осердя забезпечує найкращі параметри дроселя під час роботи в широкому діапазоні значень коефіцієнта навантаження.

Вимірний розмах пульсацій I_{Lpp} в обмотках Дроселів 1, 2 і 3 становив 2.6, 2.3 і 2.0 А за слабого навантажен-

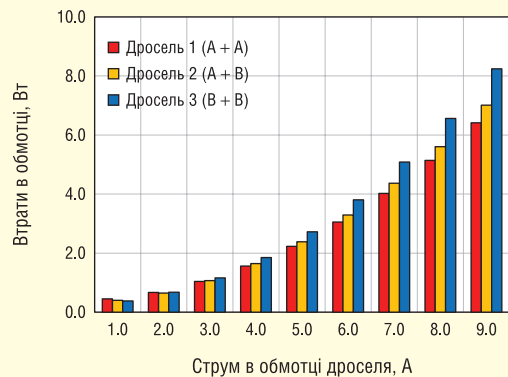


Рис. 50. Втрати в обмотці дроселів залежно від струму

Таблиця 14. Розрахункові параметри дроселів

I_{love}	Параметр	Дросель 1	Дросель 2	Дросель 3
2.0 A	Індуктивність $L_{\text{дрос}}/\text{мкГн}$	364	423	495
	Розмах пульсацій $I_{\text{дрос}}/\text{A}$	2.6	2.2	1.9
8.0 A	Індуктивність $L_{\text{дрос}}/\text{мкГн}$	302	304	305
	Розмах пульсацій $I_{\text{дрос}}/\text{A}$	3.0	3.0	3.0

ня ($I_{\text{love}} = 2.0 \text{ A}$) і 3.0, 3.1 і 3.1 A за сильного навантаження ($I_{\text{love}} = 8.0 \text{ A}$). Емпіричні значення майже збігаються з розрахованими, наведеними в таблиці 14.

Ефективність перетворювача

Для визначення впливу параметрів дроселя на ККД перетворювача досліджували зразки Дроселів 1, 2 і 3 були протестовані в схемі двонаправленого перетворювача, зображеної на рисунку 43. Виміряні залежності ККД від потужності навантаження в діапазоні 75...675 Вт подано на рисунку 51. Зміну ККД у діапазоні 400...675 Вт відображено на рисунку 52.

Як видно з рисунку 51, ефективність перетворювача з Дроселем 1 різко знижується за малих навантажень, що пояснюється високими втратами в осердях з Fe-Si. Зі збільшенням струму втрати в обмотці зростають, тому за високих навантажень дросель із меншим числом витків забезпечує вищий ККД. З цієї причини відносна зміна ефективності перетворювача з Дроселем 1 під час збільшення навантаження виявилася найменшою (рис. 52).

При використанні Дроселя 3 найбільший ККД відзначається за невеликих навантажень через мінімальні сумарні втрати сендастових осердь і невеликий розмах індукції ΔB . Застосування таких дроселів доцільне тоді, коли перетворювач повинен мати максимальну ефективність за коефіцієнтів навантаження $< 50\%$. Однак ККД перетворювача з дроселем 3 швидко знижується за великих навантажень через втрати в обмотці, що різко зростають.

Дросель 2 на гібридному осерді забезпечує рівнішу залежність ККД від потужності навантаження, ніж Дросель 1 і Дросель 3 на однорідних осердях. За вихідної потужності $P_o = 75 \text{ Вт}$ ККД перетворювача з Дроселем 1 і Дроселем 2 становить 97,2% і 97,9% відповідно. За максимальної потужності $P_o = 675 \text{ Вт}$ значення ККД становлять 97,7% і 97,4% відповідно за використання Дроселя 2 і Дроселя 3. Таким чином, застосування Дроселя 2 з гібридним осердям дало змогу зменшити залежність ККД перетворювача від потужності навантаження і досягти найбільшої ефективності за максимальної потужності.

Наведений вище метод дозволяє спроектувати та виготовити дросель з оптимальними характеристиками, використовуючи різні поєднання матеріалів та/або значень проникності складових гібридного осердя.

ЛІНІЙНІ ЧИ НЕЛІНІЙНІ?

Висока індукція насичення МГМ дає змогу значно зменшити габарити дроселя порівняно з еквівалентним за потужністю варіантом на феритовому осерді з дискретним зазором [195]. Нелінійність характеристик дроселів на осердях з МГМ надає розробнику додаткові можливості, на відміну від так званих лінійних дроселів на осердях з дискретними зазорами. Наприклад, у пасивних коректорах коефіцієнта потужності (ККП), дроселі на осердях з МГМ запобігають

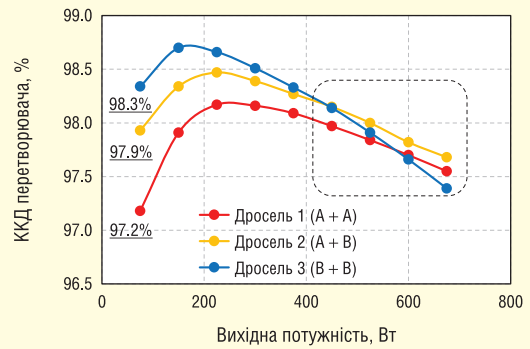


Рис. 51. Ефективність перетворювача при потужності навантаження від 75 до 675 Вт [182]

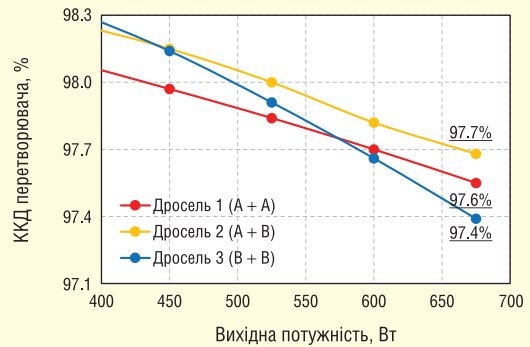


Рис. 52. Ефективність перетворювача при потужності навантаження від 400 до 675 Вт [182]

пов'язі гармонійних спотворень у струмі, який споживає пристрій від мережі живлення. Як було показано раніше (CHIP NEWS, № 5 (230), 2024), нелінійність індуктивності дроселя дає змогу зменшити амплітуду пульсацій струму під час слабких навантажень, розширюючи тим самим робочий діапазон перетворювача. У пристрої, описаному в [196], нелінійність дроселя полегшує ефективне узгодження фотоелектричної батареї з навантаженням за різних рівнів освітленості.

Причина нелінійної зміни проникності порошкових осердь залежно від напруженості поля полягає в наступному. Проникність більшості комерційних МГМ не перевищує 200; іншими словами, ці матеріали мають високий магнітний опір. Довжина магнітної лінії, що проходить уздовж зовнішнього радіуса, більша за довжину лінії, що проходить уздовж внутрішнього радіуса, тому магнітний опір поблизу зовнішнього радіуса однорідного осердя більший за опір поблизу внутрішнього радіуса (рис. 53). Магнітний потік, що створюється обмоткою, вибирає шлях із найменшим магнітним опором, тому напруженість поля поблизу внутрішнього радіуса завжди вища. Зі збільшенням струму в обмотці починається поступове насичення осердя в напрямку від внутрішнього радіуса до зовнішнього. Інакше кажучи, чим більша частина осердя,

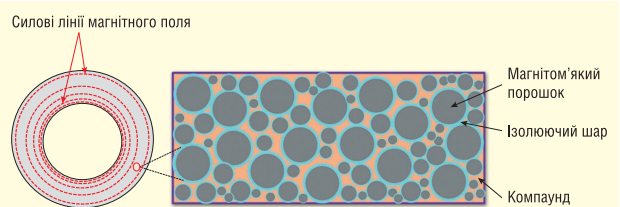


Рис. 53. Розподілення магнітного поля в осерді з МГМ [194]

що опинилася в стані насичення, тим більший його магнітний опір. Значний вплив на характеристику насичення мають властивості й товщина шару діелектрика ([197–198], CHIP NEWS, № 2–3 (227–228), 2024).

Нерівномірний розподіл магнітного потоку в об'ємі осердя обмежує питому енергоємність дроселя. Гібридні осердя, виготовлені згідно з описаним вище методом, покращують деякі характеристики дроселя, однак це не усуває проблему нерівномірного розподілу магнітного потоку в об'ємі осердя. Один зі способів її розв'язання буде описано далі.

Далі буде

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

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

Література:

173. C. Wei, H. Jiannong and H. Tianding. Design considerations of inductor for 500kVA PV inverter based on Euro efficiency. in Proc. IEEE 5th International Symposium on Power Electronics for Distributed Generation Systems (PEDG), Galway, Ireland, pp. xx-xx, 2014.

174. Y. Iwafune, T. Kawai. Data analysis and estimation of the conversion efficiency of bidirectional EV chargers using home energy management systems data, Smart Energy 15 (2024) 100145.

175. H. N. Le and J. Itoh. Wide-load-range efficiency improvement for high-frequency SiC-based boost converter with hybrid discontinuous current mode. IEEE Trans. on Power Electronics, vol. 33, no. 2, pp. 1843–1854, 2018.

176. A. Syed, T. K. Sandipamu and F. T. K. Suan. High-efficiency neutral-point-clamped transformerless MOSFET inverter for photovoltaic applications. IET Power Electronics, vol. 11, no. 2, pp. 246–252, 2018.

177. A. Taylor, J. Lu, et al. Comparison of SiC MOSFET-based and GaN HEMT-based high-efficiency high-power-density 7.2 kW EV battery chargers. IET Power Electronics, vol. 11, no. 11, pp. 1849–1857, 2018.

178. J. Xu, Q. Wu and Y. Wang. Magnetising-current-assisted wide ZVS range push-pull DC/DC converter with reduced circulating energy. IET Power Electronics, vol. 11, no. 2, pp. 272–279, 2018.

179. M. S. Rylko, K. J. Hartnett, et al. Magnetic material selection for high power high-frequency inductors in DC-DC Converters. in Proc. Applied Power Electronics Conference and Exposition (APEC), Washington, DC, USA, pp. 2043–2049, 2009.

180. A. J. Hanson, J. A. Belk, et al. Measurement and performance factor comparisons of magnetic materials at high frequency. IEEE Trans. on Power Electronics, vol. 31, no. 11, pp. 7909–7925, 2016.

181. R. S. Yang, A. J. Hanson, et al. A low-loss inductor structure and design guidelines for high-frequency applicati-

ons. IEEE Trans. on Power Electronics, vol. 34, no. 10, pp. 9993–10005, 2019.

182. Y. Ishikura, J. Imaoka, M. Noah, T. Aoki, K. Ito and M. Yamamoto. Magnetic Design Method for Multi-Material Inductor to Flatten Efficiency Curve of Power Converters Within Wide Load Ranges. vol. 56, no. 10, pp. 1–8, Oct. 2020, Art no. 8400208.

183. I. Sefa, N. Altin, S. Ozdemir, S. Balci, M. B. Bayram and H. Kelebek. Design and loss analysis of LCL filter inductors for two-level and three-level inverters. in 2017 International Conference on Applied Electronics (AE), 2017, pp. 1–5.

184. J. Imaoka, Y. Ishikura, et al. Magnetic design method for multi-material powder core inductor to improve efficiency of bidirectional DC-DC converter within wide load range. in Proc. 10th International Power Electronics Conference (ICPE-2019-ECCE Asia), Busan, Korea (South), pp. xx-xx, 2019.

185. C. P. Steinmetz. On the law of hysteresis. in Proc. IEEE, vol. 72, no. 2, pp. 197–221, Feb. 1984.

186. K. Venkatachalam, C. R. Sullivan, et al. Accurate prediction of ferrite core loss with nonsinusoidal waveforms using only Steinmetz parameters. in Proc. IEEE Workshop Computers in Power Electronics, IEEE Workshop on, Mayaguez, Puerto Rico, pp. 36–41, 2002.

187. J. Muhlethaler, J. Biela, et al. Core losses under the DC bias condition based on Steinmetz parameters. IEEE Trans. on Power Electronics, vol. 27, no. 2, pp. 953–963, 2012.

188. <https://www.ferrite.com.ua/doc/CN/fs-060-datasheet.pdf>

189. <https://www.ferrite.com.ua/doc/CN/ms-060-datasheet.pdf>

190. J. R. Brauer. Simple equations for the magnetization and reluctivity curves of steel. IEEE Trans. Magn., Vol. 11, No. 1, pp. 81, Jan 1975.

191. J. Marcos Alonso, G. Martinez, M. Perdigao, M. Rafael Cosetin, and Ricardo N. do Prado. A Systematic Approach to Modeling Complex Magnetic Devices Using SPICE: Application to Variable Inductors. IEEE Trans. on Power Electron., Vol. 31, No. 11 pp. 7735–7746, Nov. 2016.

192. Q. Li, and F. C. Lee. High Inductance Density Low-Profile Inductor Structure for Integrated Point-of-Load Converter. Proc. IEEE Applied Power Electronics Conference and Exposition (APEC), Feb. 2009, pp. 1011–1017.

193. E. Cardelli, E. Della Torre and E. Pinzaglia. Identifying the Preisach Function for Soft Magnetic Materials. IEEE Trans. on Magnetics, Vol. 39, No. 3, pp. 1341–1334, May. 2003.

194. J. Imaoka, K. Okamoto, et al. Modeling, magnetic design, simulation methods, and experimental evaluation of various powder cores used in power converters considering their DC superimposition characteristics. IEEE Trans. on Power Electronics, vol. 34, no. 9, pp. 9033–9051, 2019.

195. W. H. Wölfle and W. G. Hurley. Quasi-Active Power Factor Correction With a Variable Inductive Filter: Theory, Design and Practice. IEEE Trans. on Power Electron., Vol. 18, No. 1, pp. 248–255, Jan. 2018.

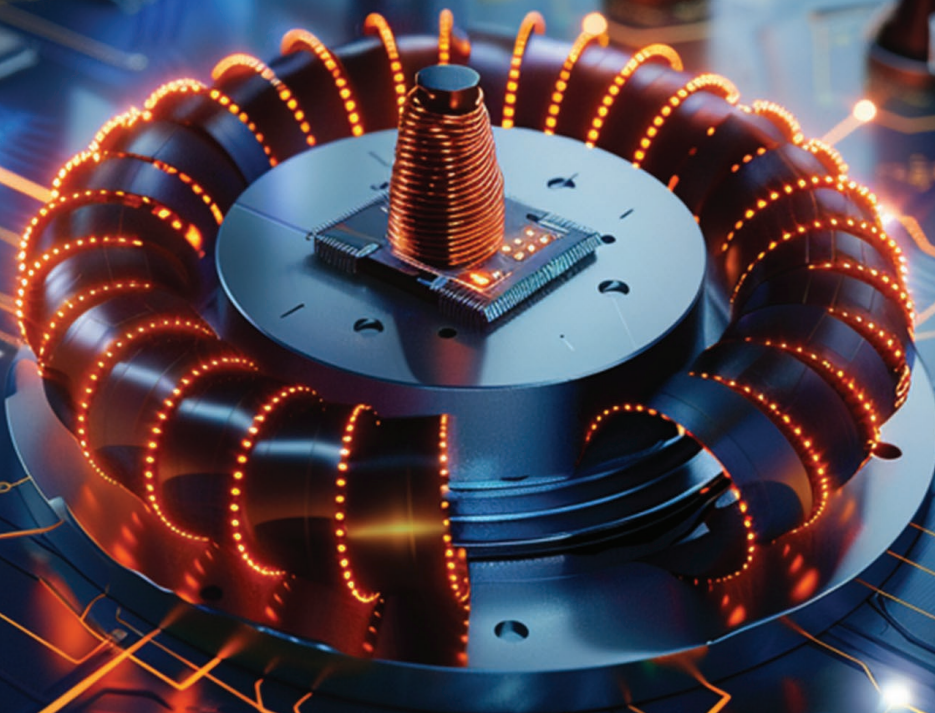
196. L. Zhang, W. G. Hurley, and W. Hugo Wölfle. A New Approach to Achieve Maximum Power Point Tracking for PV System With a Variable Inductor. IEEE Trans. on Power Electron., Vol. 26, No. 4, pp. 1031–1037, Jan. 2018.

197. K. Kabeya, S. Yanase, Y. Okazaki and K. Yun. Magnetic Property of Iron-Dust Cores With Mixture of Ferromagnetic Ferrite Powder and Alumina Powder. IEEE Trans. on Mag., Vol. 50, No. 4, Article Sequence Number: 2800504, Apr. 2014.

198. K. Shiroki, K. Kawano, H. Matsuura and H. Kishi. New Type Metal Composite Material for SMD Power Inductor. Journal of Jpn. Soc. Powder and Powder Metallurgy, Vol. 61, No. S1, pp. S242–S244, May. 2014.

CN

Осердя, фурнітура, моточні вироби вимірювальні трансформатори струму



ТОВ «НВП АСТЕРА»

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

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

Вимірювання сили струму навантаження за допомогою ІС цифрового керування електроживленням по шині PMBus

Частина 2

Міхаель Пітерс (Michael Peters)

У другій частині статті описуються методи вимірювання сили струму в лініях живлення під високою або від'ємною напругою та налаштування регістрів конфігурації для методу вимірювання через вивід IMON. У цій публікації розглянуто питання точності вимірювання струму та надано вказівки щодо програмування ІС за допомогою ПЗ LTpowerPlay. Перша частина циклу була присвячена загальним питанням вимірювання струму, зокрема різним методам і топологіям схем.

ПЕРЕХОДИМО МЕЖИ

Для ІС сімейства LTC297x задано гранично допустимі рівні напруги, що подається на вимірювальні входи — як V_{SENSE} так і I_{SENSE} . Більша частина подальшого обговорення стосується майже всіх ІС сімейства LTC297x, для яких гранично допустима напруга на вимірювальних входах становить 6 В, за винятком мікросхеми LTC2971, у якій ця напруга становить ± 60 В. Для лінії живлення під напругою вище 6 В або під від'ємною напругою необхідно придумати особливий метод вимірювання падіння напруги на опорі обмотки дроселя або вимірювальному резисторі.

ЗАСТОСУВАННЯ РЕЗИСТИВНОГО ДІЛЬНИКА НАПРУГИ

У разі напруг живлення, що перевищують гранично допустиму для входів I_{SENSE} , може виникнути ідея застосувати два дільники напруги. Це здається розумною ідеєю до того моменту, поки ви не обчислите похибку, яку дільники вносять у сигнал. До кожного полюса струмовимірювального елемента під'єднано дільник напруги. Вихідний сигнал береться з обох дільників і подається на вимірювальні виводи ІС LTC297x. Якщо відношення опорів резисторів верхнього і нижнього плеча у двох дільників відповідають один одному, то вдається знизити високовольтну синфазну складову, без

впливу на корисний сигнал. Напруга лінії живлення знижена настільки, щоб на входах ІС напруга залишалася в допустимих межах, а між виходами дільників створювалася пропорційна струму навантаження напруга, яка може бути виміряна мікросхемою. Однак необхідний допуск резисторів робить цей підхід непрактичним. Ба більше, що сильніше знижується синфазна напруга, то вища похибка. Наприклад, якщо опір тільки одного з резисторів має відхилення 0.1%, результатом стане похибка від постійного зміщення нуля. Внесок похибки коефіцієнта передачі схеми (*Gain Error*) дуже незначний, і домінує похибка зміщення нуля (*Offset Error*).

Припустимо, потрібно виміряти струм на виході джерела з напругою 12 В. Джерело розраховане на струм 2 А, а в колі навантаження встановлено шунт 10 мОм ($R_{\text{вимір}}$). На шунті буде розвиватися сигнал у 20 мВ за номінального навантаження. Відповідним варіантом стане схема з дільниками на 3, а номінальні резисторів верхніх і нижніх плечей обрано рівними 2 і 1 кОм відповідно. Тим самим встановлюється синфазна напруга на виводах I_{SENSE} що дорівнює 4 В. Застосовуючи резистори з відносно низькими опором, домагаються низького внутрішнього опору джерела сигналу, що еквівалентний цій схемі за теоремою Тевеніна (ще відомою, як теорема про еквівалентний генератор напруги) і «видно» входу ІС, для зменшення похибок, викликаних струмами витoku з вимірювальних входів ІС (рис. 1).

Припустимо, що схема працює в режимі холостого ходу, а всі резистори ідеальні. Напруга на середній точці кожного діль-

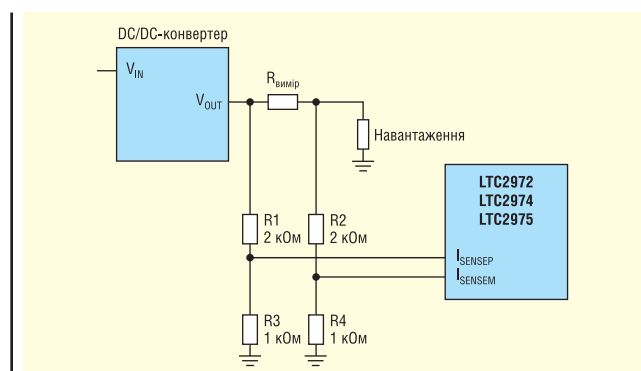


Рис. 1. Резистивний дільник напруги для вимірювання струму вносить велику похибку

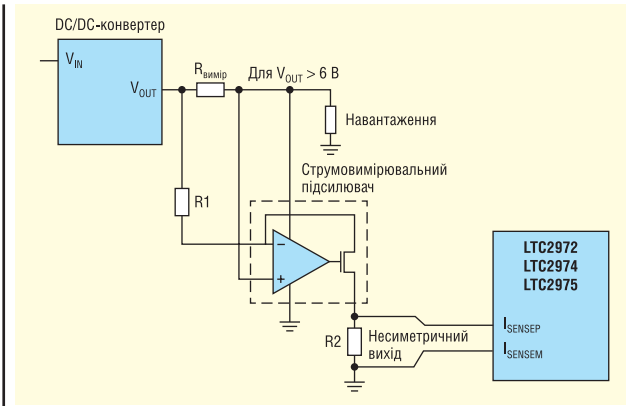


Рис. 2. Струмвимірвальний підсилювач виключає синфазну напругу на шунті

ника буде 4 В, а різниця цих напруг ΔV дорівнює нулю. Отже, значення $READ_IOUT$, що зчитується з IC, становитиме 0 А. Однак якщо відхилення опору 2 кОм одного з плечей дорівнює +0.1% (тобто фактичний опір 2002 Ом), то ΔV складе 2.665 мВ. Але врахуйте, що повна шкала сигналу, приведена до входу I_{SENSE} , становить $20/3 = 6.667$ мВ. Відлік у 2.665 мВ відповідає струму навантаження 0.4 А. Це 40% від очікуваного значення повної шкали! Як згадувалося раніше, внесена похибка є похибкою зміщення нуля, а не коефіцієнта передачі. Проте це велика похибка. Цей метод отримання сигналу занадто чутливий до допуску резисторів, і ми повинні шукати інше рішення.

СТРУМВИМІРВАЛЬНИЙ ПІДСИЛЮВАЧ, УВІМКНЕНИЙ МІЖ ДЖІ І НАВАНТАЖЕННЯМ

Оскільки гранично допустима напруга на виводах I_{SENSE} для IC LTC2972/LTC2974/LTC2975 дорівнює 6 В, розв'язати проблему можна застосуванням спеціального струмвимірального підсилювача, увімкненого між джерелом живлення та навантаженням, щоб унеможливити синфазну напругу. Підсилювачі LT6100/LTC6101 користуються популярністю завдяки фіксованому або такому, що обирається користувачем, коефіцієнту підсилення. Точність набагато вища, ніж у разі застосування резистивних дільників (рис. 2).

Наведемо відповідні рівняння та умови:

$$V_{\text{вих підс}} = I_{\text{нав}} \times R_{\text{вимір}} (R2/R1).$$

Задаємо параметр $IOUT_CAL_GAIN = R_{\text{вимір}} \times (R2/R1)$, тоді допустима напруга $V_{I_{SENSEP}} < \pm 170$ мВ.

ВИМІРЮВАННЯ СИЛИ СТРУМУ У ВИСОКОВОЛЬТНИХ ЛІНІЯХ ЖИВЛЕННЯ ЗА ДОПОМОГОЮ LTC2971

Для високовольтних ліній слід використовувати LTC2971 (2-канална IC цифрового керування живленням) для вимірювання струму та напруг до 60 В (табл. 1). Є чотири різні типонамінали мікросхеми LTC2971. IC LTC2971-1 підтримує вимірювання напруги 60 В в одному каналі та -60 В в іншому каналі. IC LTC2971-2 підтримує вимірювання -60 В в обох каналах, а IC LTC2971-3 підтримує 60 В в одному каналі та 1.8 В в іншому. Мікросхема LTC2971 підтримує вимірювання напруги 60 В в обох каналах. Пряме під'єднання шунта до виводів $IOUT_SNS$ дає змогу уникнути додаткових струмвимір-

Таблиця 1. Модифікації LTC2971 — основні відмінності

Модифікація	Вимірювання напруги (канал 1), В	Вимірювання напруги (канал 2), В
LTC2971	0–60	
LTC2971-1	0–60	від -60 до 0
LTC2971-2	від -60 до 0	
LTC2971-3	0–60	0–1.8

вальних підсилювачів, що підвищило б вартість і займалу на платі площу, а також внесло б похибку. Похибка вимірювання струму за допомогою LTC2971 — 0.6% відліку $READ_IOUT$.

ВИМІРЮВАННЯ СТРУМУ ЗА ДОПОМОГОЮ «ЗАЗЕМЛЕНОГО» ШУНТА

У деяких випадках може підійти метод вимірювання струму за допомогою «заземленого» шунта (*Low-Side Sensing*; один із полюсів шунта «заземлений»). Вимірвальний резистор (шунт) можна розмістити між «землею» і полюсом навантаження, а виводи I_{SENSE} під'єднати до полюсів резистора. Завдяки цьому синфазна напруга на виводах I_{SENSE} майже нульова. Метод може бути корисним у тому разі, якщо напруга живлення навантаження вища за 6 В. Це хороше рішення для вимірювання струму практично в будь-яких лініях живлення, в тому числі високовольтних. Вибір опорного шунта $R_{\text{вимір}}$ — компроміс між отриманням досить великого сигналу для хорошої точності та досить малими втратами, коли немає відчутного падіння напруги на шунті, що знижує вихідну напругу (на навантаженні), тобто погіршує стабілізацію. На рисунку 3 показано, як «заземлений» шунт з'єднано з входом I_{SENSE} підключенням Кельвіна. «Підключення Кельвіна» — термін, що застосовується до таких з'єднань з вимірвальним елементом, які не враховують сторонній падіння напруги.

Зверніть увагу, як проходить зворотний шлях струму навантаження через вимірвальний резистор. Багато плат з високою щільністю монтажу мають безліч шарів із заливкою «землі», що дає змогу зворотному струму протікати кількома шляхами. Шунт за такого методу надає можливість спрямувати зворотний струм через нього, завдяки чому виводи I_{SENSE} мікросхеми керування живленням можна з'єднати з шунтом підключенням Кельвіна.

ВИМІРЮВАННЯ СТРУМУ В ВІД'ЄМНІЙ ЛІНІЇ ЖИВЛЕННЯ

Існує кілька способів вимірювання струму на виході джерела живлення з від'ємною напругою. Найпростіше рі-

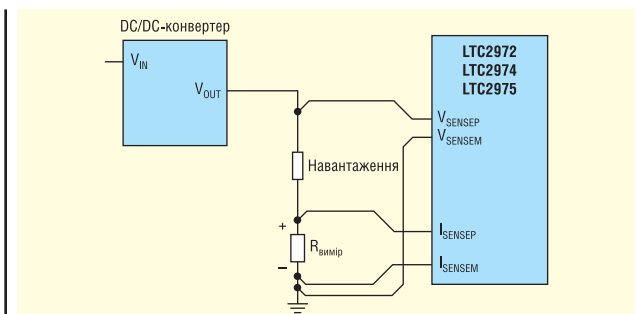


Рис. 3. Метод «заземленого» шунта розв'язує задачу вимірювання струму у високовольтному навантаженні, але має і недоліки

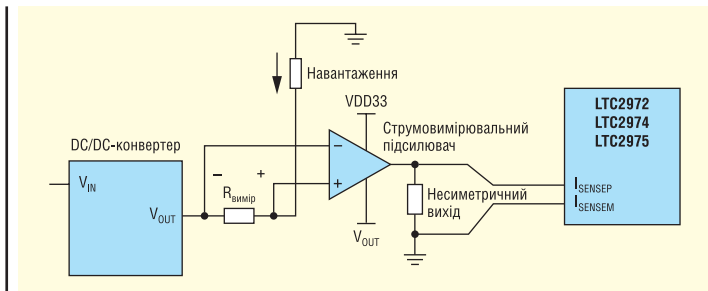


Рис. 4. Вимірювання струму (у від'ємній лінії) за допомогою струмовимірювального підсилювача (LTC6105)

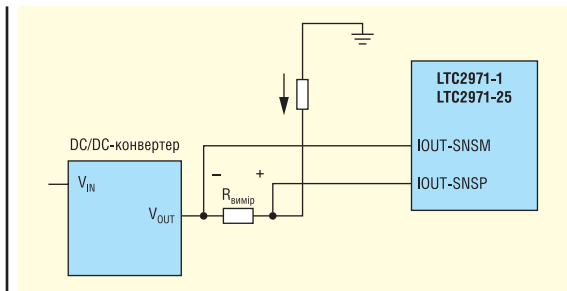


Рис. 5. Вимірювання струму в від'ємній лінії живлення без допоміжних компонентів

шення — застосування спеціального струмовимірювального підсилювача сигналу із «заземленого» шунта, такого як LTC6105. На рисунку 4 показано такий підсилювач, входи якого під'єднано до шунта, а сам він отримує живлення від виходу VDD33 IC і власне від'ємної лінії живлення. Сигнал з несиметричного виходу підсилювача можна подати на будь-який вимірювальний вхід (I_{SENSE} або V_{SENSE}) IC керування живленням.

Якщо струмовимірювальний підсилювач під'єднано до входу I_{SENSE} , то задаємо параметр (мОм):

$$IOUT_CAL_GAIN = R_{вимір} \times K_{підс}$$

де $K_{підс}$ — коефіцієнт підсилення струмовимірювального підсилювача. Наприклад, якщо опір шунта 10 Ом, а коефіцієнт підсилення $K_{підс} = 10$, то задаємо параметр $IOUT_CAL_GAIN = 100$ мОм.

Використання IC LTC2971-1 або LTC2971-2 є найпростішим рішенням для вимірювання сили струму в від'ємній лінії живлення (рис. 5). Це двоканальні IC керування живленням, а у LTC2971-2 обидва канали від самого початку можуть вимірювати струм у від'ємній лінії живлення тільки в каналі 1 (рис. 6).

Примітка. У IC LTC2971 результат $READ_VOUT$ подано у форматі L16 без знака. Для від'ємних ліній живлення цей результат відображається в графічному інтерфейсі ПЗ зі зворотним знаком.

ПРИКЛАДИ ВИМІРЮВАННЯ СИЛИ СТРУМУ НАВАНТАЖЕННЯ ЧЕРЕЗ ВИХІД I_{MON}

Струмовий вихід I_{MON} дає змогу обирати опір навісного резистора, який задає коефіцієнт передавання (відношення напруги сигналу I_{MON} до $I_{нов}$) для вимірювання струму навантаження та напруги повної шкали сигналу. IC керування живленням вимірює різницеву напругу між виводами I_{SENSE} і I_{SENSEM} , а через $IOUT_CAL_GAIN$ потрібно задати загальний коефіцієнт передавання (відношення $READ_IOUT$ до $I_{нов}$), що схоже з принципом вимірювання за допомогою шунта.

LDO-стабілізатор LT3081 має вихід I_{MON} , його можна розглянути як приклад (рис. 7). У LT3081 сила струму з виходу I_{MON} — це сила струму навантаження, поділена на 5000. Припустимо, до нього під'єднано навісний резистор 2 кОм. Напруга на виводі I_{MON} , що відповідає 1 А струму навантаження, становить:

$$V_{I_{MON}} = (I_{нов} / 5000) \times 2000 \text{ Ом} = 0.4 \text{ В/А.}$$

Якщо струм навантаження дорівнює 2 А, напруга на виводі I_{MON} становитиме 0.8 В. З цього рівняння ми бачимо, що напругу на виводі I_{MON} можна зробити більш «чутливою» до струму навантаження (тобто підвищити коефіцієнт передачі схеми), просто збільшивши опір навісного резистора. Якщо ми це зробимо, то напруга повної шкали (за номінального навантаження) цілком може перевищувати 1 В. Вхід I_{SENSE} IC керуван-

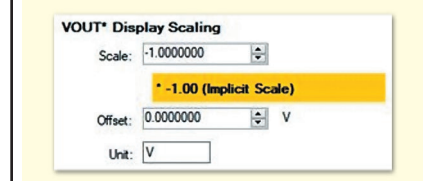


Рис. 6. Вкладка налаштування в LTpowerPlay для 1-го каналу LTC2971-1 і обох каналів LTC2971-2

ня живленням потрібно узгодити з таким великим розмахом сигналу. Для IC LTC2974/LTC2975 цей розмах перевершує допустиму диференціальну вхідну напругу, обмежену ± 170 мВ. На щастя, мікросхеми LTC2971 і LTC2972 мають біт конфігурації $imon_sense$ (рис. 8), який переводить внутрішні кола вимірювання струму IC у режим, що дає змогу вимірювати несиметричну напругу сигналу до 6 В.

Параметри конфігурації потрібно задати відповідно до обраної нами апаратної частини. У цьому прикладі параметр $IOUT_CAL_GAIN$ має дорівнювати 400 мОм (0.4 В/А). Решту параметрів, що стосуються вимірювання струму, можна залишити за замовчу-

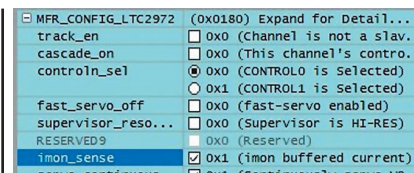


Рис. 8. Біт $imon_sense$ у регістрі MFR_CONFIG

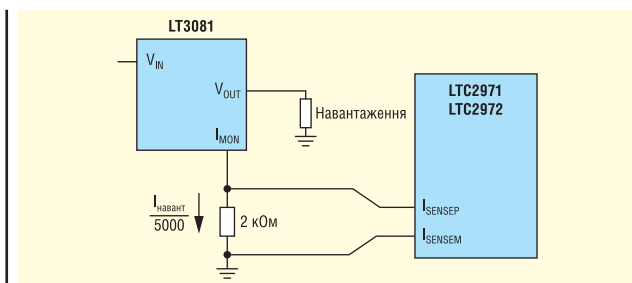


Рис. 7. Використання виходу I_{MON} стабілізатора LT3081

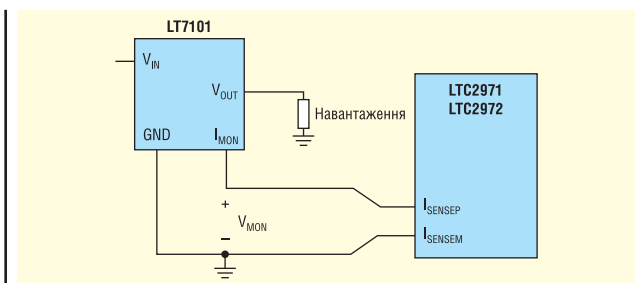


Рис. 9. Використання виходу I_{MON} стабілізатора LT7101

ванням, якщо це не температурний коефіцієнт або теплова постійна часу, які можуть вплинути на значення READ_IOUT. Значення за замовчуванням для MFR_IOUT_CAL_GAIN_TC, MFR_IOUT_CAL_GAIN_TAU_INV і MFR_IOUT_CAL_GAIN_THETA дорівнюють нулю.

Вихід I_{MON} понижувального стабілізатора LT7101 є складом виходу за напругою. На виході також присутня напруга зміщення. Тобто в режимі холостого ходу стабілізатора напруга на виході I_{MON} перебуває на рівні 0.4 В. Спочатку це може здатися проблематичним, оскільки допустима межа диференціальної напруги на вході ІС керування живлення становить ±170 мВ. Однак ІС LTC2972/LTC2971 можуть працювати з виходом I_{MON} такого типу та допускають набагато більший диференційний сигнал між своїми виводами I_{SENSE}. Розглянемо це на реальному прикладі (рис. 9).

Мікросхеми LTC2971/LTC2972 можна під'єднати до LT7101, з'єднавши їхній вивід I_{SENSEP} із виходом I_{MON}, а вивід I_{SENSEM} із «землею». Значення параметрів розраховують таким чином:

- Починаємо з рівняння для значення READ_IOUT:

$$\begin{aligned} \text{READ_IOUT} &= \\ &= \frac{V_{\text{IOUT_SNSP}} - V_{\text{IOUT_SNSM}}}{\text{IOUT_CAL_GAIN} \times T_{\text{CORRECTION}}} + \text{IOUT_CAL_OFFSET}. \end{aligned}$$

- Виразимо з нього параметр IOUT_CAL_GAIN, вважаючи T_{CORRECTION} = 1:

$$\text{IOUT_CAL_GAIN} = \frac{V_{\text{IOUT_SNSP}} - V_{\text{IOUT_SNSM}}}{\text{READ_IOUT} - \text{IOUT_CAL_OFFSET}}.$$

- У технічному описі стабілізатора LT7101, що можна знайти на сайті, виробника, наводяться рівні сигналу I_{MON} для струмів навантаження 1 і 0.25 А, це 1.21 і 0.603 В відповідно. Отже, IOUT_CAL_GAIN становить:

$$\text{IOUT_CAL_GAIN} = (1.21 - 0.603)/(1 - 0.25) = 810 \text{ мОм}.$$

- Значення IOUT_CAL_OFFSET становить:

$$\text{IOUT_CAL_OFFSET} = (0.603/0.81) - 0.25 = -0.494 \text{ А}.$$

Параметр IOUT_CAL_OFFSET від'ємний, тому що нам потрібно зменшити результат вимірювання READ_IOUT. Ви можете виявити, що обчислені значення параметрів необхідно змінити для кращої збіжності вимірюваної сили струму навантаження зі значенням READ_IOUT. Звідси впливає необхідність у кроці калібрування. За відомого струму навантаження значення READ_IOUT порівнюється з очікуваним, потім у регістри записується скориговане значення IOUT_CAL_GAIN і/або IOUT_CAL_OFFSET.

Загалом точність сигналу I_{MON} у багатьох стабілізаторів гірша, ніж допуск вимірювальних резисторів, але калібрування самих стабілізаторів значно покращує точність вимірювання.

Далі буде

Література:

1. Пітерс М. Вимірювання сили струму навантаження за допомогою ІС цифрового керування електроживленням по шині PMBus. Частина 1 // CHIP NEWS. 2024. № 8 (223). **CN**

eSUN®

Філаменти для 3D-друку

<https://altwaylab.com/>

Схеми для усунення брязкоту контактів механічних перемикачів

Александр Шайє (Alexandre Chaillet), Евелін Хуанг (Evelyn Huang)

Попри широке поширення напівпровідникових комутаторів, механічні перемикачі, як і раніше, використовують в багатьох випадках. Як би не вдосконалювалася їхня технологія, від брязкоту контактів позбутися не вдається. У статті розглядаються способи звести ці проблеми до мінімуму за допомогою зовнішніх компонентів.

ВСТУП

Компанія Würth Elektronik пропонує широкий асортимент механічних перемикачів (рис. 1). Ці вироби застосовуються в багатьох випадках для розмикання та замикання електронних кіл.

Функція перемикачів переважно механічна, але багато перемикачів працюють як аналого-цифровий інтерфейс у сучасних електронних схемах із чітко визначеними рівнями напруги для логічного нуля та логічної одиниці. Будь-який розробник пристрою, де використовуються тактові або детекторні кнопки з електронною схемою, що швидко реагує, може поставити собі питання, чому вона функціонує некоректно. Причина може полягати в так званому брязкоті (вібрації) контактів. У статті розглянуто схему, що дає змогу розв'язати цю поширену проблему.

БРЯЗКІТ КОНТАКТІВ

Механізм перемикачів

Зазвичай вважається, що контакт у перемикачі є надійним і спрацьовує миттєво (рис. 2). Однак на практиці все дещо інакше (рис. 3). У кожному положенні перемикача контакт між струмопровідними ділянками встановлюється або переривається за допомогою рухомих механічних елементів (рис. 4).

Зазвичай пружинні компоненти застосовують як засіб для переведення контакту з одного стану в інший у вигляді або

металевої пластини, або гвинтової пружини, яка має деяку масу, а отже, момент інерції. У той момент, коли ці невеликі компоненти приводяться в рух, вони з прискоренням перемищуються в потрібне положення. Після спрацьовування деякий час відбуваються багаторазові неконтрольовані замикання і розмикання контактів завдяки пружності пружини і деталей контактної системи; при цьому електричне коло розмикається і замикається, поки рух повністю не припиниться.

Оскільки коефіцієнт загасання великий, а момент інерції малий, тривалість цього ефекту зазвичай становить лише кілька мікросекунд. Силкові кола від нього не страждають, чого не можна сказати про цифровий вхід. При зміні стану електронний сигнал має нестабільний або, точніше, невизначений статус, тоді як логічний ІС потрібен чіткий сигнал певного рівня. Мікроконтролер може пропустити стан порту, що змінився, якщо зчитує дані в невідповідний момент. Таким чином, потрібно забезпечити генерацію чіткого вихідного сигналу перемикача. Ми розглянемо

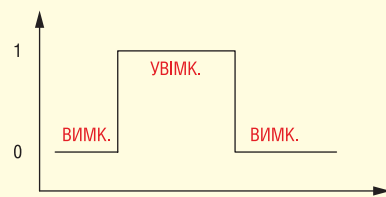


Рис. 2. Ідеалізований графік сигналу, що комутується

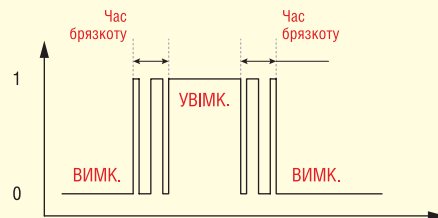


Рис. 3. Ідеалізований графік «реального» сигналу, що комутується

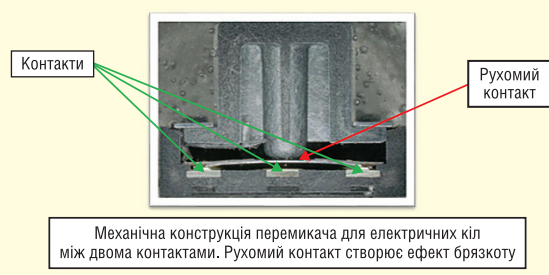


Рис. 4. Конструкція тактового перемикача

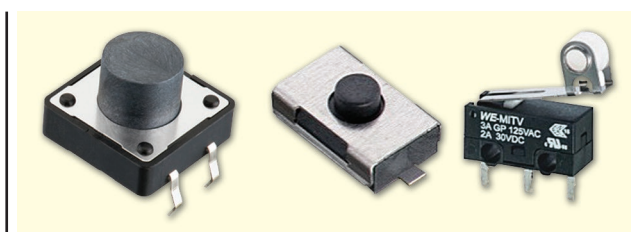


Рис. 1. Частина асортименту механічних перемикачів компанії WE

Таблиця 1. Компоненти для перемикачання та захисту від брязкоту

Компоненти	Час брязкоту
Тактовий перемикач	10 мс
Кнопковий перемикач	
Детектор	
Механічний енкодер	

схему, що дає змогу усунути його брязкіт, щоб розв'язати цю проблему.

Компоненти, що використовуються

Час захисту від брязкоту вказано в паспорті виробу. Компанія Würth Elektronik визначає цей параметр як час між механічним перемиканням компонента і повним електричним перемиканням. У таблиці 1 перераховано компоненти, які використовуються для перемикачання і захисту від брязкоту.

СХЕМА УСУНЕННЯ БРЯЗКОТУ

Ми додамо деякі компоненти для створення фільтра нижніх частот (ФНЧ), щоб оцінити його вплив на вихідний сигнал.

Додавання фільтра

Схема базового перемикача без компенсації брязкоту показана на рисунку 5. Типові значення резистора R_1 : $1 \cdot 10^3$ Ом; $V_{CC} = 5$ В.

Після натискання перемикача виникає сигнал, який дає змогу відстежити ефект брязкоту контактів (рис. 6).

Щоб усунути брязкіт у вихідному сигналі, пропонується одна з найдешевших

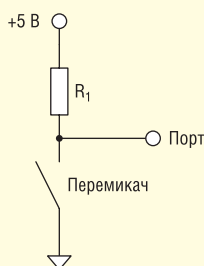


Рис. 5. Схема перемикача без захисту від брязкоту

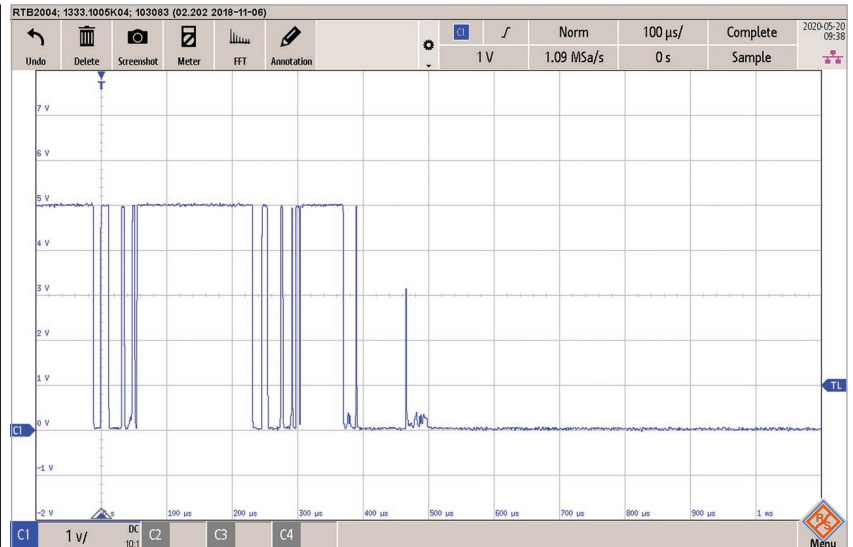


Рис. 6. Вихідний сигнал за відсутності схеми захисту від брязкоту під час переходу з високого на низький рівень

і найпростіших у реалізації електронних схем, у якій використовується RC-фільтр (рис. 7). Коли перемикач розімкнений, конденсатор заряджається через коло $R_1 + R_2$, що уповільнює зростання напруги. Коли перемикач замкнений, конденсатор розряджається через R_2 з контрольованою швидкістю.

Якщо компоненти були обрані коректно, брязкіт перемикача поглинається в процесі заряджання або розряджання, завдяки чому забезпечується плавний перехід з одного стану в інший. Для розрахунку номіналу конденсатора і резисторів застосовується формула (1), що дає змогу визначити постійну часу схеми:

$$T = (R_1 + R_2) \cdot C_1, \tag{1}$$

де T — постійна часу, с; R — величина опору, Ом; C — величина ємності, Ф.

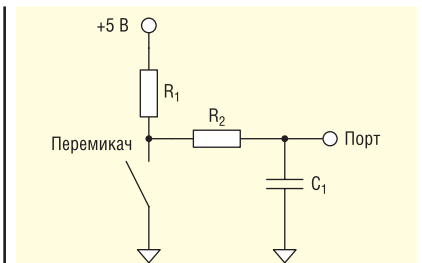


Рис. 7. Перемикач із базовою схемою захисту від брязкоту

Постійна часу вибирається як певне компромісне значення, що дає змогу усунути брязкіт перемикача та забезпечити необхідний час відгуку схеми. За одну постійну часу напруга підвищиться до 63% від свого кінцевого значення або впаде до 37% від цього значення. В обох випадках вона підви-

РАДІОМОДУЛЬ ДЛЯ ЗВ'ЯЗКУ LORAWAN®

Компанія **Würth Elektronik** випустила на ринок *Daphnis-I* — тонкий радіомодуль з наднизьким енергоспоживанням і великим радіусом дії для використання в IoT. Трансивер, побудований на базі мікросхеми *STM32WLE5CCU6*, працює з протоколом *LoRaWAN®* (Long Range Wide Area Network) 1.0.4. Цей бездротовий протокол IoT в діапазоні частот *EU868* дозволяє зв'язуватися з пристроями, віддаленими від шлюзу більш ніж на десять кілометрів. Модуль *Daphnis-I* розміром всього $15 \times 16 \times 3$ мм також підходить для застосувань IoT з обмеженими габаритами. *Daphnis-I* вирізняється надзвичайно низьким енергоспоживанням — всього 63.9 нА в сплячому режимі, що робить його ідеальним рішенням для застосувань IoT з живленням від батареї. Компанія **Würth Elektronik** пропонує розробникам пристроїв спеціальний набір для тестування, а також *Smart Commander* — зручне програмне забезпечення для налаштування з графічним інтерфейсом користувача.

Daphnis-I підтримує *LoRaWAN®* класу A, B і C, що означає, що модуль може отримувати дані у відповідь на свої передачі, як з контролем часу, так і з постійно відкритим вікном завантаження-приймання. Керування модулем здійснюється через інтерфейс *UART* за допомогою простого у використанні набору AT-команд.

www.we-online.com

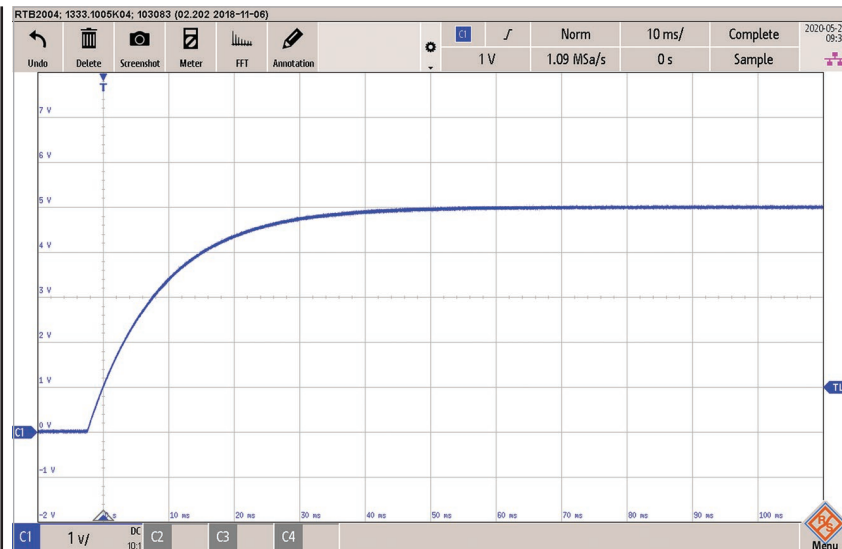


Рис. 8. Вихідний сигнал під час використання схеми усунення брязкоту та переходу з низького на високий рівень

щується або спадає на 99% після п'яти постійних часу.

Приклад розрахунку

Задані умови:

- час брязкоту в специфікаціях: 10 мс;
- типові значення опору R_1 для обмеження струму: 1 кОм;
- R_2 : обираються два стандартних значення для усунення брязкоту: 10 і 47 кОм;
- напруга живлення: 5 В DC.

Таким чином, розрахунок дає два значення ємності:

$$C_1 = \tau / (R_1 + R_2). \quad (2)$$

Пропонуються два ряди значень для цієї схеми:

- рішення 1: $R_1 = 1$ кОм; $R_2 = 10$ кОм; $C_1 = 1$ мкФ;
- рішення 2: $R_1 = 1$ кОм; $R_2 = 47$ кОм; $C_1 = 220$ нФ.

Зауважимо, що значення опору і ємності можуть відрізнитися залежно від конструкції схеми замовника.

Для обох схем отримуємо характеристику, показану на рисунку 8.

Значення U_{OUT} залежно від часу визначається такою формулою:

$$U_{OUT} = U_{IN}(1 - e^{-t/\tau}). \quad (3)$$

З неї випливає, що при $t = \tau$ величина вихідної напруги U_{OUT} становить близько 63% вхідної U_{IN} . У нашому прикладі величина $U_{OUT} = 63\%$ (3.15 В) від свого кінцевого значення (5.0 В) через 10 мс.

Додавання діода

Щоб контролювати час заряду і час розряду окремо, до наведеної вище схеми додається діод (рис. 9). У результаті скорочується час перемикавання для заряджання конденсатора за допомогою R_1 і D_1 , і стає іншим час розрядження, коли використовується тільки R_2 , оскільки в цьому випадку діод блокується.

Додавання буфера

Як відомо, нуль у цифровій логіці визначається за рівнем нижче деякої напруги (наприклад, 0.8 В), а одиниця — вище (наприклад, 2.5 В). Значення між ними не визначені. Якщо додаток

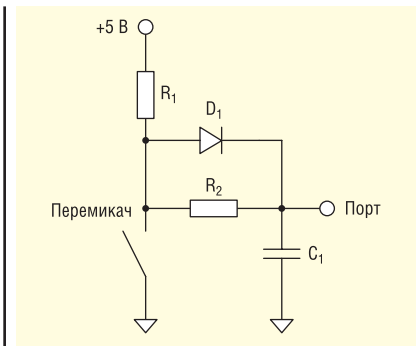


Рис. 9. Додавання діода в схему

не в змозі підтримати невизначені значення, може знадобитися буфер із тригером Шмідта з гістерезисом. Схему з різним часом увімкнення і вимкнення та додатковим гістерезисом показано на рисунку 10. Час відгуку схеми, можливо, доведеться узгодити з часом вибірки мікроконтролера.

Захист від перехідних процесів

Якщо перемикач розташований далеко або на кінці довгого дроту, ймовірно, буде потрібен захист від перенапруги, електростатичного розряду або інших перехідних процесів. Як захисні компоненти застосовується феритова намистина і TVS-діод, встановлені перед вхідним колом (рис. 11).

ВИСНОВКИ

Під час використання механічних перемикачів сигналів з'являється ефект брязкоту, що характеризується короткими періодами нестабільного сигналу в електронній схемі. Час брязкоту перемикачів Würth Elektronik досягає 10 мс, що слід враховувати під час проектування. Запропонований RC-фільтр дає змогу зменшити це явище. Фільтр можна вдосконалити, встановивши додаткові компоненти для точнішого формування сигналу та захисту від перенапруги.

CN

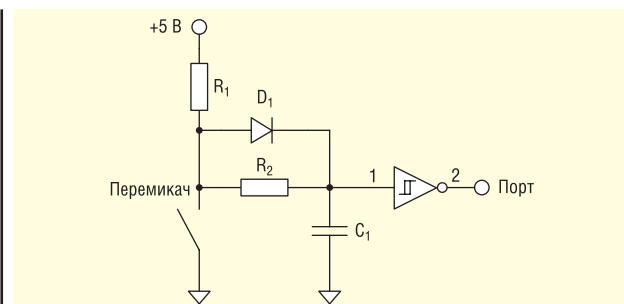


Рис. 10. Тригер Шмідта забезпечує стабільні та визначені значення напруги

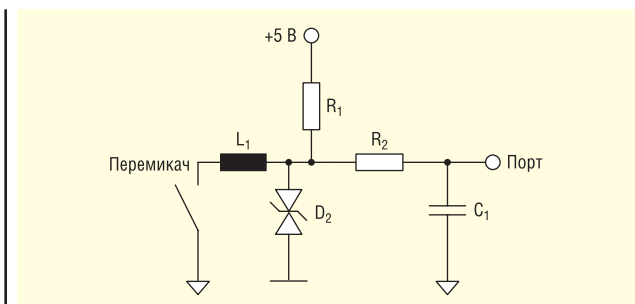


Рис. 11. Додавання феритової намистини і TVS-діода для захисту від перенапруги



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

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



Дискретні операційні підсилювачі

Чому вони кращі за інтегральні мікросхеми

Переклад та редагування: Олексій Панфьоров, інженер, «Філур Електрик, лтд»
E-mail: panfiorov@filur.net

Вибираючи підсилювач аудіо класу, дехто віддає перевагу пристроям з високим коефіцієнтом підсилення, оскільки добре відомо, що високий коефіцієнт підсилення робить підсилювач точнішим і має нижчий коефіцієнт загального звукового спотворення (THD, Total Harmonic Distortion). Інші засуджують використання пристроїв з високим коефіцієнтом підсилення, стверджуючи, що високий коефіцієнт підсилення має звукові ефекти, і жоден з них не є бажаним. Треті хочуть високої швидкодії у вигляді швидкості наростання сигналу (Slew Rate) та широкої смуги пропускання, слідує старій приказці «чим швидше, тим краще».

У цій статті розглядаються компроміси, відмінності та нерозривний зв'язок між деякими з цих характеристик. Будуть досліджені методи компенсації операційних підсилювачів та їх вплив на швидкість, коефіцієнт підсилення і пропускну здатність. Будуть виявлені недоліки й пастки. Буде досягнуто 9-го рівня. Нарешті, буде розкрита набагато краща альтернатива монолітному (IC) операційному підсилювачу.

ІСТОРІЯ ПИТАННЯ

Існує річ, яка пов'язує між собою коефіцієнт підсилення, швидкість наростання сигналу і смугу пропускання, і ця річ — компенсація операційного підсилювача. Всі операційні підсилювачі мають компенсацію, а ті, які її не мають, — це осцилятори (генератори). Для того, щоб повністю зрозуміти компенсацію, ми повинні надати деяку інформацію про неї.

Операційні підсилювачі завжди працюють з певним зовнішнім зворотним зв'язком, коли частина вихідного сигналу подається назад на вхід. Якщо ми почнемо розглядати схеми операційних підсилювачів, то побачимо, як це робиться за допомогою резистора зворотного зв'язку R_f .

На **рисунку 1** показана типова інвертувальна схема операційного підсилювача, коефіцієнт підсилення якого визначається співвідношенням R_f/R_i . Мета зворотного зв'язку — встановити коефіцієнт підсилення замкненого контуру і надати операційному підсилювачу можливість «спостерігати за власним виходом», щоб його вихід був дзеркальним відображен-

ням вхідного сигналу, помноженого на коефіцієнт підсилення замкненого контуру. Дію зворотного зв'язку часто описують як спосіб для операційного підсилювача «виправити себе», коли вихідний сигнал не є дзеркальним відображенням вхідного, проте це дещо спотворює дію зворотного зв'язку, оскільки помилково припускає, що вихід операційного підсилювача відхилився від того, де він повинен був бути. Насправді це не так, оскільки коефіцієнт підсилення операційного підсилювача в розімкнутому стані запобігає таким відхиленням. Кращий спосіб описати дію зворотного зв'язку полягає в тому, що він використовується для утримання на виході операційного підсилювача дзеркального відображення вхідного сигналу, помноженого на коефіцієнт підсилення замкненого контуру. Наскільки точно він його утримує, визначається коефіцієнтом підсилення у відкритому контурі.

При використанні зворотного зв'язку ми повинні бути обережними з фазовою затримкою (фазовим зсувом, або часовим запізненням), яку має операційний підсилювач. Він не може утримувати свій вихід на рівні копії входу, якщо між ними є часова затримка. На жаль, усі операційні підсилювачі мають певну фазову затримку через паразитні ємності, притаманні транзисторам, з яких виготовлено пристрій. Ці паразитні ємності накопичуються, викликаючи швидкий фазовий зсув на сотні градусів на частотах переходу внутрішніх транзисторів операційного підсилювача. Якщо фазова затримка є надто значною, підсилювач почне ге-

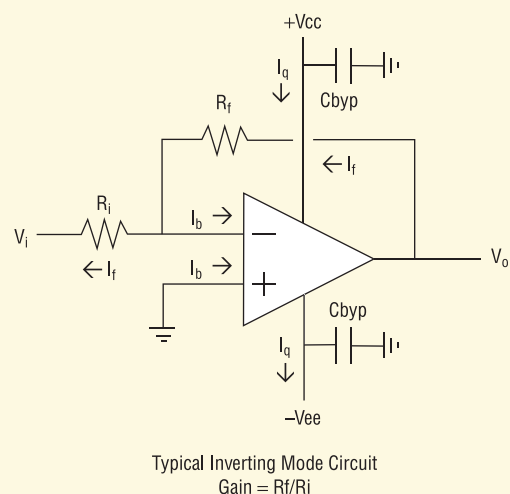


Рис. 1. Типова інвертувальна схема операційного підсилювача

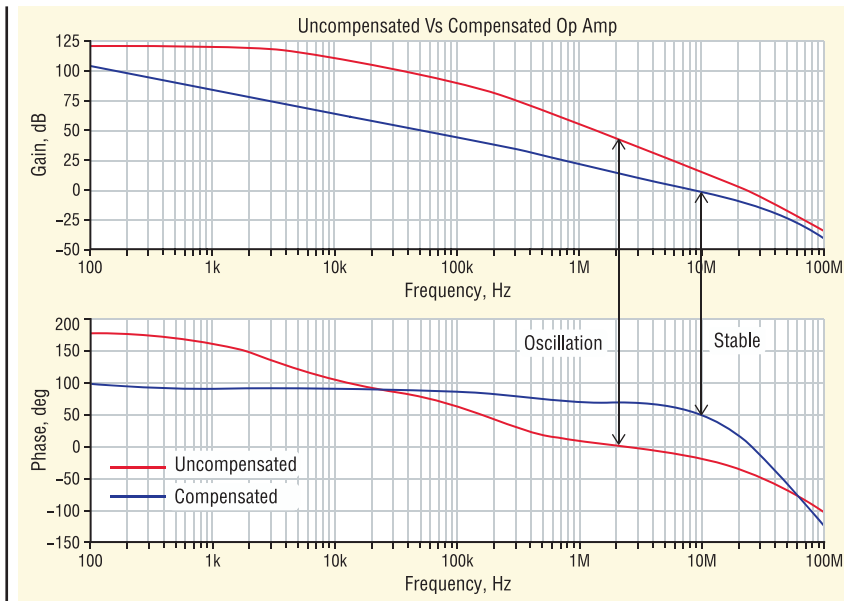


Рис. 2. Некомпенсований підсилювач і підсилювач з компенсацією

нерувати осциляції, оскільки затриманий сигнал зворотного зв'язку викликає «ганяння за власним хвостом».

Щоб запобігти цьому стану та підтримувати стабільність, операційний підсилювач не повинен мати більше ніж півперіод або 180° фазового зсуву в точці, де його коефіцієнт підсилення контури впав до 0 дБ. Ця умова називається критерієм стабільності Найквіста, і для її забезпечення використовується частотна компенсація. Компенсація працює завдяки використанню одного доміантного полюса в пристрої, який з'являється першим, і з'являється задовго до того, як фазові затримки, викликані внутрішніми паразитними ємностями, почнуть впливати на нього. Цей єдиний полюс буде систематично спалювати (або зменшувати) коефіцієнт підсилення, і штовхати його нижче нуля до того, як наступні полюси почнуть діяти, і стабільність буде збережена. Це те, що робить компенсація. Вона гарантує, що не буде фазового зсуву більше ніж на 180° , поки операційний підсилювач все ще має коефіцієнт підсилення у відкритому контурі. На рисунку 2 показано некомпенсований підсилювач і підсилювач з компенсацією.

Як бачимо, некомпенсований підсилювач (позначений червоним кольором) накопив понад 180° фазового зсуву (від 180° до 0°), хоча він все ще має близько 40 дБ коефіцієнта підсилення в розімкненому колі. Коли коефіцієнт підсилення нарешті перетинає 0 дБ, фазовий зсув становить близько 230° . Ця точка на графіку позначена як «коливання», і підсилювач, що розглядається тут, безсумнівно, буде робити саме це.

Компенсований підсилювач, позначений синім кольором, має лише близько 130° фазового зсуву в точці, де коефіцієнт підсилення падає до нуля. Такий підсилювач буде стабільним, і можна сказати, що він має 50° фазового запасу (фазовий запас — це кількість фази, що залишилася від 180° , яка необхідна для стабільності, коли коефіцієнт підсилення перетинає 0 дБ). Компенсація — це те, що робить це можливим. Ви можете бачити, що компенсований графік синього кольору має дуже впорядкований нахил 6 дБ/октаву і фазовий зсув близько 90° у більшій частині частотного діапазону. Це характеристика однополюсника.

Вона створюється одним конденсатором, спеціально розміщеним усередині пристрою, щоб зменшити коефіцієнт підсилення до нуля до того, як полюси паразитних конденсаторів, що знаходяться всередині операційного підсилювача, вступають в дію. Це має той самий ефект, що й однополюсний фільтр нижніх частот, і в певному сенсі це саме те, чим він і є. Кожен операційний підсилювач, який коли-небудь був створений, використовує цю техніку для підтримки стабільності. Вони використовують однополюсну схему компенсації, і всі вони матимуть графік коефіцієнта підсилення петлі, який завжди падає на рівні 6 дБ/октаву.

РЕАЛІЗАЦІЯ

Оскільки інтегральні операційні підсилювачі використовують однополюсну компенсацію і, отже, мають спад коефіцієнта підсилення 6 дБ/октаву, можна побудувати графік максимального теоретичного коефіцієнта підсилення, який може існувати на будь-якій частоті, знаючи лише смугу пропускання. Ми просто проводимо лінію вгору від точки одиничної смуги пропускання з нахилом 6 дБ/октаву, і відразу ж бачимо, який коефіцієнт підсилення петлі можливий на будь-якій частоті. Приклад наведено на рисунку 3.

На ньому представлено три гіпотетичні підсилювачі з частотами одиничного посилення 1, 10 і 100 МГц. Цей графік показує максимальний теоретичний коефіцієнт підсилення, який

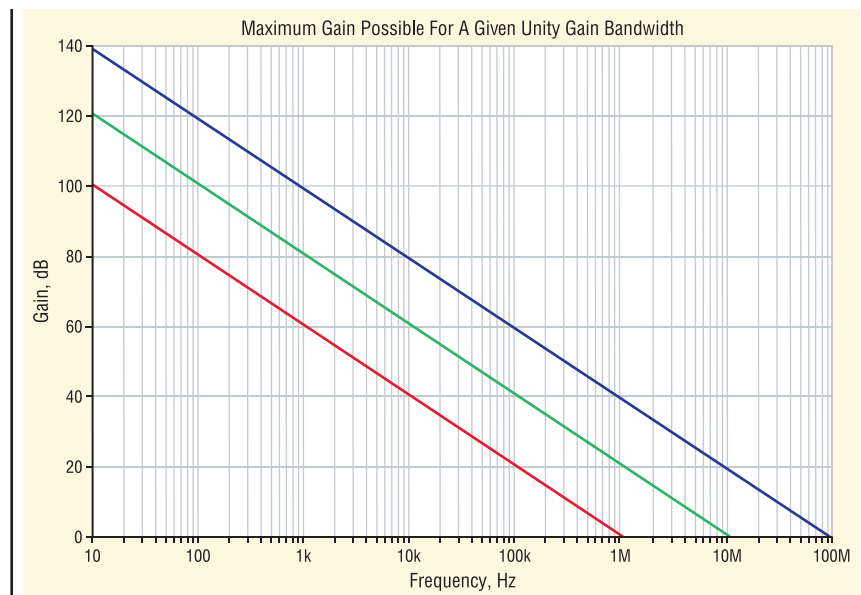


Рис. 3. Приклад залежності коефіцієнта підсилення від частоти

може мати будь-який з них на будь-якій частоті. Майте на увазі, що на цьому графіку показано МАКСИМАЛЬНО можливий коефіцієнт підсилення контуру. Реальний пристрій може мати нижче підсилення в області низьких частот (10–100 Гц), де зазвичай досягається максимальний коефіцієнт підсилення зі зворотним зв'язком.

Суть полягає в тому, щоб проілюструвати, як частота одиничного посилення встановлює обмеження на коефіцієнт підсилення, який можливий при однополюсній схемі компенсації. Наприклад, неможливо знайти однополюсний операційний підсилювач з частотою одиничного посилення 10 МГц з коефіцієнтом підсилення 80 дБ на частоті 10 кГц. Характер схеми компенсації обмежить такий підсилювач приблизно до 60 дБ підсилення на цій частоті. Майте також на увазі, що коли в специфікації підсилювача вказується коефіцієнт підсилення, то вказується МАКСИМУМ, який зазвичай досягається на частоті ~100 Гц або нижче, і він зазвичай вказується при постійному струмі. Той факт, що коефіцієнт підсилення падає на 6 дБ на октаву, вважається відомим читачеві, і часто не згадується автором специфікації пристрою. Річ у тім, що 10-мегагерцовий операційний підсилювач із зазначеним у специфікації коефіцієнтом підсилення 100 дБ все одно матиме лише 80 дБ при 1 кГц, 60 дБ при 10 кГц і так далі, незалежно від того, зазначено це в специфікації чи ні.

ЦЕ НЕ ТА ПРОПУСКНА ЗДАТНІСТЬ, ЯКУ ВИ ШУКАЄТЕ

Так чому б нам просто не вибрати пристрій з максимально можливою пропускну здатністю, знаючи, що ми одночасно максимізуємо коефіцієнт підсилення в аудіодіапазоні? Тому що пристрої з високою пропускну здатністю — вибагливі «штучки». Причинно-наслідковий аналіз показує, що нам не потрібен 100-мегагерцовий операційний підсилювач для посилення аудіосигналу в діапазоні 10 або навіть 100 кГц. І це правда, нам він не потрібен. Звичайно, приємно підняти коефіцієнт підсилення, який нерозривно пов'язаний зі смугою пропускання, але сама по собі висока смуга пропускання не потрібна, і насправді стає проблематичною, чим вище вона стає.

Якщо ви почитаєте специфікації високошвидкісних пристроїв, то почнете помічати всілякі додаткові речі

та особливі застереження, на які потрібно звертати увагу, щоб успішно використовувати їх у своїх схемах без осциляцій. Наприклад, вони зазвичай вимагають додаткових шунтувальних конденсаторів на виводах живлення. Деякі виробники рекомендують використовувати набір з танталу, кераміки з нульовим температурним коефіцієнтом ємності (ТКЕ) для високочастотної розв'язки. Жоден з цих високошвидкісних пристроїв не рекомендується використовувати в DIP-роз'ємах, оскільки індуктивності роз'єму достатньо, щоб порушити делікатний баланс, який необхідно підтримувати для забезпечення стабільності. Більшість з цих високошвидкісних пристроїв вказують максимальне значення резистора зворотного зв'язку, яке можна використовувати, і зазвичай воно не перевищує 1 кОм. Це пов'язано з тим, що резистор зворотного зв'язку утворює додатковий полюс (і додає додатковий фазовий зсув) з вхідною ємністю пристрою. Також слід враховувати паразитні ефекти розведення плати. Деяких десятків пФ паразитної ємності на вхідних виводах достатньо, щоб вивести з рівноваги 100-мегагерцовий операційний підсилювач. І якщо ви плануєте керувати ЧИМОСЬ, що навіть віддалено нагадує ємнісне навантаження, забудьте про це. Одним словом, пристрої з високою пропускну здатністю не дуже добре вписуються в аудіосхеми з DIP-роз'ємами.

ЩО ВІДБУВАЄТЬСЯ ПРИ СПРОБІ ВИКОРИСТАННЯ ТАКИХ ПРИСТРОЇВ?

У більшості випадків пристрій демонструє осциляції на частотах у МГц, хоча при цьому може відтворювати аудіосигнали. Проблема в тому, що такий сигнал супроводжуватиметься високо-частотними завадами («шумом»), через що звук буде поганим.

На осцилографі це виглядає так: ми бачимо аудіосигнал, поверх якого накладається високо-частотний «шум» осциляції. Щоб побачити, як цей стан виглядає на осцилографі, подивіться на рисунок 4.

На ньому ми бачимо аудіосигнал з купою високо-частотного «шуму» (осциляції), який накладається на нього. Ось чому пристрої з високим коефіцієнтом підсилення отримують мінімальну похвалу в деяких аудіо колах. Справа зовсім не в підсиленні, а в широкій смузі

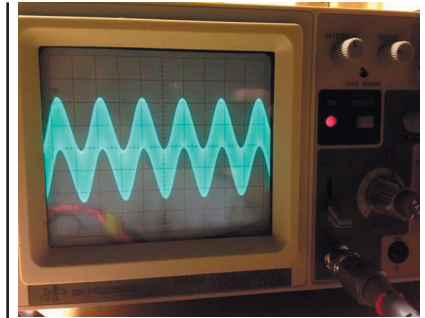


Рис. 4. Приклад модуляції основного сигналу високою частотою

пропускання і пов'язаному з нею температурному характері таких пристроїв. Ці пристрої часто коливаються в області МГц при використанні з DIP-роз'ємами, резисторами зворотного зв'язку в декілька кілоом, вивідними шунтувальними конденсаторами та друкованими платами без площин заземлення. Коливання від високої смуги пропускання — це те, що викликає жвахий звук. Це не має нічого спільного з коефіцієнтом підсилення. Якщо у вас немає осцилографа з достатньою смугою пропускання, ви можете навіть не помітити, що коливання взагалі відбуваються. Хоча коефіцієнт підсилення та смуга пропускання нерозривно пов'язані між собою, в такому випадку винна смуга пропускання, а не коефіцієнт підсилення.

ЦЕ ТАКОЖ НЕ ШВИДКІСТЬ НАРОСТАННЯ

Швидкість наростання (*Slew Rate*) є ще одним важливим параметром, що є досить популярним серед аудіофілів. Зазвичай швидкі операційні підсилювачі з високою швидкістю наростання пов'язують із широкосмуговими пристроями. Для визначення необхідної швидкості наростання існує формула, яка враховує максимальну частоту та пікову амплітуду сигналу:

$$\text{Необхідна швидкість наростання (у В/мкс)} = 2\pi F V_{pk} / 1\,000\,000.$$

Ділимо на 1 мільйон, щоб отримати відповідь у вольтх/мікросекундах. Якщо ми опустимо ділення на 1 мільйон, наш результат буде у вольтх на секунду. Швидкість наростання зазвичай вказується у вольтх на мікросекунду, тому ми розділимо на один мільйон, щоб отримати результат у цих одиницях.

Тож давайте трохи поррахуємо і подивимось, що у нас вийде. Більшість операційних підсилювачів у схемах лінійного рівня обробляють амплітуду

сигналу з піком у кілька вольт. Зазвичай ці операційні підсилювачі живляться від ± 15 В, тому вони не можуть обробляти сигнали, що перевищують 10 або 12 В, через обмеження шини живлення. Верхня межа звукових частот, як правило, становить близько 20 КГц, але давайте не будемо зловживати цим і назвемо її 160 КГц, що на 3 октави вище, ніж вважається чутним людським вухом. Отже, яка швидкість розгортки потрібна операційному підсилювачу для відтворення пікового сигналу 10 В на частоті 160 КГц? Виявляється, 10 В/мкс. Досить повільно, чи не так? Якщо бути більш розважливими та розрахувати необхідну швидкодію для відтворення 5 В пікового сигналу на частоті 50 КГц, то для цього нам знадобиться лише мізерна швидкодія 1.5 В/мкс.

З погляду математики, видається, що надмірна швидкодія, так само як і надмірна смуга пропускання, не потрібна для підсилення звукового сигналу. Причина, чому так багато аудіофілів обирають ці пристрої та вважають, що вони добре звучать, полягає у пов'язаному з ними коефіцієнті підсилення, оскільки було продемонстровано, що високі швидкості та смуги пропускання насправді нічого не дають. Що вони отримують, що їм подобається, так це вищий коефіцієнт підсилення в аудіодіапазоні.

ТОЖ, КУДИ МИ ЙДЕМО ДАЛІ?

Здається, ми застрягли, чи не так? Якщо вам потрібен високий коефіцієнт

підсилення, ви отримаєте його тільки з високою смугою пропускання і швидкістю обертання, і нам просто доведеться змиритися з примхливим характером таких пристроїв. Якщо ж вам потрібен низький коефіцієнт підсилення і висока швидкість, то ви потрапили в халепу подвійно. Чи можемо ми мати все це? Чи можемо ми отримати радикально високий коефіцієнт підсилення контуру з розумною смугою пропускання? Чи можемо ми компенсувати наш операційний підсилювач, щоб він мав крутіший спад, ніж 6 дБ/октаву?

ДВОПОЛЮСНА КОМПЕНСАЦІЯ

Якби ми могли компенсувати наш операційний підсилювач за допомогою двополіусника, а не однополіусника, ми могли б подвоїти нахил графіка коефіцієнта підсилення до 12 дБ/октаву. Несподівано, на будь-якій частоті теоретично можна було б отримати набагато більший коефіцієнт підсилення, що дуже приємно, адже саме цього ми й прагнемо. Отже, як би це виглядало?

На графіку коефіцієнта підсилення на рисунку 5 показано 6 гіпотетичних операційних підсилювачів зі смугами пропускання 1, 10 і 100 МГц, скомпенсованих за допомогою однополіусної та двополіусної схем кожен. Видно, що для заданої смуги пропускання пристрій має набагато більший коефіцієнт підсилення, ніж теоретично можливий при двополіусній компенсації, завдяки крутішому спаду коефіцієнта підсилен-

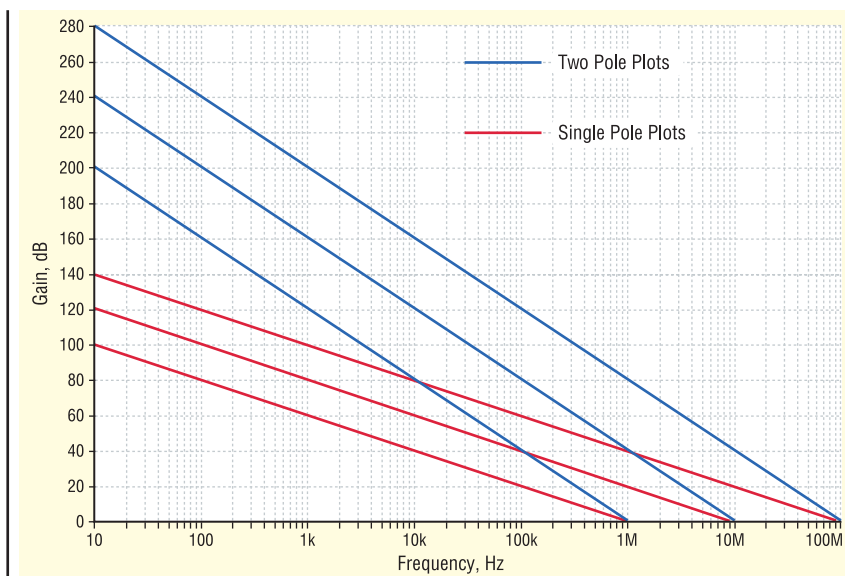


Рис. 5. Шість гіпотетичних операційних підсилювачів зі смугами пропускання 1, 10 і 100 МГц, скомпенсованих за допомогою однополіусної та двополіусної схем кожен

ДВІ НОВІ СЕРІЇ МІКРОКОНТРОЛЕРІВ РЕАЛЬНОГО ЧАСУ

Компанія **Texas Instruments** представила дві нові серії мікроконтролерів реального часу, які допоможуть інженерам досягти більш інтелектуальної та безпечної обробки даних в автомобільній та промисловій галузі. Серія **TMS320F28P55x** мікроконтролерів TI **C2000™** є першою в галузі лінійкою мікроконтролерів реального часу з інтегрованим нейронним процесором (**Neural Processing Unit, NPU**), що дозволяє виявляти несправності з високою точністю та низькою затримкою. Серія **F29H85x** побудована на новому 64-бітному ядрі цифрового сигнального процесора **TI C29** і пропонує вдосконалену архітектуру з інтегрованими функціями захисту та безпеки.

Сьогодні перед інженерами стоїть завдання розробляти системи, які можуть приймати точні, інтелектуальні рішення в режимі реального часу для виконання таких функцій, як виявлення дугового замикання в сонячних системах і системах зберігання енергії, а також виявлення несправностей підшипників електродвигунів для прогнозованого технічного обслуговування. Як перші в галузі мікроконтролерів реального часу з інтегрованим нейронним процесором, нові мікроконтролери TI серії **C2000™ TMS320F28P55x** відповідають обом цим завданням, забезпечуючи стабільну продуктивність при обробці даних в реальному часі.

NPU в серії **TMS320F28P55x** розвантажує виконання нейромережевої моделі від центрального процесора, досягаючи в п'ять-десять разів меншої затримки порівняно з програмними реалізаціями, що дозволяє швидше і точніше приймати рішення. Крім того, модель, яка працює на інтегрованому **NPU**, навчається та адаптується до різних середовищ за допомогою тренувань, допомагаючи системам досягти більш ніж 99% точності виявлення несправностей, що дозволяє приймати більш обґрунтовані рішення на периферії. Повний інструментарій TI для ШІ, який містить моделі, оптимізовані та протестовані для конкретних застосувань, допомагає інженерам з будь-яким рівнем досвіду легко завершити процес розробки ШІ-моделі.

www.ti.com

ня. Несподівано, 1 МГц операційний підсилювач з двополюсною компенсацією матиме такий самий коефіцієнт підсилення на частоті 10 КГц, як і 100 МГц пристрій з однополюсною компенсацією. Нижче 10 кГц двополюсник все ще має більший коефіцієнт підсилення, ніж його однополюсник з компенсацією.

Тож чи можемо ми це зробити? Чи можемо ми отримати операційний підсилювач з 2-полюсною компенсацією, з величезним коефіцієнтом підсилення і розумною смугою пропускання? Так, можемо, але ви не знайдете цього в монолітній мікросхемі.

Майже всі монолітні ІС використовують однополюсну компенсацію, оскільки конденсатор, необхідний для її реалізації, невеликий і потрібен лише один. Розміщення конденсаторів всередині мікросхем є складною справою, оскільки конденсатор займає велику кількість простору всередині мікросхеми. Його ємність повинна бути невеликою, щоб він помістився. Двополюсну компенсацію практично неможливо реалізувати в мікросхемі, оскільки для цього потрібно щонайменше два конденсатори, а значення ємності, як правило, більше, ніж значення, необхідне для однополюсної компенсації. Єдиний шанс отримати двополюсний компенсований операційний підсилювач — це зібрати його самостійно з дискретних компонентів. Такі пристрої існують, вони виготовляються з крихітних компонентів для поверхневого монтажу і фізично сумісні з популярними корпусами ІС, такими як DIP8. Такі пристрої можна знайти на сайті компанії Філур:

- [SS3601 Single](#);
- [SS3602 Dual](#).

Якого типу підсилення контуру і загальної продуктивності можна досягти, використовуючи двополюсну компенсацію в порівнянні з однополюсною? На рисунку 6 наведені графіки коефіцієнта підсилення підсилювача з однополюсною компенсацією для порівняння з тим же підсилювачем, але з двополюсною схемою компенсації. Зрозуміло, що двополюсна схема дозволяє отримати радикально вищий коефіцієнт підсилення. Майте також на увазі, що логарифмічна природа дБ така, що кожні 6 дБ збільшення означає подвоєння коефіцієнта підсилення. Так, наприклад, на частоті 1 кГц двополюсник має приблизно на 60 дБ більший коефіцієнт підсилення, ніж однополюсник, що означає більш ніж 1000-кратне підсилення в «не в дБ» числах. До речі, значення THD пов'язане з коефіцієнтом підсилення, і можна

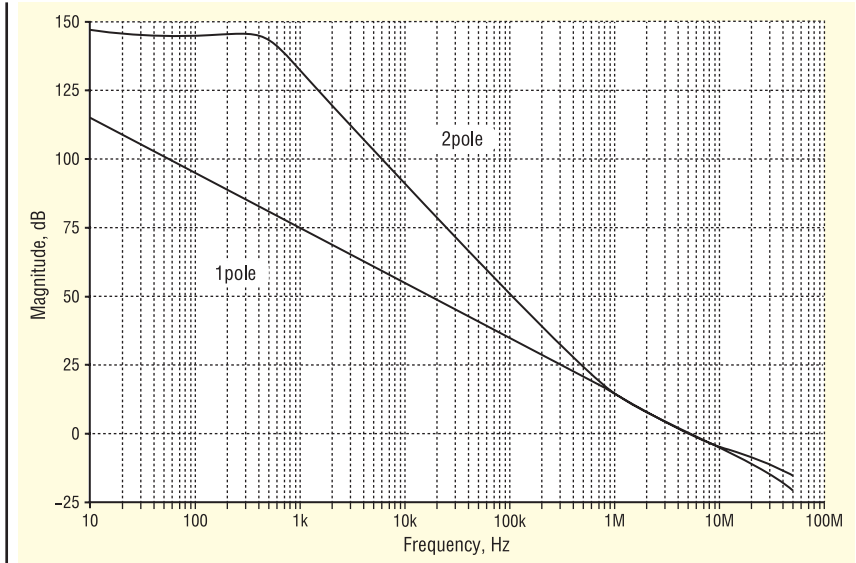


Рис. 6. Графіки коефіцієнта підсилення підсилювача з однополюсною компенсацією для порівняння з тим же підсилювачем, але з двополюсною схемою компенсації

очікувати відповідного 1000-кратного зменшення THD.

Круто, правда?

До цього часу проникливий читач, можливо, зрозумів, що двополюсний зсув матиме два зсуви фаз на 90° (по одному з кожного полюса), що призведе до максимально допустимого зсуву фаз на 180° , який є допустимим для стабільності. Червоні прапорці можуть спливати в голові. Секрет успішної реалізації 2-полюсної схеми компенсації полягає в тому, щоб вона повернулася до однополюсного режиму з фазовим зсувом лише на 90° безпосередньо перед тим, як коефіцієнт підсилення кон-

туру перетне 0 дБ. Якщо цього вдасться досягти, то критерій стабільності Найквіста все одно буде виконано. Це відбувається, і на попередньому рисунку видно, як графік двополюсного підсилення перекидає графік однополюсного підсилення, починаючи приблизно з області кривої 1 МГц. Це гарантує, що буде достатній запас по фазі для забезпечення стабільності. Щоб побачити графік двополюсної фазової компенсації, погляньте на рисунок 7.

Видно, що близько 1 МГц двополюсник переходить назад до однополюсника, і фаза зсувається назад до 90° . Цей пристрій все ще має запас по фазі 75°

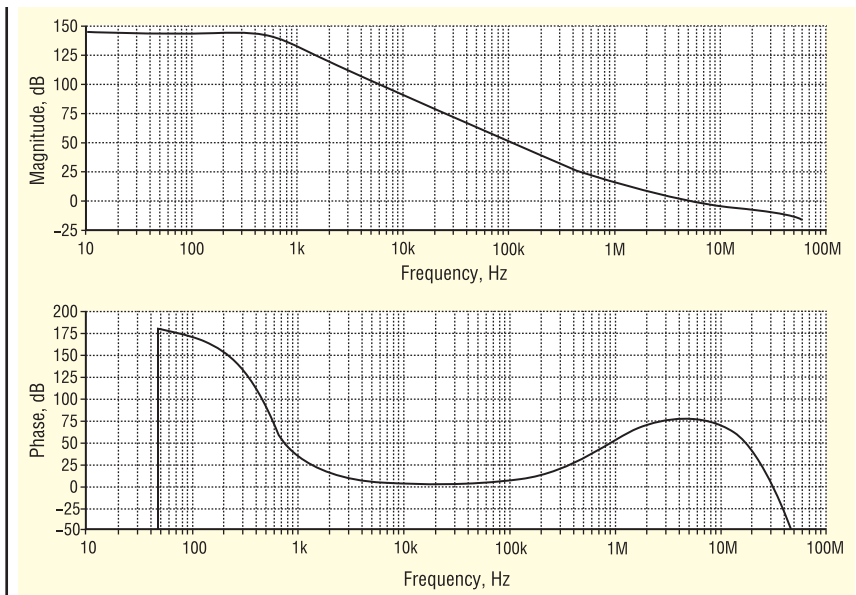


Рис. 7. Графік двополюсної фазової компенсації

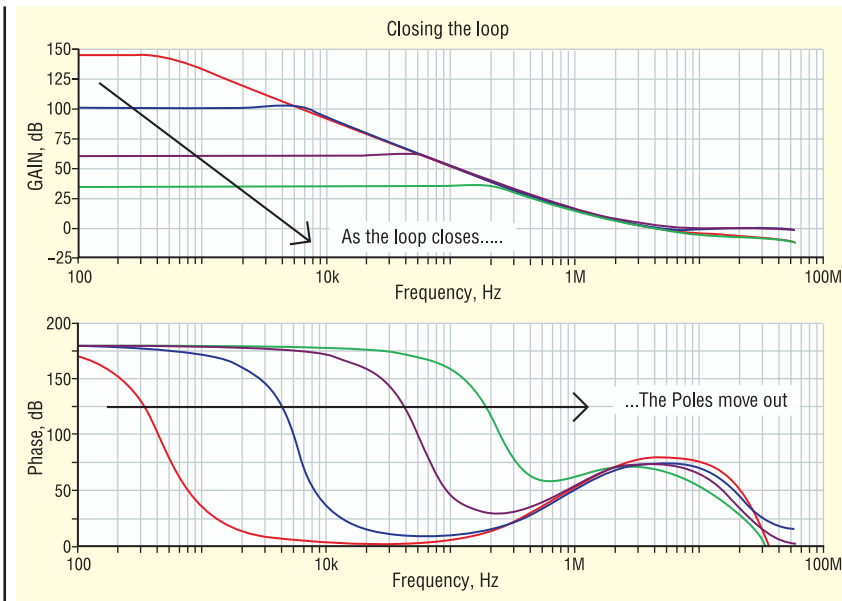


Рис. 8. Залежність зсуву фази від частоти

на кросовері з одиничним коефіцієнтом підсилення, і стабільність буде збережена. Внутрішньосмуговий зсув фази на 180° також не є проблемою, оскільки при замиканні кола операційного підсилювача полюси розсуваються, і пов'язаний з цим фазовий зсув відбувається пізніше по частоті. Це означає, що для будь-якого замкненого контуру (а операційні підсилювачі завжди працюють в замкненому контурі) не буде ніякого фазового зсуву в межах смуги пропускання замкненого контуру. Це можна побачити на графіках, наведених на рисунку 8, які ілюструють, що відбувається при замиканні контуру.

З цих графіків видно, що коли контур замикається за допомогою зовнішнього зворотного зв'язку, полюси зміщуються назовні. Ця маленька перлина істини часто залишається неусвідомленою, що є причиною багатьох побоювань, пов'язаних зі зворотним зв'язком і високим коефіцієнтом підсилення контуру. Люди, як правило, лякаються, коли чують про внутрішньосмуговий зсув фази на 180° у розімкнутому контурі, не розуміючи, що коли контур замикається, цей зсув фази не відбувається в межах смуги пропускання замкнутого контуру.

ВИСНОВОК

Якщо ви шукаєте ідеальний пристрій серед операційних підсилювачів, ось декілька речей, про які слід пам'ятати:

- Смуга пропускання і коефіцієнт підсилення в розімкнутому контурі пов'язані між собою за допомогою

компенсації. Вищий коефіцієнт підсилення завжди відповідає вищій смузі пропускання.

- Коефіцієнт підсилення в розімкнутому контурі, як правило, задається при постійному струмі й завжди падає зі швидкістю 6 дБ/октаву в однополюсних пристроях з компенсацією.
- Швидкість наростання, що перевищує ~ 10 В/мкс, не потрібна для високоякісного звуку. Так само як і смуга пропускання 50 МГц.
- Висока смуга пропускання і пов'язані з нею проблеми стабільності — це те, що створило пристроям з високим коефіцієнтом підсилення погану репутацію в деяких аудіо спільнотах.
- Двополюсна компенсація є найкращою технікою для максимізації коефіцієнта підсилення у відкритому контурі та має приємний побічний ефект у вигляді підтримки розумної смуги пропускання.
- Двополюсна компенсація зазвичай досяжна лише в дискретних конструкціях операційних підсилювачів.

Більш детальну інформацію щодо продукції компанії Sparkos Labs можна отримати, звернувшись до її офіційного дистриб'ютора на території України — компанії «Фігур Електрик, ЛТД»:

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

CN

НОВЕ СІМЕЙСТВО ПРИКЛАДНИХ ПРОЦЕСОРІВ І.MX 94

Компанія **NXP Semiconductors** оголосила про вихід сімейства і.MX 94, найновішого доповнення до серії прикладних процесорів і.MX 9, призначених для промислового керування, програмованих логічних контролерів (ПЛК), телематики, промислових та автомобільних шлюзів, а також для керування будівлями та енергоспоживанням.

Інтегруючи функції зв'язку, безпеки та керування в реальному часі в одній мікросхемі, сімейство і.MX 94 допомагає розробникам орієнтуватися в цій складній ситуації, забезпечуючи оптимізовану комплексну продуктивність при координації зв'язку та дій в реальному часі. Вбудований комутатор 2.5 Гбіт/с Ethernet TSN забезпечує висококонфігурований, безпечний зв'язок з широкою підтримкою протоколів як для промислових, так і для автомобільних застосувань.

Багатоядерні 64-розрядні процесори і.MX 94 мають до чотирьох ядер Arm® Cortex®-A55, здатних працювати під керуванням Linux, а також два ядра Cortex-M33 і два ядра Cortex-M7, що забезпечує підвищену продуктивність обробки даних у реальному часі. Програмна платформа NXP Real-Time Edge дозволяє розробникам реалізовувати проекти з оптимальним поєднанням завдань реального часу і завдань прикладного рівня, що виконуються на будь-якому з цих ядер. Крім того, для використання обчислювальних можливостей доступні різноманітні спеціалізовані комерційні операційні системи сторонніх виробників, такі як QNX Neutrino і Green Hills Integrity. Він також має інтегрований функціональний острів безпеки разом з конфігурованим розділом безпеки, що підтримує відповідність стандартам IEC61508 SIL2 та ISO26262 ASIL-B.

Сімейство і.MX 94 — це перший прикладний процесор NXP, який підтримує пост-квантову криптографію з відкритим ключем, що дозволяє йому протистояти атакам квантових комп'ютерів і керувати безпекою обладнання протягом тривалого життєвого циклу. Інтегрований EdgeLock Secure Enclave (розширений профіль) дозволяє налаштовувати обладнання та відновлювати його до безпечного стану в будь-який час і забезпечує розширені можливості безпеки.

www.nxp.com

Підсилювачі з автоматичним встановленням нуля

У статті докладно розглядається підсилювач ISL28134 з автоматичним встановленням нуля виробництва компанії Renesas. Наводяться розрахункові співвідношення і схеми застосування. Подібні підсилювачі є чудовим вибором для трактів підсилення, в яких потрібне високе підсилення сигналів датчиків.

ПІДСИЛЮВАЧ З АВТОМАТИЧНИМ ОБНУЛЕННЯМ

Багато підсилювачів сигналів датчиків призначені для нормування дуже низьких входних сигналів. Підсилення сигналу до високого рівня вимагає, щоб шлях проходження сигналу мав вкрай малу напругу зсуву і його низький дрейф за часом і температурою, а також високу точність підсилення. Для дотримання цих вимог під час використан-

ня стандартних лінійних компонентів потрібне автоматичне калібрування на системному рівні та багатоступеневі підсилювачі. Однак це ускладнює проектування апаратуного і програмного забезпечення, збільшує вартість проектування і термін виведення нових виробів на ринок.

Альтернативою такому підходу є використання компонентів із низьким зсувом і дрейфом, а також із високим коефіцієнтом підсилення (КП) розімкненого

кола (A_{OL}) для забезпечення високої точності КП. Підсилювачем із безсумнівно найвищим A_{OL} і найменшим зсувом є підсилювач з автоматичним обнуленням, наприклад ISL28134 від Renesas (рис. 1). Цей підсилювач забезпечує високу точність за постійним струмом завдяки механізму калібрування, що безперервно працює і реалізований внутрішньосхемно. За типових значень входного зсуву 0.2 мкВ і дрейфу зсуву за температурою 0.5 нВ/°C підсилювач ISL28134 задовольняє навіть найвищі вимоги до точності за постійним струмом.

У цій статті пояснюється методика калібрування з автоматичним обнуленням, і порівнюється спектр шумів ISL28134 зі спектром шумів стандартного КМОН операційного підсилювача. Завершується стаття чотирма прикладами застосування, що демонструють використання ISL28134 як підсилювача для термопари, а також як каліброваного підсилювача під час використання для постійного струму і широкосмугового підсилювача змінного струму.

На рисунку 1 показано принципову схему підсилювача з автоматичним обнуленням. У ній основний широкосмуговий підсилювач (A_M) коригується за зсувом паралельним обнулювальним підсилювачем (A_N). Корекція зсуву всього підсилювача відбувається в одному циклі тактової частоти автоматичного обнулення (f_{AZ}), який поділено на два режими роботи: фази автоматичного обнулення і підсилення.

Генератор (OSC), що генерує частоту f_{AZ} , запускає фазу автоматичного обнулення шляхом переміщення обох перемикачів у положення 1. Входи обнулювального підсилювача, що складається з низки каскадів, закорочують між собою, а вихід під'єднують до конденсатора C_1 . У такій конфігурації A_N вимірює власну входну напругу зсуву і зберігає її на C_1 . Математично напругу на C_1 можна виразити як $V_{C1} = G_B(A_{IN}V_{OSN} - A_ZV_{C1})$ і шляхом простої перестановки представити її як рівняння (1):

$$V_{C1} = V_{OSN} \frac{G_B A_{IN}}{1 + G_B A_Z} \quad (1)$$

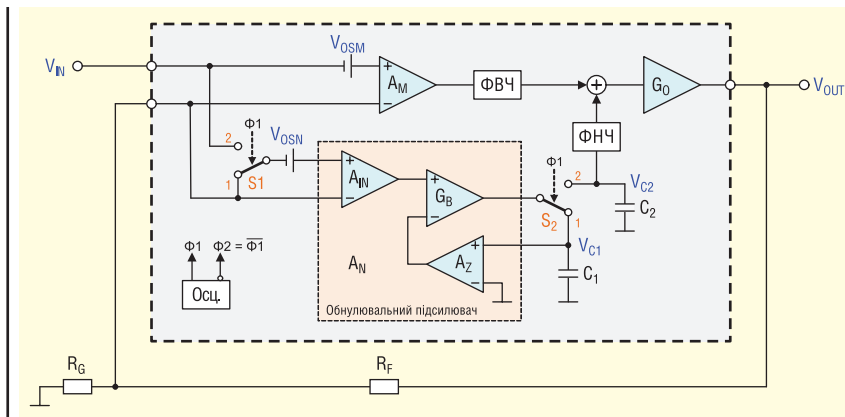


Рис. 1. ISL28134: фаза автоматичного обнулення

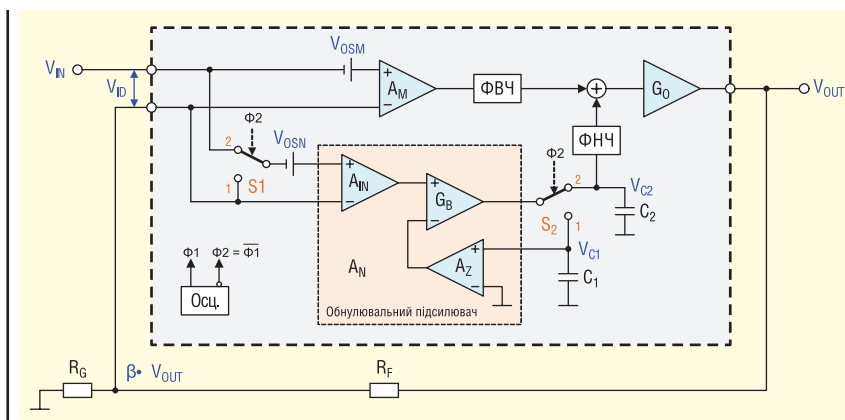


Рис. 2. ISL28134: фаза підсилення

У фазі підсилення OSC переводить обидва перемикачі в положення 2 (рис. 2). У цій конфігурації A_N підсилює V_{C1} на множник A_Z , віднімає його від підсиленого диференціального вхідного сигналу ($A_{IN}(V_{OSN} + V_{ID})$) і заряджає конденсатор C_2 на підсилену різницю до $V_{C2} = G_B[A_{IN}(V_{OSN} + V_{ID}) - A_Z V_{C1}]$. Замінюючи V_{C1} рівнянням (1) і розв'язуючи його для V_{C2} , отримуємо рівняння (2):

$$V_{C2} = G_B A_{IN} V_{ID} + V_{OSN} \frac{G_B A_{IN}}{1 + G_B A_Z} \quad (2)$$

Водночас основний підсилювач підсилює напругу на своєму диференціальному вході, щоб на виході вийшла напруга $A_M(V_{ID} + V_{OSN})$. Суму обох напруг потім підсилює каскад вихідного підсилення (G_O) для формування кінцевої вихідної напруги:

$$V_{OUT} = G_O [V_{C2} + A_M (V_{ID} + V_{OSN})].$$

Замінюючи V_{C2} рівнянням (2), отримуємо рівняння (3):

$$V_{OUT} = G_O (G_B A_{IN} + A_M) V_{ID} + G_O A_M V_{OSN} + \frac{G_O G_B A_{IN}}{1 + G_B A_Z} V_{OSN} \quad (3)$$

Оптимізуючи архітектуру автоматичного обнулення так, щоб $A_M = A_{IN}$ і на всіх етапах підсилення було набагато більше 1, спростуємо рівняння (3):

$$V_{OUT} = G_O A_{IN} G_B V_{ID} + G_O A_M V_{OSN} + \frac{G_O A_{IN}}{A_Z} V_{OSN}$$

Далі, вносячи за дужки коефіцієнт підсилення $G_O A_{IN} G_B$ напруги V_{ID} в отриманому рівнянні, представимо V_{OUT} у вигляді рівняння типового підсилювача:

$$V_{OUT} = G_O A_{IN} G_B \left(V_{ID} + \frac{V_{OSM} + V_{OSN}/A_Z}{G_B} \right) \quad (4)$$

Рівняння (5) для типового підсилювача на рисунку 3:

$$V_{OUT} = A_{OL} (V_{ID} + V_{OS-Eff}), \quad (5)$$

де A_{OL} — коефіцієнт підсилення розімкнутого кола підсилювача, а V_{OS-Eff} — його ефективна напруга зсуву.

Порівняння рівнянь (4) і (5) показує, що ефективне підсилення розімкнутого кола підсилювача з автоматичним обнуленням є $A_{OL} = G_O A_{IN} G_B$, а його ефективний зсув визначається таким чином:

$$V_{OS-Eff} = \frac{V_{OSM} + V_{OSN}/A_Z}{G_B}$$

Таким чином, напруга зсуву головного підсилювача зменшується в G_B разів, а зсув обнулювального підсилювача, — в $G_B \cdot A_Z$ разів. Якщо ми приймаємо коефіцієнти підсилення розімкнутого кола різних каскадів підсилення в межах 10 000 або вище, стає очевидним, що навіть власна напруга зсуву в кілька мілівольт для всього підсилювача з автоматичним обнуленням знижується до ефективної вхідної напруги зсуву, що дорівнює мікрвольтам.

ПРИДУШЕННЯ ШУМІВ У СМУЗІ ЧАСТОТ

Конструкції підсилювачів на рисунках 1–2 є фільтром низьких частот (ФНЧ), прозорим для процесу автоматичного обнулення, але з необхідністю фільтрації високочастотних складових, що створюються процесом перемикання під час автоматичного обнулення.

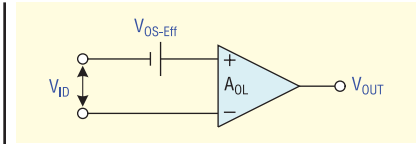


Рис. 3. Типовий підсилювач з ефективним зсувом

Оскільки підсилювач з автоматичним обнуленням є системою з дискретизацією відліків, процес дискретизації генерує частоти, які складаються із суми та різниці частоти вхідного сигналу (f_{IN}) і тактової частоти автоматичного обнулення (f_{AZ}).

На рисунку 4 представлено процес придушення шумів із демонстрацією ефектів дискретизації в смузі частот. Дискретизація вхідного сигналу є модуляцією; при цьому f_{AZ} виступає як носійна частота, а V_{IN} (або f_{IN}) — як модулювальний сигнал. Обидва перемикачі S_1 і S_2 замінєні модуляторами M_1 і M_2 . $V_{M1}(f)$ на рисунку 4 показує, що перша модуляція V_{IN} призводить до появи бічних смуг f_{IN} на обох сторонах непарних гармонік f_{AZ} .

Амплітуди бічних смуг знижуються згідно з функцією $1/n$, де n — порядок гармоніки. Шум $1/f$ від A_N , присутній в основній смузі частот, додається до модульованого вхідного сигналу після першої стадії модуляції (див. $V_{AN}(f)$). Комбінований сигнал підсилюється A_N і подається в демодулятор M_2 . Шум $1/f$, проходячи першу демодуляцію через M_2 , додає бічні смуги по обидва боки непарних гармонік f_{AZ} . Однак для вже модульованого вхідного сигналу (V_{M1}) M_2 є 2-ю стадією модуляції.

На цій стадії f_{IN} перетворюється на ще вищі частоти, створюючи бічні смуги навколо парних гармонік f_{AZ} , а також навколо нульової точки. Таким чином,

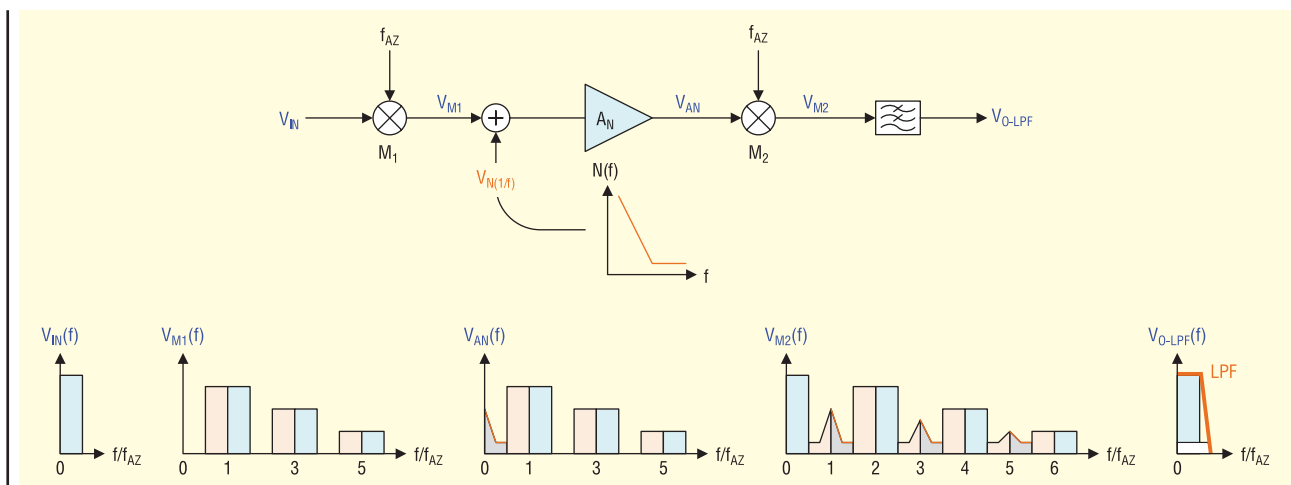


Рис. 4. Автоматичне обнулення в смузі частот

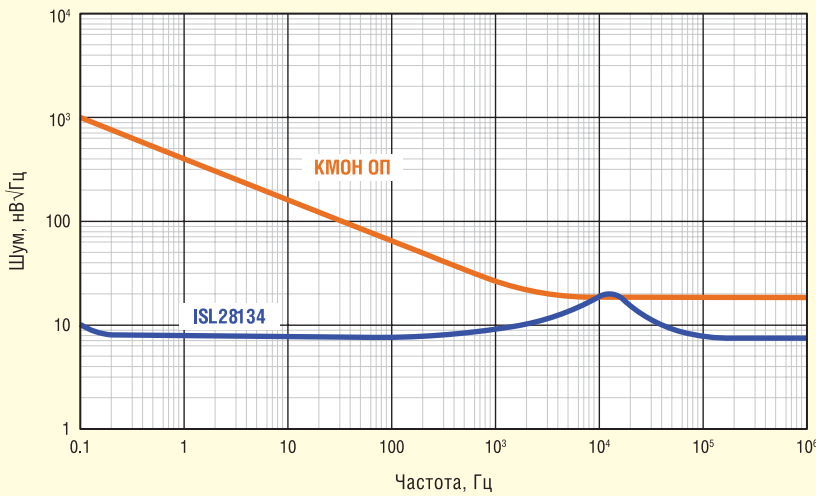


Рис. 5. Спектральна густина шуму

вхідний сигнал знову виникає в основній смузі частот. Отже, 2-а модуляція є демодуляцією f_{IN} . Застосування фільтра нижніх частот вищого порядку, чий різкий спад обмежує основну смугу частот до частот значно нижчих за f_{AZ} , також дуже сильно зменшує шум.

На рисунку 5 показано графік спектральної густини шуму підсилювача ISL28134 і прецизійного КМОН операційного підсилювача. Шум ϵ , по суті, білим по всьому діапазону частот, за винятком вузькосмугових шумів у районі 10 кГц.

ОБЛАСТІ ЗАСТОСУВАННЯ

Підсилювач терморпарі

Схема вимірювання температури на рисунку 6 є прикладом низькочастотного застосування, яке дає змогу вмикати ISL28134 прямо в коло проходження сигналу. Прецизійна опорна напруга (ISL21010-41) забезпечує живлення моста напругою 4.096 В. Пряма напруга діода D_1 має негативний температурний коефіцієнт -2 мВ/°С і забезпечує компенсацію холодного спаю за допомогою резисторного кола R_1-R_3 .

Корекція нуля для певної мінімальної температури досягається за допомогою R_6 , тоді як R_7 і R_8 визначають підсилення вихідного підсилювача. Цей підсилювач з однією напругою живлення забезпечує підсилення розімкненого кола 174 дБ і точність 16 біт або вище за високого підсилення в низьковольтних варіантах застосування. Автоматичне обнулення видаляє шуми $1/f$, забезпечує типові значення вхідного зсуву 0.2 мкВ і дрейф напруги зсуву за температурою 0.5 нВ/°С. Отже, підсилювачі з автоматичним обнуленням ідеально підходять

для прецизійних застосувань з однополярним живленням, де обов'язковою вимогою є висока точність, низький зсув і малий шум.

Активний фільтр низьких частот

Фільтр низьких частот 3-го порядку на рисунку 7 має частоту зрізу 200 кГц, що вдвічі перевищує тактову частоту автоматичного обнулення. Шуми від накладення спектрів та інтермодуляційні шуми сильно послаблюються, що дає змогу вхідному сигналу працювати в усій ширині смуги підсилення. Крім того, вихід підсилювача забезпечує електроживлення з повним розмахом

напруги, завдяки чому досягається високе відношення «сигнал/шум» за низьких напруг живлення.

Широкопasmовий підсилювач

У широкопasmових застосуваннях із шириною смуги в десятки МГц ISL28134 забезпечує широкопasmовому підсилювачу точність у ділянці постійного струму. На рисунку 8 показано необхідну конфігурацію у вигляді складеної схеми підсилювача.

ISL28134 працює як інтегровальний елемент у колі зсуву широкопasmового підсилювача. Шлях проходження сигналу, як зазвичай, проходить від напруги V_{IN} через R_C і R_F до V_{OUT} . Інтегровальний елемент має дві функції. За низьких частот він забезпечує високе підсилення контуру придушення зсуву, зменшуючи вхідний зсув широкопasmового підсилювача до вхідного зсуву підсилювача з автоматичним обнуленням. За високих частот коефіцієнт підсилення замкненого кола інтегровального елемента швидко знижується завдяки великій постійній часу ($R_{INT}C_{INT}$), що запобігає передачі сигналу на неінвертувальний вхід широкопasmового підсилювача.

Оскільки вхідний шум підсилювача підсилюється неінвертувальним підсилювачем кола зворотного зв'язку інтегровального елемента, за високих частот ISL28134 працює як повторювач напруги ($KU = 1$), передаючи його вхід-

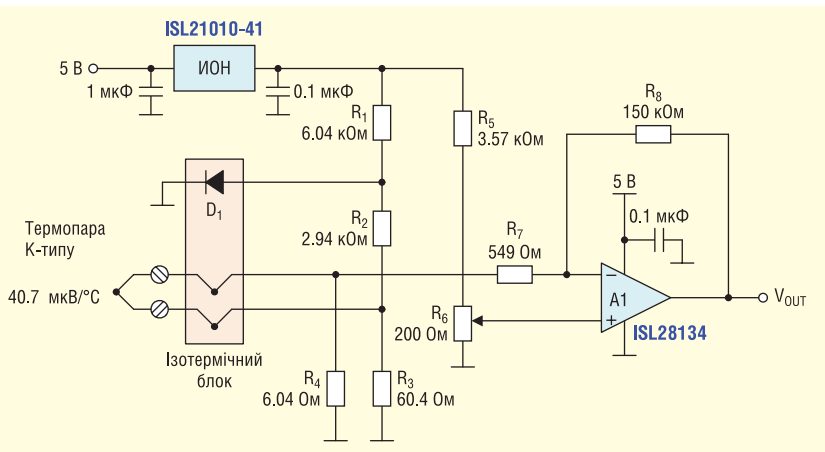


Рис. 6. Вимірювання температури за допомогою терморпарі

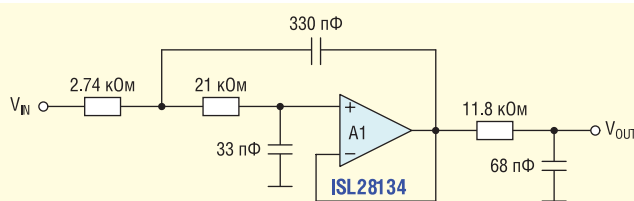


Рис. 7. Фільтр низьких частот 3-го порядку 200 кГц

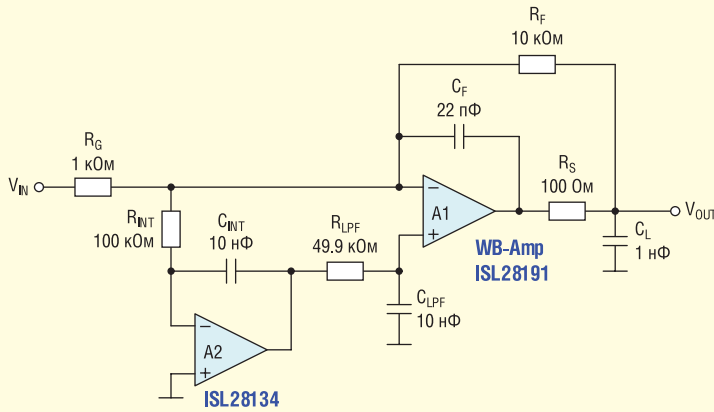


Рис. 8. Широкопasmовий підсилювач, що автоматично обнуляється

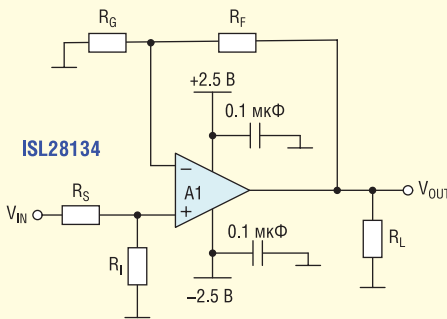


Рис. 9. Умова $R_S || R_i = R_f || R_G$ призводить до зниження вхідної напруги зсуву через струми зсуву

ний шум у широкопasmовий підсилювач. Для усунення цього шуму на вихід ISL28134 встановлюють ФНЧ (RLPF, CLPF) з низькою частотою зрізу.

У цьому варіанті застосування А1 працює на велике ємнісне навантаження (C_L), що взаємодіє з вихідним імпедансом А1 (R_O). Для збереження стабільності застосовується резистор R_S для розділення C_L і А1. Вихід (V_{OUT}) результуючого ФНЧ має зріз -3 дБ при $f_{-3\text{ дБ}} = 1/[2\pi(R_O + R_S)C_L]$. Однак фазова корекція через R_S працює тільки за низьких частот. Для високочастотної стабільності реалізують 2-й контур зворотного зв'язку з використанням C_F , який компенсує відставання за фазою ФНЧ на виході А1. Значення R_S і C_F розраховуються таким чином:

$$R_S = R_O \cdot \frac{R_F}{R_G}$$

$$C_F = C_L \left(\frac{R_O + R_S}{R_F} \right) \cdot \left(1 + \frac{R_G}{R_F} \right)$$

Підсилювач із високим коефіцієнтом підсилення

Під час проектування підсилювача з високим коефіцієнтом підсилення (рис. 9) необхідно підтримати вхідний імпеданс нижче певного значення. Вхідний каскад підсилювачів з автоматичним обнуленням (АЗА) поводить себе не так, як вхідні каскади традиційних підсилювачів. У каскаді АЗА використовуються перемикачі на вході підсилювача, які безперервно дискретизують

вхідний сигнал із частотою 100 кГц для зниження вхідної напруги зсуву до мікрвольт. Динамічні характеристики перемикачів викликають інжекційні струми на вхідних колах підсилювача. Ці струми замикаються за постійним струмом на «землю» через опір на входах підсилювача.

Таким чином, вхідні імпеданси, вищі за 10 кОм, спричиняють значне збільшення струмів зсуву. Для зведення цього ефекту до мінімуму рекомендується, щоб вхідний опір не перевищував 10 кОм.

Крім того, слід вирівняти вхідний імпеданс між клемми IN+ і IN- для зведення до мінімуму вхідної напруги зсуву, що виникає через струм зсуву. Цей струм викликає додаткову вхідну напругу зсуву, $I_{OS} \cdot R_{IN}$.

Для підсилювача з підсиленням 10000 В/В (80 дБ), що використовує резистор 1 МОм у колі зворотного зв'язку, загальний вхідний струм зсуву 500 пА генерує додаткову вихідну напругу зсуву 0.5 мВ. При підтримці вхідного імпедансу низьким і збалансованим на входах підсилювача цей струм підтримується на рівні нижче за 100 пА, а пов'язаний з ним зсув зменшується до ≤ 0.1 мВ.

ВИСНОВКИ

Підсилювач ISL28134 ідеально підходить для підсилення сигналів датчиків аналогових вхідних пристроїв, включно з датчиками тиску, температури, медичними датчиками, тензодатчиками та інерціальними датчиками (акселерометрами) з мікрвольтовими рівнями сигналів. Мікросхема ISL28134 можна використовувати як стандартний підсилювач із високою стабільністю в усьому промисловому діапазоні температури $-40...125$ °С. На рисунку 10 показано структурну схему пристрою, і перераховано його основні характеристики.

СН

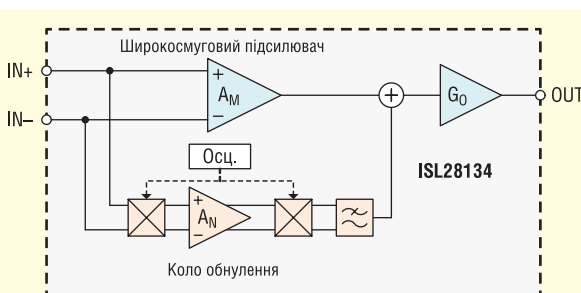


Рис. 10. Фільтр низьких частот 3-го порядку 200 кГц

Низька вхідна напруга зсуву	0.2 мкВ
Низький дрейф напруги зсуву	0.5 нВ/°С
Широка смуга пропускання	3.5 МГц
Малі електричні шуми	0.8 нВ/√Гц
Широкий діапазон напруги живлення	2.2–5.5 В
Малий струм споживання	675 мкА
Розмах напруги	R–R/IO
Широкий діапазон температур	–40...125 °С

Semikron Danfoss: компактні та ефективні перетворювачі для електроприводів на основі модулів з карбідом кремнію

Carsten Schreiter (Карстен Шрайтер), Semikron Danfoss

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

E-mail: sp.tsdrive@gmail.com

Стаття написана на основі вебінару, проведеного компанією Semikron Danfoss у жовтні цього року, який був присвячений впровадженню SiC модулів в перетворювачах для електроприводів. В ній наведено три приклади використання модулів на основі карбіду кремнію, де показано переваги застосування цих модулів та в яких випадках їх впровадження доцільно в першу чергу, навіть з врахуванням їхньої вищої вартості. Матеріал статті структуровано таким чином: в першій частині розглянуто застосування модулів на основі карбіду кремнію у вхідній ланці перетворювачів, а саме в якості активного випрямляча, в другій частині — класичний інверторний привід. Зауважимо також, що порівняння вартості на рівні окремого модуля (модулів) не має сенсу. Оцінка вартості повинна бути проведена в комплексі. В такому випадку використання в перетворювачах SiC модулів здатне досягти бажаного результату завдяки своїм перевагам в порівнянні з IGBT модулями.

З моменту першої появи силових напівпровідникових модулів на основі карбіду кремнію доцільність їх застосування в перетворювачах для електроприводів викликала чимало дискусій. Висока ціна, швидке перемикання, відсутність можливості витримувати коротке замикання ставали на заваді для їх впровадження. Сьогодні настав час змінити таку точку зору. Об'єднавши найсучасніші технології збірки модулів з останніми поколіннями чипів SiC MOSFET, компанія Semikron Danfoss забезпечує абсолютно новий ступінь свободи при розробленні перетворювачів для електроприводів.

Силові напівпровідники на основі карбіду кремнію не є абсолютно нови-

ми. Вже сьогодні, вони знаходять широке застосування в багатьох сферах, таких як сонячна енергетика, потужні накопичувачі та зарядні станції для електромобілів, що вимагають великої густини потужності та мінімальних розмірів (рис. 1). Додаткові переваги полягають у мінімізації втрат та зменшенні розмірів пасивних елементів перетворювачів завдяки переходу на вищі частоти перемикання. Однак у перетворювачах для керування електроприводом перспективне використання SiC MOSFET практично не просувається і, в першу чергу, це пов'язано з певними стереотипами, такими як:

- ціна, яка ніколи не окупиється в електроприводі;

- SiC MOSFET має сенс лише для високих частот, а не для двигунів;
- висока швидкість перемикання призводить до критичних du/dt ;
- неможливість здійснити захист від коротких замикань — є ключовою завадою;
- традиційно не використовується для приводів двигунів.

Все це призвело до парадигми про неможливість використання SiC модулів в перетворювачах для електропривода. Проте такий підхід не зовсім справедливий та не відповідає реаліям сьогодення.

Розглянемо, чому ж використання модулів на основі карбіду кремнію в перетворювачах для електроприводів має сенс:

1. Пряме падіння напруги. Якщо порівняти IGBT і SiC модулі, що видно з діаграми падіння напруги від навантаження, то для карбіду кремнію це пряма лінія, тоді як IGBT має кривизну (рис. 2). В результаті, наприклад, при однаковому заданому струмі падіння напруги на SiC 1 В, а на IGBT 1.5 В. І це зменшення прямого падіння напруги зменшує фактичні втрати провідності, особливо, коли ми знаходимося в зоні нижче номінального навантаження (заштрихована область на рис. 2).
2. Інтегрований в загальну структуру модуля зворотній діод з низьким значенням Q_{rr} зменшує втрати на перемикання, а також зменшує коливання температури в структурі модуля,

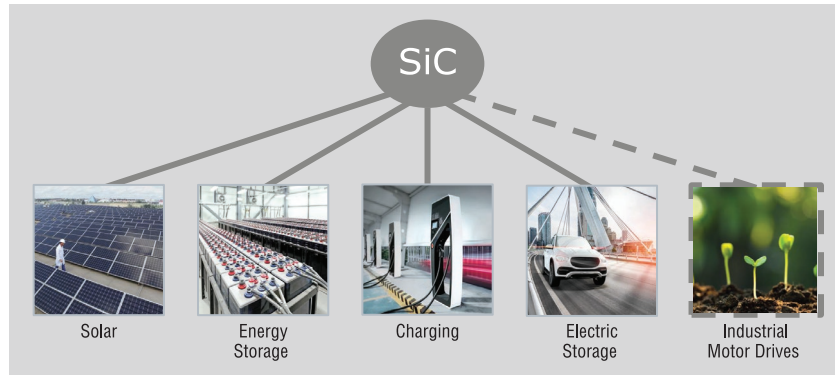


Рис. 1. Сфери застосування напівпровідникових приладів на основі карбіду кремнію

- що забезпечує вищу здатність сприймати циклічність навантаження.
3. Набагато швидше перемикання в порівнянні з IGBT.
 4. У 2–3 рази краща теплопровідність, що дозволяє розподілити тепло без «гарячих точок».
 5. Для нових чипів існує здатність витримувати коротке замикання до 2 мкс.
- Таким чином, вище наведені аргументи впливають на термін служби та підвищену здатність до циклічних навантажень. Також, завжди існує можливість перемикання на високих частотах ШІМ (широтно-імпульсна модуляція), хоч це і не завжди обов'язково. Сам матеріал карбіду кремнію має кращу теплопровідність, що означає більш рівномірний розподіл тепла всередині чипа в порівнянні з IGBT.

Останній, не менш важливий фактор, полягає в тому, що найновіші чипи MOSFET з карбіду кремнію, що використовує Semikron Danfoss, забезпечують можливість витримувати к.з., чого бракувало попереднім поколінням модулів. Саме тому це робить придатними до використання SiC модулі в перетворювачах для електроприводів, особливо в тих випадках, де переваги їх використання доволі суттєві.

ПЕРЕТВОРЮВАЧІ З АКТИВНИМ ВХОДОМ

Одним із перспективних напрямків впровадження SiC модулів в електропривід можуть стати перетворювачі з активним вхідним випрямлячем (*Active Front End Drive*) (рис. 3).

Зазвичай структура таких перетворювачів, що забезпечують низький вміст гармонік у вхідному струмі, містить вхідний керований випрямляч (трифазна мостова схема IGBT) з частотою комутації 5–6 кГц, доволі великий LCL

фільтр, що вимагає використання певної кількості заліза та міді. Фільтр може бути виконаний окремо, чи інтегрованим в перетворювач та відповідати вимогам певних стандартів в залежності від призначення (IEEE 519 у США, EN81 для ліфтів у ЕС тощо).

Стандартний трифазний інвертор з du/dt вихідної напруги в межах 5–10 кВ/мкс, щоб уникнути перенапруг на двигуні, особливо з довгим вихідним кабелем, зазвичай обмеженою частотою ШІМ 4–6 кГц, здійснює керування приводом і повинен забезпечити малі розміри та низькі втрати.

Перетворювачі з активним входом все частіше зустрічаються, або стають все більш популярними. І причина, звичайно, в тому що вміст гармонік струму у класичних перетворювачів доволі високий. У таких перетворювачів вхід реалізовано на основі повністю керо-

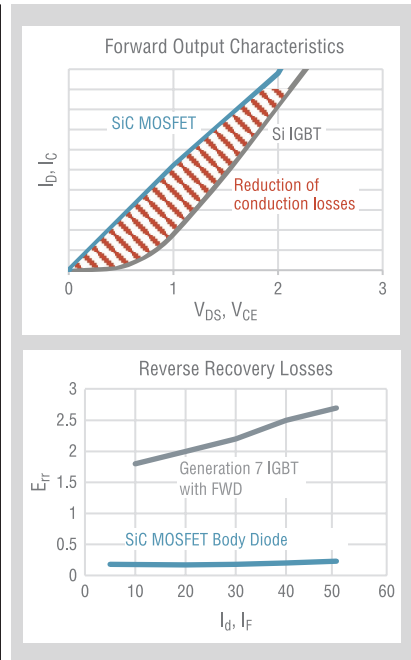


Рис. 2. Діаграма падіння напруги від навантаження

ваного трифазного випрямляча з IGBT модулів з доволі низькою частотою комутації. При цьому завжди є потреба у використанні LCL для фільтрації гармонік струму високої частоти.

Проілюструємо можливість використання модулів на основі карбіду кремнію в наведеній схемі вхідного активного випрямляча (рис. 4) провівши порівняльний аналіз, замінивши в схемі IGBT модулі 7-го покоління на останнє покоління SiC MOSFET — 50 А, одно-

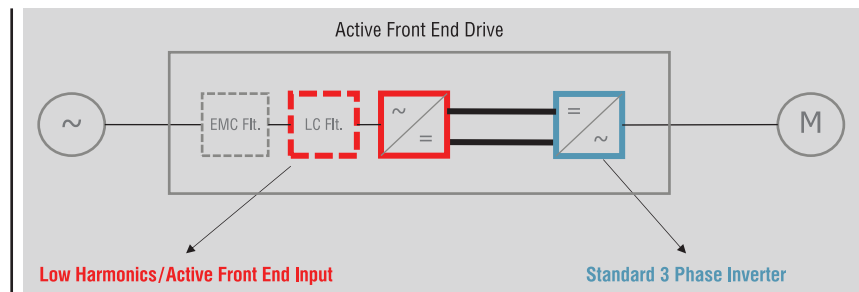


Рис. 3. Застосування SiC MOSFET в електроприводі (Active Front End Drive)

Operating Conditions:

- V_{DC} : 750 V
- V_{grid} : 400 V
- I_{Phase} : 30 A
- $\cos \varphi$: 0.98
- f_{grid} : 50 Hz

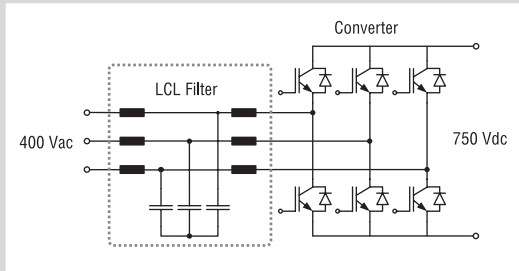


Рис. 4. Схема вхідного активного випрямляча







	Watt Losses	Filter Volume	Filter Weight
Si IGBT		8225 cm ³ 	19.4 kg 
SiC MOSFET	Total: 466W 34% More Efficient 	2448 cm ³ 70% Smaller 	10.2 kg 47% Lighter 

Рис. 5. Результати порівняння використання модулів на основі карбіду кремнію з IGBT модулями 7-го покоління

часно піднявши частоту ШИМ SiC так, щоб отримати аналогічну температуру радіатора при роботі IGBT (до 20 кГц). Для аналізу використано моделювання в програмі *Semikron Danfoss SemiSell*, яку можна безкоштовно використовувати на веб-сайті для проведення теплового моделювання силових схем.

Одночасно проведено порівняння для відповідних фільтрів, до зміни якого привело збільшення частоти ШИМ. Результати порівняння представлено на рисунку 5.

Для стандартного перетворювача (верхній рядок) втрати становлять майже 250 та 463 Вт у фільтрі, що загалом становить 730 Вт при струмі 30 А.

Коли використовували модулі карбіду кремнію, то втрати в перетворювачі зменшились до 175 Вт, а у

фільтрі — до 291 Вт, що загалом становило 466 Вт.

А це означає, що тільки у вхідному перетворювачі та фільтрі втрати стали на 34% менші, лише від переходу на карбід кремнію, при цьому було дещо збільшено частоту комутації. І це ще не весь вигравш.

Об'єм фільтра зменшився на 70%, а його вага — на 47%, що дає можливість інтегрувати перетворювач та фільтр в єдине ціле. Одночасно зменшується звуковий шум, відповідно знижується вартість.

Безумовно, якщо провести просту заміну модулів та порівняти ціни, виграшу ви не отримаєте. Тут необхідний комплексний підхід до всієї системи, тоді отримані переваги можуть легко переважити вартість. Загалом в даному

наведеному конкретному прикладі в результаті можливо отримати:

- більш компактну конструкцію всього перетворювача чи його складової;
- зменшення частотного шуму;
- сукупну економію коштів (*Total Cost of Ownership, TCO*);
- зменшення вартості зберігання та транспортування і в результаті викидів CO₂;
- менші витрати на монтаж, подальша оптимізація по частоті ШИМ та, як результат, більш компактний та ефективний перетворювач для електропривода.

Далі буде

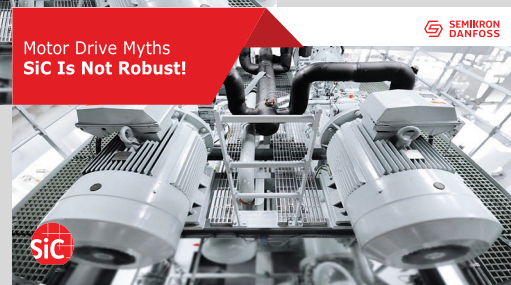
Більш детальну інформацію щодо продукції Semikron Danfoss можна отримати, звернувшись до офіційного дистриб'ютора в Україні — ТОВ НВП «Техносервіс-привід»:

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

CN

Video Series: Motor Drive Myths

- [SiC Never Pays Back!](#)
- [SiC is too Expensive!](#)
- [SiC Must Be Fast!](#)
- [SiC Is Not Robust!](#)
- [SiC Is Too Complicated!](#)



НВП «ТЕХНОСЕРВІСПРИВІД»

Авторизований сервіс-партнер Danfoss Drives в Україні

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



Офіційний представник в Україні



7-е покоління IGBT

Новий еталон
для електроприводів

www.semikron-danfoss.com

GENERATION
IGBT
7

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

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

Особливості

Нижча напруга насичення $V_{ce,sat}$

Підвищена здатність витримувати перевантаження до 175 °C

Втрати на комутацію і dv/dt оптимізовані для електроприводів

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

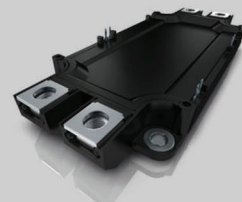
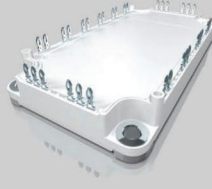
До 20% більша вихідна потужність або на 20% менші втрати потужності



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



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



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

Огляд силових промислових запобіжників компанії Littelfuse

Запобіжники класу G відповідають вимогам стандартів UL 248-5 і CSA C22.2 № 106 (класифікований як HRCI-Misc.). У цьому класі є одна серія запобіжників SLC [20] (рис. 24), які не взаємозамінні із запобіжниками інших класів. Тимчасова затримка становить мінімум 12 с за струму, що дорівнює 200% від номінального значення.

Запобіжники серії SLC мають такі параметри:

- номінальний струм: 0.5–60 А, при замовленні вказується його фактичне значення з великого асортименту в пропонованому ряду;



Рис. 24. Запобіжники серії SLC

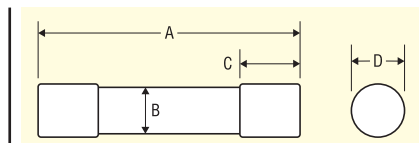


Рис. 25. Корпус, у якому виготовляють запобіжники серії SLC

Таблиця 7. Габаритні розміри запобіжників серії SLC

Струм, А	Розмір, дюйм (мм)			
	A	B	C	D
1/2–15	15/16 (33.3)	3/8 (9.5)	3/8 (9.5)	13/32 (10.3)
20	1 13/32 (35.7)			
25.30	1 5/8 (41.3)			
35–60	2 1/4 (57.2)		1/2 (12.7)	

* Закінчення. Початок див. CHIP NEWS, № 7, 8, 2024.

- номінальна напруга змінного струму: 600 В для запобіжників з номінальними струмами 0.5–20 А і 480 В для запобіжників з номінальними струмами 25–60 А; постійного струму 170 В;
- вимикальна здатність: для змінного струму 100 кА; для постійного струму 10 кА.

Для встановлення запобіжників рекомендовані тримачі серій: LFG60 для запобіжників зі струмом 0.5–20 А і LFG48 для запобіжників зі струмом 25–60 А.

Корпус, у якому виготовляють запобіжники серії SLC, показано на рисунку 25, а їхні габаритні розміри — у таблиці 7.

Запобіжники класу K відповідають вимогам стандарту UL 248-9. У цьому класі є класи K1 і K5.

Запобіжники класу K1 характеризуються таким самим ступенем обмеження струму та економічністю, як і розглянуті вище запобіжники класу RK1. Середньоквадратичне значення симетричного показника змінного струму для запобіжників цього класу становить 50 або 100 кА.

Клас містить серії швидкодіючих запобіжників KLNK, KLSR і серії запобіжників із тимчасовою затримкою LLNRK, LLSRK, параметри яких збігаються з параметрами запобіжників класу RK1.

Запобіжники класу K5 мають такий самий ступінь обмеження струму за того самого середньоквадратичного значення симетричного показника змінного струму, як і розглянуті вище запобіжники класу RK5.

У цьому класі є серії NLN, NLS [21, 22] (рис. 26), які забезпечують недорогий захист фідерів і паралельних кіл загального призначення за доступних струмів короткого замикання менше ніж 50 кА.

Запобіжники серій NLN, NLS мають такі параметри:

- номінальний струм: 1–600 А, при замовленні вказується його фактичне значення з великого асортименту в пропонованому ряду;
- номінальна напруга змінного струму: 250 В для запобіжників NLN і 600 В для запобіжників NLS; постійного струму: 250 В (NLN), 400 В (NLS)

з номінальними струмами 35–60 А), 500 В (NLS з номінальними струмами 8–30 А і 225–600 А), 600 В (NLS з номінальними струмами 1–7 А і 70–200 А);

- вимикальна здатність: для змінного струму 50 кА; для постійного струму 20 кА (з номінальними струмами 1–60 А), 50 кА (з номінальними струмами 70–600 А).

Для встановлення цих запобіжників рекомендовані тримачі серій LFH60 і LFH25.

Корпуси, у яких виготовляють запобіжники серій NLN, NLS, показано на рисунку 27, а їхні габаритні розміри — у таблиці 8.

Мініатюрні запобіжники класу Midget 10 × 38 mm Fuses призначені для захисту кіл від перевантаження, відповідають вимогам стандартів UL 248-14, UL 248-19 і CSA C22.2 № 59-1 і розраховані на змінний та/або постійний струм. До цього класу входять серії: BLF, BLN, BLS, FLA, FLM, FLQ, FLU, KLK, KLQ, KLKD, SPF.

Стандарти поділяють цей клас запобіжників на мікрозапобіжники, мініатюрні запобіжники (стандарт CSA класифікує їх як додаткові запобіжники) і картриджні запобіжники, які мають такі характеристики:

- мікрозапобіжники:
 - номінальний струм: 10 А (за стандартом UL) і 60 А (за стандартом CSA),



Рис. 26. Запобіжники серій NLN, NLS

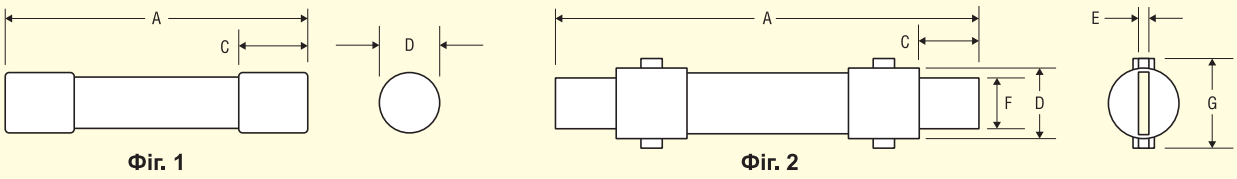


Рис. 27. Корпуси, у яких виготовляють запобіжники серій NLN, NLS

Таблиця 8. Габаритні розміри запобіжників серій NLN, NLS

Струм, А	Фіг. № на рис. 27	Серія	Розмір, дюйм (мм)						
			A	B	C	D	E	F	G
1–30	1	NLN	2 (50.8)	1/2 (12.7)	1/2 (12.7)	9/16 (14.3)	—	—	—
		NLS	5 (127.0)	3/4 (19.1)	5/8 (15.9)	13/16 (20.6)			
35–60		NLN	3 (76.2)				1 (25.4)	1 1/16 (27.0)	
		NLS	5 1/2 (139.7)						
70–100	2	NLN	5 7/8 (149.2)	1 1/4 (31.8)	1 (25.4)	1 5/16 (33.3)	1/8 (3.2)	3/4 (19.1)	1 5/16 (33.3)
		NLS	7 7/8 (200.0)						1 9/16 (39.7)
110–200		NLN	7 1/8 (181.0)	1 3/8 (34.9)	1 9/16 (39.7)	3/16 (4.8)	1 1/8 (28.6)	1 7/8 (47.6)	
		NLS	9 5/8 (244.5)					1 27/32 (46.8)	2 3/32 (53.2)
225–400	2	NLN	8 5/8 (219.1)	2 (50.8)	1 7/8 (47.6)	2 3/32 (53.2)	1/4 (6.4)	1 5/8 (41.3)	2 13/32 (61.1)
		NLS	11 5/8 (295.3)						2 19/32 (65.9)
450–600		NLN	10 3/8 (263.5)	2 1/4 (57.2)	3 3/32 (78.6)	2 (50.8)	3 7/16 (87.3)		
		NLS	13 3/8 (339.7)						



Рис. 28. Запобіжники серії KLKD

вання в суматорах сонячних батарей і в колах зі струмами короткого замикання постійного струму, що досягають 50 кА. Запобіжники KLKD доступні в стандартній конфігурації (версія Ferrule) і конфігурації для монтажу на платах (версія PCB).

Запобіжники серії KLKD мають такі параметри:

- номінальна напруга: 125 В (за стандартом UL) і 250 В (за стандартом CSA),
- вимикальна здатність для змінного струму: 50 А;
- мініатюрні запобіжники:
 - номінальний струм: 30 А (за стандартом UL) і 60 А (за стандартом CSA),
 - номінальна напруга: 125 або 250 В (за стандартом UL) і 600 В (за стандартом CSA), вимикальна здатність для змінного струму: 10 кА;
- картриджні запобіжники:
 - номінальний струм: 30 А (за стандартом UL) і 60 А (за стандартом CSA),
 - номінальна напруга: 125–1 000 В (за стандартом UL) і до 100 В (за стандартом CSA), вимикальна здатність для змінного струму: 10, 50 і 100 кА.

Як приклад розглянемо швидкодіючі запобіжники серії KLKD класу Midget 10 × 38 mm Fuses [23] (рис. 28). Ця серія запобіжників знаходить застосу-

- номінальний струм: 0.1–30 А, причому при замовленні вказується його фактичне значення з пропонуваного ряду;
- номінальна напруга: 600 В як для змінного, так і для постійного струму;

Тимчасова затримка при струмі, що дорівнює 200% від номінального значення, становить щонайменше 10 с для запобіжників з номінальним струмом 3 А і щонайменше 12 с — для запобіжників з номінальним струмом понад 3 А.

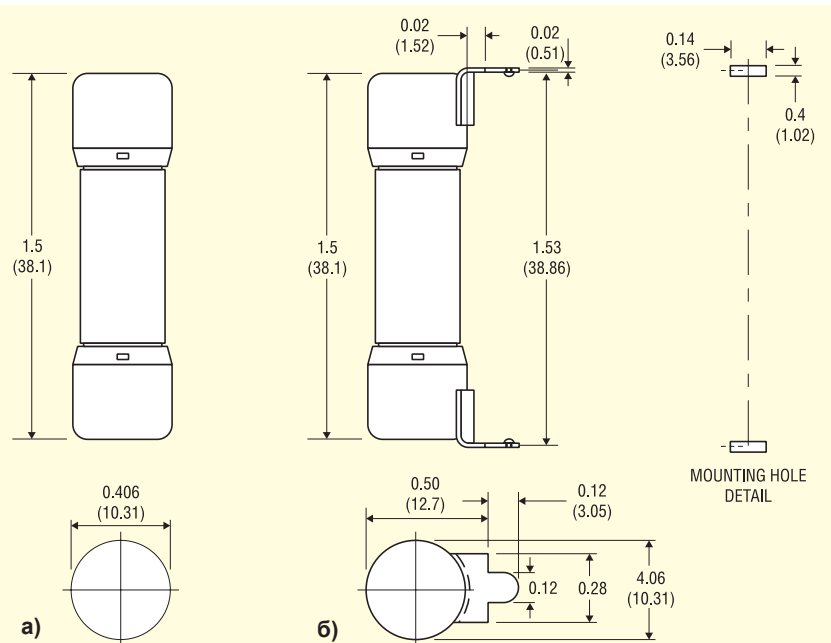


Рис. 29. Корпуси, у яких виготовляються запобіжники серії KLKD: версія Ferrule (а); версія PCB (б). розміри вказано в дюймах, а в дужках — у міліметрах

- вимикальна здатність для змінного струму становить 100 кА; для постійного струму — 10 кА (стандарт UL 248-19) або 50 кА (стандарт UL 248-14).

Для встановлення цих запобіжників рекомендовані тримачі серій LFPSM, LPSPM і L60030M.

Корпуси, у яких виготовляють запобіжники серії KLKD, показано на рисунку 29.

Запобіжники спеціального призначення (Semiconductor) (стандарти UL для цієї категорії запобіжників поки що відсутні) мають особливі характеристики та призначені для захисту спеціального електричного або електронного обладнання, що містить діоди, транзистори, тиристори, конденсатори, автоматичні вимикачі з вбудованими запобіжниками, паралельні кабелі тощо. Згодом ці запобіжники можуть бути визнані UL для використання як компонент обладнання.

Номинальний струм цих запобіжників досягає 6 кА, номінальна напруга 1000 В як змінного, так і постійного струму, а вимикальна здатність 200 кА.

Ця категорія містить такі серії запобіжників: KLC, LA15QS, LA30QS, LA50QS, LA60QS, LA60X, LA70QS, LA100P, LA120X, LA070URD, LA130URD, L15S, L25S, L50S, L60S, L70S, JLLS.

Запобіжники з неструмовим обмеженням

Запобіжники класу Н (відомі також як NEMA Class H, а іноді звані запобіжниками NEC або Code) відповідають стандартам UL 248-6, CSA C22.2 № 59.1.

Запобіжники цього класу фізично взаємозамінні із запобіжниками класів K1 і K5.

У цьому класі спочатку було два типи запобіжників: одноразові (невідновлювані) і поновлювані (самовідновлювані). Невідновлювані запобіжники можуть мати тимчасову затримку, яка становить щонайменше 10 с за струму, що дорівнює 200% від номінального значення. Відновлювані ж запобіжники наразі знято з виробництва.

Вставні запобіжники (плавкі вставки) відповідають вимогам стандартів UL 248-11, CSA C22.2, № 59.1, розраховані на номінальний струм 0-30 А, номінальну напругу 125 В змінного струму і мають вимикальну здатність 10 кА. Номінал відключення на запобіжнику не вказується.

Є два типи таких запобіжників: з цоколями Edison-base і Type S (S Plug).



Рис. 30. Запобіжники з цоколями Edison-base

Цоколь першого з них (рис. 30) має металеве різьблення і нагадує цоколь стандартної лампочки. NEC дозволяє використовувати запобіжники з цоколем Edison-base тільки для заміни запобіжників, що вийшли з ладу, і тільки за відсутності ознак втручання або перегорання. Доступні дві серії таких запобіжників: T00, T10.

Другий тип має неметалеву основу і не взаємозамінний із запобіжниками Edison-base. Для його використання в гнізді запобіжника Edison-base необхідний перехідник (адаптер) серії SAO. Щоб уникнути перезарядження адаптери мають три номінальних струмових діапазони: 10–15, 16–20 і 21–30 А. Доступні дві серії запобіжників Type S (S Plug): S00, S10.

Плавкі вставки можуть мати тимчасову затримку, у цьому разі вони повинні утримувати 200% номінального струму протягом мінімум 12 с.

Плавкі вставки можна використовувати, якщо напруга між проводами не перевищує 125 В, а між будь-яким проводом і загальним проводом — не більше 150 В. Це дає змогу використовувати їх у заземлених однофазних колах із напругою 120/240 В.

РЕКОМЕНДАЦІЇ ЩОДО ЗАСТОСУВАННЯ ЗАПОБІЖНИКІВ

Запобіжники з номінальними струмами 0.1–600 А

Якщо струми короткого замикання становлять менше ніж 100 кА і обладнання не потребує струмообмежувальних характеристик запобіжників класу RK1, то використання запобіжників се-

рій FLNR і FLSR_ID класу RK5 забезпечують цілком пристойні результати за їхньої нижчої вартості, ніж запобіжників класу PK1. Якщо струми короткого замикання перевищують 100 кА, обладнанню можуть знадобитися додаткові можливості обмеження струму запобіжниками серій LLNRK, LLSRK і LLSRK_ID класу RK1.

Швидкодіючі запобіжники серій JLLN і JLLS класу T, що мають малі габарити, кращі для захисту автоматичних вимикачів у литому корпусі, вимірювальних блоків та аналогічних пристроїв з обмеженим простором.

Запобіжники серій JTD_ID і JTD класу J з витримкою часу використовують у вузлах керування двигунами і трансформаторами, що вимагають економії місця.

Запобіжники класу CC/CD застосовуються в колах і панелях керування, де простір обмежений. Так, запобіжники серії CCMR цього класу оптимальні для захисту невеликих двигунів, а запобіжники серії KLDL — для силових трансформаторів і подібних пристроїв.

Запобіжники з номінальними струмами 601–6000 А

Для забезпечення надійного захисту більшості кіл загального призначення і кіл двигунів рекомендують запобіжники серії KLPC класу L, оскільки мають тимчасову затримку і кращі для таких високих номіналів струму.

Запобіжники, що відповідають вимогам до запобіжників з обмеженням струму, повинні мати маркування «Обмеження струму». На етикетках запобіжників мають бути зазначені клас запобіжника, назва або товарний знак виробника, номінальний струм, номінальна напруга змінного та/або постійного струму, а також номінальне значення вимикальної здатності.

Тримачі запобіжників і блоків запобіжників

Вибір тримача запобіжника (або блоку запобіжників) для конкретного застосування не менш важливий, ніж вибір самого запобіжника. Під час вибору тримачів необхідно враховувати номінальний струм і напругу запобіжника, вимикальну здатність, фізичні розміри, наявність індикації обриву тощо. Крім того, мають значення такі додаткові параметри: кількість полюсів, монтажна конфігурація і тип роз'єму.

Кількість полюсів кожного комплекту запобіжників визначається характеристиками кола. Більшість серій запобіж-

ників доступні в 1-, 2- або 3-полюсних конфігураціях, хоча деякі з них також доступні з чотирма або більше полюсами. Можливість об'єднання окремих блоків запобіжників у довші смуги залежить від доступного простору і типу дротів, що використовуються.

Залежно від конструкції блоку запобіжників слід під час його вибору звернути увагу і на те, як його встановлюють або вставляють у панель. Раніше блоки запобіжників просто угвинчували в задню частину панелі, але тепер у багатьох нових конструкціях забезпечено можливість їхнього монтажу на DIN-рейку, що дає змогу швидко встановлювати та знімати блоки з напрямних.

Для блоків запобіжників доступний вибір із трьох типів приєднання проводів:

- гвинт — для використання з плоскими наконечниками або кільцевими клемми;
- гвинт із притисною пластиною — для використання з твердим або багатожильним проводом без клеми; рекомендується для застосувань, де може мати місце вібрація;
- коробчатий наконечник — найміцніший із трьох варіантів; використо-

вується з усіма типами одножильних проводів, а також багатожильних проводів класу В і С.

Під час вибору тримача запобіжника або блоку запобіжників, необхідних для конкретного застосування, слід враховувати низку додаткових аспектів.

Приклади: блоки класу Н допускають використання запобіжників класу Н, класу К5 і класу R; блоки запобіжників Midget допускають використання запобіжників як M idget, так і класу CC/CD тощо.

Ось ще кілька прикладів: тримачі запобіжників як класу R, так і класу CC/CD мають функцію захисту, що запобігає встановленню запобіжника іншого класу або типу, фізичні розміри запобіжників класів J і T забезпечують те саме, запобігаючи встановленню запобіжників іншого класу.

Тримачі запобіжників класу Н підходять також для запобіжників RK5, RK1 і K1, K5.

За додатковою інформацією, а також з питань придбання продукції Littelfuse звертайтеся до її офіційного дистриб'ютора на території України — Компанії СЕА:

тел.: +38 (044) 330-00-88,
e-mail: info@sea.com.ua,
www.sea.com.ua

Література:

1. POWR-CARD Products. Technical Application Guide. Littelfuse.
2. www.littelfuse.com/klpc
3. www.littelfuse.com/klku
4. www.littelfuse.com/lcd
5. www.littelfuse.com/klmr
6. www.littelfuse.com/klmr
7. www.littelfuse.com/llnrk
8. www.littelfuse.com/llsrk
9. www.littelfuse.com/flnr
10. www.littelfuse.com/flsr
11. www.littelfuse.com/idsr
12. www.littelfuse.com/jls
13. www.littelfuse.com/jtd
14. www.littelfuse.com/ldfj
15. www.littelfuse.com/klkr
16. www.littelfuse.com/klmr
17. www.littelfuse.com/ccmr
18. www.littelfuse.com/jlln
19. www.littelfuse.com/jlls
20. www.littelfuse.com/slc
21. www.littelfuse.com/nln
22. www.littelfuse.com/nls
23. www.littelfuse.com/klkd

CN



Серії NTS/NTU

250-3200 Вт

Нове покоління інверторів з чистою синусоїдою

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

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



SEA

ІННОВАЦІЇ ТА
ЕФЕКТИВНІСТЬ



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

Модернізація силових модулів для підвищення густини потужності та терміну служби

Штефан Бушхорн (Stefan Buschhorn), Infineon Technologies
Клаус Фогель (Klaus Vogel), Infineon Technologies

Покращення теплових характеристик може бути досягнуто завдяки використанню «хвильової» концепції підключення базової плати силового модуля, навіть якщо всі інші елементи залишаються незмінними.

Електрифікація приводів великовантажних автомобілів створює безліч викликів для виробників силових напівпровідникових приладів. Однією з найскладніших вимог є підвищення стійкості до циклічних навантажень: цей показник багато в чому визначає термін служби силових модулів. «Хвильова» базова плата вдосконаленого корпусу EconoDUAL3 вже добре себе зарекомендувала: така структура заднього боку силового модуля значно покращує теплові характеристики системи охолодження з відкритим рідинним радіатором без зміни інших елементів конструкції модуля. Залежно від радіатора такий підхід дає змогу збільшити вихідний струм більш ніж на 20% або, відповідно, значно підвищити термін служби за заданого профілю навантаження.

ПОРІВНЯННЯ КОНЦЕПЦІЙ РАДІАТОРІВ

Для пасажирських електромобілів і електробусів рідинні радіатори вважаються стандартним рішенням, при цьому існують дві різні конструктивні концепції, показані на рисунку 1. Перший варіант — охолоджувальна плита закритої системи охолодження, в якій силовий модуль з термопастою встановлюється зверху на теплостік.

Чітко визначений тепловий інтерфейс «модуль-радіатор» дає змогу окремо легко оптимізувати температуру обох частин, а також використовувати стандартні компоненти системи охолодження. Однак підвищити ефективність відведення тепла можна за допомогою концепції «відкритої» системи, за якої задній бік силового модуля перебуває в безпосередньому контакті з рідиною. В останньому випадку теплові характеристики визначаються як комбінація параметрів тепловідведення і силового модуля, оскільки залежать від властивостей інтерфейсу між базовою платою і радіатором.

На рисунку 1б представлено модуль із «хвильовою» базовою платою. За такої концепції задній бік модуля розміщується у «відкритому» радіаторі. Хвильова структура збільшує площу поверхні та водночас підвищує турбулентність у рідині. Обидва ефекти знижують тепловий опір, що забезпечує зменшення температури напівпровідникових чипів порівняно зі звичайним конструктивом із плоскою базою. На противагу цьому стандартний силовий модуль із нанесеним інтерфейсним шаром термопасту встановлюється на монтажну площину закритого радіатора. До того ж площа поверхні, що охолоджується рідиною, та турбулентність визначаються тільки властивостями радіатора.

ЕФЕКТИВНІСТЬ ОХОЛОДЖЕННЯ В РІЗНИХ УМОВАХ

Порівняння продуктивності виконано для напівмостового модуля з номінальним струмом 900 А в корпусі EconoDUAL3. Для коректності порівняння обидва варіанти системи тестуються за різних струмів Irms і частоти перемикання 4 кГц. Вимірювання температури чипів виконано за допомогою тепловізора на спеціально підготовлених відкритих модулях, пофарбованих у чорний колір.

На рисунку 2 показано тепловий профіль відкритого модуля для двох різних концепцій охолодження за однакових умов експлуатації. Стандартний силовий ключ із плоскою базовою платою встановлено на закритому радіаторі, такий самий елемент із «хвильовою» базою працює на відкритому теплостіці. Перевага другого варіанта, що забезпечує явне зниження температури, очевидна.

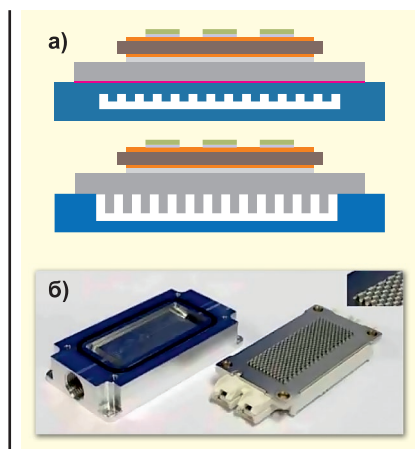


Рис. 1. Дві концепції радіаторів: силовий модуль на закритому (зверху) і відкритому (знизу) рідинному радіаторі (а); вильова технологія — базова плата силового модуля встановлена на відкритий радіатор (б)

Середня температура чипів T_{jav} визначена за тепловим профілем, використовується для подальшого аналізу. На рисунку 3 наведено значення T_{jav} для різних концепцій охолодження залежно від вихідного струму. Температура води на вході (+50 °C) показана горизонтальною лінією для індикації максимальних пульсацій T_j у кожному робочому режимі. І знову варіант із відкритим тепловідведенням і «хвильовою» базою забезпечує набагато менше нагрівання, яке додатково зменшується зі збільшенням об'ємної витрати рідини. За швидкості потоку 15 л/хв і $I_{rms} = 500$ А досягається зниження температури на 25 К. Своєю чергою, скорочуватимуться і пульсації T_j для заданого профілю навантаження.

Отримані результати дуже привабливі для великовантажних автомобілів, де максимальна робоча температура має бути обмежена, щоб уникнути великих градієнтів T_p , що призводять до зниження терміну служби. Як альтернатива рішення з «хвильовою» базою дозволяє збільшити вихідний струм до 30%, що також збільшує густину потужності.

Під час розгляду графіків може здатися, що підвищення швидкості потоку є хорошим рішенням, однак це досягається завдяки збільшенню перепаду тиску на тепловідводі. Зрештою необхідний ретельний аналіз системи охолодження, що дає змогу знайти оптимальний баланс між швидкістю потоку, перепадом тиску і тепловими характеристиками системи.

ПОКРАЩЕННЯ ПОКАЗНИКІВ НАДІЙНОСТІ

Ще один дуже важливий показник для транспортних застосувань — термін служби силових модулів. Насамперед це стосується міського транспорту, для якого характерна велика кількість стартів і зупинок, що вимагає від приводу високої надійності під час впливу циклічних імпульсів потужності (*Power Cycling, PC*). Характеристики стійкості силових модулів до термоцикування надаються виробником, проте слід оцінити використаний метод перевірки, оскільки він може істотно вплинути на результати випробувань.

Оскільки концепція «хвильової» бази вимагає доопрацювання тільки нижньої сторони модуля, загальна стійкість до РС у цьому разі така сама, як і у стандартних компонентів. З урахуванням цього покращення теплових характеристики, як описано вище, призводить до зменшення пульсацій температури і, отже, до збільшення терміну служби для заданого профілю навантаження.

Перше уявлення про переваги нової концепції можна отримати, зробивши просте порівняння: максимальний градієнт температури визначається температурою води на вході системи та нагріванням чипа за заданого струму I_{rms} . Якщо припустити, що це єдина пульсація температури на одному циклі навантаження, то можлива кількість циклів безпосередньо визначається кривою РС.

На рисунку 4 показано підсумковий відносний термін служби модулів для різних концепцій охолодження. Виходячи з цих даних за вихідного струму 500 А термін служби може бути підвищено у 2–5 разів. Водночас вихідний струм може бути збільшений від 20% більш ніж до 30%, залежно від швидкості потоку для одного і того ж конструктиву без шкоди для надійності. Це дуже перспективні оцінки, особливо з урахуванням того, що сам силовий модуль, його електрична схема і плата драйвера взагалі не змінюються. Єдина

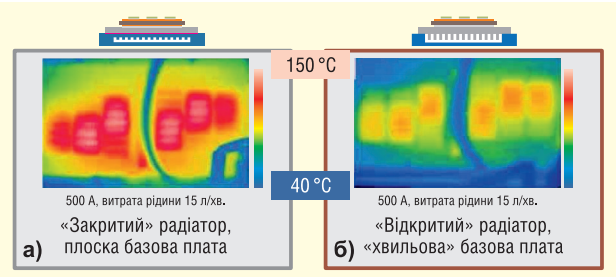


Рис. 2. Вимірювання температури закритого радіатора з плоскою базовою платою (а) і відкритого радіатора з хвильовою базовою платою (б). В обох випадках струм $I_{rms} = 500$ А, витрата рідини — 15 л/хв

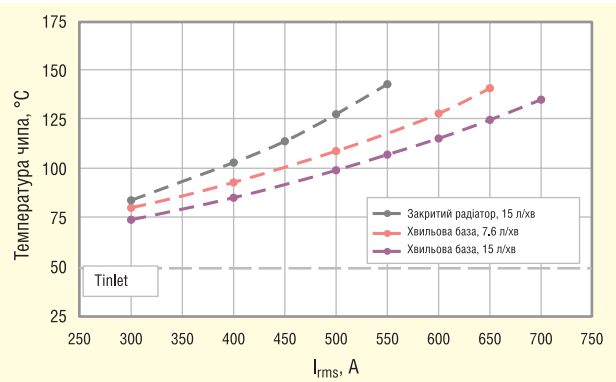


Рис. 3. Температура чипа (вимірювання за допомогою тепловізора) закритого радіатора за швидкості потоку 15 л/хв і відкритого радіатора, з'єднаного з «хвильовою» базою модуля, за двох різних швидкостей потоку

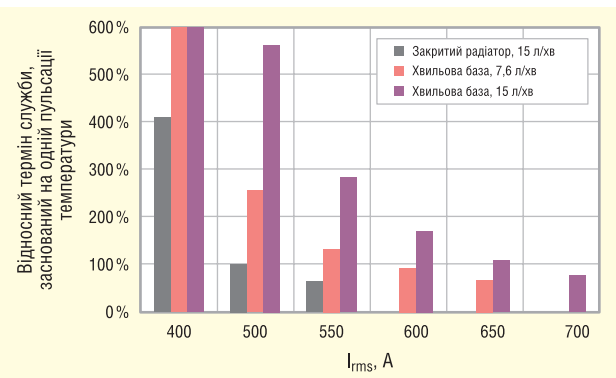


Рис. 4. Відносний термін служби, передбачається тільки одна пульсація температури при заданому струмі I_{rms}

відмінність полягає в переході від плоскої базової плати до «хвильової» з відкритим тепловідведенням.

Підбиваючи підсумок, можна вважати доведеним, що «хвильова» технологія забезпечує явну перевагу для конкретного застосування. Завдяки «хвильовій» конструкції заднього боку силового модуля досягається помітне поліпшення теплових характеристик, водночас усі інші елементи конструкції залишаються незмінними. Це може бути використано для збільшення вихідного струму більш ніж на 20% або для значного підвищення ресурсу модуля за заданих умов експлуатації. Останнє особливо привабливо для застосувань із високим циклічним навантаженням, як-от електробуси або електричні розвізні вантажівки, де режим «старт-стоп» висуває високі вимоги до надійності силового модуля.

Безпечна система з'єднань для тягових батарей VCON+

Система високовольтного підключення VCON+ від TE Connectivity є універсальним, компактним, надійним і безпечним рішенням для з'єднання елементів тягової батареї та точок підключення високої напруги поза батареєю. Вона безпечна для дотиків у несполученому і сполученому стані. Система VCON+ забезпечує міцне з'єднання і надзвичайно низький контактний опір.

ЦІЛІ РОЗРОБКИ VCON+

Контакти акумулятора в електрифікованому транспортному засобі мають відповідати дуже високим вимогам. Тому метою проектування стало забезпечення роботи за постійного струму 400 А з короткими піками до 1200 А та напругою до 1000 В за типових температур $-40...+80$ °С. Основне завдання полягало в тому, щоб досягти дуже низького контактного опору з мінімальними втратами потужності. Контакти VCON+ мають максимальний опір 10 мкОм. Роз'єми модулів забезпечують вібростійкість 3-го рівня (LV214, SG 3) відповідно до специфікації випробувань виробника LV215.

Система з'єднань такого типу передбачає легке та безпечне складання. Залежно від транспортного засобу та акумулятора система повинна мати гнучку конфігурацію. Це стосується з'єднань, що мають геометричні обмеження, а також з'єднань різних типів провідників. Крім того, з'єднання модулів повинні відповідати вимозі до терміну служби в 10 років (або 300 000 км) і витримувати до 25 циклів сполучення болтами. В електрифікованому транспортному засобі навантаження під час заряджання підвищує вимоги до надійності компонентів батареї, і час заряджання має бути включено в загальний час роботи.

КОРОТКИЙ ОПИС СИСТЕМИ VCON+

Фактичне з'єднання елементів досягається за допомогою плоских алюмінієвих шин, що контактують усередині модуля (рис. 1). Кожен модуль підключається до системи батарей через плоскі болтові з'єднання, виготовлені

з міді. Вони об'єднують нижню частину гальванічного мідного інтерфейсу з різьбовою вставкою із загартованої сталі. Інтерфейс з'єднань є вставним болтом, з'єднаним із багатожильним мідним дротом (високовольтним кабелем).

Під час встановлення VCON+ контакт високовольтного кабелю сполучається з мідним інтерфейсом (рис. 2). У разі коректного з'єднання відбудеться фіксація кабелю на шині для зручності подальшого монтажу.

Вогнестійкість пластмасових деталей відповідає стандарту HB, захист V0 надається за запитом. Форма корпусу дає змогу оптимально використовувати доступний монтажний простір (рис. 3), забезпечуючи водночас максимальну безпеку. Усі струмопровідні частини укладені в оболонки із силіконовим покриттям або в оболонки зі скловолокна, стійкого до високих температур. З'єднання між алюмінієвими шинами та одножильними мідними інтерфейсами створюються за допомогою різних технологій зварювання та скріплення.

Стяжний болт М5, який використовується для затягування круглих мідних інтерфейсів, був розроблений компанією TE Connectivity із загартованого матеріалу. Головка болта покрита пластиком і затягується стандартним внутрішнім шестигранником. Болт перетинає обидва круглих інтерфейси з плоскою монтажною поверхнею, а потім вкручує різьбову гільзу через нижню частину болтового кінцевого з'єднувача VCON+ (рис. 4).

У цій конструкції механічний натяг застосовується тільки в системі «сталь-сталь», повністю відокремлений від електричного з'єднання на шляху «мідь-мідь» (рис. 5). Для вирішення різних завдань випускаються мідні шини найрізноманітнішого профілю, включно з прямими

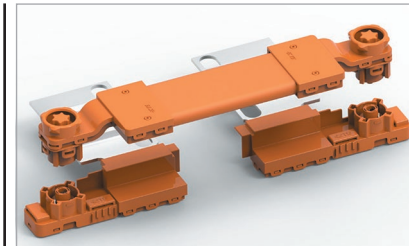


Рис. 1. Система VCON+



Рис. 2. Інтерфейс VCON+ спочатку сполучається, замикається і потім закріплюється болтами

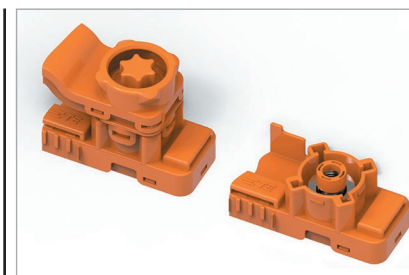


Рис. 3. Інтерфейс VCON+: ліворуч – болтова частина; праворуч – контактна нижня частина з видимим круглим інтерфейсом і різьбовою втулкою в центрі

або кутувими версіями та опціональними зміщеннями. Контакти на нижньому боці з'єднання мають різне маркування і можуть повертатися з кроком 90° для запобігання випадковому сполученню або неправильному підключенню схожих з'єднань на мідній шині.

БОЛТОВЕ З'ЄДНАННЯ

Оскільки жоден роз'ємний інтерфейс не забезпечував достатньо

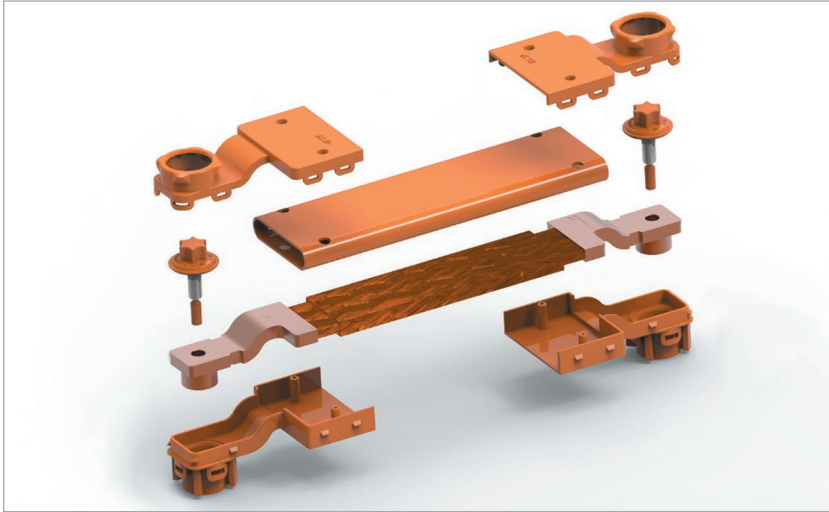


Рис. 4. Покомпонентне зображення з'єднання BCON+

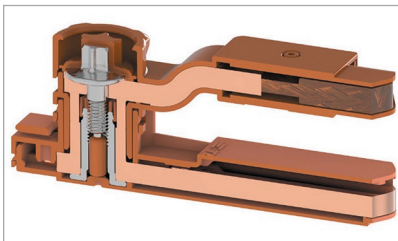


Рис. 5. Принцип роботи болтового з'єднання окремого від електричного тракту

низького опору контакту, було обрано болтове кріплення. Це забезпечило необхідні характеристики електричного з'єднання в умовах вібрації (за сили струму 400 А і необхідного опору < 10 мкОм). За допомогою болта М5 досягається необхідна висока сила контакту. Верхня і нижня частини електричного контакту складаються з гальванічної міді з плоским кільцевим профілем. Така геометрія збільшує площу поверхні електричного контакту. Конструкція болта враховує різні коефіцієнти теплового розширення міді та сталі, що призводить до мінімальної втрати крутного моменту після впливу довкілля за низьких (-40 °С) і високих (+140 °С) температур. Під час випробувань на вплив навколишнього середовища відповідно до стандарту LV215 болтові з'єднання BCON+ зберігали

заданий момент повторного затягування до кінця терміну служби, тим самим демонструючи функціональну безпеку.

ВАРІАНТИ КОНТАКТІВ

Система BCON+ призначена для провідників перетином 16–100 мм². Кілька геометричних варіантів показано на рисунку 6. Можливі з'єднання з круглими одножильними провідниками, багатожильними провідниками (круглими та плоскими), а також мідними плоскими контактами (прямими та зміщеними). Асортимент доповнюють кріпильні застискачі та захисні кришки від механічного стирання.

Завдяки надзвичайно компактним розмірам усі компоненти системи оптимально збігаються один з одним. Це стосується і двох кільцевих профільованих контактів. В ідеальному випадку кільцеві контакти інтегровані в мідний плоский контакт. Однак вони також можуть бути приварені до мідного контакту як окремі деталі або просто надіті на нього. Від обраного методу залежить величина опору контакту. Як і мідні шини, контактні кільця виготовляють із суцільної міді. На область контакту наноситься гальванічне покриття спочатку з нікелю, потім зі срібла, причому нікель служить дифузійним

бар'єром, а захищене від потьмяніння срібло знижує контактний опір і забезпечує термін зберігання компонентів до одного року після виробництва. У процесі виготовлення мідні плоскі контакти тверднуть за певного навантаження. Варіанти плоских мідних контактів зі зміщенням призначені для особливих умов компонування або компенсації зміщень.

ПЕРСПЕКТИВИ

Фактичний контактний опір у 10 мкОм є чудовим досягненням. Він складається, головним чином, із фізично неминучих втрат, спричинених електричним опором міді (приблизно 7 мкОм) та меншою мірою — опором між двома контактами з кільцевим профілем (близько 3 мкОм). Також можуть бути реалізовані додаткові вимоги (наприклад, захист від бризок води). Крім того, система BCON+ може бути масштабована для більш високих або низьких значень струму.

ВИСНОВОК

BCON+ від TE Connectivity є високофункціональною системою болтового кріплення з низьким опором для надійного і повністю безпечного для дотиків монтажу навіть в умовах обмеженого простору. Низький контактний опір у поєднанні з високою міцністю роблять болтове з'єднання BCON+ надійним і безпечним рішенням для акумуляторних модулів і точок підключення високої напруги поза батареєю.

Гнучкість варіантів з'єднання (різні форми мідних плоских контактів і різні варіанти провідників) дає змогу використовувати різні конфігурації та геометричні формати контактів в одній системі. Різні варіанти маркування і поворот з кроком 90° забезпечують безпечно складання. Сенсорна безпека відповідає стандарту IPxxV і захищає користувачів від дотику до частин, що перебувають під напругою, на всіх етапах життєвого циклу автомобіля. **СН**

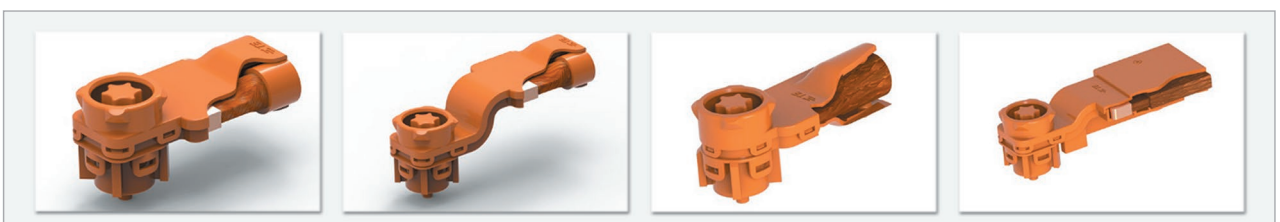


Рис. 6. Різні з'єднання провідників і геометричні варіанти

ЕЛЕКТРОННІ КОМПОНЕНТИ

від провідних виробників світу,
зі складу та під замовлення

Гнучкі ціни



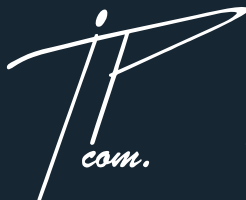
ТОВ "АДС ТІМ"

Україна, 03680, м. Київ
пров. Ю. Матушак, 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

ТОВ «АЙПІ-КОМ»

Гуртове постачання електронних компонентів, плівкових клавіатур, світлодіодної комунікаційної продукції, роз'ємів тощо

☎ ill1982
✉ ill82@ukr.net
🌐 ip-com.net.ua

☎ моб.: 098-980-48-38

Altway Electronics, Inc
5970 Unity Drive Suite E,
Norcross, GA 30071, USA
www.altwaygroup.comОПЕРАТИВНІ ПОСТАВКИ
ЕЛЕКТРОННИХ КОМПОНЕНТІВТел. 044-3-922-911
E-mail: sales.int@altwaygroup.com

www.asanza.com

Китай «АНЬЗА»

- ◆ Силова електроніка
- ◆ Мікроелектроніка витратні матеріали
- ◆ Матеріали з металу
- ◆ Керамічні вироби
- ◆ Промислове обладнання

Соня Су

Tiedong Dist, Anshan, China
☎ +86-15042320637
✉ sonia1102@163.com
☎ +86-15042320637
☎ sonia11020728

ТОВ «НВП АСТЕРА»

директор ТЕРЕЙКОВСЬКИЙ
Артем СеменовичФеритові осердя,
аксесуари, індуктивні елементи61072, 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

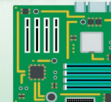
SONISN Amphenol LTW TE DARKCO OSRAM SAMSUNG MORNSUN

- Електронні компоненти
- Світлодіодне освітлення
- Друковані плати
- Контрактне виробництво

☎ bis_electronics ☎ @BISelectronic bis@bis-el.kiev.ua | bis-el.com
+38 (044) 490-35-99

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.uaтел./факс: (+380) 44-501-9335
(+380) 67-508-0229
E-mail: sales@temys.kiev.uaWINTEX (044) 5036112
(067) 2983455
Професійний ремонт (050) 2665517

- Електронні компоненти
- Модулі та датчики для розробників електроніки
- Модулі для ремонту ТВ, комп'ютерів, планшетів, комп'ютерів
- Роз'єми та конектори
- Розробка елементів альтернативної енергетики
- Ремонт усіх видів електроніки та побутової техніки



www.wintex.com.ua

03150, Київ, вул. Велика Васильківська, 80

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, 528-3656http://plata.com.ua
order@plata.com.ua



38 (044) 239-96-06
38 (044) 498-01-68

www.grandelectronic.com
office@grandelectronic.com

Бульвар Вацлава Гавела, 8
м. Київ, 03124

Прямі поставки від виробника



Комплексні поставки
електронних комплектуючих

- Автоматика
- Датчики
- Джерела живлення
- Компоненти і модулі СВЧ
- Мікросхеми
- Рознімачі
- Реле
- Системи бездротового зв'язку
- Системи відображення інформації
- Хімічні джерела струму

ТОВ "ДЕЛЛІ"
**МОНТАЖ SMT ТА SHT
ЕЛЕКТРОННИХ
КОМПОНЕНТІВ**

79060, м. Львів,
вул. Наукова, 5-А, корп. Е
Тел.: +38 (032) 245-75-72
+38 (067) 672-27-40
E-mail: basarab@delly.info

Незалежний постачальник
електронних компонентів

- Швидкі терміни поставок (до 7 днів)
- Безкоштовна доставка по Україні
- Більш ніж 6 млн. товарів в каталогі

www.evocom.ua



email: info@evocom.ua
тел. (044) 520-19-13



ДРУКОВАНІ ПЛАТИ

ТЕРМІНОВЕ ВИРОБНИЦТВО ВІД 1-ГО ДНЯ!

Одно-, дво-, багатощарові друковані плати,
плати на алюмінієвій основі з технологічними
показниками відповідно до вимог
міжнародного стандарту IPC-A-600

Мембранні клавіатури

- мембранні клавіатурні панелі
- лицеві і накладні панелі

www.pcbetal.com

ТОВ «PCB-ETAL»
28000, Кіровоградська обл.,
м. Олександрія, вул. Заводська, 1

Для замовлення:
Тел.: +38 (050)268-95-73
e-mail: pcb@etal.ua

3 питань ціноутворення:
Тел.: +38 (066)872-60-65
e-mail: sb10@etal.ua



дистрибуція електронних компонентів
контрактне виробництво

08298, смт. Коцюбинське
вул. Пономарьова, 7

www.eurocom-c.com

Тел. +38 044 33 44 575

E-mail: info@eurocom-c.com



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

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

Радіодеталі зі складу – 35 000 найменувань!



Усе для розробки,
ремонтів та виробництва
електроніки!

Від резистора до мікропроцесора, радіомонтажний
інструмент та вимірювальні прилади, підбір аналогів
та консультації.

www.ims.kh.ua тел.: (073) 757 25 22 (23), (098) 028 89 17
e-mail: imskharkov@gmail.com (057) 732 04 50, 732 01 76

K206

Електронні компоненти

Все для виробництва
та ремонту зі складу
та на замовлення

www.k206.net

+38 096 77-99-665



we who are not as others



Телефон:
044 501 90 90

Web:
info@cogito.com.ua



ТОВ "КОМПАНІЯ ОЛЬВІЯ"
Корпуса пластиків. Клавіатура плівкова.
Кабельно-провідникова продукція.

[044].599.7550 [044].503.3323 KORPUS.KIEV@GMAIL.COM
IC# #: 268-782-777
03113, м. Київ, вул. Дружківська, 12 А korpus.kiev.ua



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

Авторизований дистриб'ютор
NXP, AMPLEON, WeEn в Україні

Microdis Electronics GmbH
Rheinauer Straße 1
68766 Hockenheim
Germany

MICRODIS

Дистриб'ютор
електронних
компонентів

Роман Прокопець
Менеджер з продажу

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

www.microdis.net



MICROCHIP



microchip.com

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

Pcb24

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

За 24 години виготовимо
Ваше замовлення

pcbprint24@gmail.com
068 614 38 28

Власне виробництво у м. Львів

Altium Designer
Altium Designer — комплексне
проектування друкованих плат
та радіоелектронних засобів

ltb soft
sales@ltbsoft.com.ua
www.ltbsoft.com.ua
Партнер Altium в Україні



PCB DESIGN

http://melsys.com.ua



- контрактне виробництво електроніки
- монтаж і виготовлення друкованих плат
- виготовлення трафаретів

ТОВ "Меліс"
Київ, вул. Новозабарська, 2/6, оф. 204
info@melsys.com.ua

+38 044 578 18 15
+38 096 926 70 69
+38 063 435 68 10

Партнерство
в електроніці



03142, м. Київ, вул. Омеляна Прицака, 4, офіс 101
Тел.: 044 392-93-86, Факс: 044 392-93-87
www.micropribor.com.ua sales@micropribor.com.ua

www.otladka.com.ua

- Автоматизований SMD монтаж друкованих плат
- Фрезерування панелей, корпусів та пластику
- 3D-друк

+38 050 447-12-58 +38 098 661-97-97

ФОП Сарієв Р.Б.

КОНТРАКТНИЙ
ВИРОБНИК ЕЛЕКТРОНІКИ
ПІД ЗАМОВЛЕННЯ



PCBA

+38 044 338 97 73
info@pcba.com.ua
pcba.com.ua



Зручний онлайн PCB-калькулятор
мінімальне замовлення - 5 шт.

Постачання:

- друковані плати FR-4;
- алюмінієві друковані плати;
- трафарети для паяльної пасти;
- паяльна паста;
- припій.

Сайт: pcbтut.com
e-mail: pcbтut@pcbтut.com
+38 (067) 674 99 14

вбудовані процесорні плати

COMexpress
Qseven
PC-104
ETX



промислові комп'ютери та системи

www.proxis.ua
+380(44)4675977
+380(44)5995977

Пі
СМ

RADIODETALI

- Паяльне обладнання
- Вентилятори
- Трансформатори
- Реле
- Конденсатори
- Резистори
- Світлодіодне обладнання
- Акумулятори
- Блоки живлення
- Мобільні аксесуари

КУПУЙ ВИГІДНО

radiodetali.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
- вимірвальне обладнання
- блоки живлення
- рознімачі
- інструмент
- пасивні компоненти
- батареї 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

www.rainbow.com.ua

Rich El
electronic components

ТОВ "РИЧЕЛ"

Поставки електронних компонентів
Асортимент зі складу та технічна підтримка

вул. Семена Скляренка, 9, оф. 401
04073, м. Київ
info@rekkon.kiev.ua
<http://rekkon.kiev.ua>

тел.: +38 (044) 490-92-50
факс: +38 (044) 494-27-08

Промислові та IT-шафи, щити, електронні системи, системи контролю мікроклімату, струмозрозподільче обладнання, всепогодні шафи та комплексні рішення для ЦОД, ПЗ EPLAN

Ріттал ТОВ · вул. Київська, 6В, 08132, Вишневе, Київська обл.
Тел.: +380 (44) 536 99 44 · E-mail: office@rittal.com.ua
www.rittal.com.ua

ENCLOSURES POWER DISTRIBUTION CLIMATE CONTROL IT INFRASTRUCTURE SOFTWARE & SERVICES

FRIEDHELM LOH GROUP

SEA ІННОВАЦІЇ ТА ЕФЕКТИВНІСТЬ

м. Київ, вул. Краківська 13-Б
тел.: +38 (044) 330-00-88
sea.com.ua, info@sea.com.ua

Постачання: Електронні компоненти • Джерела живлення • Світлодіодна продукція та оптоелектроніка
Індикатори, дисплеї • Обладнання для енергетики • Електротехнічна продукція • Кабельно-провідникова продукція • Обладнання для промислової автоматизації • Бездротові компоненти вимірвальні прилади
Паяльне обладнання і матеріали для пайки • Сонячна енергетика

Виробництво: Світлофори та технічні засоби управління дорожнім рухом • Автоматизована система обліку та контролю енергоресурсів • Паркувальне обладнання і системи • WIM - системи динамічного зважування транспорту • Світлодіодні екрани та медіафасади SEA • Система керування міським освітленням
Комплексна система диспетчеризації ліфтів • Джерело безперебійного живлення

Послуги: Великовузлове складання обладнання • Проектування друкованих плат
Виробництво друкованих плат • Контракне виробництво електроніки • SMD і DIP монтаж компонентів • Комерційні розробки • Проектування, монтаж, модернізація, технічне обслуговування паркувальних комплексів, світлофорних та WIM об'єктів

Харків: kharkiv@sea.com.ua Дніпро: dniipro@sea.com.ua Львів: lviv@sea.com.ua

Semisvit
Create with us

ТОВ "СЕМІСВІТ"
вул. Б. Хмельницького, 16-22, оф. 504-Г
01601, м. Київ, Україна
тел./факс: +380 44 586-2580
www.semisvit.com.ua
info@semisvit.com.ua

Електронні компоненти зі всього світу.
Створітьте 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



ЛИВАРНИЙ ЗАВОД «СТОЛИЧНИЙ»

Перший український
виробник припоїв
з флюсом та без флюсів
за європейськими
стандартами



e-mail: office@lzs.com.ua
тел.: +38067-594-60-02, +38067-621-70-77

LZS.COM.UA

Електронні компоненти Рознімачі З'єднувачі

ТЕХПРОГРЕС
www.tpss.com.ua

ТОВ «КП «Техпрогрес»
04070, м. Київ,
вул. Ігорівська, 8/10-А, оф. 38
(044) 461-91-00

ELFA DISTRELEC
ПОСТАВКИ ЕЛЕКТРОННИХ КОМПОНЕНТІВ
ЗІ СКЛАДУ У ЄВРОПІ.

ТОК ЕЛЕКТРОНІКС
ОФІЦІЙНИЙ ДИСТРИБ'ЮТОР В УКРАЇНІ

04080, м. Київ
вул. Вікентія Хвойки, 18/14
склад 10/8

www.distrelec.biz
e-mail: ula@tok-el.com
oksana@tok-el.com

Тел. +38 066 781 66 11
+38 093 896 40 88

PHOENIX CONTACT

phoenixcontact.com

КОНТРОЛЬНО-ВИМІРОВАЛЬНІ ПРИБОРИ
ЮНІТЕСТ
ТЕХНІКА

ТОВ «ЮНІТЕСТ»
вул. Олесь Гончара, 6
04053, м. Київ, Україна
тел: +38 (044) 272-60-94
тел./факс: +38 (044) 272-60-95
e-mail: web@unitest.com
http://www.unitest.com

КОНТРОЛЬНО-ВИМІРОВАЛЬНІ ПРИБОРИ
АВТОРИЗОВАНИЙ ДИСТРИБ'ЮТОР В УКРАЇНІ
продаж • навчання • сервіс

**KEYSIGHT
TECHNOLOGIES**
Авторизований дистриб'ютор

НВП ТЕХНОСЕРВІСПРИВІД ВСЕ ДЛЯ СИЛОВОЇ ЕЛЕКТРОНІКИ ТА ЕЛЕКТРОТЕХНІКИ



Діоди та містки,
діодні, тиристорні, IGBT модулі,
силові напівпровідники (**SEMİKRON**),
конденсатори косинусні, імпульсні, моторні
(**ELECTRONICON**)

Продаж, ремонт перетворювачів частоти,
пристроїв плавного пуску (**DANFOSS**)

Для пошти: 04211, Київ-211, а/с 141
Тел./факс: (044) 458-47-66, 456-19-57
E-mail: tsdrive@ukr.net, Web: www.tsdrive.com.ua

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
Технологічне обладнання, інструменти, матеріали
Комплектуючі для Hi-Fi та Hi-End

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

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

ЮСТАС

Електронні компоненти провідних світових виробників:
конденсатори всіх типів, транзистори, тиристорні,
мікросхеми, діоди, діодні мости, кварци,
індикаторна продукція всіх типів, вентилятори,
механічні елементи, кабельна продукція

justas@ipm.lviv.ua
justas_k@ukr.net

Магазин "Електронних компонентів"
79018, м. Львів, вул. Героїв УПА, 40,
м/ф (032) 237-31-82, (032) 238-94-41
понеділок - субота з 10.00 до 18.00

http://justas-electronics.com.ua
+38 (093) 020-40-51

Київ Травень 27-29
Україна 2025



Виставка систем охорони та безпеки

Expert Security

БЕЗПЕКА ЗОВСІМ ПОРЯД



МІСЦЕ ПРОВЕДЕННЯ:
м. Київ, Броварський пр-т, 15
станція метро «Лівобережна»



+38 (050) 403-66-91

+38 (050) 770-36-75



expert@iec-expo.com.ua



www.expert-security.com.ua



ВИСТАВКИ 2024

Назва	Сайт	Організатор	Місто	Дата проведення*
Kyiv Maker Faire	https://kyiv.makerfaire.com/	ГО «Мейкер Хаб»	Київ	02.03.2024
GreenExpo	www.greenexpo.com.ua	Євроіндекс	Київ	23.05–24.05.2024
Міжнародний промисловий форум	www.iec-expo.com.ua/pf-2024.html	МВЦ	Київ	28.05–30.05.2024
Addit EXPO 3D	www.iec-expo.com.ua/addit-2024.html	МВЦ	Київ	28.05–30.05.2024
Expert Security	https://expert-security.com.ua/	МВЦ	Київ	28.05–30.05.2024
SECURITY 2.0	www.bezpeka.ua	Євроіндекс	Київ	02.10–03.10.2024
ELECTRO INSTALL	www.iec-expo.com.ua/ei-2024.html	МВЦ	Київ	15.10–17.10.2024
E-Comps+DigiTec	www.iec-expo.com.ua/ecom-2024.html	МВЦ	Київ	15.10–17.10.2024
EcoEnergy Expo	www.iec-expo.com.ua/ee-2024.html	МВЦ	Київ	15.10–17.10.2024
Енергетика в промисловості	www.iec-expo.com.ua/ep-2024.html	МВЦ	Київ	15.10–17.10.2024

* Інформація отримана від організаторів виставок. Можливі зміни в залежності від ситуації.

РОЗМІРИ РЕКЛАМНИХ БЛОКІВ

1 сторінка (200×270 мм)*
 2/3 сторінки (112×240 мм)
 1/2 сторінки (170×120/83.5×240 мм)
 1/3 сторінки (54×240/112×120/170×80 мм)
 1/4 сторінки (112×100 мм)
 1/6 сторінки (54×120/112×60/127×55 мм)
 «Візитка» (80×40 мм)

* Для усунення неточностей при обрізанні, розмір реклами, яка подається, повинен бути 210×280 мм (дообрізний формат з урахуванням «вильотів» по 5 мм з кожного боку, які краще заповнити основним фоном реклами). Значимі символи (текст, логотип та інші елементи оформлення, які гарантовано не повинні потрапити під обрізку) не повинні підходити до краю сторінки менш ніж на 10 мм (післяобрізний формат сторінки 200×270 мм).

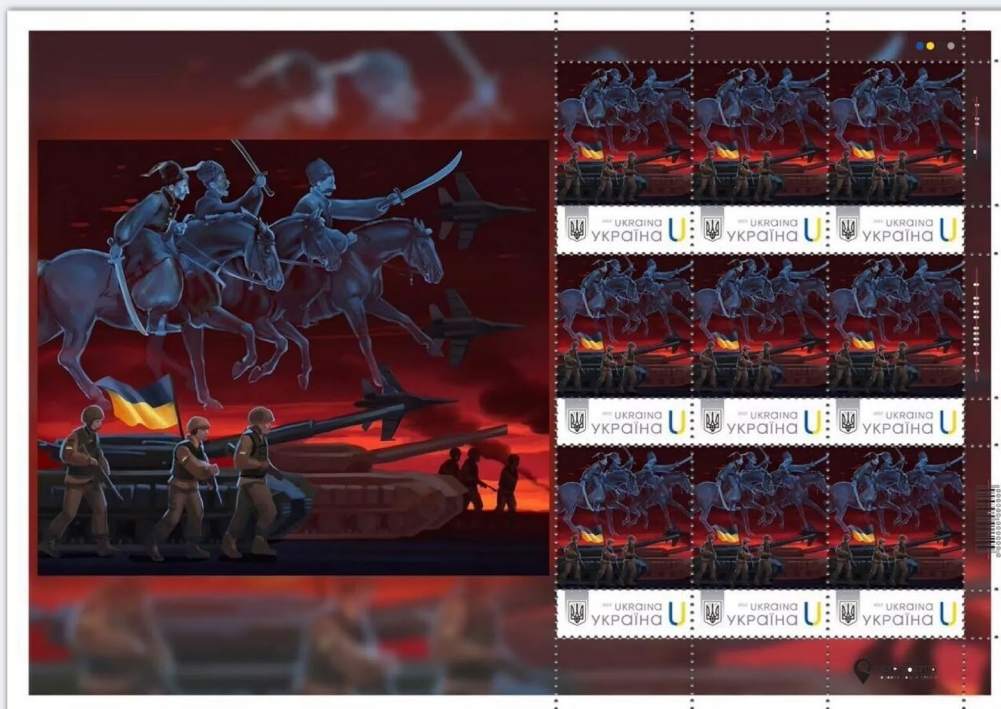
Редакція журналу «CHIP NEWS» приймає до розміщення тільки повнокольорові рекламні блоки, розміри яких повинні в точності відповідати розмірам, наведеним у таблиці.

Текст реклами повинен бути виключно українською мовою.

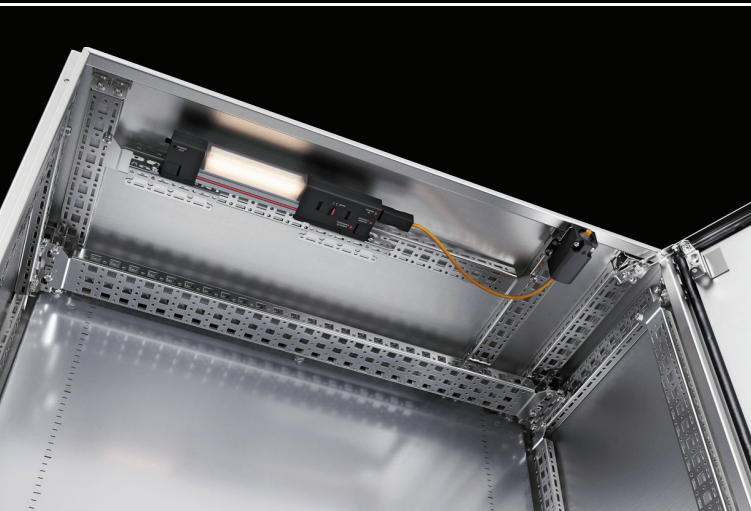
ВИМОГИ ДО РЕКЛАМНИХ І АВТОРСЬКИХ МАТЕРІАЛІВ

Рекламні матеріали приймаються **тільки українською мовою в форматах «.eps» або «.tif» (300 dpi)**. Кольорова модель — **СМΥК**. Сумарний процент фарб — не більше 300%. Якщо в форматі «.eps» є впроваджені растрові зображення, вони також повинні мати роздільну здатність 300 dpi і кольорову модель СМΥК. **Всі шрифти обов'язково повинні бути переведені в криві.**

Авторські матеріали. Текст статті приймається в форматі «.doc» (Microsoft Word). Всі рисунки повинні бути підготовлені **тільки в форматах «.eps»**, фотографії — в форматі **«.tif» (300 dpi)**, кольорова модель — **СМΥК** і надані окремими файлами. 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».



Компактні та розподільчі шафи AX та KX з нержавіючої сталі



Швидкий внутрішній монтаж без механічної обробки за допомогою системних аксесуарів



Широкий асортимент аксесуарів з нашої модульної системи



Високий ступінь захисту (до IP 66/IK 10) завдяки тому, що кромка корпусу має плоску конструкцію країв згину



Цифрова "кишеня" електромонтажних схем **Rittal ePOCKET** для доступу до постійно оновлюваної документації машин і устаткування

Щоб дізнатись більше про цей продукт, тисніть кнопку та переходьте за посиланням

rittal.com.ua



наші контакти: office@rittal.com.ua ▪ 044 536 99 44

ENCLOSURES

POWER DISTRIBUTION

CLIMATE CONTROL

IT INFRASTRUCTURE

SOFTWARE & SERVICES

FRIEDHELM LOH GROUP



НВП «ТЕХНОСЕРВІСПРИВІД»

Авторизований сервіс-партнер Danfoss Drives в Україні

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



Офіційний представник в Україні

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



Сонячні інвертори

1500 Vdc

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

3-рівневі
силкові модулі та збірки:

SEMITOP

MiniSKiiP

SKiM 4

SEMiX 5

SEMITRANS 10

IPM SKiiP4

2L і 3L інвертори 20 кВт – 1,5 МВт

