

CHIP NEWS



Якісний високовольтний інструмент з Тайваню

Pro'sKit®



- ПЛІС сімейства MAX10 ... стор. 12
- Парк All Electric Society ... стор. 22
- Універсальне ДБЖ ... стор. 24

- Передові матеріали для ДП ... стор. 30
- Захист тестованого пристрою ... стор. 46
- Партнерство заради стабільності ... стор. 50

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

APM32 MCU  ARM Cortex  BLE SoC

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

ПОБУТОВА
ЕЛЕКТРОНІКА

ПРОМИСЛОВІ
ЗАСТОСУВАННЯ

МЕДИЧНЕ
ОБЛАДНАННЯ

АВТОМОБІЛЬНА
ЕЛЕКТРОНІКА

РОЗУМНИЙ
ТРАНСПОРТ

РОЗУМНА
ЕНЕРГІЯ



**Geehy за
роки існування**

20 років досвіду в розробці мікросхем

450 мільйонів мікросхем щорічно поставляється

4 офіси
(1 північноамериканський, 3 офшорні)

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

APM32 Загальний MCU промислового класу

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

Bluetooth Low-Energy SoC

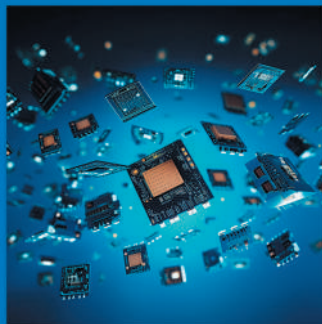
- На основі ARM Cortex-M4F і двоядерної архітектури
- Створить функцію бездротового зв'язку з найнижчою вартістю BOM
- Висока чутливість, високий рівень безпеки, низьке енергоспоживання
- Високи радіочастотні характеристики, ефективність захисту від завад
- Кращий досвід роботи з користувачем завдяки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

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

№ 03 (223), 2023 р.

Науково-технічний журнал
Видається з 2001 р.
ТОВ «Булавів-Посад л.т.д.»Зареєстрований
Міністерством юстиції України.
Свідоцтво про державну реєстрацію
друкованого засобу масової
інформації
Серія КВ № 25055-14995Р
14.12.2021 р.**Головний редактор:**Сірич О. В.
E-mail: editor@chipnews.com.ua**Редакційна колегія:**Войналович М. Ю., Крючатов С. Д.,
Кунчак Н. К., Кураєв П. П.,
Макаренко В. В., Мовчанюк А. В.,
Першин М. О., Поліщук С. Й.,
Рентюк В. К., Стецюк Л. В.,
Файер О. М., Шевченко В. Л.**Адреса редакції:**03061, Київ,
просп. Відрадний, 10E-mail: info@chipnews.com.ua
http://www.chipnews.com.ua

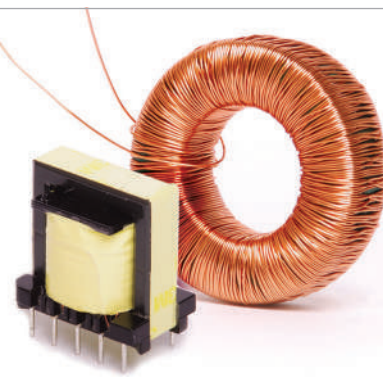
© «CHIP NEWS».

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

ЗМІСТ

НОВИНИ**Новини світу електронних компонентів. 4****ПЛІС***Дмитро Дайнеко***Проект динамічної зміни конфігурації ПЛІС сімейства MAX10.****Частина 1 12****ІННОВАЦІЇ***Марен Гаст (Maren Gast)***Компактне відображення чудової ідеї майбутнього у парку All Electric Society 20****ДЖЕРЕЛА ЖИВЛЕННЯ****Універсальне джерело безперебійного живлення 24***Омар Хармон (Omar Harmon),
Франческо ді Доменіко (Francesco Di Domenico),
Шриватса Рагхунтатх (Srivatsa Raghunath)***Зарядні пристрої потужністю до 150 кВт для швидкого заряду електромобілів 26****ДРУКОВАНІ ПЛАТИ***Джон Кунрод (John Coonrod)***Покращення терморегулювання друкованих плат мікрохвильового діапазону з використанням сучасних матеріалів. 30****ПРОЄКТУВАННЯ ДРУКОВАНИХ ПЛАТ***Закарайа Петерсон (Zachariah Peterson)***Що означає проектування високошвидкісних друкованих плат? 34**

www.adcgr.com

**ВЛАСНЕ ВИРОБНИЦТВО
В УКРАЇНІ МОТОЧНИХ ВИРОБІВ
ЗГІДНО ДОКУМЕНТАЦІЇ
АБО ЗА ТЕХНІЧНИМ
ЗАВДАННЯМ**ТОВ «АДС ТІМ»
Україна, м. Київ, 3, оф. 307
пров. Ю. Матушняка, 3, оф. 307тел. +38 044 206 22 52
моб. +38 067 249 77 58
+38 050 464 22 52

Ен Хван Чо (Yong Hwan Cho),

Кіт Солуша (Keith Szolusha)

Переклад: Євген Івашенко

Розведення друкованої плати для зниження ЕМЗ на прикладі чотирьохключового підвищувально-знижувального контролера з одинарним і подвійним «гарячим» контуром 39

СИСТЕМИ ЗВ'ЯЗКУ

Li-Fi новий конкурент Wi-Fi.

Передача даних за допомогою світла 44

ВИМІРЮВАЛЬНА ТЕХНІКА

Адаптований переклад українською та технічне редагування: Віктор Бутирін

Захист пристрою під час тестування від пошкоджень, пов'язаних з електроживленням 46

СИЛОВА ЕЛЕКТРОНІКА

Пол Дрекскейдж (Paul Drexhage)

Адаптований переклад українською та технічне редагування:

Володимир Павловський

Партнерство заради надійного постачання промислових силових модулів 50

Пол Шимель (Paul L. Schimel)

Вплив радіації на силові напівпровідники в джерелах живлення 56

АНТЕНИ

Ламберт Ваннігер (Lambert Wanninger),

Мелані Тіміг (Melanie Thiemig),

Фолькер Фреверт (Volker Frevert)

Адаптований переклад українською та технічне редагування: Володимир Рентюк

Багаточастотні квадрифілярні спіральні антени для точного GNSS позиціонування 62

ЕЛЕКТРОМАГНІТНА СУМІСНІСТЬ

Маркус Хердін

Боротьба з синфазними електромагнітними завадами в установках з електроприводом. 71

МІКРОКОНТРОЛЕРИ

Сергій Надеждін

Мікроконтролери сімейств RX72T і RX72M від Renesas 74

НА ДОПОМОГУ РОЗРОБНИКУ

Тодд Філліпс (Todd Phillips)

Захист низькошвидкісних інтерфейсів і джерел живлення 84

ВІЗИТКИ 88

ВИСТАВКИ 93

ІНФОРМАЦІЙНА СТОРІНКА 98



EGT: економічно ефективно, високопродуктивне рішення для розробки графічних інтерфейсів під ОС Linux

Ensemble Graphics Toolkit (EGT) - це графічна програмна платформа з відкритим вихідним кодом, яка дозволяє створювати сучасні та адаптивні графічні інтерфейси користувача (GUI) для вбудованих додатків, які працюють під управлінням Linux. EGT не вимагає жодних ліцензійних відрахувань та платежів за користування, це комплексне графічне рішення на рівні додатків, яке повністю інтегровано в основний дистрибутив Linux від Microchip. EGT допомагає розробникам створювати свої високопродуктивні графічні додатки із:

- процесорами, що мають низьке енергоспоживання та низьку вартість,
- меншим обсягом пам'яті,
- часом завантаження, який не перевищує 2,5 секунди,
- нижчою вартістю загального списку матеріалів (BOM),
- швидшим часом виходу кінцевого продукту на ринок.

EGT забезпечує ефективну та економічно вигідну розробку графічних інтерфейсів для різноманітних додатків, зокрема для побутової, автомобільної, промислової та медичної галузей. EGT є найкращим вибором для створення високопродуктивної графіки під Linux із низькою загальною вартістю, яка виглядає і реагує так само, як і продукти від сторонніх виробників, що створені за допомогою платних і доволі дорогих графічних інструментів.



Новини світу електронних компонентів

СПЕЦІАЛІЗОВАНІ СТЕКИ РІШЕНЬ POLARFIRE® ДЛЯ ПЛІС І SOC ВІД MICROCHIP

Проектування систем для інтелектуального периферійного обладнання ще ніколи не було таким складним. Ринкові вікна звужуються, вартість і ризики нових розробок зростають, теплові обмеження і надійність є подвійними пріоритетами, а потреба в безпеці «від колиски до могили» продовжує зростати. Одночасне задоволення цих вимог вимагає спеціальних знань у галузі технологій і досвіду роботи на вертикальному ринку. Немає часу починати з нуля. Компанія **Microchip Technology** додала дев'ять нових стеків рішень, орієнтованих на конкретні технології та додатки, до своєї зростаючої колекції ПЛІС середнього класу та підтримки систем на кристали (SoC). Стеки охоплюють промислові периферійні системи, інтелектуальні вбудовані системи технічного зору та периферійні комунікації.

«Ми значно спрощуємо створення провідних промислових та комунікаційних проектів», — говорить Шакіл Піра (Shakeel Peera), віце-президент зі стратегії підрозділу ПЛІС компанії Microchip. — І наш фокус на інтелектуальних периферійних пристроях користується значним попитом серед провідних розробників систем, оскільки вони отримують всі переваги неперевершеної енергоефективності, безпеки та надійності ПЛІС PolarFire».

«Розмір, вага і потужність є надзвичайно важливими факторами при проектуванні тепловій системі, — вважає Федерік Обрун (Federic Aubrun), головний виконавчий директор компанії Xenics, піонера в галузі інфрачервоної візуалізації, що пропонує кращі в своєму класі продукти для коротко-, середньо- і довгохвильових тепловізорів, ядер і камер. — ПЛІС Microchip SmartFusion® та PolarFire забезпечують найкращий баланс між малим форм-фактором, енергоефективністю та обчислювальними ресурсами при надзвичайно низькому бюджеті енергоспоживання в наших продуктах поточного та наступного покоління».

«Ми використовуємо ПЛІС PolarFire через їх малу площу та енергоефективність, — говорить Майкл Ямпольський, засновник і генеральний директор KAYA Instruments. — Вони дозволяють нашим камерам вписуватися в обмежений простір, забезпечуючи при цьому високу якість, низький рівень шуму, відмінний динамічний діапазон і широкий набір функцій, використовуючи новітню технологію CMOS-сенсорів. Використання ПЛІС PolarFire на нашій платформі дозволяє нам швидко виводити на ринок новітні технології технічного зору для задоволення потреб наших клієнтів. KAYA розробляє обладнання для обробки зображень промислового класу, в тому числі малогабаритні і малопотужні камери і захоплювачі кадрів, які забезпечують відмінну якість відео в середніх і екстремальних умовах навколишнього освітлення».

Новина про розширення колекції стеків рішень Microchip слідує за червневим анонсом промислового периферійного стеку для OPC/UA (Open Platform Communications/Unified Architecture) та широких ресурсів, які допоможуть клієнтам перейти на ПЛІС та SoC на базі PolarFire.

На відміну від альтернативних рішень, які пропонують базову підтримку для надто широких категорій застосувань, стеки інтелектуальних периферійних рішень для ПЛІС PolarFire чітко адаптовані до конкретних технологій і вимог вертикального ринку і включають детальну інформацію про інтелектуальну власність (IP), еталонні зразки, набори для розробки зі зразками конструкцій, інструкції по застосуванню, демонстраційні посібники та багато іншого.

www.microchip.com

32-РОЗРЯДНИЙ МІКРОКОНТРОЛЕР З ВБУДОВАНИМ АПАРАТНИМ МОДУЛЕМ БЕЗПЕКИ

Розробники промислових та побутових пристроїв повинні розглянути можливість впровадження функцій безпеки в свої пристрої

під час процесу розробки, оскільки загрози безпеки розвиваються і стають все більш витонченими. Щоб дозволити розробникам легко інтегрувати функції безпеки в свої продукти, компанія Microchip Technology оголосила про випуск нового сімейства 32-розрядних мікроконтролерів PIC32CZ CA з процесором Arm Cortex-M7 з тактовою частотою 300 МГц, інтегрованим апаратним модулем безпеки (HSM), а також широким спектром можливостей підключення та флеш-пам'яті для додаткової гнучкості.

Нове сімейство пристроїв PIC32CZ CA включає PIC32CZ CA90 з HSM або PIC32CZ CA80 без вбудованого HSM. HSM в PIC32CZ CA90 — це монолітне рішення, яке забезпечує розширений захист для промислових і побутових пристроїв. HSM працює як захищена підсистема з окремим мікроконтролером на борту, який запускає мікропрограму і функції безпеки, включаючи апаратне захищене завантаження, зберігання ключів, криптографічне прискорення, генератор істинних випадкових чисел і багато іншого.

Для продуктів, які потребують додаткової безпеки, на PIC32CZ CA90 доступна функція заводського налаштування, після завершення якої клієнти отримують попередньо налаштовані пристрої, готові до використання. Trust Platform Development Suite від Microchip — це внутрішній інструмент безпечного забезпечення, який забезпечує безпечний канал постачання в масштабах або в умовах дрібносерійного виробництва.

«Мікроконтролери PIC32CZ CA полегшують нашим клієнтам впровадження вбудованих функцій безпеки в свої розробки, — сказав Род Дрейк (Rod Drake), корпоративний віце-президент підрозділу MCU32 компанії Microchip. — Це надзвичайно універсальні мікроконтролери з можливістю заводського налаштування для дрібносерійного виробництва та іншими конфігураціями, що налаштовуються, такими як підключення та пам'ять, щоб відповідати різним вимогам».

Для конфігурації мікроконтролерів PIC32CZ CA можна вико-

ристовувати широкий спектр варіантів підключення, включаючи USART/UART, I2C, SPI, CAN FD, високошвидкісний USB і гігабітний Ethernet. Опція Ethernet включає в себе Audio Video Bridging (AVB) і Precision Time Protocol (PTP) на основі стандарту IEEE 1588. Ці пристрої масштабуються за допомогою 2, 4 або 8 МБ вбудованої флеш-пам'яті, 1 МБ SRAM і коду корекції помилок (ECC) для захисту від пошкодження даних.

Мікроконтролери PIC32CZ CA — це новітні 32-розрядні мікроконтролери, які поповнили широке портфоліо сімейств PIC32 і SAM, що забезпечують високу продуктивність, функціональні можливості і безліч функцій для налаштування і створення інноваційних продуктів.

www.microchip.com

ВИСОКОПІКОВІ ДЖЕРЕЛА ЖИВЛЕННЯ

Компанія **MEAN WELL** розробила нову лінійку джерел живлення LRS N2. Їхня основна перевага — здатність підтримувати високий (до 200% номінальної потужності) пусковий струм. Моделі серії виконані в корпусі, підключаються до однофазних мереж змінного струму і підходять для забезпечення живлення промислових систем автоматизації та управління, електроприводів, різного технологічного обладнання та пристроїв, зокрема, роботизованих рук, керування двигуном, кавомашин, систем аварійного освітлення тощо.

Як правило, джерело живлення має забезпечувати найвищу (пікову) потужність при включенні на індуктивне навантаження, наприклад під час запуску двигунів. Джерела живлення LRS-100/200/350/600 N2 забезпечують споживачів живленням з миттєвою 200% піковою потужністю (навантаження $\leq 35\%$) протягом 5 секунд, що дозволяє вирішити проблеми під час узгодження джерел живлення з обладнанням з різними високими пусковими струмами. Завдяки цьому клієнтам не потрібно купувати джерело живлення з

www.chipnews.com.ua

запасом потужності для забезпечення пікового навантаження. Це не тільки знижує вартість закупівлі джерела живлення, але й допомагає клієнтам вирішити проблеми при роботі з різним обладнанням.

У серію входить лінійка перетворювачів з вихідною напругою 12/24/36 і 48 В, відповідно до величин напруги, які зазвичай використовуються в промисловому обладнанні. Габаритні розміри джерел живлення серії LRS N2 не відрізняються від розмірів джерел попередньої серії LRS, що дозволяє просто замінювати їх на джерела нової серії.

Всі моделі серії сертифіковані за стандартами UL/EN 62386-1 і EN 61558-1 OVC III (конструкція для промислового електропостачання). Як правило, вироби з конструкцією OVC III більше підходять для промислового обладнання, оскільки їх можна підключити безпосередньо від розподільної коробки та

заощадити витрати на використання додаткового ізоляційного трансформатора. Завдяки тому, що серія сертифікована за двома стандартами, замовники втрачатимуть менше часу на сертифікації власних продуктів.

www.meanwell.com

УЛЬТРАКОМПАКТНІ DC/DC-ПЕРЕТВОРЮВАЧІ

TEL 6 і TEL 6WI — це дві нові серії ізольованих DC/DC-перетворювачів від TRACO POWER потужністю 6 Вт, які виробляються в ультракомпактному металевому корпусі DIP-16. Вони мають густину потужності 1.6 Вт/см³, що майже вдвічі більше в порівнянні з 6-ватними перетворювачами в корпусах DIP-24. TEL 6 і TEL 6WI мають широкий діапазон вхідної напруги «2:1» або «4:1» відповідно та високий ККД до 87%, що забезпечує роботу при тем-

пературі до +70 °С при повному навантаженні та до +85 °С з навантаженням до 60%. Загалом вони є економічним рішенням для критичних до простору застосовувати у приладобудуванні, IT та промисловій електроніці.

www.tracopower.com

ІДЕАЛЬНИЙ БАЛАНС МІЖ ПОТУЖНІСТЮ, ПРОДУКТИВНІСТЮ ТА ВАРТІСТЮ

Компанія Geehy нещодавно представила нову серію APM32F411, удосконалений мікроконтролер, ретельно розроблений для задоволення потреб енергоефективних та економічно чутливих промислових ринків середнього та високого класу. Створений на базі потужного ядра Arm® Cortex®-M4F та новітньої 55-нм технології, цей мікроконтролер гаран-

тує максимальну ефективність та бездоганне керування живленням. Більш того, його широкі вбудовані ресурси, включаючи велику кількість флеш-пам'яті, SRAM і різноманітні периферійні пристрої, підвищують його універсальність і надійність, що робить його відмінним вибором для промислових додатків.

Мікроконтролер APM32F411 може широко застосовуватись у різних галузях, включаючи прилади, промислове контрольне обладнання, інтелектуальну побутову техніку, джерела живлення базових станцій, шлюзові пристрої та 3D-принтери.

Працюючи на максимальній частоті 120 МГц, серія APM32F411 підтримує інструкції FPU та DSP одинарної точності, посилені двома вбудованими блоками DMA з 8 потоками даних кожен. Крім того, обчислювальний блок CRC32 розширює обчислювальні можливості. Завдяки варіантам флеш-пам'яті

MEAN WELL

Трифазні джерела живлення потужністю 7,5 та 15 кВт

RST-7K5-HV
RST-15K-HV

- Трифазний вхід 196...305 В AC («трикутник») або 340...530 В AC («зірка»)
- Номінали вихідних напруг: 115, 230, 380 В DC
- Високий ККД до 95%
- Можливість водяного охолодження (RST-7K5)
- Регулювання вихідної напруги в межах 1...120% від номіналу
- Регулювання рівня постійного струму в межах 20-100% від номіналу
- Функція паралельної роботи – збільшення потужності до 28,5 кВт
- Захист від перенапруги, перенавантаження, короткого замикання
- Вбудований DC-OK, сигналізація перегріву, несправності вентилятора і втрати живлення на вході
- 5 років гарантії

Компанія SEA — офіційний 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

об'ємом 512/256 КБ та 128 КБ SRAM, а також підтримці різних типів зовнішньої пам'яті, таких як CF-картки, PSRAM, NORFlash та NANDFlash через SMC, MCU може похвалитися чудовою ємністю пам'яті для вимогливих програм. Для оптимізації енергоефективності він пропонує три режими низького енергоспоживання: сон, запитка та режим очікування, забезпечуючи швидке пробудження в умовах низького енергоспоживання та тим самим зберігаючи енергію.

Для задоволення вимог до персоналізації та розширення при одночасному зниженні витрат на обладнання для клієнтів мікроконтролер APM32F411 оснащений широким набором зовнішніх ресурсів:

- USART×4, UART×2, I²C×3, SPI×5 (багаторазовий як I²S), QSPI×1, CAN×2, SDIO×1;
- до 81 інтерфейсу введення-виводу, кожен з яких може бути зіставлений з векторами зовнішніх переривань;
- вбудований USB_OTG із вбудованим внутрішнім PHY;
- два 16-бітних розширених таймера, два 32-бітових таймери загального призначення, вісім 16-бітних таймерів загального призначення, два сторожові таймери і 24-бітовий системний таймер зі зворотним лічильником;
- два 12-розрядні високоточні АЦП підтримують 16 зовнішніх каналів з максимальною частотою дискретизації 2.4 MSPS;
- два незалежні компаратори забезпечують функцію зовнішнього пробудження.

Серія APM32F411 працює в діапазоні напруг від 1.7 до 3.6 В і оснащена схемами скидання при увімкненні живлення (POR), скидання при зниженні напруги

(BOR) і скидання при відключенні живлення (PDR). Мікроконтролер також оснащений програмованими детекторами напруги (PVD) для забезпечення надійного керування живленням. Завдяки визначним характеристикам захисту від завад, стійкості до електростатичного розряду ±4000 В та струму фіксації ±200 мА, а також роботі в діапазоні температур від -40 до 105 °С, MCU забезпечує стабільну роботу навіть у складних умовах довкілля. Наявність декількох варіантів корпусів, включаючи LQFP48/64/100 і QFN48, ще більше підвищує його універсальність для задоволення різних додатків користувача.

Geehy надає велику підтримку розробникам, які використовують серію APM32F411. MCU повністю сумісний з програмними та апаратними інструментами Geehy та екосистемною платформою, пропонуючи плати розробки, інструменти масового виробництва та повну інтеграцію з інструментами розробки програмного забезпечення, такими як Keil та IAR. Детальна документація, SDK та посібники з портування легко доступні, щоб допомогти користувачам оптимізувати проектування продукту, знизити витрати на розробку та досягти оптимальної продуктивності.

<https://global.geehy.com>

ДВОДІАПАЗОННИЙ GNSS-МОДУЛЬ ДЛЯ ПОЗИЦІОНУВАННЯ В МІСЬКИХ УМОВАХ

Компанія **u-blox** анонсувала u-blox NEO-F10N, свій новітній модуль позиціонування. Цей модуль базується на добре відомому форм-факторі u-blox NEO і використовує дводіапазонну

GNSS-технологію u-blox F10. Він підтримує діапазони L1/L5 GNSS від декількох груп супутників (включно з NavIC), забезпечуючи надійну точність позиціонування на рівні метра в міських умовах. Його вбудоване програмне забезпечення можна оновлювати і легко конфігурувати для підтримки безлічі випадків використання, таких як телематичні системи післяпродажного обслуговування автомобілів, ринки мобільних пристроїв і промислових застосувань, що вимагають метрової точності позиціонування.

Завдяки підвищеній стійкості до багатопроменевих завад, u-blox NEO-F10N підвищує точність позиціонування в міських умовах. Використовуючи сигнали з обох діапазонів L1 і L5, цей модуль досягає значно вищої точності, ніж при використанні лише діапазону L1. Приймачі з підтримкою діапазону L1 можуть визначати дорогу, якою рухається транспортний засіб, а приймачі з підтримкою діапазонів L1 і L5 можуть навіть розпізнавати конкретний бік дороги.

Користувачі, які наразі використовують приймачі на базі таких модулів, як u-blox NEO-M8 та NEO-M9, можуть легко перейти на нове покоління NEO-F10N. Модуль підвищує точність, знижує енергоспоживання і пропонує альтернативне рішення для клієнтів, які не бажають розгортати системи DR (dead reckoning).

«Завдяки передній радіочастотній частині з подвійним фільтром SAW і малощумними підсилювачами (LNA), u-blox NEO-F10N забезпечує виняткову стійкість до позасмугових радіочастотних завад, що робить його особливо придатним для застосувань з модемами стільникового зв'язку, розташованими поблизу», — говорить Бернд Хайдтманн (Bernd

Heidtmann), менеджер по продуктам, продуктова стратегія стандартних прецизійних GNSS в компанії u-blox.

u-blox також представляє нову антену ANN-MB5 L1/L5 разом з u-blox NEO-F10N для посилення дводіапазонного рішення u-blox F10. Ця спеціалізована антена пропонує клієнтам простий і надійний варіант для додатків метрового рівня, які потребують багатодіапазонної підтримки та підтримки декількох груп супутників, навіть у складних умовах.

www.u-blox.com

НОВЕ ПОКОЛІННЯ МЕДІАКОНВЕРТЕРІВ ETHERNET

Компанія **Phoenix Contact** випускає три нові лінійки медіаконвертерів, кожна з яких призначена для конкретних промислових умов і завдань.

Ці пристрої, розроблені для забезпечення високої продуктивності, довговічності та гнучкості, відповідають різноманітним промисловим вимогам — це недорогі рішення, які підходять для середовищ із високими температурами й мають високий рівень електромагнітної сумісності.

Медіаконвертери серії MC 1000, розроблені для галузей, де ціна має важливе значення: вони пропонують доступне за ціною, але надійне рішення для з'єднання. Конвертери роблять можливою передачу Ethernet через оптоволоконно й забезпечують безперервний зв'язок без шкоди для якості.

Конвертери серії MC 1000T мають розширений діапазон температури, а також є надійним рішенням для використання в суворих умовах експлуатації. Вони

Сантиметрова точність GNSS тепер доступна для бюджетних програм, проста і швидка реалізація

Перевірена ринком високоточна GNSS система:



- 1) NEO-F9P і ZED-F9P — новітні приймачі GNSS HPG
 - ⊗ провідна технологія u-blox: запатентовані алгоритми та чипсети
 - ⊗ вбудована підтримка виправлень PointPerfect
 - ⊗ рівень захисту: 95% впевненості в позиціонуванні
 - ⊗ ZED-F9P: версія з IMU (гіроскоп, акселерометр)



- 2) PointPerfect — система корекції
 - ⊗ надійна, економічна та зручна у використанні
 - ⊗ завантаження через Інтернет або супутник

Сфери застосування:



WWW.MICRODIS.NET

Роман Прокопєць — менеджер з продажу

(067) 475-81-86

Roman.Prokopets@microdis.net



забезпечують безперебійне з'єднання навіть у складних умовах.

Серія MC 1000E була спеціально розроблена для середовищ з електромагнітними перешкодами та потенційно вибухонебезпечних середовищ і забезпечує стабільний обмін даними. Крім того, пристрої мають повний пакет документів допуску.

Медіааконвертери серії MC 1000 відповідають суворим вимогам промислового середовища, встановлюючи новий стандарт безперебійної передачі даних.

Новий асортимент медіааконвертерів є продовженням успішної лінійки комутаторів Ethernet від Phoenix Contact і включає в себе більш широкий спектр оптоволоконних інтерфейсів, функцій, орієнтованих на конкретні застосування, сертифікатів відповідності та місць встановлення.

www.phoenixcontact.com

КОМПАКТНИЙ ЛІЧИЛЬНИК ЕНЕРГІЇ ПОСТІЙНОГО СТРУМУ

Новий компактний лічильник енергії постійного струму

EMpro від **Phoenix Contact** забезпечує можливість безпосереднього компактного вимірювання струмів і напруг до 650 A/1000 В постійного струму із високою точністю та захистом від несанкціонованого втручання.

Перевірений інтерфейс RS-485 із протоколом SLIP у форматі даних OCMF та відповідністю законодавчим вимогам щодо калібрування підходить для виставлення рахунків в інфраструктурі зарядки.

Лічильник енергії постійного струму забезпечує клас точності В (EN 50470-3) вимірювання постійного струму і напруги без необхідності використання додаткового трансформатора струму. Завдяки габаритній ширині всього 107.2 мм виріб займає на DIN-рейці лише шість розділювальних одиниць (TE). Для забезпечення можливості використання з метою виставлення рахунків лічильник енергії постійного струму має відповідність німецьким законодавчим вимогам щодо калібрування, що включає в себе корпус, механічно захищений від несанкціонованого втручання, а також кодування значень лічильника та синхроні-

зацію часу лічильника. Радіатор охолодження виробу із вбудованим шунтовим вимірюванням забезпечує надійну роботу в розширеному діапазоні температур від 40 до 80 °С. Вбудований інтерфейс RS-485 використовується для обміну даними вимірювань із системами керування вищого рівня за допомогою спрощеного протоколу «точка-точка» SLIP.

Крім того, використання формату даних OCMF і можливість компенсації втрат у зарядному кабелі роблять лічильник енергії EMpro цікавим для розрахунків у процесах заряджання в інфраструктурі електромобільності, особливо як попередньо запрограмоване системне рішення у взаємодії з контролерами заряджання постійним струмом CHARX control від Phoenix Contact.

www.phoenixcontact.com

КОНТРОЛЕР ЗАРЯДЖАННЯ ПОСТІЙНИМ СТРУМОМ ДЛЯ СТАНЦІЙ ШВИДКОГО ЗАРЯДЖАННЯ

Контролер заряджання постійним струмом CHARX control

integrated від **Phoenix Contact** поєднує в собі всі функції контролера та моніторингу 19-дюймової зарядної колонки в одному пристрої.

Розумний модуль керування керує п'ятьма силовими модулями потужністю 30 кВт для швидкого заряджання постійним струмом до 150 кВт. Це спрощує проектування, встановлення й технічне обслуговування зарядної колонки, що дозволяє створити економічну та широкомасштабну інфраструктуру швидкого заряджання.

Модулі CHARX у стандартному 19-дюймовому форматі оптимізують планування, встановлення та економічну експлуатацію зарядної колонки. Узгоджена між собою потужна електроніка забезпечує ефективне перетворення, розподіл і зберігання енергії. Як порівняти з класичним комплектуванням компонентами DIN-рейки, модульна конструкція із системою CHARX у стандартному 19-дюймовому форматі суттєво зменшує складність зарядної колонки постійного струму. Швидке встановлення та обслуговування ще більше спрощується завдяки 19-дюймовому стандарту та швидкому підключенню



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

Push-in — як для встановлення, так і для заміни модулів. Таким чином, електромобілі можна заряджати розумно та швидко.

www.phoenixcontact.com

МОНІТОРИНГ ЗАХИСТУ ВІД ПЕРЕНАПРУГ

Сигнальні проводи подібні до нервових шляхів у технічних системах. Тому дуже важливо захистити ці частини системи від перенапруг, спричинених перемиканнями або ударами блискавки. Такий захист можна реалізувати особливо компактно за допомогою пристроїв захисту від перенапруг з лінійки продукції TERMITRAB complete від **Phoenix Contact**.

Часто компоненти захисту встановлюють у декілька шаф керування або в полі. Тому постійний візуальний контроль пристроїв захисту на місці дуже трудомісткий, а подекуди й зовсім неможливий. Модулі дистанційної сигналізації лінійки продукції TERMITRAB complete дають змогу контролювати до 50 пристроїв захисту від перенапруг. Тут реєструється стан усіх модулів захисту, а у разі виникнення несправності сигнал тривоги виводиться на центральний сигнальний контакт. Крім того, ці модулі дистанційної сигналізації можна використовувати для моніторингу пристроїв захисту від перенапруг лінійки Clixtrab.

www.phoenixcontact.com

ВБУДОВАНИЙ БЕЗДРОТОВИЙ МОДУЛЬ СПРОЩУЄ З'ЄДНАННЯ BLUETOOTH LOW ENERGY

STM32WB1MMC від **STMicroelectronics** — це компактний бездротовий модуль, який забезпечує швидкий та простий спосіб інтеграції мережевих можливостей Bluetooth Low Energy у кінцевий продукт. Модуль поставляється із безкоштовним стеком протоколів Bluetooth v5.3.

Цей сертифікований модуль 2.4 ГГц, заснований на бездротовому МК STM32WB15, забезпечує чудові радіочастотні характеристики завдяки гарній чутливості приймача та високій вихідній потужності. Функції низького енергоспоживання модуля продовжують час роботи від батареї, дозволяючи програмам працювати на невеликих батареях та типу

«таблетка» або навіть збирати енергію.

Інтегрований модуль є повноцінною радіосистемою, що включає чип-антену, можливість підключення зовнішньої антени, надійну схему узгодження антен та імпульсний блок живлення.

STM32WB15, на якому заснований STM32WB1MMC, є двоядерним бездротовим мікроконтролером, який може підтримувати комплексне з'єднання Bluetooth з низьким енергоспоживанням, а також запускати хост-додаток. MCU включає радіомодуль 2.4 ГГц, керований виділений процесорним ядром Arm® Cortex®-M0+. Для запуску основної програми він оснащений ядром Cortex-M4 із частотою 64 МГц, що забезпечує безперебійну роботу в режимі реального часу.

Багатий вибір аналогової периферії включає 12-бітовий АЦП та малопотужний компаратор. Модуль також має кілька цифрових інтерфейсів та до 37 швидких входів/виходів, 35 з яких стійкі до напруги 5 В.

Модуль STM32WB1MMC підтримується перевіреною програмною екосистемою STM32Cube, яка пропонує вбудовані програмні бібліотеки та інструменти. Корпус модуля LGA на 77 виводів має розміри 10x6.5 мм.

www.st.com

АКСЕЛЕРОМЕТР ІЗ НАДНИЗЬКИМ ЕНЕРГОСПОЖИВАННЯМ

Акселерометр LIS2DU12 від **STMicroelectronics** оснащений новим прохідним LC-фільтром, а також фільтром згладжування та забезпечує більш високу точність, ніж попереднє покоління.

Новий прохідний LC-фільтр у LIS2DU12 поглинає електричні завади, а фільтр згладжування запобігає помилкам вибірки. Ці функції покращують якість сигналу, не викликаючи значного збільшення споживання енергії. Споживання струму становить 450 нА, що можна порівняти з конкуруючими альтернативами, які споживають близько 1 мкА, а фільтр згладжування працює зі споживанням струму, яке є одним із найнижчих на ринку.

Лінійний 3-осьовий акселерометр пропонує розширені цифрові функції. LIS2DU12 має повні шкали ±2g, ±4g, ±8g і ±16g, що вибираються користувачем, і

вимірює прискорення з частотою вихідних даних від 1.6 до 800 Гц.

Вбудований 128-рівневий буфер FIFO дозволяє зберігати широкий спектр даних, що знижує енергоспоживання системи. Вбудовану можливість самотестування можна використовувати для перевірки працездатності датчика у кінцевому додатку.

Внутрішній механізм обробляє виявлення руху та прискорення, включаючи вільне падіння, пробудження, розпізнавання одиночного та подвійного дотику, активність та бездіяльність, а також орієнтацію у 6D та 4D. Як один з найменших акселерометрів, LIS2DU12 виконаний у пластиковому корпусі з наземною решіткою (LGA) розміром 2.0x2.0 мм і профілем 0.74 мм.

www.st.com

32-РОЗРЯДНИЙ МК ІЗ НАДЗВИЧАЙНО НИЗЬКИМ ЕНЕРГОСПОЖИВАННЯМ

Мікроконтролер STM32U585 від **STMicroelectronics** поєднує в собі наднизьке енергоспоживання з високою продуктивністю завдяки Arm® Cortex®-M33 та безпеці TrustZone®.

Працюючи на частоті до 160 МГц та частоті 240 DMIPS, ядро пропонує блок операцій із рухомою комою одинарної точності (FPU), повний набір інструкцій цифрової обробки сигналів (DSP) та блок захисту пам'яті (MPU). Вбудована пам'ять включає до 2 Мбайт Flash і 786 Кбайт SRAM із гнучким контролером зовнішньої пам'яті (FSMC) для статичної пам'яті.

Функції безпеки, що відповідають архітектурі довіреної безпеки (TBSA) від Arm, включають безпечне завантаження, безпечне зберігання даних, безпечне оновлення вбудованого ПЗ і функцію безпечної установки вбудованого ПЗ, а також функції захисту вбудованої пам'яті. Також є активне виявлення несанкціонованого доступу та захист від тимчасових атак та атак з боку навколишнього середовища.

До пристрою доданий великий набір аналогової периферії та фільтрів, прискорювач Chrom-ART для графічних додатків, математичні прискорювачі та 22 ємнісні канали зчитування. Стандартні та розширені інтерфейси зв'язку включають інтерфейс цифрової камери (DCMI),

FDCAN та повношвидкісний USB OTG, а також контролер подачі живлення USB Type-C®.

Економія енергії забезпечується за рахунок автономного фонового режиму з низьким енергоспоживанням (LPBAM), в якому багато периферійних пристроїв залишаються функціональними і автономними аж до режиму зупинки з прямим доступом до пам'яті.

www.st.com

СВІТЛО З НІЗВІДКИ

Компанія **ams OSRAM** представила розробку технології ALIYOS світлодіод-на-фользі (LED-on-foil), яка відкриває абсолютно нові можливості для свободи дизайну і творчості в автомобільному освітленні.

Використовуючи технологію ALIYOS, автовиробники зможуть виражати індивідуальність бренду за допомогою зовнішнього і внутрішнього освітлення нестандартними раніше способами, а також впроваджувати абсолютно нові тривимірні світлові та анімаційні ефекти для відображення динамічних індивідуальних повідомлень та інформаційних сигналів, адресованих водіям та іншим учасникам дорожнього руху.

Технологія ALIYOS дає змогу аms OSRAM наносити мініатюрні світлодіоди на тонку, гнучку і прозору підкладку. З'єднанні майже невидимими металевими доріжками, міні-світлодіоди можна з великим ступенем свободи групувати в індивідуально адресовані сегменти будь-якої форми. Вони можуть бути розташовані таким чином, щоб виконувати стандартні світлові функції, як-от стоп-сигнал або показник повороту, але з унікальними, нестандартними формами та ефектами анімації. Міні-світлодіоди можуть також використовуватися для відображення символів, слів, зображень або абстрактних візерунків для прикраси, інформації або попередження.

Прозорість — видатна особливість технології ALIYOS — у поєднанні з міні-світлодіодами означає, що світло може виходити з нізвідки. Крім того, кілька фольгових збірок можуть бути розміщені одна за одною для створення нових вражаючих ефектів тривимірного освітлення та анімації.

Наразі ams OSRAM співпрацює з провідними світовими постачальниками і OEM-виробниками автомобільної техніки для

вивчення нових можливостей автомобільного внутрішнього і зовнішнього освітлення. В одній з демонстраційних конструкцій прозорість фольгової підкладки ALIYOS використовується для створення нових 3D-ефектів в задніх ліхтарях: прозорий масив з трьох світлодіодних плівок ALIYOS, встановлених одна за одною, створює відчуття глибини.

Інша конструкція показує, що світлодіоди-на-фользі можуть бути застосовані до вигнутих панелей кузова і ставати невидимими у вимкненому стані, створюючи ефект «світла з нізвідки».

Завдяки унікальній прозорості, тонкості та гнучкості технології ALIYOS перед автовиробниками тепер відкрито тисячі інших нових можливостей дизайну. Технологія ALIYOS відповідає нормативним вимогам, наприклад, Правилу ООН № 148 в частині яскравості задніх ліхтарів і стоп-сигналів, а також покажчиків повороту.

Почалася підготовка до промислового впровадження технології. Мета полягає в тому, щоб до кінця 2025 року опанувати технологією ALIYOS перші автомобілі і до цього ж часу сертифікувати технологію на відповідність

стандартам якості та безпеки автомобілів.

<https://ams-osram.com/>

НОВА ЕРА В ДИНАМІЧНОМУ ОСВІТЛЕННІ САЛОНУ АВТОМОБІЛЯ

Компанія **ams OSRAM** представила нову технологію, яка дасть змогу значно спростити впровадження динамічних матриць із сотень RGB-світлодіодів, що змінюють колір та інтенсивність, в освітлення салону автомобіля.

Новий RGB-світлодіод OSIRE E3731i оснащений цифровим ядром, яке забезпечує високошвидкісний зв'язок за стандартним інтерфейсом послідовної шини з будь-яким мікроконтролером. Також цей чип може взаємодіяти з мікроконтролером за допомогою нового відкритого системного протоколу (OSP), розробленого ams OSRAM. Використовуючи OSP, будь-який мікроконтролер може передавати інструкції з модуляції яскравості та кольору індивідуально для кожного світлодіода. OSP може використовуватися будь-яким виробником автомобі-

лів, світлодіодів, систем освітлення або мікроконтролерів безкоштовно за відкритою ліцензією.

Використовуючи світлодіоди OSIRE E3731i і OSP, автовиробники можуть створювати нові динамічні світлові ефекти в салоні автомобіля. У послідовний ланцюжок можна підключити до 1000 світлодіодів, керованих за допомогою одного мікроконтролера.

За словами Германа Сеннінгера (Hermann Senninger), старшого менеджера з продуктів ams OSRAM, динамічне освітлення обіцяє підвищити споживчі якості автомобілів поєднанням зміни кольору і яскравості з пульсуючими, дихаючими або рухомими світловими ефектами для декоративних або функціональних цілей. OSIRE E3731i і OSP дають змогу реалізувати динамічне внутрішнє освітлення з більш простою архітектурою, з меншою кількістю компонентів і проводів за нижчої вартості системи. Ці переваги вже приваблюють клієнтів, і очікується, що незабаром продукт буде впроваджено в серійні автомобілі.

Розробка нового інтелектуального світлодіода заснована на великих можливостях ams OSRAM в області оптичних

технологій, проектування і виробництва мікросхем. OSIRE E3731i — це високоєфективний RGB-світлодіод, об'єднаний із чипом, який містить три світлодіодні драйвери, інтерфейс послідовної шини з підтримкою OSP, датчик температури і вбудовану пам'ять.

Параметри кожного інтелектуального RGB-світлодіода вимірюються на заводі-виробнику, і дані про його оптичні характеристики записуються у вбудовану пам'ять. Це полегшує виробникам автомобілів виконання наскрізного калібрування систем внутрішнього освітлення і забезпечує дуже високу оптичну однорідність і узгодженість в масивах із сотень світлодіодів OSIRE E3731i.

<https://ams-osram.com/>

КОНТРОЛЕР СИНХРОННОГО ПІДВИЩУВАЛЬНОГО ПЕРЕТВОРЮВАЧА

Компанія **Halo Microelectronics** оголосила про випуск контролера синхронного підвищувального перетворювача з низьким струмом споживання і розширенням спектра, що відпо-



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

НАЦІОНАЛЬНОМУ ПАРТНЕРСТВУ ВІЛЬШЕ 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

відає вимогам Рівня 1 стандарту AEC-Q100.

HL8021 — це високоефективний контролер підвищувального перетворювача, що керує потужним синхронним підвищувальним каскадом на n-канальних MOSFET, який працює в широкому діапазоні вхідних напруг від 4.5 до 40 В. Якщо контролер отримує зміщення від вихідної напруги, то після запуску він може працювати від вхідної напруги всього 1 В. Частоту перемикання можна задавати резистором на виводі програмування частоти, а архітектура керування за струмом дроселя з постійною частотою дає змогу синхронізувати пристрій сигналом зовнішнього генератора за входом зовнішньої синхронізації.

Для оптимізації ККД за легкого навантаження в HL8021 передбачено три різні режими роботи — пульсувальний режим, режим пропуску імпульсів і режим безперервного струму дроселя. Вибір і керування цими режимами здійснюються за допомогою спеціального виводу мікросхеми.

У HL8021 реалізовано режим розширення спектра, що дає змогу знизити пікові рівні випромінювання і наведених електромагнітних завод та полегшити конструювання систем, які відповідають стандартам щодо ЕМП. Цей режим також керується за допомогою окремого виводу мікросхеми. Окремий вхід зовнішнього живлення може використовуватися для живлення вбудованого LDO-стабілізатора, що працює на внутрішню шину VCC. Ця ключова особливість дає ще одну можливість зменшення втрат енергії та підвищення загального ККД.

<https://halomicro.com/>

3-АМПЕРНИЙ ПРИСТРІЙ ЗАРЯДКИ LI-ION АКУМУЛЯТОРІВ

Компанія **Halo Microelectronics** оголосила про випуск контролера заряджання одноелементних батарей із двома LDO-регуляторами, керованого за інтерфейсом I²C.

HL7095 — це вдосконалений імпульсний зарядний пристрій для літій-іонних акумуляторів з інтерфейсом I²C, оснащений силовими МОП-транзисторами, системою керування потоком потужності та функцією реверсивного підвищувального перетворення. Це повністю інтегроване рішення, призначене для використання в широкому

спектрі пристроїв, включно з переносними пристроями, смартфонами, планшетними комп'ютерами, павербанками та іншою портативною електронікою.

Мікросхема HL7095 сумісна як з одноелементними, так і з багатоелементними літій-іонними та літій-полімерними акумуляторами, включеними паралельно. Імпульсний режим роботи і низькоомний силовий тракт забезпечують оптимальний заряд, розряд і ККД підвищувального перетворення, скорочуючи час заряджання і подовжуючи час використання акумулятора під час розряду.

HL7095 підтримує різні джерела вхідної напруги, як-от стандартні хост-порти USB, зарядні порти USB і AC/DC адаптери. Мікросхема працює з вхідними напругами від 3.9 до 12 В, що дає змогу жити системну шину без використання акумулятора.

HL7095 може автономно керувати повним циклом заряджання літій-іонного акумулятора як за допомогою I²C хоста, так і без нього. Пристрій ефективно визначає напругу акумулятора і послідовно виконує чотири фази заряджання: краплинне заряджання, попереднє заряджання, заряджання постійним струмом і заряджання постійною напругою.

HL7095 вирізняється підвищеною зручністю й універсальністю завдяки функції реверсивного підвищувального перетворення, що забезпечує програмовану вихідну напругу від 4 до 10.3 В на виводі VBUS/PMID. Мікросхема підтримує режим USB OTG і режим додаткового обладнання, даючи змогу акумулятору віддавати в навантаження струм до 1 А. Крім того, у ній є два LDO регулятори, що дають змогу жити додаткові пристрої, як-от гарнітури або світлодіоди, або використовуючи VBUS, або безпосередньо через реверсивне перетворення вхідної напруги.

<https://halomicro.com/>

РОЗШИРЕННЯ ЛІНІЙКИ МІКРОСХЕМ КОНТРОЛЮ ТЕМПЕРАТУРИ

Компанія **Toshiba Electronics Europe** значно розширила асортимент мікросхем контролю перегріву сімейства Thermoflagger, випустивши ще шість пристроїв і довівши їхню загальну кількість до восьми. Нові пристрої в поєднанні з термісторами, що мають позитивний температурний коефіцієнт (PTC), призначені

для виявлення підвищення температури в електронних пристроях.

Нові мікросхеми виявлення перегріву контролюють внутрішню температуру, забезпечуючи штатну роботу систем і, тим самим, гарантуючи безпеку, що має першорядне значення в багатьох додатках. Типовими додатками є мобільні пристрої, побутова техніка, промислове обладнання та багато іншого.

Розширюючи лінійку приладів Thermoflagger до восьми, нові пристрої (TCTH011AE, TCTH012AE, TCTH021AE, TCTH022AE, TCTH011BE і TCTH012BE) доповнюють раніше випущені прилади TCTH021BE і TCTH022BE, додаючи ще одне значення вихідного струму збудження термістора, що дорівнює 1 мкА. Корисний сигнал PTCGOOD (термістор у нормі) доступний як на двотактному виході, так і на виході з відкритим стоком; також є можливість фіксації сигналу PTCGOOD.

Пристрої серії TCTH0xxxE можуть визначати підвищення температури шляхом виявлення зміни опору термістора під впливом температури. Послідовне з'єднання PTC термісторів дає змогу контролювати температуру в кількох точках.

Нові продукти здатні працювати за температури навколишнього середовища від -40 до +125 °C. Вони живляться напругою в діапазоні від 1.7 до 5.5 В і вирізняються низьким струмом споживання 1.8 мкА (тип.). Прилади випускаються в невеликому, стандартному для галузі корпусі SOT-553 (ESV) розміром всього 1.6 × 1.6 × 0.55 мм.

<https://toshiba.semicon-storage.com/>

ЖОРСТКІ ДИСКИ СЕРІЇ MG10F ЄМНІСТЮ 22 ТБ

Компанія **Toshiba Electronics** оголосила про випуск жорсткого диска серії MG10F ємністю 22 ТБ з традиційним магнітним записом, що містить 10 пластин у герметичному корпусі, заповненому гелієм.

Будучи ключовим елементом інфраструктури хмарних обчислень і зберігання даних, модель MG10F 22TB забезпечує на 10% більшу місткість порівняно з пристроєм Toshiba попереднього покоління місткістю 20 ТБ. Жорсткі диски MG10F 22TB, розроблені з урахуванням зростаючих потреб

найбільших розробників систем зберігання даних, сумісні з широким спектром застосунків і робочих навантажень як для хмарних обчислень, так і для традиційних центрів оброблення даних. Збільшена до 22 ТБ місткість MG10F допомагає створювати хмарні інфраструктури з вищою щільністю, що дозволяє використовувати хмарні інфраструктури з більш високою щільністю.

Жорсткі диски серії MG10F мають швидкість обертання шпинделя 7200 об/хв, розраховані на номінальне робоче навантаження 550 ТБ на рік і забезпечують можливість вибору між інтерфейсами SAS і SATA.

<https://toshiba.semicon-storage.com/>

НОВИЙ МОДУЛЬ LLC-ПЕРЕТВОРЮВАЧА

Компанія **EPC** оголосила про випуск модуля LLC-перетворювача EPC9159 48 В/12 В, призначеного для джерел живлення серверів і DC/DC перетворювачів. Маючи площу всього 17.5 × 22.8 мм, ця конструкція здатна віддавати в навантаження 1 кВт при густині потужності 5130 Вт/см³. Це досягається завдяки застосуванню силових ключів із нітриду галію (GaN), які працюють на високих частотах перемикання як у первинному, так і у вторинному колах.

У схемі джерела живлення EPC9159 використовується резонансна LLC технологія. Схема складається з повного моста на первинній стороні, планарного трансформатора з фіксованим коефіцієнтом трансформації і синхронного випрямляча з відведенням від середньої точки на вторинній стороні. У повномостовій схемі первинної сторони використовують чотири 80-вольтових GaN транзистори EPC2619 з опорами відкритих каналів 3.3 мОм, а на вторинній стороні — шість 40-вольтових GaN транзисторів EPC2067 з опорами каналів 1.3 мОм.

ККД силового каскаду модуля EPC9159 досягає 98% при струмі 25 А, а при повному навантаженні 83 А і вихідній напрузі 12 В становить 96.2%. Цей пристрій ідеально підходить для живлення обчислювальних додатків, таких як прискорювачі штучного інтелекту та сучасні ігрові консолі.

<https://epc-co.com/>

Розподіл енергії

Модульна система розподільчих пристроїв Rittal для вводу та розподілу електроенергії відповідає чинним стандартам і нормам. Від трансформаторної підстанції до зарядної стійки. Вона підходить для застосування в діапазоні від 125 А до 5.500 А.

Модульна система Ri4Power до 5500 А

Модульна система для низьковольтних розподільчих пристроїв з перевіркою конструкції на відповідність стандартам IEC 61 439-1/-2 і DIN EN 61 439-1/-2, а також системні рішення для розподільчих пристроїв з розділенням за формою 1-4b.

Розподільча шафа ISV.

Розподільчі шафи ISV для електропостачання в будівлях і промисловості, що відповідає стандартам. Гнучка конфігурація з зручними модулями розподілу електроенергії. Доступні як настінні так і окремо стоячі шафи для індивідуального використання з модульними елементами.

Шинні системи RiLine і RiLine Compact

Від невеликих розподільчих пристроїв, індивідуальних розподільчих пристроїв і пристроїв керування до надзвичайно гнучких розподільчих пристроїв великого струму для інфраструктурних і промислових застосувань. Простий, надійний монтаж, а також зручне для користувача планування з перевіркою проекту - ось відмінні риси цих систем.

Система запобіжників

Тримачі запобіжників для монтажу на шині системи, роз'єднувачі з запобіжниками і тримачі запобіжників NH, адаптери для автоматичних вимикачів та OM адаптери.



www.rittal.com.ua

office@rittal.com.ua

ENCLOSURES

POWER DISTRIBUTION

CLIMATE CONTROL

IT INFRASTRUCTURE

SOFTWARE & SERVICES



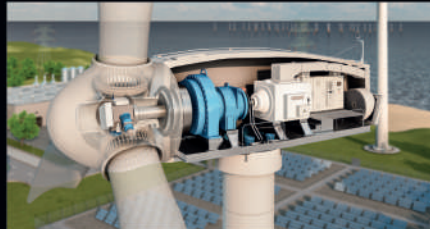
FRIEDHELM LOH GROUP

Досвід Rittal у розподілі електроенергії та секторі відновлюваної енергетики



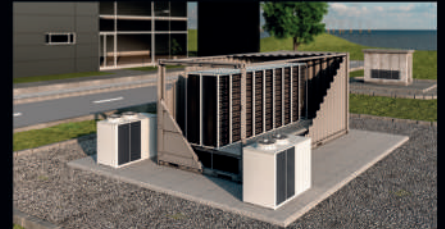
Вежа

■ Комплексні системні рішення для потужних перетворювачів частоти, включаючи клімат-контроль.



Гондола

■ Шафи керування в гондолі та безпосередньо на роторі, щоб надійно витримувати навіть найвищі динамічні навантаження.



Зберігання енергії

■ Гнучкі масштабовані модульні рішення для зберігання енергії, що згладжує пікові навантаження.



Сонячна панель

■ Надійні, компактні з'єднувальні корпуси генераторів та колекторів постійного струму безпосередньо на сонячній панелі.



Інвертор

■ Шафа, оснащена розподільчим пристроєм та клімат-контролем, забезпечує головному інвертору високий рівень фізичного захисту.



ІТ-інфраструктура

■ Повна фізична ІТ-інфраструктура, як для малих, так і для дуже великих центрів обробки даних.

www.rittal.com.ua • office@rittal.com.ua

ENCLOSURES

POWER DISTRIBUTION

CLIMATE CONTROL

IT INFRASTRUCTURE

SOFTWARE & SERVICES

FRIEDHELM LOH GROUP



Проект динамічної зміни конфігурації ПЛІС сімейства MAX10

Частина 1

Дмитро Дайнеко

У статті розглянуто реалізацію завантажувача та основної конфігурації на мікросхемі ПЛІС сімейства MAX10 корпорації Intel. ПЛІС сімейства MAX10 має можливість організувати дві абсолютно незалежні конфігураційні схеми. Таким чином, одну можна використовувати як завантажувач, а другу — як основну робочу конфігурацію. Стаття адресована і новачкам, діяльність та інтереси яких пов'язані з ПЛІС. У першій частині цієї роботи представлено особливості ПЛІС сімейства MAX10, внутрішню систему перемикання між конфігураціями, а також наведено RTL-код модуля верхнього рівня проекту мовою опису апаратури SystemVerilog [1].

ОСОБЛИВОСТІ ПЛІС СІМЕЙСТВА MAX10

Коротко розповімо про ПЛІС сімейства MAX10 (рис. 1) і його переваги. Ранні сімейства MAX мали архітектуру CPLD, водночас остання серія MAX10 є за архітектурою ядра повноцінним FPGA, до того ж кілька різновидів ПЛІС MAX10 зберігають деякі переваги CPLD, як-от single-supply (потрібен один номінал живлення для роботи всієї ПЛІС) і вбудована конфігураційна flash-пам'ять. Цей симбіоз вигідно виділяється на тлі іншого сімейства бюджетних ПЛІС —

Cyclone, які вимагають три номінали напруги живлення (ядро, периферія, ФАПЧ) і наявності зовнішньої конфігураційної пам'яті. Крім іншого, ПЛІС цього сімейства має на борту блоки АЦП, внутрішній тактовий генератор і термочутливий діод як датчик температури, але метою проекту є насамперед реалізація двох абсолютно незалежних конфігурацій на одному кристалі.

Не всі варіанти виконання ПЛІС сімейства MAX10 мають можливість організації двох незалежних конфігураційних схем, тому розглянемо структуру найменування ПЛІС цього сімейства (рис. 2):

- Найменування сімейства ПЛІС: 10M — MAX10.
- Код продукту, що позначає кількість логічних елементів (округлена):
 - 02 — 2000;
 - 04 — 4000;
 - 08 — 8000;
 - 16 — 16000;
 - 25 — 25000;
 - 40 — 40000;
 - 50 — 50000.
- Тип живлення мікросхеми:
 - S (Single Supply) — один номінал напруги живлення;
 - D (Dual Supply) — два номінали напруги живлення.

У варіанті виконання S на ПЛІС розташовується вбудований лінійний регулятор напруги (LDO), що формує з вхідного живлення необхідні напруги ядра і периферії. Відповідно, у варіанті виконання D вбудований стабілізатор відсутній. Слід враховувати, що варіант S спрощує процес розроблення друкованої плати, зменшує кількість об'єкти мікросхеми, але водночас має й певні недоліки, зокрема зменшення максимальної частоти роботи ядра та периферії, а також погіршуються характеристики вбудованих аналогових блоків ПЛІС.



Рис. 1. ПЛІС сімейства MAX10



Рис. 2. Структура найменування ПЛІС сімейства MAX10

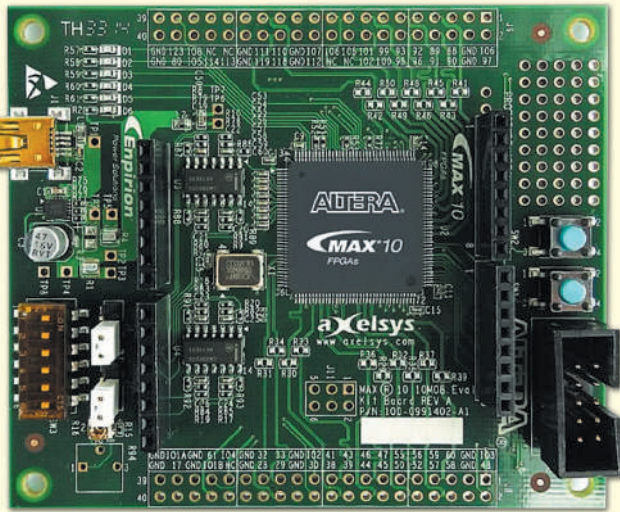


Рис. 3. Плата для налагодження MAX10 10M08 Eval Kit MAX10 10M08 Eval Kit

Додаткові функції (опції):

- Compact — базове виконання;
- Flash — можливість реалізації двох конфігураційних схем із самооновленням та ініціалізація вбудованої RAM під час подавання живлення;
- Analog — все те саме, що і у варіанті Flash, плюс вбудований блок АЦП.

Примітка. Таким чином, необхідно вибрати ПЛІС виконання або Flash, або Analog.

- Тип корпусу і кількість виводів мікросхеми. Типи корпусів у цьому семействі ПЛІС — E (EQFP), M (MBGA), U (UBGA), F (FBGA). Зупинятися на кожному варіанті корпусу не буде, оскільки всю детальну інформацію можна отримати в мережі.
- Діапазон робочих температур, як правило, поділяється на:
 - C (Commercial) — $T_j = 0...+85\text{ }^\circ\text{C}$;
 - I (Industrial) — $T_j = -40...+100\text{ }^\circ\text{C}$;
 - A (Automotive) — $T_j = -40...+125\text{ }^\circ\text{C}$.

Примітка. Зазвичай варіант виконання Industrial має максимальну межу температури в $+85\text{ }^\circ\text{C}$, але для семейства ПЛІС MAX10 допустима максимальна температура $+100\text{ }^\circ\text{C}$.

- Параметр швидкодії ПЛІС — що менший параметр, то більша максимальна частота проєкту, яка може бути досягнута.

Залишилося вибрати «залізо», на якому автор буде реалізовувати задуманий проєкт. Для цих цілей підійде бюджетна налагоджувальна плата MAX10 10M08 Eval Kit Board (рис. 3) від Axelsys.

На цій налагоджувальній платі, крім самої ПЛІС 10M08SAE144C8, розташовуються тактовий генератор 50 МГц, роз'єм IDC-10M для підключення JTAG-кабелю, п'ять призначених для

користувача світлодіодів, шість перемикачів (один із них під'єднано до спеціалізованого піна ПЛІС, але про це нижче) і роз'єм mini-USB (на жаль, лише для подачі живлення на налагоджувальну плату).

Оскільки драйвера Virtual COM на платі не передбачено, як інтерфейс взаємодії використовуватимемо зовнішню плату розширення, яка в безлічі представлена на ринку електронних компонентів.

ВНУТРІШНЯ СИСТЕМА ПЕРЕМИКАННЯ МІЖ ДВОМА КОНФІГУРАЦІЯМИ

Нагадаємо, що ініціалізація ПЛІС відбувається так: конфігураційний файл (configuration data) зчитується з конфігураційної пам'яті (configuration flash memory, CFM) у конфігураційну енергозалежну пам'ять (CRAM). Для ПЛІС серії Cyclone конфігураційною

пам'яттю є зовнішня мікросхема (так, читач може заявити, що прошивку можна записати через JTAG або мікроконтролер, але далі стане зрозуміло, чому автор пише саме про варіант із пам'яттю). Однак нагадаємо, що в ПЛІС серії MAX10 пам'ять типу CFM розташовується всередині самої мікросхеми, тому слід розглянути її структуру (рис. 4).

Як бачимо на рисунку 4, в області flash-пам'яті ПЛІС семейства MAX10, крім CFM, є і користувацька flash-пам'ять (user flash memory, UFM), що складається з двох секторів. Також конфігураційна область пам'яті містить три сектори: CFM0, CFM1, CFM2. Причому залежно від режиму конфігурації (internal configuration mode) пам'ять може бути організована по-різному, наприклад:

- Уся CFM-область пам'яті може бути виділена під одну конфігураційну схему з можливістю ініціалізації даних внутрішньої ОЗП (single uncompressed/compressed image with memory initialization).
- Тільки два сектори можуть бути виділені під конфігураційну схему, а один сектор — як додаткова користувацька flash-пам'ять (single uncompressed image).
- Тільки один сектор може бути виділено під конфігураційну схему, а два, що залишилися, — під додаткову користувацьку flash-пам'ять (single compressed image).
- Сектор CFM0 виділено під першу конфігураційну схему, а сектори CFM1 і CFM2 — під другу (dual compressed image).

Таким чином, для наших цілей підходить тільки режим dual compressed image. Читач може цілком справедливо поставити запитання: чому під одну схему виділено тільки один сектор пам'яті, а під другу цілих два, чи означає це, що

Internal Configuration Mode	User Flash Memory Sectors		Configuration Flash Memory Sectors		
	UFM1	UFM0	CFM2	CFM1	CFM0
Dual Compressed Image	UFM		Compressed Image 1		Compressed Image 0
Single Uncompressed Image	UFM		Additional UFM	Uncompressed Image 0	
Single Uncompressed Image with Memory Initialization	UFM		Uncompressed Image 0 with Memory Initialization		
Single Compressed Image with Memory Initialization	UFM		Compressed Image 0 with Memory Initialization		
Single Compressed Image	UFM		Additional UFM		Compressed Image 0

Рис. 4. Схема організації flash-пам'яті в ПЛІС семейства MAX10

Sector ID	Access Mode	Address Mapping	Type
1	Read and write	0x00000 - 0x03fff	UFM
2	Read and write	0x04000 - 0x07fff	UFM
3	Read and write	0x08000 - 0x1c7ff	CFM (Image 2)
4	Read and write	0x1c800 - 0x2afff	CFM (Image 2)
5	Read and write	0x2b000 - 0x4dfff	CFM (Image 1)

Рис. 5. Таблиця розташування областей CFM і UFM

Найменування сигналу	Найменування порту	Вхід/Вихід	Опис
RU_DIN	regin	Вхід	Вхід зсувного регістра Shift Register. При SHIFTnLD = 1 дані засуваються в регістр за фронтом, що зростає RU_CLK
RU_DOUT	regout	Вихід	Вихід зсувного регістра Shift Register. SHIFTnLD = 1 дані висуваються з регістра за фронтом, що зростає RU_CLK
RU_nRSTIMER	rstimer	Вхід	Скидання сторожового таймера за фронтом, що спадає. Імпульс повинен бути не менше 250 нс
RU_nCONFIG	rconfig	Вхід	Дозвіл чи Роздільна здатність конфігурації. Активний рівень — низький
RU_CLK	clk	Вхід	Тактовий сигнал (кляк)
RU_SHIFTnLD	shiftnld	Вхід	Керувальні сигнали (за фронтом, що зростає RU_CLK): <ul style="list-style-type: none"> при RU_SHIFTnLD = 1 працює зсувний регістр від старшого розряду до молодшого; при RU_SHIFTnLD = 0 і RU_CAPTnUPDT = 0 дані зі зсувного регістра завантажуються у вхідний регістр Input Register; при RU_SHIFTnLD = 0 і RU_CAPTnUPDT = 1 дані з мультиплексора Mux завантажуються в зсувний регістр
RU_CAPTnUPDT	captnupdt	Вхід	

конфігураційні дані (RTL-проект) різного розміру можна в них містити? Відповідь на це запитання буде зрозумілою після вивчення таблиці, наведеної на рисунку 5.

Для ПЛІС 10M08SAE144, що обрана нами, розмір сектора CFM0 для конфігураційної схеми Image 1 становить 143 360 байт, а розміри секторів CFM1 і CFM2 — 59 392 і 83 968 байт відповідно. Легко помітити, що в сумі розміри секторів CFM1 і CFM2 дорівнюють розміру сектора CFM0, тому розміри обох конфігураційних схем, записаних у ПЛІС, можуть мати однаковий розмір.

Тепер розглянемо, що відбувається після подачі живлення на MAX10, яка сконфігурована в режимі dual compressed image (рис. 6).

Залежно від налаштувань проекту є два варіанти початку процесу ініціалізації ПЛІС. Якщо встановлено режим Configure device from CFM0 only (налаштування режимів MAX10 здійснюються у меню **Convert programming files** після компіляції RTL-проекту, про це буде розказано надалі), після подавання живлення на ПЛІС автомат завантаження обов'язково почне намагатися ініціалізувати конфігурацію із сектору

CFM0 (Image 0 на рис. 6). Якщо ж режим Configure device from CFM0 only не встановлено, автомат завантаження перевірятиме стан спеціалізованого піна CONFIG_SEL. Якщо стан CONFIG_SEL = 0, то почнеться завантаження Image 0, якщо ж CONFIG_SEL = 1, то почнеться завантаження Image 1. Таким чином, якщо наш майбутній завантажувач розташований в Image 1, а основна конфігурація — в Image 0, можна апаратно обирати, як ініціалізуватиметься ПЛІС після подачі живлення. Нагадаємо, що у налагоджувальній платі автора (рис. 3) пін CONFIG_SEL виведено на перемикач, що дасть змогу перевірити цей режим роботи.

Далі автомат завантажувача діє за такою схемою. Якщо в процесі первинного завантаження, наприклад Image 0, стався якийсь збій (First Error Occurs), буде здійснюватися спроба завантаження з Image 1, і навпаки. У разі ж якщо сталася помилка (Second Error Occurs) у процесі завантаження сусідньої Image, автомат завантаження перейде в стан тайм-ауту (Wait for Reconfiguration), після чого почнеться спроба заново завантажити потрібну конфігурацію (Reconfiguration).

Для динамічного перемикання з однієї конфігураційної схеми на іншу користувачеві надано інтерфейс доступу до частини автомата завантаження, функціональну схему якого представлено на рисунку 7 — Remote System Upgrade Circuitry.

Ця схема дає змогу зчитати поточний стан конфігурації (Status Register → Current State Logic), перемкнутися на іншу конфігурацію (Control Register), а

Розряд регістра	Найменування	Опис
33:30	msm_cs	Поточний стан: 0010 — завантажено конфігурацію Image0 0011 — завантажено конфігурацію Image1 після невдалої спроби завантаження Image0 0100 — завантажено конфігурацію Image1 0101 — завантажено конфігурацію Image0 після невдалої спроби завантаження Image1
29	ru_wd_en	Прапор сторожового таймера
28:0	wd_timeout_value	Поточне значення сторожового таймера

Розряд регістра	Найменування	Опис
38:14	—	Зарезервовано
13	ru_config_sel	0 — завантаження конфігурації Image0 1 — завантаження конфігурації Image1
12	ru_config_sel_overwrite	Дозвіл зміни конфігурації
11:0	—	Зарезервовано

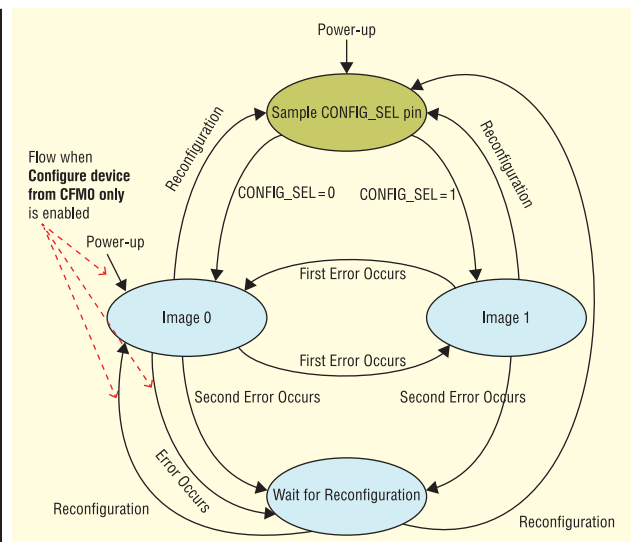


Рис. 6. Послідовність автомата завантаження конфігураційної схеми

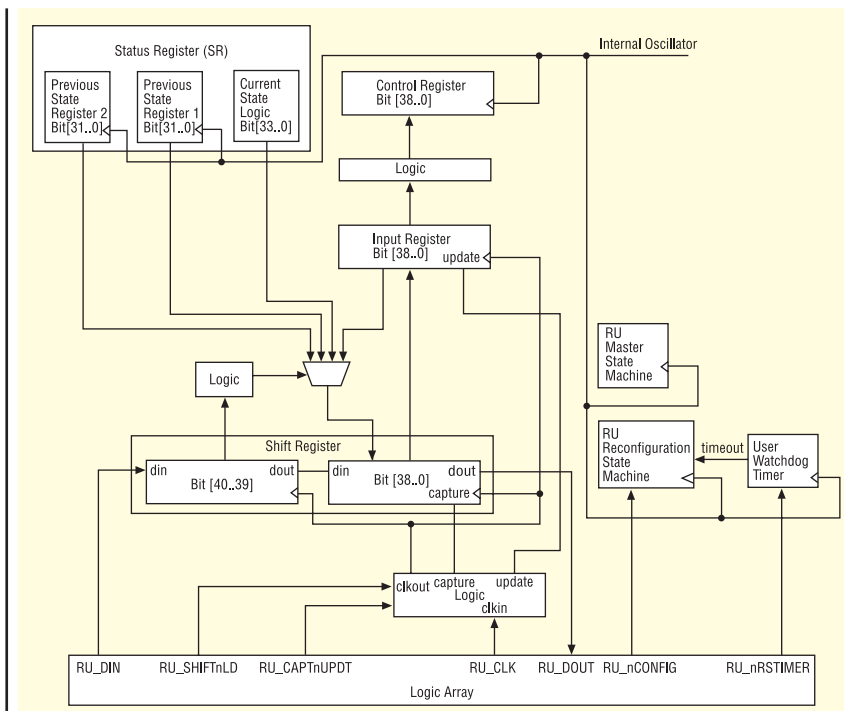


Рис. 7. Функціональна схема Remote System Upgrade Circuitry

транслявалося значення Current State регістра Status Register, потім визначеною комбінацією RU_SHIFTnLD і RU_CAPTnUPDT захопити значення в Shift Register[38:0] і далі вивантажити цей регістр з виходу RU_DOUT.

Першими двома бітами (фронти RU_CLK — 1 і 2, при RU_SHIFTnLD = 1) на виході мультиплектора встановлюється значення Current State. Фронтом № 3 (при RU_SHIFTnLD=0 і RU_CAPTnUPDT=1) значення Current State завантажується в зсувний регістр Shift Register[38:0]. Далі, за умови RU_SHIFTnLD = 1 наступні 39 тактів RU_CLK (спади № 4–42), завантаженої в зсувний регістр дані будуть видаватися з виходу RU_DOUT.

Для того, щоб перемикнути на іншу конфігураційну схему (Image0 або Image1), необхідно сформувати послідовність сигналів, показану на рисунку 9.

Перші 41 біт (за RU_SHIFTnLD = 1 і RU_CAPTnUPDT = 0) завантажують дані в зсувний регістр, зі встановленим значенням ru_config_sel_overwrite і номером обраної конфігурації (ru_config_sel = 0 → Image0, ru_config_sel = 1 → Image1). Далі, 41-м фронтом RU_CLK (за RU_SHIFTnLD = 0 і RU_CAPTnUPDT = 0) завантажують дані зсувного регістра в Input Register і на 43-му фронті RU_CLK завершуємо процес.

в разі помилки — повернутися на вихідну конфігурацію. Засобом керування є зсувний регістр (Shift Register) і кілька сигналів, що керують. Інтерфейс керування схемою наведено в таблиці 1.

Необхідно за допомогою модуля, зображеного на рисунку 7, прочитати номер поточної конфігурації і, якщо буде потрібно, перемикнути на потрібну конфігурацію.

Номер поточної конфігурації зберігається в регістрі статусу Status Register → Current State Logic (табл. 2), а для того, щоб перемикнути на іншу конфігурацію, необхідно скористатися регістром керування Control Register, який пов'язаний із вхідним регістром Input Register (табл. 3).

Таким чином, щоб прочитати номер поточної конфігурації, необхідно

сформувати послідовність сигналів, зображену на рисунку 8. Спочатку необхідно зсунути у два старші розряди (40:39) зсувного регістра таке положення мультиплектора, щоб на його виході

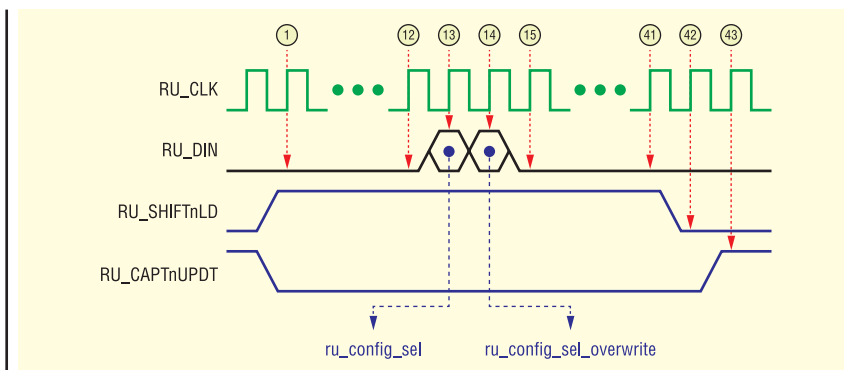


Рис. 9. Тимчасові діаграми під час завантаження нової конфігурації

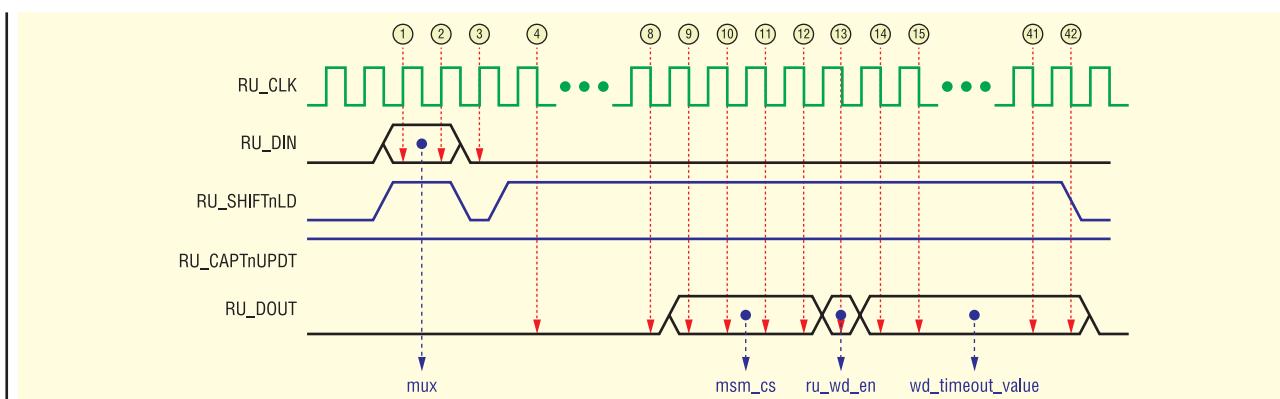


Рис. 8. Тимчасові діаграми читання номера поточної конфігурації

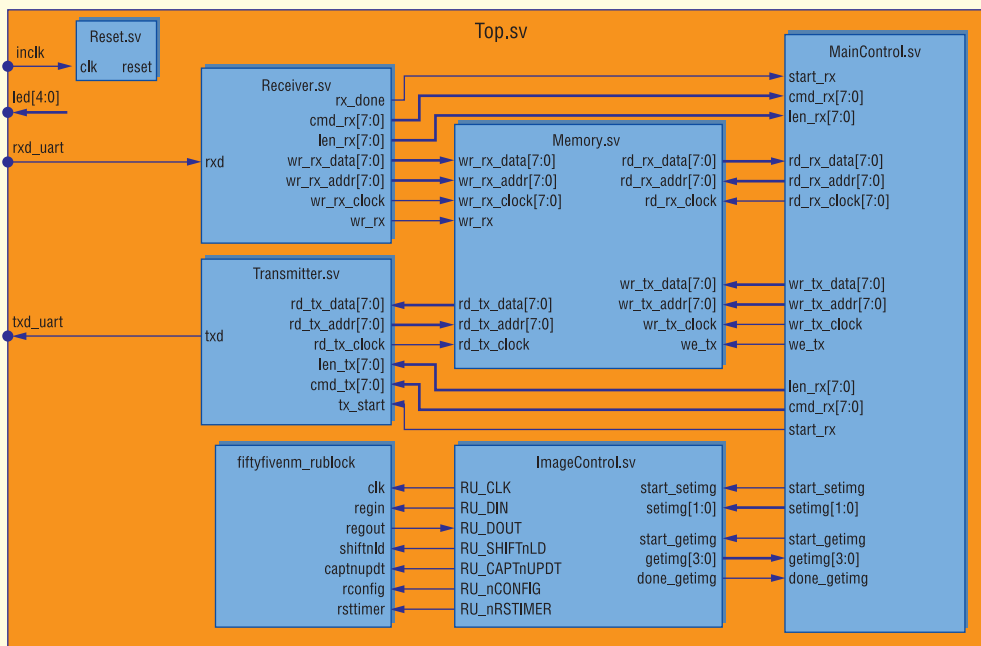


Рис. 10. Структурна схема проекту з модулями верхнього рівня

СТРУКТУРНА СХЕМА ПРОЄКТУ ПЕРЕМІКАННЯ МІЖ КОНФІГУРАЦІЯМИ ТА ЙОГО КОД НА SYSTEMVERILOG

Тепер можна перейти до розробки RTL-коду проекту. Для початку необхідно сформувати структурну схему проекту, на якій будуть позначені основні модулі та їхній зв'язок між собою (рис. 10).

Як видно на рисунку 10, топовим модулем проекту є Top.sv, до якого включено такі модулі: Reset.sv; Receiver.sv; Transmitter.sv; Memory.sv; MainControl.sv; ImageControl.sv; fiftyfivenm_rublock.

Для наших цілей у ПЛІС мають бути сконфігуровані такі порти:

- inclk — тактовий вхід генератора 50 МГц;
- rxd_uart — вхід, що приймають послідовні посилки від драйвера віртуального СОМ-порту;
- txd_uart — вихід, відповідні послідовні посилки на драйвер віртуального порту;
- led [4:0] — вихід на п'ять світлодіодів, для візуального контролю.

Розберемо призначення кожного з модулів, зображених на рисунку 10.

Єдина функція модуля Reset.sv — під час подавання живлення на ПЛІС протягом перших 10 тактів inclk видати на всі інші модулі проекту строб скидання всіх регістрів у вихідний стан. Тактові сигнали і строб скидання під'єднані практично до всіх модулів RTL-проекту, тому автор

на структурних схемах відображати їх не став, щоб не ускладнювати малюнок.

Модуль Receiver.sv виконує функції приймання UART-пакета, виділяє команду, довжину пакета і підраховує контрольну суму. Складає прийняті дані у внутрішню ОЗП, описану в модулі Memory.sv.

Модуль Transmitter.sv виконує функції організації UART-пакета на управління. Читає дані з внутрішньої ОЗП (Memory.sv) і підраховує контрольну суму.

Модуль Memory.sv містить два двопортових модулі ОЗП для зберігання прийнятих і відправлених даних.

Модуль MainControl.sv виконує функцію «арбітра» проекту. Визначає, які дії слід виконувати залежно від прийнятої команди.

Модуль ImageControl.sv виконує дві операції: читання поточної конфігурації ПЛІС і встановлення команди перемикання на необхідну конфігурацію. Іншими словами, залежно від прийнятої команди здійснює дії, зображені на рисунках 8 і 9.

Модуль fiftyfivenm_rublock — внутрішній апаратний модуль, схематично зображений на рисунку 7. Цей модуль не потрібно окремо описувати у вигляді RTL-коду, достатньо лише правильно під'єднати його до проекту згідно з документацією на ПЛІС [1].

Під час подавання живлення на ПЛІС жодних дій не відбувається, і система чекає приймальної посилки з ПК. Щойно модуль Receiver.sv вірогідно приймає посилку, то записує прийняті дані в пам'ять модуля Memory.sv і подає команду на ви-

конання модулю MainControl.sv. Модуль MainControl.sv визначає, яка конкретно команда надійшла (наразі їх дві — номер поточної конфігурації та зміна конфігурації), і змушує модуль ImageControl.sv виконати відповідні дії, після закінчення яких модуль MainControl.sv дає сигнал модулю Transmitter.sv на надсилання відповідних даних (якщо потрібно) на ПК.

Тепер можна перейти до більш детального розгляду кожного з перерахованих модулів.

Модуль Top.sv

Почнемо розробку RTL-коду з модулем самого верхнього рівня. Наведемо шапку модуля, що містить опис портів введення/виведення ПЛІС:

```

`include "inc_define.vh"
module Top
#(
    parameter int CLOCK = 50_000_00,
    parameter int BAUD = 115_200,
    parameter PARITY = "NO",
    parameter FIRST_BIT = "LSB",
    parameter NUMBER = 256,
    parameter RX_TIMEOUT = 10,
    parameter TX_PAUSE = 0
)
(
    input inclk,
    input rxd_uart,
    output txd_uart,
    output [4:0] led
);

```

У першому рядку описано підключення файлу inc_define.vh з описом параметрів і функцій, які використовуються в багатьох модулях проекту, тому всі

відомості оформлено в один файл, який буде підключатися в кожному модулі. Зміст цього файлу автор наведе після розгляду модуля Top.sv.

Призначення портів введення/виведення розглянуто на рисунку 10. У коментарях навпроти найменування портів вказано номери пінів ПЛІС і контакти роз'єму на налагоджувальній платі.

Також у шапці модуля наведено основні параметри проекту:

- CLOCK — частота тактового генератора в Гц = 50 МГц;
- BAUD — швидкість послідовного порту в біт/с, для організації управління з ПК = 115 200 біт/с;
- PARITY — наявність перевірки паритету байта, що приймається або передається по UART, перевірка на парність/непарність відсутня = «NO»;
- FIRST_BIT — порядок передачі розрядів у байті, молодшим бітом уперед = «LSB»;
- NUMBER — максимальний розмір UART-посилки для приймання та передавання = 256;
- RX_TIMEOUT — тривалість тайм-ауту (у кількості UART-слів) для приймальної посилки. У разі помилки під час приймання посилки — після закінчення цього тайм-ауту приймання посилки скинеться;
- TX_PAUSE — пауза між UART-словами (у кількості розрядів UART-слів) під час передавання посилки.

Корисно використовувати параметризовані модулі, оскільки це дає змогу вести більш гнучке налагодження. Інакше кажучи, досить поміняти параметри в головному модулі проекту, і параметри інших модулів автоматично зміняться під умови, що змінилися. Цей підхід полягає в тому, щоб мінімізувати помилки розробника під час зміни параметрів проекту.

Далі опишемо поведінку світлодіодів і підключення модуля системного скидання Reset.sv:

```

ifdef image0
assign led[0] = 1'b0;
assign led[1] = 1'b1;
assign led[2] = 1'b1;
assign led[3] = 1'b0;
`elsif image1
assign led[0] = 1'b1;
assign led[1] = 1'b0;
assign led[2] = 1'b0;
assign led[3] = 1'b1;
`endif
assign led[4] = 1'b1;

////// RESET ////
wire reset;

Reset Reset (
    .clk (inclk), .reset (reset));
    
```

Читача може збентежити конструкція `ifdef ... `elsif ... `endif і пов'язаний з нею різний стан світлодіодів. Але слід нагадати, що мета статті — реалізувати на ПЛІС дві конфігураційні схеми, з можливістю перемикатися між ними і робити перезапис будь-якої з них. Тому розрізняти на налагоджувальній платі, яка з конфігурацій звантажена в цей момент, планується за різними станами світлодіодів. Константи image0 і image1 описані у файлі *inc_define.vh*, який, нагадаємо, буде представлено нижче.

Підключення до проекту модуля Receiver.sv, що забезпечує приймання посилки з ПК:

```

////// RECEIVER ////

wire [7:0] cmd_rx;
wire [clogb2(NUMBER)-1:0] len_rx;
wire [7:0] wr_rx_data;
wire [clogb2(NUMBER)-1:0] wr_rx_addr;
wire wr_rx_clock;
wire we_rx;
wire rx_done;

defparam Receiver.CLOCK = CLOCK;
defparam Receiver.BAUD = BAUD;
defparam Receiver.PARITY = PARITY;
defparam Receiver.FIRST_BIT = FIRST_BIT;
defparam Receiver.NUMBER = NUMBER;
defparam Receiver.TIMEOUT = RX_TIMEOUT;
Receiver Receiver
(
    .clk (inclk), .reset (reset),
    .rxd (rxd_uart),
    .cmd (cmd_rx), .len_rx (len_rx),
    .wr_data (wr_rx_data),
    .wr_addr (wr_rx_addr),
    .wr_clock (wr_rx_clock),
    .we (we_rx),
    .done (rx_done)
);
    
```

Пояснимо призначення описаних вище сигналів:

- cmd_rx — номер команди, прийнятої з ПК. Саме цим сигналом визначити муться подальші дії;
- len_rx — довжина прийнятих даних. Розмірність шини визначається через функцію *clogb2()*, опис якої наведено у файлі *inc_define.vh*. Розмірність шини даного сигналу визначається параметром NUMBER, що встановлюється в шапці головного модуля, а функція *clogb2()* визначає, якої розмірності має бути сигнал, щоб адресувати всі зазначені дані;
- wr_rx_data, wr_rx_addr, wr_rx_clock, we_rx — інтерфейс запису в пам'ять для прийнятих від ПК даних. Як видно на рисунку 10, пам'ять для посилки розташовується в модулі Memory.sv;
- rx_done — сигнал закінчення приймання посилки від ПК.

Як видно, необхідні для роботи модуля параметри передаються нижче за рівнем за допомогою *defparam*. Формат

посилки від ПК буде представлено під час докладного розгляду модуля Receiver.sv.

Підключення до проекту модуля Transmitter.sv, що забезпечує передачу посилки на ПК:

```

////// TRANSMITTER ////

wire start_tx;
wire [7:0] cmd_tx;
wire [clogb2(NUMBER)-1:0] len_tx;
wire [7:0] rd_tx_data;
wire [clogb2(NUMBER)-1:0] rd_tx_addr;
wire rd_tx_clock;

defparam Transmitter.CLOCK = CLOCK;
defparam Transmitter.BAUD = BAUD;
defparam Transmitter.PARITY = PARITY;
defparam Transmitter.FIRST_BIT = FIRST_BIT;
defparam Transmitter.NUMBER = NUMBER;
defparam Transmitter.PAUSE = TX_PAUSE;
Transmitter Transmitter
(
    .clk (inclk), .reset (reset),
    .txd (txd_uart),
    .start (start_tx),
    .cmd (cmd_tx), .len (len_tx),
    .rd_data (rd_tx_data),
    .rd_addr (rd_tx_addr),
    .rd_clock (rd_tx_clock)
);
    
```

Сигнали:

- start_tx — строб початку передавання пакета;
- cmd_tx, len_tx — номер команди і кількість байт даних для передачі;
- rd_tx_data, rd_tx_addr, rd_tx_clock — інтерфейс читання даних з пам'яті даних для відправлення на ПК. Пам'ять для відправлення описано в модулі Memory.sv. Підключення модуля Memory.sv, що містить опис двопортової пам'яті для приймання та передавання пакетів даних:

```

////// MEMORY ////

wire [7:0] rd_rx_data;
wire [clogb2(NUMBER)-1:0] rd_rx_addr;
wire rd_rx_clock;
wire [7:0] wr_tx_data;
wire [clogb2(NUMBER)-1:0] wr_tx_addr;
wire wr_tx_clock;
wire we_tx;

defparam Memory.NUMBER = NUMBER;
Memory Memory
(
    .wr_rx_data (wr_rx_data),
    .wr_rx_addr (wr_rx_addr),
    .wr_rx_clock (wr_rx_clock),
    .we_rx (we_rx),
    .rd_rx_data (rd_rx_data),
    .rd_rx_addr (rd_rx_addr),
    .rd_rx_clock (rd_rx_clock),
    .wr_tx_data (wr_tx_data),
    .wr_tx_addr (wr_tx_addr),
    .wr_tx_clock (wr_tx_clock),
    .we_tx (we_tx),
    .rd_tx_data (rd_tx_data),
    .rd_tx_addr (rd_tx_addr),
    .rd_tx_clock (rd_tx_clock)
);
    
```

Сигнали:

- wr_rx_data, wr_rx_addr, wr_rx_clock, we_rx — інтерфейс для запису в пам'ять прийнятих від ПК даних;

- rd_rx_data, rd_rx_addr, rd_rx_clock — інтерфейс для читання прийнятих від ПК даних для подальших дій;
- wr_tx_data, wr_tx_addr, wr_tx_clock, we_tx — інтерфейс для запису в пам'ять даних перед відправленням їх на ПК;
- rd_tx_data, rd_tx_addr, rd_tx_clock — інтерфейс для читання даних із пам'яті під час передавання їх на ПК.

Підключення модуля MainControl.sv, основним завданням якого є запуск тих чи інших дій залежно від прийнятої з ПК команди:

```

////// MAIN CONTROL //////

wire start_setimg, start_getimg;
wire [1:0] setimg;
wire [3:0] getimg;
wire done_getimg;
wire start_rx = rx_done;

defparam MainControl.NUMBER = NUMBER;
MainControl MainControl
(
    .clk (inclk), .reset (reset),
    .start_rx (start_rx),
    .cmd_rx (cmd_rx), .len_rx (len_rx),
    .start_tx (start_tx),
    .cmd_tx (cmd_tx), .len_tx (len_tx),
    .rd_data (rd_rx_data),
    .rd_addr (rd_rx_addr),
    .rd_clock (rd_rx_clock),
    .wr_data (wr_tx_data),
    .wr_addr (wr_tx_addr),
    .wr_clock (wr_tx_clock),
    .we (we_tx),
    .start_setimg (start_setimg),
    .start_getimg (start_getimg),
    .setimg (setimg), .getimg (getimg),
    .done_getimg (done_getimg)
);

```

Сигнали:

- start_rx — строб від модуля Receiver.sv, що сигналізує про прийнятий пакет із даними від ПК;
- cmd_rx, len_rx — номер команди і довжина пакета даних, прийнятих від ПК, відповідно;
- start_tx — строб для модуля Transmitter.sv для ініціації передавання пакета на ПК;
- cmd_tx, len_tx — номер команди і довжина пакета даних для передачі на ПК відповідно;
- start_setimg, start_getimg — строб на перезавантаження конфігурації і строб для читання поточної конфігурації ПЛІС відповідно;
- setimg — номер конфігурації для її завантаження у форматі біт ru_config_sel і ru_config_sel_overwrite з таблиці 3;
- getimg — номер поточної конфігурації ПЛІС у форматі msm_cs з таблиці 2;
- done_getimg — строб закінчення читання поточної конфігурації ПЛІС.

Сигнали інтерфейсів пам'яті вже згадувалися вище.

На завершення головного модуля проекту Top.sv залишилося навести

під'єднання модулів ImageControl.sv, fiftyfivenm_rublock і тестовий модуль tb_RSU_Block.sv:

```

////// IMAGE CONTROL //////

wire RU_CLK;
wire RU_DIN, RU_DOUT;
wire RU_SHIFtLnLD, RU_CAPtNUPDt;
wire RU_nCONFIG, RU_nRStIMER;

ImageControl ImageControl(
    .clk (inclk), .reset (reset),
    .start_setimg (start_setimg),
    .start_getimg (start_getimg),
    .setimg (setimg), .getimg (getimg),
    .done_getimg (done_getimg),
    .RU_CLK (RU_CLK),
    .RU_DIN (RU_DIN), .RU_DOUT (RU_DOUT),
    .RU_SHIFtLnLD (RU_SHIFtLnLD),
    .RU_CAPtNUPDt (RU_CAPtNUPDt),
    .RU_nCONFIG (RU_nCONFIG),
    .RU_nRStIMER (RU_nRStIMER)
);

`ifndef SIM
fiftyfivenm_rublock RuBlock(
    .clk (RU_CLK),
    .shiftnld (RU_SHIFtLnLD),
    .captupdt (RU_CAPtNUPDt),
    .regin (RU_DIN),
    .rsttimer (RU_nRStIMER),
    .rconfig (RU_nCONFIG),
    .regout (RU_DOUT)
);
`else
tb_RSU_Block tb_RSU_Block(
    .RU_CLK (RU_CLK),
    .RU_SHIFtLnLD (RU_SHIFtLnLD),
    .RU_CUPtNUPDt (RU_CAPtNUPDt),
    .RU_DIN (RU_DIN),
    .RU_DOUT (RU_DOUT)
);
`endif

Endmodule

```

Нагадаємо читачеві призначення цих модулів. Модуль ImageControl.sv виконує дві операції — ініціація завантаження однієї з двох конфігураційних схем і читання номера поточної конфігураційної схеми. Ці операції модуль виконує за допомогою дій, зображених на рисунках 8 і 9. Модуль fiftyfivenm_rublock — внутрішній апаратний модуль, що реалізує схему, зображену на рисунку 7. Підключати цей модуль до проекту необхідно саме з таким найменуванням модуля і його портів. Оскільки розроблений RTL-проект перед завантаженням у ПЛІС заведено спочатку моделювати, а моделі поведінки модуля fiftyfivenm_rublock автор не має, вирішено було під'єднати тестбенч-модуль tb_RSU_Block.sv, у якому автор описав зразкову поведінку схеми, зображеної на рисунку 7. Директивами прекомпілятора `ifndef ... `else ... `endif під час моделювання (якщо визначено параметр SIM) слід використовувати модуль tb_RSU_Block.sv, а під час компіляції реального проекту — fiftyfivenm_rublock.

Файл inc_define.vh

Цей заголовний файл містить описи функцій і директив прекомпілятора:

```

`timescale 1ns/1ns;

//`define image0
`define image1

`define SIM

function automatic int clogb2 (input
int number);
int calc;
begin
for (int i = 0; 2**i < number; i++)
calc = i + 1;
clogb2 = (number == 0) ? 0 :
(number == 1) ? 1 : calc;
end
endfunction

function automatic [7:0]
funcReverse8bit (input [7:0] in_word);
int i;
begin
for (i=0; i<8; i=i+1)
funcReverse8bit[i] = in_word[7-i];
end
endfunction

function automatic [31:0]
funcReverse32bit (input [31:0] in_word);
int i;
begin
for (i=0; i<32; i=i+1)
funcReverse32bit[i] = in_word[31-i];
end
endfunction

```

Директива `timescale необхідна симулятору для градації часу моделювання [3] проекту. Директиви `define image0 і image1 потрібні для визначення, яку частину коду необхідно враховувати при компіляції однієї з двох конфігурацій. Директивою define SIM вказується частина коду, необхідна тільки для симуляції проекту.

Призначення функції clogb2() було описано вище — вона визначає, якої розмірності має бути шина або регістр, щоб адресувати всі зазначені дані. Функції funcReverse8bit() і funcReverse32bit() реверсують аргумент розмірністю 8 і 32 розряди відповідно.

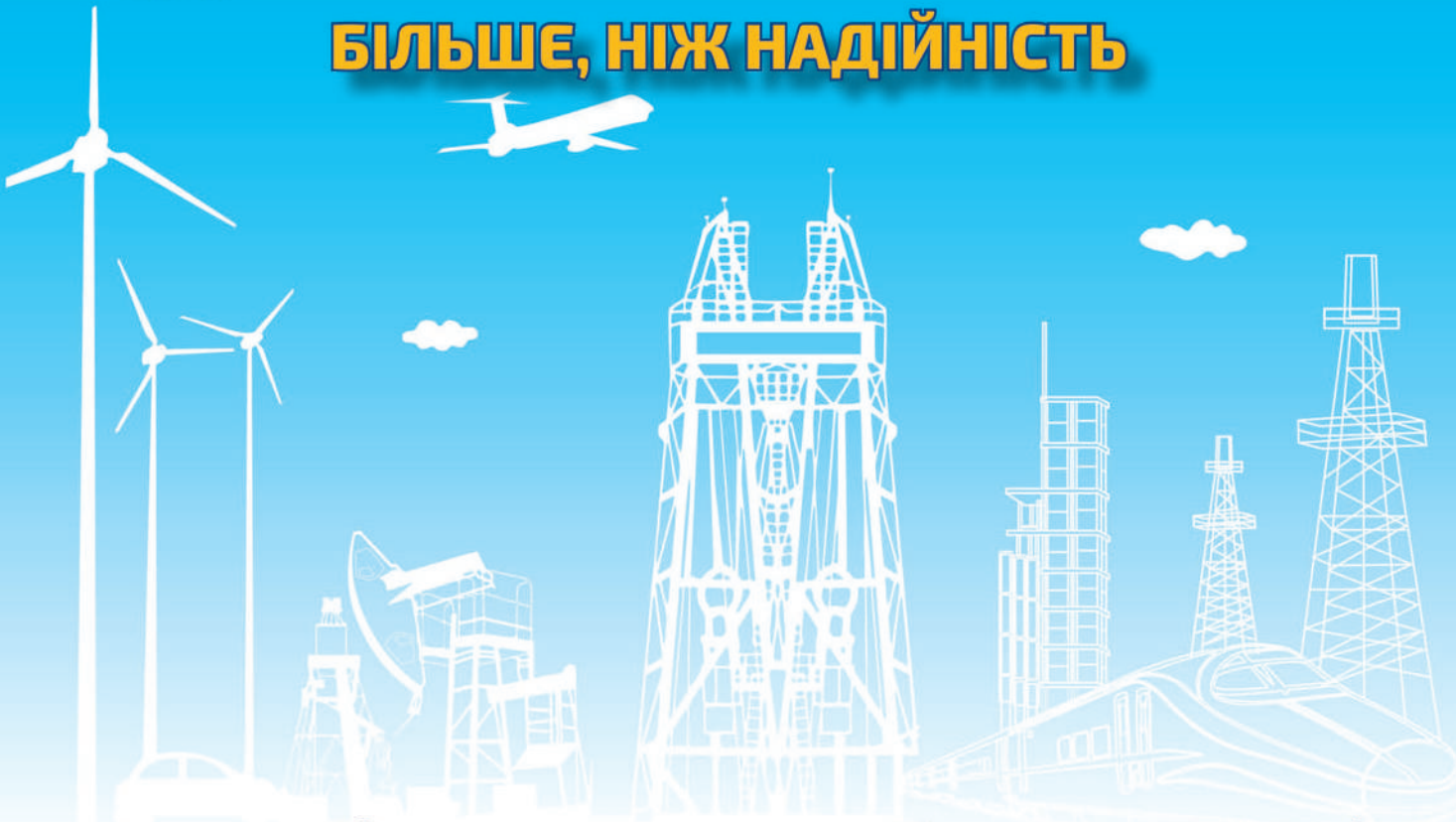
Більш детальну інформацію можна отримати в компанії ТОВ «Біаком»:

**тел.: (044) 507-02-02,
e-mail: site@biakom.com
http://www.biakom.com**

Література:

1. 1800-2009 IEEE Standard for System Verilog-Unified Hardware Design, Specification, and Verification Language.
2. MAX 10 Handbook. Configuration Schemes and Features, Accessing Remote System Upgrade through User Logic.
3. Mentor Graphics. ModelSim Tutorial. May, 2008.

БІЛЬШЕ, НІЖ НАДІЙНІСТЬ



- Імпульсні джерела живлення
- Перетворювачі АС/DC
- DC/DC конвертори
- IGBT модулі
- Приймопередавачі
- Трансформатори
- Світлодіодні драйвери
- Ізольовані підсилювачі



Компактне відображення чудової ідеї майбутнього у парку All Electric Society

Марен Гаст (Maren Gast), продукт менеджер у TechEducation, Phoenix Contact GmbH & Co.KG
E-mail: ua-office@phoenixcontact.com

Концепція All Electric Society (Повністю Електрифіковане Суспільство) описує майбутнє, в якому електрична енергія, вироблена з відновлюваних джерел, буде доступна в усьому світі як основний вид енергії в достатніх кількостях та за доступними цінами. Саме таку мету компанія Phoenix Contact поставила собі і якої прагне досягти протягом десятиліття до 2030 року.

Концепція базується на комплексній електрифікації, об'єднанні в мережі та автоматизації всіх галузей економіки та інфраструктури. Лише за умови безперервного доступу до всіх необхідних даних у режимі реального часу можна автоматично керувати потоками енергії відповідно до попиту, гарантуючи, що обладнання отримає необхідну йому енергію.

Парк All Electric Society, розташований на території головного офісу компанії Phoenix Contact у місті Бломберг (Німеччина), ілюструє як такий сценарій може бути реалізований. На площі понад 7800 квадратних метрів можна наочно побачити шлях від виробництва відновлюваної енергії, її перетворення та зберігання до розподілу та споживання. Відновлювана електроенергія

генерується сонцем і вітром. Найсучасніші акумуляторні батареї та системи синтезу водню дозволяють зберігати енергію для подальшого використання. Відвідувачі парку можуть на власні очі побачити ефективне використання енергії на зарядних станціях для електромобілів, у виробничих приміщеннях та транспортній інфраструктурі. У невеликих прозорих скляних павільйонах представлені рішення для різних застосувань, розроблені таким чином, щоб бути інтерактивними та зрозумілими. Завдяки інтелектуальному об'єднанню всіх секторів у мережу, система завжди знає, скільки енергії доступно і де в даний момент є на неї попит.

СОНЯЧНІ ПАНЕЛІ НА ТРЕКЕРАХ І ДАХАХ, НА ФАСАДАХ ТА ТРОТУАРАХ

У парку All Electric Society близько 550 сонячних панелей виробляють 155 000 кіловат-годин «зеленої» електроенергії на рік. Фотоелектричні системи встановлені по всьому парку — на дахах окремих павільйонів та в зонах заряджання електромобілів, на фасадах павільйону для відвідувачів та навіть інтегровані в тротуари у вигляді бруківки. А завдяки використанню двох сонячних трекерів, які відстежують сонце по одній осі, стало можливим отримати на 45 відсотків більше енергії, ніж зі стаціонарних модулів (рис. 1).

Для цього використовується технологія керування PLCnext і програмна бібліотека Solarworx з відповідними функціональними блоками. Наприклад, якщо поточна швидкість вітру занадто висока, технологія автоматизації виводить тре-



Рис. 1. Сонячні трекери відслідковують сонце по одній осі, тому фотоелектричні панелі завжди ідеально вирівнюються щодо сонця

кери з-під вітру, щоб не пошкодити фотоелектричні панелі.

Вироблена сонячна енергія використовується безпосередньо для живлення самого парку. Якщо в якийсь момент електроенергії виробляється більше, ніж споживається, вона зберігається в системах зберігання енергії для подальшого використання. Система енергоменеджменту в парку автоматично регулює процеси споживання, зберігання та розподілу електроенергії. У випадку, якщо система зберігання заповнена і сонячної енергії виробляється більше, ніж потрібно, пристрій контролю живлення забезпечує передачу енергії в місцеву електромережу та, у разі необхідності, може знизити потужність інверторів.

Ще один внесок у виробництво відновлюваної енергії робить дерево-вітряк (рис. 2), який має встановлену потужність 10.8 кіловат-пік¹. Висота дерева становить десять, а діаметр — вісім метрів. Швидкості вітру 2.5 метри на секунду достатньо для того, щоб привести в рух 36 вертикально обертових лопатей, які діють як невеликі вітряні турбіни.

У парку All Electric Society також представлена гондола вітрогенератора (рис. 3). Відвідувачі можуть зайти в середину і детально роздивитись обладнання, яке зазвичай відповідає за роботу вітрогенератора на великій висоті. Для цього в реальних умовах використовуються технології керування, модулі вводу-виводу, датчики, захисні реле, маршрутизатори, бездротові системи, захист від перенапруги, джерела живлення, роз'єми та кабелі з широкого асортименту Phoenix Contact.

СИСТЕМА ЗБЕРІГАННЯ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ ЯК ПІДСИЛЮВАЧ АКУМУЛЯТОРА ДЛЯ ШВИДКОЇ ЗАРЯДКИ ЕЛЕКТРОМОБІЛЯ

Дві системи зберігання, встановлені в парку, використовуються для зберігання надлишкової електричної енергії. Одна з них — літій-залізо-фосфатна ємністю 1.2 мегават-годин, а інша — літій-іонна ємністю 281 кіловат-годин. Менша з двох систем зберігання, розташована в зарядному парку, виконує функцію бустерної батареї для заряджання електромобілів (рис. 4). Вона дозволяє заря-



Рис. 2. Листя дерева-вітряка генерують електричний струм навіть при слабкому вітрі

джати електромобілі, навіть якщо місцева електромережа не дозволяє цього в даний момент.

СИСТЕМА ЕНЕРГОМЕНЕДЖМЕНТУ ДЛЯ ОЦІНКИ ЕНЕРГЕТИЧНИХ ПОТОКІВ

Трансформаторна станція є центральним електричним вузлом парку All Electric Society. Сюди надходить уся електроенергія, вироблена сонячними системами та вітрогенератором, і розподіляється між пристроями. Зокрема,

від неї живляться зарядні станції, павільйони, зовнішнє освітлення та система поливу. Щоб забезпечити надійний контроль і моніторинг потоків енергії в парку, всі вихідні потоки від трансформаторної станції реєструються за допомогою пристроїв вимірювання енергії EMpro від Phoenix Contact з підтримкою Інтернету речей і оцінюються централізовано у власній системі енергоменеджменту парку. На основі цієї інформації система може ефективно та безперебійно керувати парком.

Трансформаторна станція також використовується для підключення парку



Рис. 3. Відвідувачі мають можливість роздивитись гондолу вітрогенератора зсередини

¹ Продуктивність сонячних фотоелектричних систем вимірюється в кіловат-пік (kilowatts-peak). Цей термін позначає максимальну потужність, яку може досягти фотоелектричний модуль за оптимальних умов поглинання сонячного випромінювання.



Рис. 4. Системи зберігання енергії дозволяють повністю забезпечити парк від відновлюваних джерел

All Electric Society до корпоративної мережі Phoenix Contact. Зв'язок між парком і станцією здійснюється за допомогою smartRTU від Phoenix Contact. Модульне бездротове рішення було розроблено спеціально для моніторингу та керування розподільчими мережами, а також як шлях для керування «зеленими» технологіями для децентралізованих систем генерації електроенергії. SmartRTU передає повідомлення про стан і помилки

в диспетчерську в павільйоні, а також може приймати команди керування.

ЕКОЛОГІЧНІСТЬ НАВІТЬ У БУДІВЕЛЬНИХ ТА ОХОЛОДЖУВАЛЬНИХ МАТЕРІАЛАХ

Звікон трансформаторної підстанції видно розподільчі пристрої середньої та низької напруги з трансформаторами струму, рубильниками та запобіжниками. Два великі трансформатори потужністю 1600 і 1100 кіловольт-ампер відповідно розташовані в окремих приміщеннях.

Особливу увагу при будівництві станції було приділено питанням екологічності (рис. 5). Наприклад, в розподільчому пристрої середньої напруги не використовується шкідлива для клімату сполука гексафториду сірки SF₆ — замість неї використовується повітря. Крім того, для охолодження трансформаторів не використовується звичайне мінеральне масло, а рідина на основі складних ефірів, що біологічно розкладається. Замість залізобетону використано вуглецевий бетон, тобто замість типової сталеві арматури стіни укріплені полотнами з вуглецевих волокон. В результаті вдалося зменшити товщину стін з чотирнадцяти до восьми сантиметрів, оскільки вуглецеві волокна міцніші за сталь і не потребують захисту від іржі. Таким чином вдалося заощадити близько третини необхідного бетону.

Зелень на фасадах і даху трансформаторної станції не просто для того, щоб милувати око. Рослини сприяють поліпшенню мікроклімату, а також забезпечують середовище гніздування та проживання для багатьох дрібних птахів і тварин.

У майбутньому такі трансформаторні підстанції, як ця, здебільшого розташовуватимуться у містах, де вони сприятимуть покращенню якості повітря та охолодженню у спекотні літні дні.

ПІДВИЩЕННЯ ОБІЗНАНОСТІ ПРО ТЕХНІЧНІ МОЖЛИВОСТІ ЕЛЕКТРИФІКОВАНОГО СУСПІЛЬСТВА

Система керування електроенергією базується на відкритій технології PLCnext Technology. Як уже зазначалося, вона гарантує, що всі пристрої в парку надійно забезпечуються електроенергією. Потoki енергії, зафіксовані за допомогою приладів для вимірювання енергії, оцінюються, і енергія оптимально розподіляється по всьому парку. Пристрої парку — такі як інвертори, системи зберігання електроенергії, зарядні станції та всі інші генератори і обладнання — інтегровані в систему енергоменеджменту через MQTT до центрального пульта. Звіти дані та значення можуть бути доступні для всіх пристроїв.

За допомогою парку компанія Phoenix Contact хоче поширювати знання про майбутнє бачення All Electric Society, а також втілити це бачення в реальність. Компанія хоче підвищити обізнаність своїх співробітників, клієнтів і широкої громадськості про технічні можливості, які реалізовані вже сьогодні. Парк All Electric Society у доступній формі демонструє, що таке концепція All Electric Society і як вона працює. Реальні рішення та освітня презентація використовуються для ілюстрації того, як може виглядати майбутнє, в якому варто жити, і які переваги суспільство може отримати від цього. Парк All Electric Society відкрив свої двері для відвідувачів 1 вересня 2023 року.

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

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

СН



Рис. 5. Тема екологічності була послідовно реалізована при будівництві цієї підстанції

Empowering the All Electric Society



Безмежні можливості електричного майбутнього світу

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

Детальніше:

ТОВ “Фенікс Контакт”

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

Універсальне джерело безперебійного живлення

Для надійного живлення обладнання у промисловості, комунальному господарстві та оселях, розроблені універсальні модульні джерела безперебійного живлення на основі сонячних інверторів від SRNE. Вже зараз доступні однофазні рішення потужністю 3.0 кВт і 5.0 кВт. Команда SEA виконує весь цикл робіт: проектування, виробництво, монтаж, пусконаладження та введення в експлуатацію.

Для забезпечення надійного енергоживлення обладнання промисловості, комунального господарства та приватних осель Компанія SEA виробляє універсальні модульні джерела безперебійного живлення на базі універсальних сонячних інверторів виробництва SRNE. Наразі доступно для замовлення однофазні рішення з номінальною потужністю 3.0 кВт або 5.0 кВт (рис. 1).

Джерела безперебійного живлення Компанії SEA збираються на базі гібридних інверторів, які працюють з батареями напругою 24 або 48 В. Здатність працювати з будь-яким типом акумулятора, включаючи літєві акумулятори з протоколом обміну даними CAN, дає можливість забезпечувати безперебійне живлення для обладнання з мінімальними вкладеннями. Зарядний струм до 80 А забезпечує швидку інтелектуальну зарядку акумуляторів.

Компанія SEA виконує повний цикл робіт:

- проектування;
 - виготовлення;
 - монтаж на об'єкті;
 - пусконаладжувальні роботи;
 - введення в експлуатацію.
- Основні переваги:
- для забезпечення універсальності щодо джерела електроенергії є можливість підключатися до загальної мережі електроживлення, сонячних панелей або генератора;
 - модульність рішення дозволяє нарощувати або знижувати ємність акумуляторів;
 - наявність портів віддаленого моніторингу дозволяє завжди контролювати стан вашої мережі живлення з будь-якої точки світу завдяки можливості застосування опціонального Wi-Fi модуля.
- Команда досвідчених фахівців допоможе вам вибрати оптимальне рішення комплексу обладнання для ваших потреб. Універсальне модульне джерело

безперебійного живлення від SEA — це ефективне рішення, яке розв'язує комплексні задачі енергоживлення під будь-які потреби.

В універсальних однофазних джерелах безперебійного живлення використовуються інвертори номінальної потужністю 3300 Вт з напругою батарей 24 В. За необхідності збільшення номінальної потужності універсальних однофазних джерел безперебійного живлення до 5000 Вт, використовуються інвертори типу HF4850S80-H з напругою батарей 48 В. Технічні характеристики інвертора HF4850S80-H наведено у таблиці 1.

Джерела живлення від Компанії SEA оснащені потужними інверторами з високою номінальною потужністю, що дозволяє надійно жити різноманітні пристрої та обладнання. Захист від перевантажень, зворотного струму, короткого замикання та інших небезпечних ситуацій гарантує довгий та надійний робочий термін.

Щоб дізнатись вартість чи отримати додаткову консультацію щодо даної продукції, звертайтеся до відділу продажу електротехнічної продукції Компанії SEA, визнаного постачальника та виробника:

(044) 330-00-88,

e-mail: info@sea.com.ua

CN



Рис. 1. Однофазне універсальне модульне джерело безперебійного живлення від Компанії SEA

Таблиця 1. Технічні характеристики інвертора HF4850S80-H	
Параметри	Значення
Живлення від мережі	
Номінальна вхідна напруга	220/230 В змінного струму
Діапазон вхідної напруги	(170 ~ 280 В АС) ±2%
Частота	50 Гц / 60 Гц (автоматичне визначення)
Діапазон частот	47 ± 0.3 Гц ~ 55 ± 0.3 Гц (50 Гц)
Захист від перевантаження / коротке замикання	Автоматичний вимикач
ККД	> 95%
Час перемикання байпас / інвертор	10 мс (типовий)
Захист від зворотного ходу змінного струму	В наявності
Максимальна величина струму байпасу	30 А
Інверторний режим	
Вихідна напруга	Чиста синусоїда
Номінальна вихідна потужність (ВА/Вт)	3300/3300
Коефіцієнт потужності	1
Номінальна вихідна напруга	230 В змінного струму
Відхилення вихідної напруги	±5%
Вихідна частота	50 Гц ± 0.3 Гц
Максимальний ККД	> 92%
Захист від перевантаження	(102% < навантаження < 125%) ±10%: повідомлення про помилку та вимкнення вихідної напруги через 5 хвилин; (125% < навантаження < 150%) ±10%: повідомлення про помилку та вимкнення вихідної напруги через 10 секунд; навантаження > 150% ±10%: повідомлення про помилку та вимкнення вихідної напруги через 5 секунд
Пікова потужність	6000 ВА
Номінальна напруга акумулятора	24 В (мінімальна початкова напруга 22 В)
Діапазон напруги акумулятора	Сигналізація зниженої напруги/напруга відключення/сигналізація перенапруги/відновлення перенапруги налаштовується на ПК-екрані
Режим енергозбереження	Навантаження ≤ 50 Вт
Зарядження змінним струмом	
Тип батареї	Свинцево-кислотний або літєвий акумулятор
Максимальний заряд струму (налаштовується)	0–80 А
Помилка зарядного струму	± 5 ADC
Діапазон напруги заряду	20–33 В постійного струму
Захист від короткого замикання	Автоматичний вимикач і плашковий запобіжник
Технічні характеристики автоматичного вимикача	30 А
Захист від перезаряду	Звукове попередження і вимкнення заряджання через 1 хвилину
Зарядження від сонячних батарей	
Максимальна напруга сонячних батарей (PV)	500 В постійного струму
Робоча напруга PV	120–500 В постійного струму
Діапазон напруг MPPT	120–450 В постійного струму
Діапазон напруги акумулятора	20–33 В постійного струму
Максимальна вхідна потужність PV	4000 Вт
PV зарядний струм (налаштовується)	0–80 А
Захист від короткого замикання кіл заряджання	Плашковий запобіжник
Захист проводки	Захист від зворотної полярності
Гібридне зарядження, максимальний струм зарядного пристрою (зарядний пристрій змінного струму + фотоелектричний зарядний пристрій)	
Максимальний зарядний струм (налаштовується)	0–80 А
Інше	
Сертифікація	CE (IEC 62109-1)
EMC сертифікація	EN61000, C2
Робоча температура	-10 °C ~ +55 °C
Температура зберігання	-25 °C ~ +60 °C
Допустима вологість	5% ~ 95%
Рівень шуму	< 60 dB
Охолодження	Вентиляторне, з регулюванням швидкості
Інтерфейси передавання даних	USB/CAN/RS485(WiFi)/сухий перекидний контакт
Розміри (Д×Ш×Г)	378 мм×280 мм×103 мм
Вага	7.4 кг

ФЛЮС-ГЕЛЬ ДЛЯ ЛЮБИТЕЛІВ ТА ПРОФЕСІОНАЛІВ

Якщо ви займаєтеся пайкою BGA-мікросхем і реболінгом, якості вашого флюсу-гелю слід приділяти особливу увагу. Саме тут Interflux IF 8300, ексклюзивна розробка від бельгійської компанії **Interflux**, виявляється неперевершеним зряддям у руках справжнього майстра. **Компанія SEA** пропонує найвигіднішу пропозицію на ринку України на флюс-гель Interflux IF 8300.

Interflux, як світовий лідер у виробництві флюсів для пайки, має багаторічний досвід і бездоганну репутацію надійного партнера.

У флюс-гелі Interflux IF 8300 відсутні галогени, що можуть завдати шкоди друкованій платі та викликати корозію чи коротке замикання. Це гарантує безпроблемну та довготривалу роботу плати після пайки.

Також, він має оптимальну роботу температуру від 18 до 25 °C і ступінь в'язкості при 20 °C — 210 мПа·с, що забезпечує легке та рівномірне розподілення на поверхні плати. Флюс-гель можна наносити з використанням трафарету, дозатора або пензлика. Адаптований для безсвинцевої пайки.

Завдяки високому рівню змочуваності поверхонь пайки, забезпечується надійний контакт між BGA-мікросхемою та друкованою платою. Він також унеможливує утворення мостиків і кульок з припою, які можуть спричинити несправність в електричній схемі.

Перевагою флюс-гелю є також те, що він залишає мінімальний прозорий залишок, який не потребує додаткового відмивання. Це значно зекономить ваш час і ресурси, зберігаючи при цьому чистоту друкованої плати.

І остання перевага флюс-гелю Interflux IF полягає в тому, що він адаптований як для свинцевої, так і для безсвинцевої пайки. Це дозволяє використовувати один і той же флюс-гель для різних типів припою і BGA-мікросхем.

Замовити флюс-гель Interflux IF 8300 можна прямо зі складу у Києві від Компанії SEA, яка є офіційним представником Interflux в Україні.

Сертифікат якості від виробника гарантується за вашим запитом.

www.sea.com.ua

Зарядні пристрої потужністю до 150 кВт для швидкого заряду електромобілів

Омар Хармон (Omar Harmon), Франческо ді Доменіко (Francesco Di Domenico), Шриватса Рагхунатх (Srivatsa Raghunath), Infineon Technologies

Зарядна інфраструктура для електромобілів з батарейним живленням (BEV, або ЕБЖ), які здійснюють поїздки, зокрема, на далекі відстані, багато в чому має бути схожою з традиційною, яка застосовується для автотранспорту з двигунами внутрішнього згоряння.

ВСТУП

Не можна не помітити, що міські вулиці та автомобільні паркінги зазнають повільної трансформації, яка свідчить про настання епохи електромобілів. У міру широкого поширення електромобілів з батарейним живленням (BEV, або ЕБЖ) зростає попит на інфраструктуру, що використовується для їх зарядки. І хоча більшості таких електромобілів ще тільки належить конкурувати з традиційним автотранспортом із двигунами внутрішнього згоряння (ДВЗ), завдання забезпечити переміщення на далекі відстані буде вирішене, якщо ЕБЖ стануть заряджатися за час, який можна порівняти з часом обслуговування на АЗС.

У побутових умовах більшість ЕБЖ заряджаються або від джерел живлення змінного струму, або за допомогою настінного зарядного пристрою. Розраховані на номінальну потужність до 22 кВт, такі рішення дають змогу зарядити акумулятори автомобіля приблизно за 120 хвилин, щоб він проїхав наступні 200 км. Цього заряду цілком достатньо для коротких поїздок. Однак щоб зарядити батарею приблизно за 15 хвилин, потрібен зарядний пристрій постійного струму з

номінальною потужністю 150 кВт. Послуги із зарядки з такою потужністю можуть надаватися на спеціалізованих станціях з необхідною електротехнічною інфраструктурою, причому ідеальними претендентами на цю роль є автозаправки, стоянки таксі та бензоколонки.

МОДУЛЬНИЙ ПРИНЦИП

Щодо зарядних пристроїв уже діють регіональні стандарти таких організацій, як CharIN у Європі, CHAdeMO в Японії та GB/T у Китаї. Ці стандарти визначають усі компоненти та характеристики, починаючи з роз'ємів, кабелів і закінчуючи значеннями напруг і струмів. Додаткові стандарти передбачають загальні питання електробезпеки (IEC 60950), ізоляції кіл за допомогою оптичної ізоляції (UL1577), а також застосування електромагнітних і ємнісних (VDE V 0844-11) технологій гальванічних роз'язок. Таким чином, у розробників є можливість вибрати найкращий варіант реалізації зарядного пристрою постійного струму.

На вибір конструкції пристрою впливають багато чинників, зокрема габари-

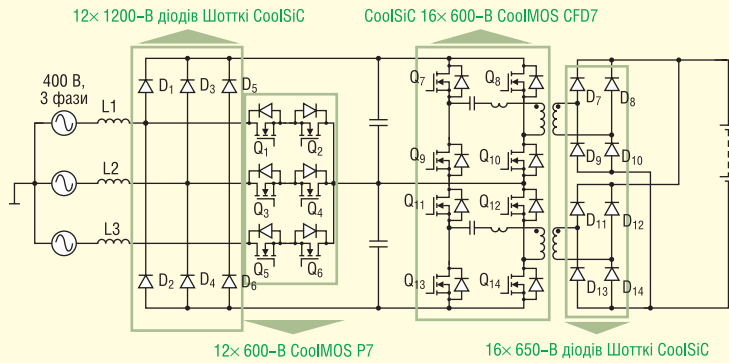
ти, зовнішній вигляд і ціна. Однак, попри ці вимоги, зарядні пристрої з номінальною потужністю 50–150 кВт будуються за модульним принципом. Вони зв'язуються по шині даних із центральною системою керування, яка здійснює білінг. Крім того, вона виконує автентифікацію зовнішніх мереж даних і підтверджує справність модулів-замінників зарядного пристрою. На рисунку 1 представлена стандартна топологія зарядного субмодуля з номінальною потужністю 15–40 кВт. Сучасні 50-кВт зарядні пристрої складаються з трьох окремих апаратних субмодулів потужністю приблизно по 16,5 кВт.

Натомість субмодулі реалізуються комбінуванням трьох блоків потужністю 5,0 кВт кожен. Такий модульний принцип побудови забезпечує економічне масштабування завдяки повторному використанню наявних субмодулів і проектуванню блоків відповідно до вимог нових клієнтів. У разі відмов модульний принцип спрощує технічне обслуговування та ремонт. З урахуванням тенденції до скорочення часу заряджання потужність, що подається, зростає, що призводить до підвищення потужності кожного субмодуля для підтримання балансу між продуктивністю, потужністю і простотою експлуатації.

Субмодулі побудовані на основі ефективних багаторівневих і багатозазначних топологій, завдяки чому тепло, що виділяється, розподіляється за наявним обсягом, а також досягається масштабованість. Модульний принцип також дає змогу виробникам швидко реалізу-



Рис. 1. Стандартна топологія зарядного субмодуля з номінальною потужністю 15–40 кВт

**Особливості та переваги:**

- високий ККД завдяки SJ CoolMOS
- спільне використання SiC-діода CoolSiC
- потужність вища на 10 кВт при тому ж списку матеріалів
- простота схематичного рішення
- скорочення часу виведення виробів на ринок

Каскад	Частота комутації	Пристрої	Виріб	Номер компонента	Кількість, шт.
AC/DC	40 кГц		600-В CoolMOS P7	IPW60R024P7	12
			1200-В діод Шотткі CoolSiC	IDWD40G120C5	12
		IC драйвера	EiceDRIVER 1ED	1EDI40112AH	6
DC/DC	до 300 кГц		600-В CoolMOS CFD7	IPW60R024CFD7	16
		IC драйвера	EiceDRIVER 2ED	2EDS8265H	8
МК			4x ШИМ-таймера XMC 4000	XMC4400-F100K512 BA	2

Вимоги до застосувань:

- 30 кВт, 75 А при 400 В
- повітряне охолодження
- Вієнна-випрямляч для ККП
- 2-рівневий FB LLC-перетворювач із двофазним чергуванням
- напруга ланки постійного струму: 840 В

Рис. 2. Пропонована схема 30-кВт субмодуля зарядного пристрою

вати масив зарядних пристроїв із різними значеннями вихідної потужності відповідно до потреб замовників.

ТОПОЛОГІЇ 30-КВТ СУБМОДУЛІВ

У діапазоні потужності 15–40 кВт рекомендується використовувати в субмодулях дискретні компоненти (див. рис. 2) з метою забезпечити ККД у межах 93–95% при вихідній напрузі 200–920 В DC (вироби компанії CharIN). Вхідна напруга, як правило 3-фазна величиною 380 В AC, випрямляється за допомогою 3-фазної схеми Вієнна.

Далі використовуються ізольовані одинарні DC/DC повномостові резонансні LLC-перетворювачі (розраховані на 1200 В) або сток мостових LLC (на 600–650 В), які забезпечують змінювану вихідну напругу постійного струму. Якщо не потрібно, щоб зарядні пристрої постійного струму повертали енергію в мережу, в каскаді корекції коефіцієнта потужності (ККП) застосовується Вієнна-випрямляч. Цьому 3-фазному 3-рівневному ШИМ-випрямлячу необхідні тільки три активні ключі. Його вихідною напругою можна керувати. Цей випрямляч працює навіть за незбалансованої мережі живлення або в разі втрати однієї фази. Він також зберігає стійкість до збоїв завдяки тому, що в разі збою схеми керування не виникає коротке замикання на виході або у вхідному каскаді. Вхідний струм має синусоїдальну форму. Коефіцієнт потужності різних варіантів

виконання випрямлячів досягає 0.997; коефіцієнт нелінійних спотворень: 5%; ККД: не менше 97%.

Така топологія ефективно реалізується шляхом комбінації кремнієвої та карбідокремнієвої технологій. 1200-В діоди Шотткі CoolSiC 5-го покоління забезпечують не залежну від температури комутаційну характеристику, стійкість до високих значень dv/dt і малу пряму напругу величиною 1.25 В.

У результаті знижуються вимоги до охолодження всієї системи, і підвищується надійність за дуже високої швидкості комутації. Для реалізації ефективних рішень з оптимізованою вартістю в парі з цими діодами використовуються ключі 650-В IGBT TRENCHSTOP 5 з малою напругою насичення V_{CEsat} і низькими комутаційними втратами. Як альтернативний варіант, що дає змогу підвищити ККД, діоди застосовують спільно з ключами серії CoolMOS P7 у комутаційному каскаді із зустрічним увімкненням, завдяки чому значно скорочуються втрати на перемикання завдяки малому значенню E_{OSS} , більшому заряду затвора Q_G і малому $R_{DS(ON)}$ завбільшки всього 24 Ом.

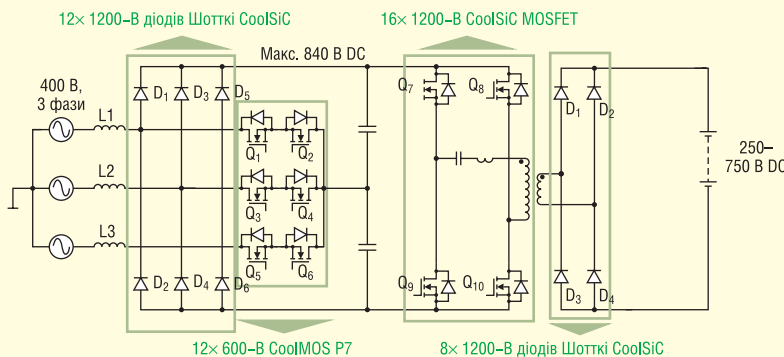
У дворівневих резонансних повномостових LLC-перетворювачах використовуються пристрої CoolMOS CFD7 із внутрішнім швидкодійним діодом, завдяки чому забезпечується захист упродовж критичних робочих фаз зарядного пристрою ЕБЖ, особливо під час запуску двигуна, у разі короткого замикання на виході або в режимі пікової продуктивності. Така стійкість досягається не

завдяки якимось додатковим заходам, а виключно завдяки малим значенням E_{OSS} , Q_G і заряду зворотного відновлення Q_{RR} . Ключі цього сімейства з різними значеннями $R_{DS(ON)}$ дають змогу підібрати найбільш прийнятний пристрій для кожного класу потужності. Випрямний каскад на вторинній стороні побудований на 650-В діодах Шотткі CoolSiC.

ПІДВИЩЕННЯ ККД 30-КВТ СУБМОДУЛІВ

Перейшовши до рішення, в якому частка карбідокремнієвих пристроїв більша, можна збільшити ККД тієї ж топології. Крім того, підвищується надійність схеми за допомогою меншої кількості компонентів, тому що знижуються теплові втрати. Замість багаторівневих рішень з високовольтними DC/DC-перетворювачами застосовують паралельно встановлені повновагові LLC-перетворювачі. Для роботи з більшими напругами ланки постійного струму на первинній стороні застосовуються 1200-В CoolSiC MOSFET (див. рис. 3).

Для роботи з вищими напругами на вторинній стороні застосовуються 1200-В пристрої CoolSiC. Поеднання меншої кількості компонентів із меншим значенням $R_{DS(ON)}$ кожного пристрою дає змогу скоротити втрати на провідність. Загалом, у реалізованих за цим принципом субмодулях — триваліший термін служби, вища надійність, густина потужності та комутаційні частоти.



- Особливості та переваги:**
- найвищий ККД завдяки технології CoolSiC
 - менший список матеріалів
 - вища надійність
 - простіше схемотехнічне рішення
 - менший час виведення виробів на ринок

Каскад	Частота комутації	Пристрої	Виріб	Номер компонента	Кількість, шт.
AC/DC	40 кГц		600-В CoolMOS P7	IPW60R024P7	12
			1200-В діод Шотткі CoolSiC	IDWD40G120C5	12
		IC драйвера	EiceDRIVER 1ED	1EDI40I12AH	6
DC/DC	до 300 кГц		1200-В CoolSiC MOSFET	MW120R045M1	16
			1200-В діод Шотткі CoolSiC	IDW40G120C5B	16
		IC драйвера	EiceDRIVER 1ED	1EDI40I12AH	8
МК			4x ШИМ-таймера XMC 4000	XMC4400-F100K512 BA	2

- Вимоги до застосувань:**
- 30 кВт, 75 А при 400 В
 - повітряне охолодження
 - Вієнна-випрямляч
 - 2 паралельно встановлених FB LLC-перетворювача
 - напруга ланки постійного струму: 840 В

Рис. 3. Резонансний повномостовий LLC-каскад, повністю побудований на SiC-компонентах, ще більшою мірою дає змогу підвищити ККД системи

ВИБІР ОПТИМАЛЬНОГО ДРАЙВЕРА ЗАТВОРА

Сигнали керування від мікроконтролера XMC4000 або цифрового сигнального процесора (DSP) подаються на силові пристрої через відповідний

драйвер затвора. Рішення на базі технології КнІ (кремній-на-ізоляторі) з реалізованим у мікросхемі зсувом рівня і гальванічним поділом сигналів за допомогою трансформатора з повітряним осердям забезпечують необхідну ефективність під час керування напівмосто-

вими і мостовими каскадами. До числа критично важливих параметрів, що вимірюються, належать затримка на поширення, струм керування, стійкість до стрибків напруги, втрати під час зсуву рівня, комутаційна частота та ін.

У розглянутих схемах застосовуються драйвери двох сімейств — 1ED і 2EDi. 1EDCx012AH — одноканальні ізольовані драйвери затвора з трансформаторною розв'язкою, які випускають у різних корпусах, вони відповідають вимогам стандарту UL-1577. Первинна сторона підтримує широку низку напруг, завдяки чому спрощується під'єднання до мікроконтролера або DSP, а вторинна сторона підтримує режими роботи з біполярними та уніполярними сигналами.

Вихідний драйвер із повним діапазоном напруги спрощує вибір резистора затвора, позбавляє від необхідності в зовнішньому сильноточному зворотному діоді та покращує керування dv/dt у конфігураціях із верхнім і нижнім плечима.

2EDS8265H — швидкодійний двоканальний драйвер затвора з ізоляцією між первинним і вторинним боками, а також із міжканальною ізоляцією на виході. Пристрої CoolMOS CFD7 і CoolSiC, які використовуються на первинному боці стекового LLC-перетворювача, відмінно придушують синфазний сигнал, забезпечують швидке поширення сигналу і високий струм керування.

Швидкодійний зарядний пристрій для ЕБЖ обладнано функцією зупинки на ті випадки, коли вихідний пристрій

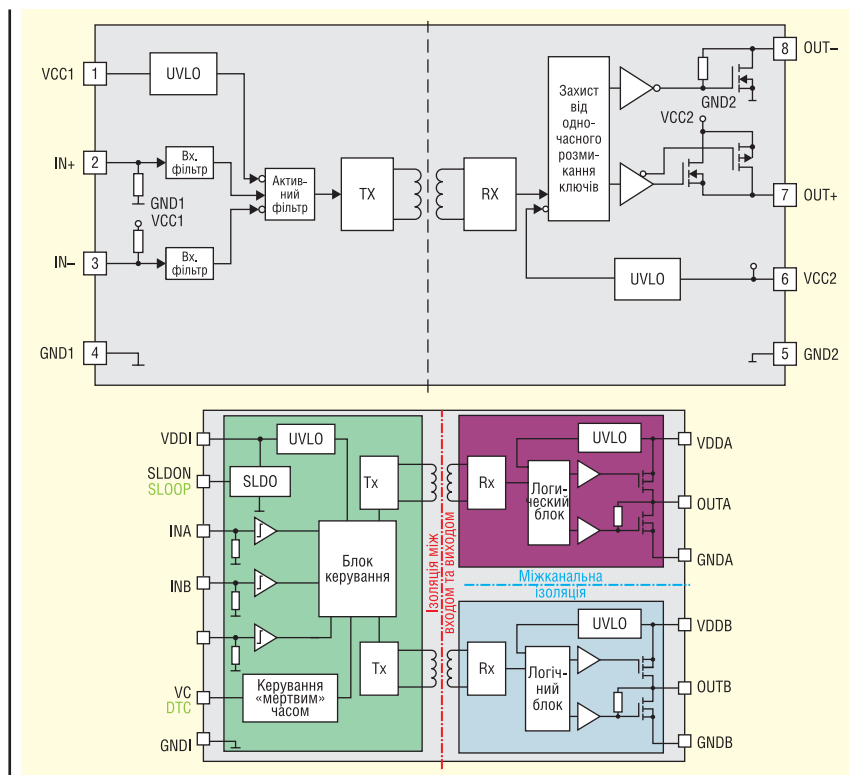


Рис. 4. Структурні схеми одно- і двоканального драйверів затворів EiceDRIVER із трансформаторами з повітряним осердям

не під'єднано до джерела живлення, а захист від просідань напруги живлення (UVLO) забезпечує надійну роботу всього приладу. Використання оптимальної топології, у якій, наприклад, розв'язувальні конденсатори встановлено поруч із виводами живлення, а паразитну індуктивність зменшують за допомогою заземлювальних шарів, забезпечує хороші теплові та електричні характеристики (стійкість до шуму).

На рисунку 4 представлено структурні схеми одно- і двоканального драйверів затворів EiceDRIVER із трансформаторами з повітряним осердям.

ВИСНОВКИ

Отже, щоб електромобілі з батарейним живленням можна було повноцінно використовувати під час пересування на невеликі та далекі відстані, можливості зарядних станцій мають багато в чому бути схожими з тими, що є в автомобілів із двигунами внутрішнього згоряння. З цією метою розробляються зарядні пристрої постійного струму великої потужності, в т.ч. на 150 кВт.

Зарядні пристрої з такими габаритами будуються за модульним принципом, тобто поєднують у собі кілька силових модулів, щоб забезпечити необхідну вихідну потужність. Якщо розглядати зарядні пристрої з високим ККД, підвищеною надійністю, хорошими тепловими характеристиками, малим розміром і вартістю, стає очевидним, що карбідокремнієві компоненти стануть відігравати важливу роль у розробці необхідних рішень. Їх можна комбінувати з наявними кремнієвими MOSFET-ключами або з карбідокремнієвими ключами в тих випадках, коли необхідно забезпечити максимальний ККД за порівняно малої кількості компонентів. Модулі з повітряним охолодженням потужністю 30 кВт і вище, в яких застосовуються відповідні драйвери затворів і керувальна електроніка, відповідають вимогам міжнародних стандартів із заряджання.

Більш детальну інформацію можна отримати, звернувшись до партнера компанії Infineon на території України — компанії Rainbow Technologies:

**04112, Україна, м. Київ,
вул. Дегтярівська, 62, оф. 46,
тел./факс: (044) 290-41-69,
(044) 290-41-82,
e-mail: svl@rainbow.com.ua,
www.rainbow.com.ua**

CN

RAINBOW

TECHNOLOGIES



A PERFECT ALLIANCE.

Наступне покоління рознімачів для модернізації військової техніки — рознімачі серії ODU AMC

Радіотелефонія та передача даних по радіоканалу

- Відмінне екранування
- Відмінні характеристики

3'єднання з каскою

- Мінімальні розміри / низькопрофільний рознімач

Прилади нічного бачення / дисплеї TFR

- Версія з підпружиненими контактами rого pin

Персональний комп'ютер

- Малий розмір
- Мала вага
- Можливе колірне кодування

Модуль навігації

- Версія з простим очищенням контактів

Обмін даними з автомобілем

- 3'єднання-роз'єднання під навантаженням

Блок управління, що носить

- 3'єднання кабель-кабель

GPS антена

- Ковкальній рознімачі розміру "0"
- Push-pull заскочка

www.odu.de

Rainbow Technologies

www.rainbow.com.ua

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

Покращення терморегулювання друкованих плат мікрохвильового діапазону з використанням сучасних матеріалів

Джон Кунрод (John Coonrod), Rogers Corp.

В статті, щоб проілюструвати терморегулювання друкованих плат на практиці, детально описано експеримент, який показує тепловий потік в друкованій платі при різних рівнях потужності із використанням матеріалів з різними тепловими властивостями.

Зі зростанням величини попиту на сучасний рівень інтеграції вузлів мікрохвильової радіоелектронної апаратури, та пов'язаним із цим підвищенням рівнем густини потужності друкованих плат, на перший план, як ніколи раніше, виходить проблема оптимізації їх нагріву. Справа тут полягає в тому, що, як відомо, температура має вирішальний вплив на надійність апаратури в цілому. Розуміння належного вирішення проблем температурного режиму мікрохвильової друкованої плати вимагає від проєктувальників знання певної базової теорії щодо теплового потоку в друкованій платі, а також теплових властивостей матеріалів, що в ній використовуються. Для наочної демонстрації керування тепловим потоком в друкованій платі, в ході експерименту порівнюється залежність показників від рівня потужності, а також їх залежність

від типу застосованого матеріалу (його теплопровідних характеристик).

Для розгляду такого прикладу нам знадобиться звичайна мікросмужкова схема. Вона допоможе відобразити хід потоку тепла через друковану плату, включаючи ефекти наскрізного переходу через перехідні отвори, які використовуються для з'єднання із «землею» ізольованих зон друкованої плати.

Базова тепла модель характеризується наявністю гарячих та холодних областей (зон), з'єднаними між собою теплопровідним матеріалом, яким частіше всього стає мідь (див. рис. 1). Теплопровідність міді приблизно 400 Вт/м/К, що є дуже хорошим показником. Для моделі, яка більше нагадує тепловий потік у мікросмужковій друкованій платі з перехідними отворами з верхньої до нижньої частини плати, базова модель модифікована за допомогою теплових ізоляторів,

які тепер оточують теплопровід у вигляді мідної смужки. Перехідний отвір є металізованим отвором в друкованій платі, що служить для електричного з'єднання провідних схем, які знаходяться на різних провідних шарах (під провідним шаром друкованої плати розуміють провідну схему друкованої плати, розташовану в одній площині). При цьому ізоляційний матеріал друкованої плати є теплоізолятором (рис. 1б). Такий матеріал, зазвичай — це склотекстоліт фольгований марки FR-4, має теплопровідність (ТП) приблизно 0.25 Вт/м/К. При створенні моделі для мікросмужкової друкованої плати (рисунк 1в) верхній мідний шар вважається сигнальним шаром (гарячою зоною), тоді як нижній мідний шар вважається площиною заземлення (холодною зоною).

У цій базовій тепловій моделі співвідношення для передачі тепла між гарячою та холодною зонами є:

$$H = -kA \frac{\Delta T}{L},$$

$$H = -kA \frac{T_H - T_C}{L},$$

де H — тепловий потік, k — теплопровідність, A — площа на межі із теплопровідником, ΔT — різниця температур носія T_H та середовища T_C , L — довжина теплопровідника, що з'єднує зони. У цій моделі передбачається, що температура в теплопровіднику досягла рівноваги. Проста модель і надані рівняння показують, що для теплопровідника із низькою теплопровідністю між зонами відбуватиметься менший теплообмін. Що є очевидним. Відстань між зонами (шарами друкованої плати) також впливатиме на

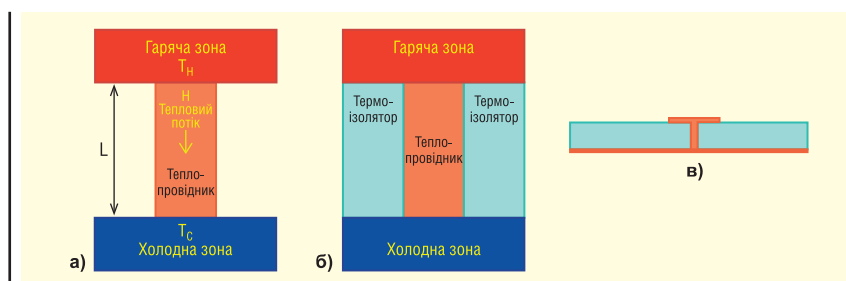


Рис. 1. Базові моделі теплового потоку

Таблиця 1. Порівняння підвищення температури мікросмужкових ліній для друкованих плат різної товщини та значень ТП

	Товщина, міл	Теплопровідність, Вт/м/К	Dk	Df	Частота, МГц	ВЧ потужність, Вт	Підвищення температури відносно навколишнього середовища, °С
Матеріал А	20	0.25	3.50	0.0023	3000	30	45
Матеріал А	10	0.25	3.50	0.0023	3000	30	36
Матеріал Б	20	0.50	3.50	0.0023	3000	30	23

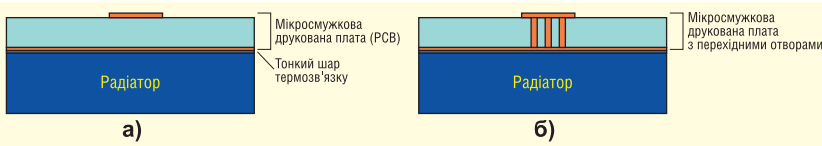


Рис. 2. Поперечний переріз мікросмужкової друкованої плати: без перехідних отворів (а); з перехідними отворами для передачі тепла (б)

кількість переданого тепла, тоді як тонший провідник тепла між шарами зменшує резистентність теплового потоку.

При апроксимації цієї спрощеної моделі до мікросмужкової друкованої плати сигнальний шар друкованої плати вважається гарячою зоною, а площа заземлення друкованої плати — холодною (див. рис. 2). Також передбачається, що площа заземлення, для підтримки постійної температури, термічно приєднана до ефективного радіатора, температура якого є значно нижчою, ніж температура сигнального шару.

Шари мікросмужкової друкованої плати можуть бути з перехідними отворами або без них. Модель, що відповідає мікросмужковій друкованій платі без перехідних отворів, показана на рисунку 2а, тоді як модель, що представляє мікросмужкову друковану плату із заземленням через численні перехідні отвори, показана на рисунку 2б. Ці отвори використовуються для з'єднання двох мідних поверхонь плати. Модель на рисунку 2б є загальною для мікросмужкових друкованих плат, на яких встановлено активний елемент, наприклад, силовий транзистор, який генерує тепло. Численні отвори під таким теплогенератором в англійській літературі називають «а via farm» (дослівно — «перехідна ферма»).

При порівнянні матеріалів різної товщини (мається на увазі товщина діелектричної основи матеріалу плати), з різними значеннями ТП, як це показано у таблиці 1, але з незмінними іншими ключовими параметрами, такі як тестова потужність і частота, можна побачити залежність зміни температури від типу матеріалу. Наприклад, три матеріали в таблиці 1 мають однакове значення відносно діелектричної проникності (Dk) і коефіцієнта дисипації (Df), а також використовуються на тій самій частоті (3000 МГц) та з таким же рівнем потужності (30 Вт). У жодному з матеріалів немає заземлення

через перехідні отвори, але підвищення температури відносно температури навколишнього середовища для всіх трьох матеріалів різне. Як можна бачити, воно цілком залежить від товщини матеріалу та значення його ТП. Найбільше зростання температури відносно температури навколишнього середовища відбувається в найтовщому матеріалі друкованої плати з найнижчим значенням ТП. Зазначимо, що у цій моделі, яка, як відомо, є досить консервативною, але справедливою навіть для такого простого порівняння, не застосовується технологія заземлення через перехідні отвори.

Як показано в таблиці 1, матеріали для друкованих плат із нижчим значенням ТП, при однаковій величині прикладеної потужності, призводять до значного підвищення температури над температурою навколишнього середовища. Тоді як матеріали з вищим значенням ТП призводять до меншого підвищення температури над температурою навколишнього середовища. Деякі значення ТП матеріалів, які зазвичай використовуються у високочастотних друкованих платах, наведено в таблиці 2. На жаль, більшість матеріалів друкованих плат, які використовуються в мікрохвильовій сфері, мають відносно низькі значення ТП, що пов'язано із необхідністю досягати балансу між всіма параметрами ізоляційного матеріалу плат у цій галузі техніки.

З точки зору теплопровідності будь-який із загальноживаних у виробництві високочастотних плат матеріалів типу FR-4 має гірший показник ТП порівняно з RO4350B™ або RT/duroid® 6035HTC виробництва Rogers Corp. Тим не менш значення ТП провідникової міді, яке становить приблизно 400 Вт/м/К, буде на декілька порядків вищим за будь-яке інше значення ТП інших типів матеріалів із вказаних в таблиці 2. Це беззаперечно доводить наскільки ефективно металізовані перехідні отвори можуть впливати на розподіл теплового потоку.

Таблиця 2. Значення ТП для найбільш поширених матеріалів високо-частотних друкованих плат

	ТП, Вт/м/К
High Tg FR-4	0.24
Nearly Pure PTFE	0.20
Ceramic Filled PTFE	0.50
RO4350B™ Laminate	0.62
RT/duroid® 6035HTC Laminate	1.44

Щоб зрозуміти вплив рівня ТП для різних матеріалів друкованих плат, було проведено дослідження їх теплового зображення. З цієї метою було використано мікросмужкові конструкції на основі підкладок з різних діелектричних матеріалів з абсолютно різними значеннями ТП. Вплив генерованого тепла для цих матеріалів досліджувався із перехідними отворами («фермами») та без них. Нагрівання виконувалося постійним струмом. Задля усунення впливу мікрохвильового сигналу і зосередження лише на факторах впливу ТП матеріалу всі друковані плати в дослідженні мали однакову товщину 20 міл із навантаженням кінцевого резистором номіналом 100 Ом і однаковими за формою струмопровідними мідними елементами (а також з провідною міддю однакової структури). Як вже було сказано, в них використовувалися різні ізоляційні матеріали. Після подачі живлення від джерела напруги постійного струму кожному колу та кінцевому резистору давали достатньо часу для досягнення теплової рівноваги. На рисунку 3 показана різниця нагріву плати відносно температури навколишнього середовища (25 °С). Різниця показана для плат, виготовлених з різних типів матеріалів без застосування перехідних отворів. Як зображено на рисунку 3 і було наведено раніше в таблиці 2, матеріали з найвищими значеннями ТП демонструють найменше підвищення температури. Якщо порівняти ці криві з графіками для плат, що використовують перехідні отвори, тобто які можуть направляти частину тепла на радіатор для тепловідводу, то зростання температури тут є меншим, хоча загальні тенденції однакові.

На рисунку 4 показані мікросмужкові схеми в перерізі: без перехідних отворів (а); з перехідними отворами (б); з наскрізним переходом, у вигляді «паркану» (в). Мікросмужка без наскрізних

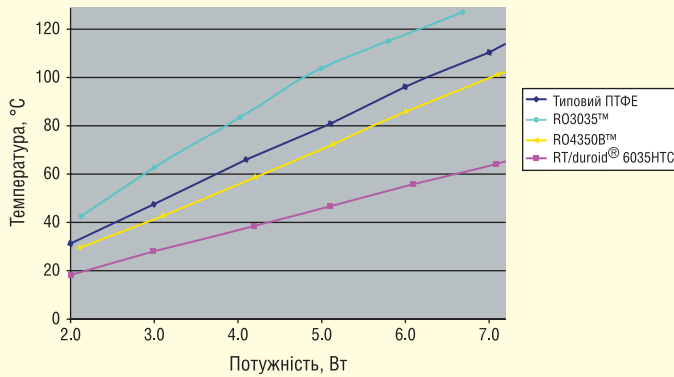


Рис. 3. Порівняння підвищення температури плат товщиною 20 міл із матеріалів з різними ТП відносно температури навколишнього середовища

отворів, як правило, є схемою із радіочастотним сигналом, де активна доріжка (сигнальна доріжка або сигнальний шар) не може бути під'єднана до площини заземлення. У цьому випадку зменшення нагріву відбувається за рахунок ТП властивостей самого діелектричного матеріалу плати. Звичайно, чим тонша підкладка, тим коротший шлях відводу тепла і відповідно менший нагрів друкованої плати.

Для мікросмужкових плат з встановленими активними елементами, що генерують тепло, для покращення розсіювання тепла зазвичай використовується конфігурація з наскрізними отворами, як це показано на рисунку 4б. Активні елементи, встановлені на платі, зазвичай заземлюються, тому перехідні отвори — це найефективніший спосіб запобіганню перегріву плати.

На рисунку 4в зображена досить рідкісна конфігурація мікросмужкової друкованої плати. В перерізі вона більше схожа на заземлений копланарний хвилевід, ніж на мікросмужку, з тією перевагою, що вона дозволяє відводити тепло від активних елементів, які не можуть бути заземлені за допомогою металізованих наскрізних/перехідних отворів, чи розсіювати тепло у площині x-y з урахуванням значення ТП. У цьому випадку критичним для оптимального розсіювання тепла є значення ТП ізоляційного матеріалу плати. В такому виконанні плати відстань між активною трасою та копланарною «землею» з наскрізним переходом порівняно з товщиною плати

має бути невеликою. Вона може бути в діапазоні 125 мкм (5 міл). Завдяки мінімізації шляху теплового потоку передача тепла від сигнального шару (траси радіочастотного сигналу) до заземленої поверхні стає більш ефективною. Однак у цій конфігурації необхідно вирішити деякі електричні проблеми, які пов'язані із близькістю копланарної «землі» до сигнальної поверхні (траси сигналу).

Однією з частин належного вирішення проблеми надлишкового нагріву мікросмужкових друкованих плат є розуміння взаємозв'язку між втратами в колі, прикладеною потужністю та спровокованим нагрівом. Висококастотне нагрівання контуру в основному пов'язане з втратами, які в ньому відбуваються. А в мікросмужкових схемах, таких як використані в цій статті для прикладу, існує кілька типів втрат, включаючи втрати в провіднику (втрати на провідність), діелектричні втрати та втрати на випромінювання. Ці втрати пов'язані з дизайном самої плати, а також з вибором її матеріалу. Різновиди матеріалів друкованих плат відрізняються товщиною та типом міді, яка звісно впливає на рівень втрат. Наприклад, мідні провідники з шорсткатою поверхнею зазнають вищих втрат, ніж мідні провідники з гладкою поверхнею. Якість кріплення міді до діелектрика також може впливати на рівень втрат мікросмужкової друкованої плати.

Іншою властивістю матеріалу, яка впливає на втрати, є значення Df матеріалу друкованої плати. Нижче Df при-

зводить до менших діелектричних втрат і меншої генерації тепла, що виділяється в друкованій платі. Крім того, друкована плата з матеріалу з низьким значенням Dk також буде давати менше втрат і менше генеруватиме тепла, ніж плата з матеріалу з вищими значеннями Dk. Умова матиме місце при застосуванні конструкції кола з контрольованим опором, а матеріал з меншим показником Dk дозволить використати широкі провідники. Зрозуміло, що ширші провідники дають менші втрати в провідниках, ніж вузькі.

До переліку основних властивостей матеріалу з найбільш позитивним впливом на рівень теплопровідності увійдуть: найвища ТП, найнижчий Df, найменш шорстка поверхня міді, товстіший діелектрик та найнижчий за показником Dk. Звичайно, у практичних конструкціях завжди є ті чи інші компроміси. Наступний приклад це наочно демонструє. В ньому використовується мікросмужкова лінія передачі 20 міл на діелектрику з Dk 3.5 в умовах забезпечення 30 Вт радіочастотної потужності на частоті 3 ГГц. Оскільки таке рішення потребує досягнення хорошої продуктивності з низькими втратами, то в його основу мав би закладатися матеріал на базі PTFE діелектрика з керамічним наповнювачем з Df приблизно 0.0023 (Polytetrafluoroethylene — політетрафторетилен, PTFE (ПТФЕ), відомий, як фторопласт-4). Але PTFE матеріал порівняно дорогий, так само як і його подальша обробка, використовувати цей матеріал складно. Тому для прикладу було розглянуто дешевшу альтернативу — вуглеводневий ламінат з Df 0.0037.

Використовуючи просту модель для порівняння підкладок, прогнозоване підвищення температури над температурою навколишнього середовища становить приблизно 45 °C для PTFE та приблизно 21 °C для вуглеводневого ламінату. Незважаючи на те, що підкладка з PTFE має нижчу Df, ніж у вуглеводневого ламінату, останній має менший підйом тепла через своє значення ТП 0.62 Вт/м/К порівняно лише з 0.25 Вт/м/К для ламінату з PTFE.

Максимальна робоча температура мікросмужкової друкованої плати є важливим параметром, який слід враховувати при плануванні допустимого нагріву конструкції плати. Це пов'язано з тим, що відповідно до умов пожежної безпеки, які визначені за стандартом Underwriters Laboratory (UL), перевищення максимальної робочої температура для матеріалу і компонентів плати не допускається взагалі. Це не стосується короточасних підвищень температури,

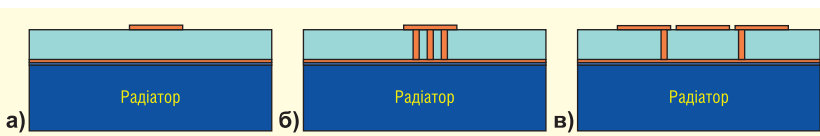


Рис. 4. Поперечний переріз друкованої плати із мікросмужкою: без перехідних отворів (а); з перехідними отворами («фермами») (б); з наскрізним переходом, у вигляді «паркану» (в)

які пов'язані з паянням при складанні вузлів апаратури. Тут маються на увазі виключно довгострокові впливи, які мають місце за високої температури. Саме вони мають викликати занепокоєння. Фактично, значення допустимої температури ламінату можна використовувати в простій моделі, це дає можливість проілюструвати деякі відмінності в матеріалах при розгляді мікросмужкової лінії передачі на матеріалі товщиною 20 міл.

Припускається, що максимально допустима робоча температура в цьому прикладі схеми дорівнює +105 °С, а температура навколишнього середовища становить +25 °С. Метою цього прикладу є уникнення підвищення температури більш ніж на 80 °С, не порушуючи властивості матеріалу. Як показано на рисунку 5, вибір матеріалу друкованої плати значно впливає на потужність, яку може передати мікрохвильова схема, при цьому матеріали мають більше значення ТП і менше Df. Приклад приводиться для частоти 800 МГц; на вищих частотах, за того самого рівня потужності радіочастотного сигналу, відбуватиметься сильніше нагрівання. Хоча шорсткість мідного провідника, про яку згадано раніше, може мати мінімальний вплив на нижчих частотах, але

при цьому вона може більше впливати на втрати на вищих частотах, перетворюючись на додаткове тепло, що виділяється в друкованій платі з мідними провідниками, які мають шорстку мідну поверхню.

Підсумовуючи, все що сказано вище, проходження теплового потоку через високочастотну друковану плату можна проаналізувати за допомогою досить простої моделі. Використання простої моделі демонструє переваги матеріалу з високим показником теплопровідності та допомагає обрати найбільш ефективну стратегію керування рівнем нагріву друкованої плати. При цьому, досить ефективним методом покращення відводу тепла від друкованої плати, може стати застосування груп перехідних отворів. Але в цьому випадку треба проявляти певну обережність, оскільки такий підхід не завжди можливо застосувати з активними трасами радіочастотного сигналу.

Загалом, увага до вибору матеріалу плати з відповідними характеристиками, такими як хороша ТП, низький коефіцієнт розсіювання, гладка поверхня мідного провідника та низька діелектрична проникність, допоможе не тільки при розробці високопродуктивної із радіочастотних міркувань друкованої плати,

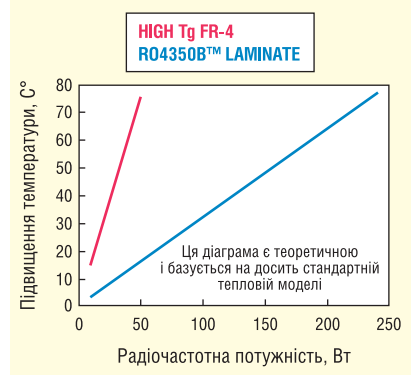


Рис. 5. Приклад залежності рівня нагріву мікросмужкових ліній 20 міл, виготовлених на основі різних ізоляційних матеріалів

але також покращить її тепловий режим, який безпосередньо впливає на надійність вузла в цілому.

Більш детальну інформацію щодо продукції компанії Rogers можна отримати, звернувшись до її торгового представника в Україні — ТОВ «Євроконтакт ЛТД.»:

тел.: (044) 500-79-91,

e-mail: info@eurocontact.kiev.ua,

www.eurocontact.kiev.ua **CN**

ПРОДАМ

матеріали Rogers

зі складу або на замовлення

ЄВРОКОНТАКТ

www.eurocontact.kiev.ua

т/ф +380 44 500 7991

info@eurocontact.kiev

ЄВРОКОНТАКТ

www.eurocontact.kiev.ua

т/ф +380 44 500 7991

info@eurocontact.kiev.ua

Що означає проектування високошвидкісних друкованих плат?

Закарайа Петерсон (Zachariah Peterson)

Сьогодні можна стверджувати, що більшість друкованих плат піддаються ризику виникнення проблем із цілісністю сигналу, які зазвичай виникають під час високошвидкісного цифрового проектування. Під час проектування та компонування високошвидкісної друкованої плати основна увага приділяється створенню конструкцій, які менш схильні до проблем цілісності сигналу, цілісності живлення та EMI/EMC. Хоча жоден проєкт неможливо повністю захистити від зазначених проблем, ми маємо надію, що рекомендації, які надано в цій статті, допоможуть знизити їх до рівня, на якому вони будуть непомітні і не створять проблем із продуктивністю в кінцевому продукті.

Після того як ви створили схеми і готові перейти до компонування друкованої плати, вам потрібно буде використовувати певні функції ваших інструментів проектування для правильного компонування і трасування. У програмному забезпеченні для проектування друкованих плат у вас буде можливість підготувати розташування силових і заземлювальних полігонів у стеку шарів, розрахувати профілі імпедансу ваших провідників і переглянути варіанти матеріалів друкованої плати для стека. Більшість аспектів високошвидкісного розроблення розгортаються навколо конструкції сте-

ка друкованих плат і трасування для забезпечення цілісності сигналу та живлення, і правильне програмне забезпечення ECAD може допомогти забезпечити успіх у цих галузях [1].

ОСНОВИ ВИСОКОШВИДКІСНОГО ЦИФРОВОГО ПРОЄКТУВАННЯ

Отже, що означає проектування високошвидкісних друкованих плат? Високошвидкісне проектування належить до систем, які використовують високошвидкісні цифрові сигнали для передачі даних між компонентами.

Межа між високошвидкісним цифровим проєктом і простою друкованою платою з повільнішими цифровими протоколами нечітка. Загальний показник, який використовується для позначення конкретної системи як «високошвидкісної», — це швидкість фронту (або час наростання) цифрових сигналів, що використовуються в системі. У більшості цифрових проєктів використовують цифрові протоколи як із високою швидкістю (висока швидкість фронту), так і з низькою швидкістю (низька швидкість фронту). У сучасну епоху вбудованих систем та Інтернету речей більшість високошвидкісних друкованих плат мають ВЧ-інтерфейс для бездротового зв'язку та швидких мереж.

Хоча всі проєкти починаються із схеми, основна частина проектування високошвидкісної друкованої плати зосереджена на створенні необхідної структури її з'єднань, стека друкованої плати та трасуванні [2]. Якщо ви досягнете успіху в перших двох сферах, то, ймовірно, досягнете успіху і в третій. Ознайомтеся з розділами нижче, щоб дізнатися про конструювання високошвидкісних друкованих плат і важливість програмного забезпечення для проектування друкованих плат.



Відео: What Are High-Speed PCBs? Answering Your Questions!

ПЛАНУВАННЯ СТРУКТУРИ ШАРІВ ВИСОКОШВИДКІСНОЇ ДРУКОВАНОЇ ПЛАТИ ТА ПОВНОГО ОПОРУ

Стек друкованих плат, який ви створюєте для високошвидкісної друкованої плати, визначатиме імпеданс, а також легкість при виконанні трасування. Стек друкованої плати містить набір шарів, призначених для високошвидкісних сигналів, живлення та заземлення, і є кілька моментів, які слід врахувати під час призначення шарів у стеку:

- Розмір плати і кількість кіл: наскільки великою буде плата і тра-

сування якої кількості кіл потрібно для друкованої плати. На фізично великих платах може бути достатньо місця для трасування і компонування друкованої плати, за умови використання лише кількох сигнальних шарів.

- **Щільність трасування:** при великій кількості кіл і обмеженому розмірі плати може бути мало місця для трасування в зовнішньому шарі. Тому потрібна більша кількість внутрішніх сигнальних шарів, на яких провідники розташовані ближче один до одного. Використання плати меншого розміру може призвести до збільшення щільності трасування.
- **Число інтерфейсів:** іноді рекомендується трасувати тільки один або два інтерфейси на шар залежно від ширини шини (послідовна або паралельна) і розміру плати. Збереження всіх сигналів у високошвидкісному цифровому інтерфейсі на одному шарі забезпечує узгоджений імпеданс і зрозумілість зсуву для всіх сигналів.
- **Сигнали з низькою швидкістю і РЧ сигнали:** чи будуть у цифровому проєкті низькошвидкісні або РЧ сигнали? Якщо будуть, вони можуть займати місце на поверхневому шарі, яке можна було використати для високошвидкісної шини або компонентів; у такий спосіб може знадобитися додатковий внутрішній шар.
- **Цілісність живлення:** один із ключових елементів цілісності живлення — використання великих шарів живлення і заземлення для кожного

рівня напруг, необхідних для великих мікросхем. Їх необхідно розміщувати в сусідніх шарах, щоб забезпечити високу ємність шару для підтримки стабільного живлення через розділові конденсатори.

ВАРІАНТИ МАТЕРІАЛІВ ДРУКОВАНОЇ ПЛАТИ, КІЛЬКІСТЬ ШАРІВ І ТОВЩИНА

Перед проєктуванням стека друкованої плати визначте кількість шарів, необхідних для розміщення всіх цифрових сигналів у проєкті. Є кілька способів визначення цього, але вони засновані на математичних обчисленнях і досвіді проєктування високошвидкісних плат. Крім зазначених вище моментів визначення числа шарів, необхідний розмір плати може визначатися великими високошвидкісними мікросхемами з посадковими місцями BGA/LGA. При виконанні трасування BGA, її зазвичай можна вмістити в два ряди провідників на сигнальний шар, при створенні стека необхідно включити в число шарів шари живлення і заземлення (рис. 1).

Зазвичай матеріали класу FR4 можуть використовуватися у високошвидкісних цифрових проєктах, якщо провідники між компонентами короткі. Якщо провідники занадто довгі, у високошвидкісному каналі будуть великі втрати, і компоненти на прийнятному кінці каналу можуть не мати можливості відновити сигнали. Основна властивість, яку необхідно враховувати під час вибору

матеріалів, — це **тангенс кута діелектричних втрат матеріалу друкованої плати**. Геометрія провідника також буде викликати втрати, але, як правило, матеріал FR4 з нижчим тангенсом кута втрат рекомендується для невеликих плат.

Якщо траси занадто довгі, може знадобитися більш спеціалізований матеріал як основа для високошвидкісних проєктів. Матеріали з ламінатом на основі PTFE, ламінатом зі скла та інших більш спеціалізованих матеріалів підходять для підтримки високошвидкісних цифрових плат більшого розміру, якщо провідники дуже довгі, і потрібно забезпечити низькі втрати, що вносяться. Хорошим вибором матеріалу початкового рівня з високим T_g для малогабаритних високошвидкісних друкованих плат буде 370HR. Для плат більшого розміру можна використовувати ламінат Megtron або Duroid. Перед продовженням проконсультуйтеся з виробником, щоб переконатися в можливості виготовлення з використанням обраних матеріалів і запропонованого стека.

КОНТРОЛЬ ІМПЕДАНСУ

Імпеданс визначається тільки після створення запропонованого стека і його перевірки виробником. Виробник може запропонувати зміни для стека плати, такі як альтернативні матеріали плати або товщина шару. Після затвердження стека, що використовується, і остаточного визначення товщини можна обчислити значення імпедансу.

Зазвичай імпеданс обчислюється за допомогою формули або калькулятора з аналізатором поля. Необхідне в проєкті значення імпедансу визначає розміри лінії передачі та відстань до найближчих шарів живлення або «землі». Ширину лінії передачі можна визначити за допомогою таких інструментів:

- **Формули IPC-2141 і Вадделла:** виступають відправною точкою для оцінки імпедансу і надають точні результати на низьких частотах.
- **Програми аналізатори полів 2D/3D:** використовуються для розв'язання рівня Максвелла з урахуванням геометрії лінії передачі, визначеної для високошвидкісної плати.

Використання інструменту Layer Stack Manager разом із засобом аналізу поля забезпечує найточніші результати і навіть враховує шорсткість міді, травлення, асиметричне розташування ліній і диференціальних пар (рис. 2) [3]. Після обчислення профілю імпедансу



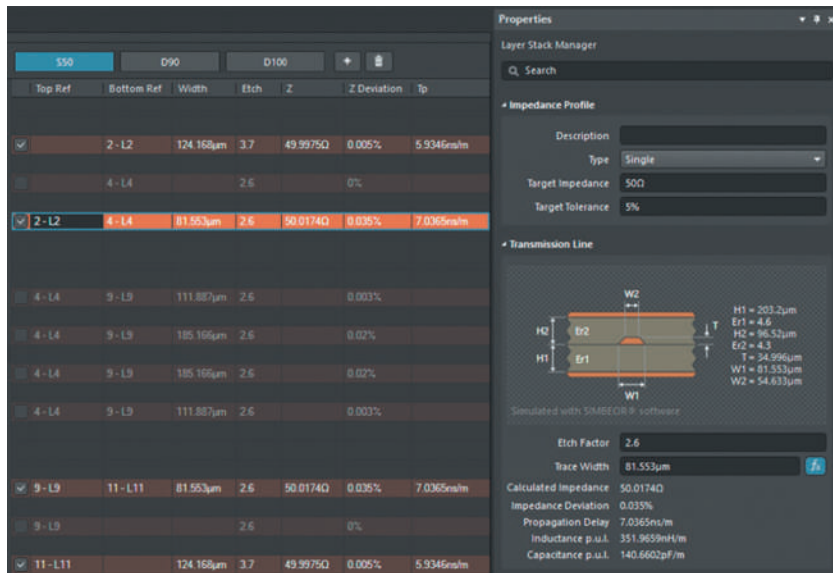


Рис. 2. Розрахунок повного опору для проектування лінії передачі на високошвидкісній платі. Інструмент Layer Stack Manager в Altium Designer включає калькулятор повного опору, який враховує шорсткість міді

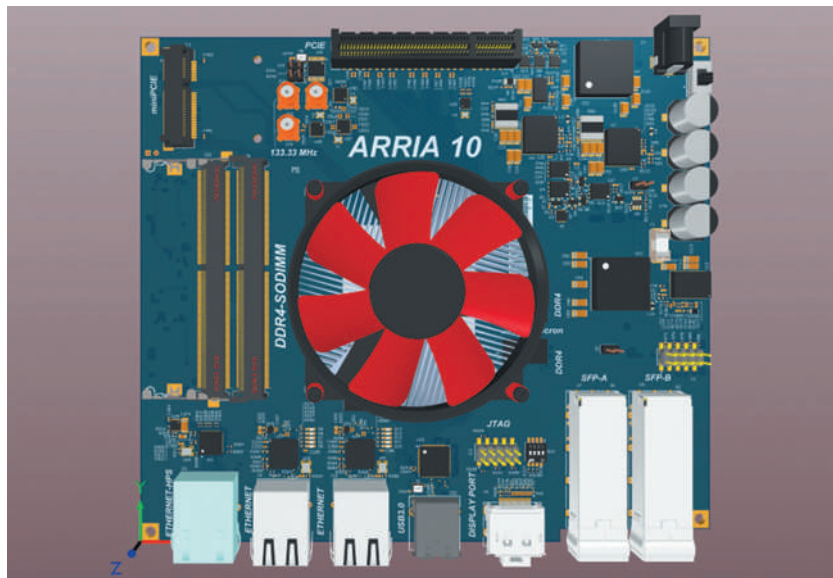


Рис. 3. Високошвидкісне компонування максимально ефективне, коли IC головного контролера розташована біля центру плати, з іншими високошвидкісними периферійними пристроями, розміщеними навколо неї. Це одна з причин, через яку материнські плати мають великий процесор, розташований у центрі плати

високошвидкісній друкованій платі. Зазвичай найбільшу мікросхему центрального процесора рекомендується розмістити в центрі плати, оскільки зазвичай вона має з'єднуватися з іншими компонентами на платі однаково. Мікросхеми меншого розміру, що приєднуються безпосередньо до центрального процесора, можуть розміщуватися навколо мікросхеми в центрі, щоб траси між компонентами були короткими і прямими. Периферійні компоненти можна розмістити на платі для забезпечення необхідних функцій (рис. 3). Проект MiniPC в Altium Designer має власні периферійні пристрої PCIe, DDR4, USB 3.0 і Ethernet, розміщені навколо центральної однокристальної системи програмованої логічної інтегральної схеми, що значно спрощує маршрутизацію.

Після розміщення компонентів можна налаштувати інструменти проектування і розпочати трасування проекту. Це важлива частина проектування високошвидкісної цифрової схеми, оскільки неправильне трасування може порушити цілісність сигналу. Однак, якщо попередні кроки було виконано правильно, домогтися цілісності сигналу буде набагато простіше. Необхідно задати профіль повного опору в правилах проектування друкованої плати, щоб усі провідники в проекті мали правильну ширину, проміжок і інтервал підтримки контрольованого повного опору під час трасування.

ТРАСУВАННЯ, ЦІЛІСНІСТЬ СИГНАЛУ ТА ЦІЛІСНІСТЬ ЖИВЛЕННЯ

Цілісність сигналу починається зі встановлення певного значення імпедансу на платі та його збереження під час компонування і трасування. Нижче наведено інші стратегії забезпечення цілісності сигналу:

- Прагніть до зменшення довжини провідників між компонентами для забезпечення високої швидкості сигналів.
- Намагайтеся звести до мінімуму трасування через перехідні отвори, в ідеалі повинно бути два перехідних отвори для входу і виходу з внутрішнього шару.
- Видаляйте невикористану мідь в отворах на високошвидкісних шинах (наприклад, 10G + Ethernet), використовуючи зворотне висвердлювання.
- Приділяйте увагу необхідності використання кінцевих резисторів для

для провідників він має бути встановлений як правило проектування в інструментах трасування для забезпечення необхідного імпедансу провідників.

Більшість протоколів передавання високошвидкісних сигналів, як-от PCIe або Ethernet, використовують трасування диференціальних пар, тому необхідно визначити імпеданс диференціальних пар, вираховавши ширину та відстань між провідниками. Інструменти аналізу полів — це найкращі засоби для обчислення імпедансу диференціальних пар у будь-якій геометрії (мікросмужкова,

смужкова або копланарна). Інший важливий результат використання засобу аналізу полів — затримка розповсюдження, яка буде використовуватися під час високошвидкісного трасування для примусового налаштування довжини.

ПЛАНУВАННЯ ВИСОКОШВИДКІСНОЇ ДРУКОВАНОЇ ПЛАТИ

Немає певних правил або стандартів розміщення компонентів на

запобігання відбиття сигналів; відомості про наявність вбудованого термінування дивіться в описах компонентів.

- Уточніть у виробника, які матеріали та процеси можуть допомогти уникнути ефекту впливу типу плетіння волокон.
- Використовуйте грубе обчислення перехресних завад або моделювання для визначення відповідної відстані між колами друкованої плати.
- Складіть список шин і кіл, які потребують узгодження довжини, щоб можна було налаштувати їхню структуру для усунення перекосу.

Ці важливі моменти можна визначити як правила проєктування для інструментів трасування, що допоможе забезпечити дотримання рекомендацій з проєктування високошвидкісних плат.

ТРАСУВАННЯ ВИСОКОШВИДКІСНИХ ДРУКОВАНИХ ПЛАТ

Правила проєктування, встановлені в проєкті високошвидкісної друкованої плати, забезпечують імпеданс, зазор і довжину під час трасування проєкту. Крім того, під час трасування диференціальної пари, до неї можуть бути застосовані спеціальні правила, зокрема, зменшені невідповідності довжини для запобігання перекосу і примусові інтервали між трасами для дотримання цільових значень диференціального імпедансу. Найкращі інструменти трасування дають змогу встановити обмеження геометрії провідника як правила проєктування для забезпечення продуктивності (рис. 4).

Одним із найважливіших моментів у трасуванні високошвидкісної друкованої плати є розміщення шарів зазем-

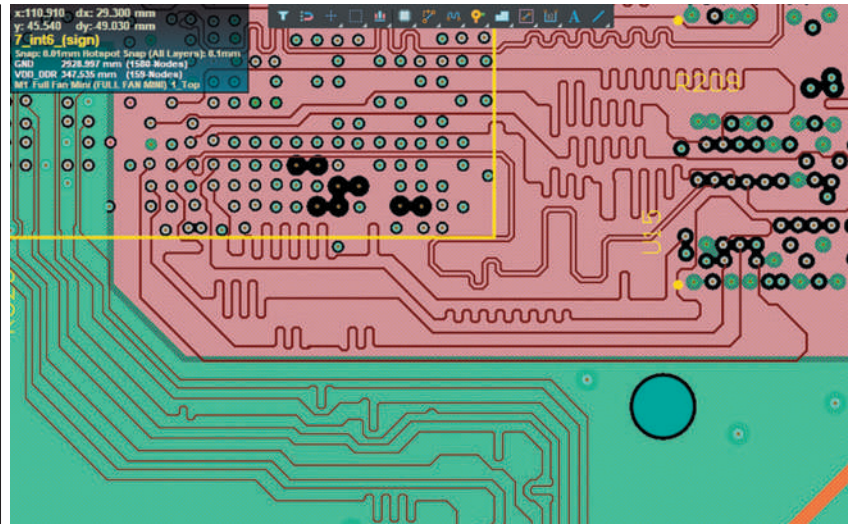


Рис. 4. Налаштування довжини використовується між паралельними шинами і між трасами в диференціальних парах для узгодження часової затримки та усунення перекосу між сигналами на приймачі

лення поруч із провідниками. Штук має бути сконструйований так, щоб шари заземлення перебували в шарах суміжних із шарами, в яких є сигнали з контролем імпедансу, для підтримання постійного імпедансу та визначення нерозривного зворотного шляху протікання струму. Провідники не повинні прокладатися через зазори (проміжки, люфти) або розрізи в полігонах заземлення, щоб уникнути неоднорідності імпедансу, що зазвичай призводить до появи електромагнітних завад. Розміщення шару заземлення не обмежується забезпеченням цілісності сигналу, воно також важливе для цілісності живлення та його стабільного постачання.

ЦІЛІСНІСТЬ ЖИВЛЕННЯ

Цілісність живлення охоплює багато аспектів і відіграє важливу роль під час проєктування високошвидкісних дру-

кованих плат. Забезпечення стабільного постачання живлення на високошвидкісні компоненти винятково важливе для проєктів друкованих плат, оскільки проблеми цілісності живлення можуть вливатися в проблеми цілісності сигналу. Цілісність живлення насамперед забезпечується завдяки подачі живлення до компонентів із низьким рівнем шуму. Структура шарів друкованої плати і компонування мережі подачі живлення — основні чинники, що визначають рівень цілісності живлення в цифровому проєктуванні. У грамотно виконаному проєкті живлення буде подаватися на швидкісні цифрові компоненти з низьким рівнем шуму і дуже незначними перехідними коливаннями на шинах живлення. Проєктування високошвидкісних друкованих плат з хорошою цілісністю живлення забезпечує низький рівень проблем цілісності сигналу, що виникають у високошвидкісних між'єднаннях.

SOFTPROM

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

ТОВ "Софтпром Солошин"

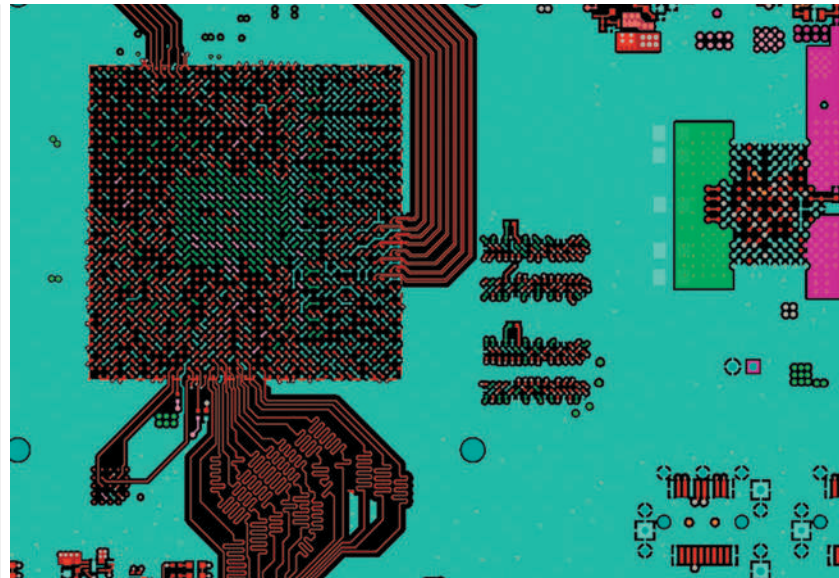


Рис. 5. Розробляйте фізичну структуру за допомогою найкращого програмного забезпечення для високошвидкісного проєктування

РОЗШИРЕНІ ІНСТРУМЕНТИ ДЛЯ ВИСОКОШВИДКІСНОГО ПРОЄКТУВАННЯ І ТРАСУВАННЯ

Найкраще програмне забезпечення для проєктування високошвидкісних друкованих плат об'єднує всі ці можливості в одній програмі, позбавляючи від необхідності використовувати окремі робочі процеси для розв'язання завдань проєктування (рис. 5). Проєктувальники високошвидкісних друкованих плат повинні виконувати великий обсяг роботи на початковому етапі для забезпечення цілісності сигналу, цілісності живлення та електромагнітної сумісності. Ефективні інструменти роботи з високошвидкісними структурами допоможуть досягти потрібних результатів, спираючись на правила проєктування, які гарантують очікувану ефективність.

Більш сучасне програмне забезпечення для проєктування друкованих плат буде взаємодіяти з програмами для моделювання, щоб допомогти у виконанні аналізу відповідно до жорстких галузевих стандартів. Деякі програми для моделювання спеціально призначені для оцінювання цілісності сигналу та живлення в проєкті, а також для перевірки електромагнітних завод у друкованій платі. Моделювання дуже корисне під час проєктування високошвидкісних друкованих плат, оскільки може допомогти виявити певні проблеми SI/PI/EMI до запуску проєкту у виробництво. Деякі приклади мають можливість відстеження шляху протікання зворотного струму, виявлення розривів імпедансу в провідниках і здатність допомогти визначити ідеальне

розташування розділових конденсаторів для запобігання електромагнітних завод.

Якщо потрібно розробити передові високошвидкісні цифрові системи, забезпечуючи водночас цілісність сигналів і живлення, використовуйте найкращий набір інструментів для конструювання та компонування високошвидкісних друкованих плат, створених відповідно до заданих правил проєктування. Незалежно від того, потрібне вам компонування компактного одноплатного комп'ютера чи складної друкованої плати зі змішаними сигналами, найкращі інструменти компонування друкованих плат допоможуть вам залишитися гнучкими під час створення високошвидкісної друкованої плати.

Конструктори схем, інженери з компонування та інженери SI/PI довіряють передовим інструментам проєктування Altium Designer® [4] для проєктування високошвидкісних проєктів.

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

**e-mail: altium@softprom.com,
[https://softprom.com/ua/
vendor/altium](https://softprom.com/ua/vendor/altium)**

Література:

1. <https://youtu.be/yZoWmWaxRPM>
2. <https://www.altium.com/altium-designer/features/high-speed-design>
3. <https://www.altium.com/documentation/altium-designer/defining-layer-stack/>
4. <https://softprom.com/ua/vendor/altium/product/altium-designer>

ALTIUM 365 BOM MANAGER

Після успішного етапу відкритого бета-тестування компанія Altium випустила на ринок Altium 365 BOM Manager. Об'єднайте дизайн і закупівлі, щоб скоротити витрати на переробку дизайну і скоротити час виходу на ринок за допомогою неперевершеної аналітики даних про деталі і функцій спільної роботи з моменту розміщення перших компонентів на схемі. Почніть оптимізувати процес розробки апаратного забезпечення вже сьогодні!

Скоротіть витрати на повторне проєктування та скоротіть час виходу на ринок завдяки неперевершеній аналітиці даних про деталі та можливостям спільної роботи. Проактивно знизуйте ризики в ланцюжку поставок протягом усього життєвого циклу продукту, а також для всіх специфікацій і деталей.

Використовуйте розширені дані про деталі та ланцюги поставок для прийняття більш об'єднаних рішень щодо специфікацій. Співпраця між командами інженерів і закупівельників на ранніх стадіях гарантує, що будуть враховані найновіші специфікації деталей, інформація про відповідність стандартам і дані про ланцюжок поставок, такі як життєвий цикл виробника, доступність і ціни. Це допомагає прискорити час виходу вашого продукту на ринок без шкоди для якості та економічної ефективності.

Забезпечте стабільність свого ланцюга постачання та підтримуйте свої розробки, що вже перебувають у виробництві. Коливання в ланцюжку поставок можуть вплинути на доступність деталей і витрати. Завжди будьте на крок попереду, оскільки BOM Manager проактивно відстежує ваш ланцюжок постачання деталей і попереджає про помилки на основі актуальної інформації про ланцюжок постачання, дозволяючи вам оперативно вирішувати проблеми до того, як вони ускладняться і зупинять виробництво.

Управляйте та редагуйте специфікації за допомогою електронної таблиці та надійної системи управління документами. Зберігайте дані в архівах і папках та впевнено діліться ними як з внутрішніми, так і з зовнішніми зацікавленими сторонами за допомогою захищених опцій обміну. Створюйте та зберігайте версії специфікацій як окремі ревізії з настроюваними станами життєвого циклу. Спростіть управління специфікаціями, використовуючи переваги розширеної функціональності.

<https://www.altium.com>

Розведення друкованої плати для зниження ЕМЗ на прикладі чотирьохключового підвищувально-знижувального контролера з одинарним і подвійним «гарячим» контуром

Ен Хван Чо (Yong Hwan Cho), Кіт Солуша (Keith Szolusha)
Переклад: Євген Івашенко

В автомобільних застосуваннях електричні кола повинні відповідати суворим стандартам електромагнітної сумісності, щоб уникнути завад у діапазонах частот радіомовлення та мобільного зв'язку. У багатьох випадках рішення на базі технології Silent Switcher і Silent Switcher 2 можуть істотно вплинути на відповідність цим стандартам. Проте необхідно приділяти особливу увагу розведенню друкованої плати. У статті розглядається два можливих рішення для підвищувально-знижувального контролера з чотирма ключами та порівнюються результати тестування в безеховій камері.

Чотирьохключовий підвищувально-знижувальний контролер об'єднує функції підвищувального і знижувального контролерів в одній мікросхемі, перетворювач працює як знижувальний, коли вихідна напруга нижча за вхідну, і як підвищувальний, якщо вихід вищий за вхід. У прикордонній області, де вхідна і вихідна напруги збігаються, можуть працювати всі чотири ключі.

Дослідницька група Analog Devices вивчила ефективність оригінального розведення плати з подвійним контуром «гарячої» петлі та з'ясувала, чи зможе використовуватися альтернативне розведення для зменшення ЕМЗ, щоб задовольняти вимоги стандартів. Випробування проводилися на базі власної безлунної камери, розташованої в м. Санта-Клер, Каліфорнія.

Схема подвійної «гарячої» петлі передбачає симетричне розташування керамічних конденсаторів контуру

навколо силових МОН-транзисторів для придушення електромагнітних завад. Компанія Analog Devices пропонує унікальне розташування резистора — поруч із котушкою індуктивності та за межами «гарячих» контурів, це зменшує розмір самої петлі та мінімізує антенний ефект. Для досягнення симетрії та приєднання ключів до індуктора потрібні перехідні отвори комутаційного вузла, які можуть збільшити площу «гарячого» контуру. Використовуючи безехову камеру, що відповідає вимогам стандарту CISPR 25, дослідницька група виявила, що наявність перехідних отворів і велика площа «гарячого» контуру призводять до небажаних кондуктивних завад, особливо на частоті 30 МГц (FM-діапазон), оскільки в цьому частотному діапазоні досить складно послабити завади.

Оригінальне компонування підвищувально-знижувального контролера, що має один «гарячий» контур, здатне змен-

шити розмір контуру шляхом перестановки його силових транзисторів і конденсаторів. Це компонування відоме як одинарний «гарячий» контур і являє собою аналог подвійного «гарячого» контуру. Перевага одинарного «гарячого» контуру полягає не тільки в менших втратах під час перемикання, а й у тому, що кондуктивні завади на частоті понад 30 МГц скорочуються через мінімальну площу «гарячого» контуру і зменшення впливу комутаційного вузла. Ефективність цього рішення перевіряють під час порівняння електромагнітних завад, в обох схемах застосовують однакові контролери та компоненти силового кола. Для проведення експериментів було протестовано дві налагоджувальні плати підвищувально-знижувального контролера LT8392 (DC2626A rev.2 і DC2626A rev.3).

ПОРІВНЯННЯ РОЗВЕДЕННЯ ДРУКОВАНИХ ПЛАТ

На рисунку 1 наведено схеми та фотографії плат із подвійним і одинарним «гарячим» контуром. Кожна плата має чотири шари, проте показано тільки верхній і нижній шари. Як видно на рисунку 1а, конденсатори «гарячого» контуру розташовані ліворуч і праворуч від центральних МОН-транзисторів і утворюють ідентичні «гарячі» контури. Перехідні отвори призначені для підключення вузлів комутації SW1 і SW2

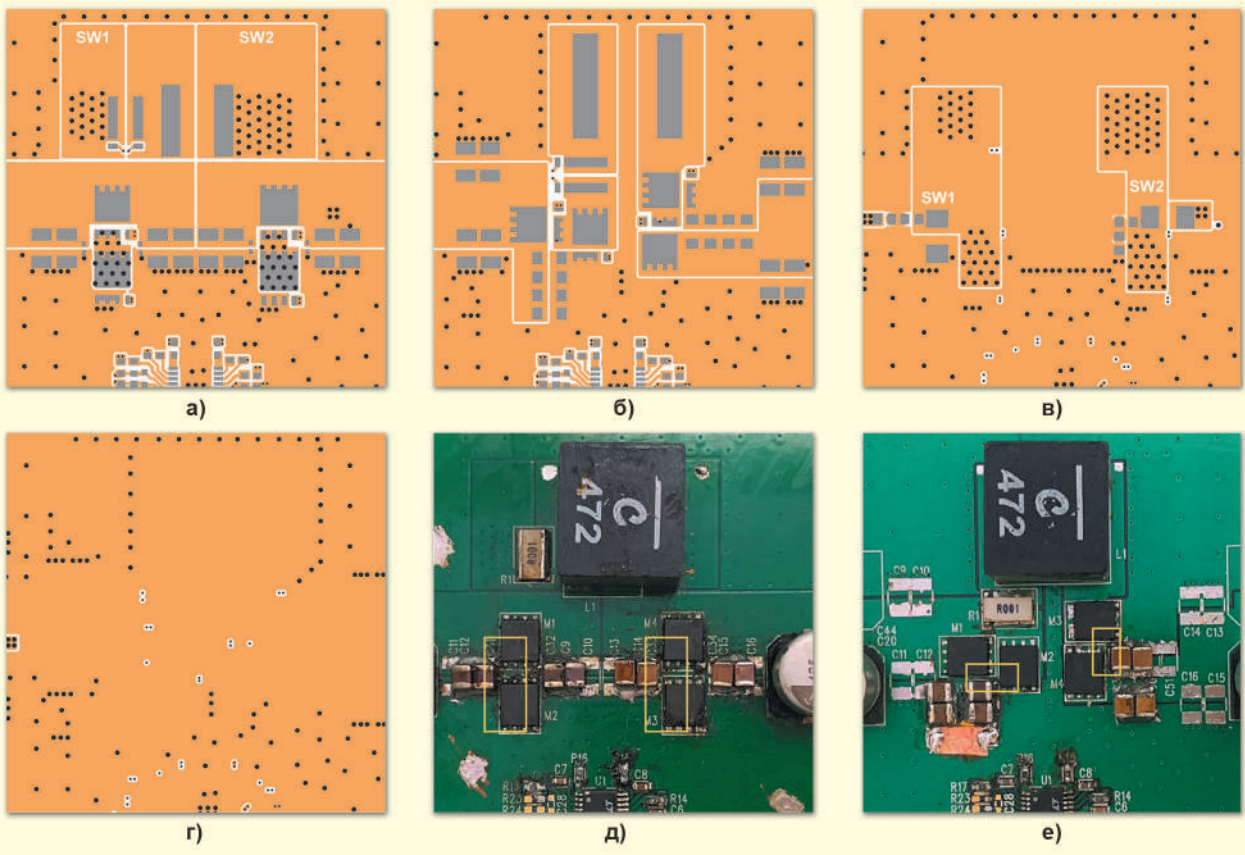


Рис. 1. Схеми і фотографії зібраної плати з подвійним і одинарним «гарячим» контуром: подвійний «гарячий» контур, верхній шар (а); одинарний «гарячий» контур, верхній шар (б); подвійний «гарячий» контур, нижній шар (в); одинарний «гарячий» контур, нижній шар (г); компоненти подвійного «гарячого» контуру (д); компоненти одинарного «гарячого» контуру (е)

до силової котушки індуктивності через нижній шар (рис. 1в) і шар 3. Верхні мідні полігони вузлів SW1 і SW2 мають велику площу для кращого розсіювання втрат потужності силових компонентів схеми (транзистори, котушка). Водночас неекрановані комутаційні вузли SW1 і SW2 стають джерелами випромінювання електромагнітних завад. Якщо плата розташована поблизу заземленого корпусу, між заземленням і майданчиком комутаційного вузла утворюється паразитна ємність. Це створює потік високочастотних завад від вузла комутації до «землі» і впливає на інші кола в системі. У безлунній камері, що відповідає стандарту CISPR 25, високочастотний шум поширюється через заземлений стіл, установку та еквівалент мережі. Відкритий комутаційний вузол також діє як антена і, відповідно, випромінює електромагнітний шум. Однак схема з одинарним «гарячим» контуром не має перехідних отворів і з'єднувального полігона на нижньому шарі друкованої плати, як показано на рисунку 1г.

На верхньому шарі (рис. 1б) конденсатори «гарячого» контуру розташовані тільки з одного боку силових транзисторів, що дає змогу підключати вузол до індуктора без використання перехідних отворів.

У схемі з одинарним «гарячим» контуром верхній і нижній МОН-транзистори не вирівняні, один із них повернутий на 90°, щоб зробити «гарячий» контур якомога меншим. Розмір подвійного «гарячого» контуру й одинарного «гарячого» контуру порівнюються на рисунках 1д і 1е, вони виділені жовтими прямокутниками. Можна бачити, що розмір одинарного «гарячого» контуру вдвічі менший.

Слід зазначити, що два конденсатори подвійного «гарячого» контуру 0402, показані на рисунку 1а, не використовуються, замість них конденсатори розміром 1210 притиснуті до транзисторів, щоб створити найменший можливий «гарячий» контур.

Паяльна маска поруч із контактним майданчиком конденсатора 0402 зачищена для надійного підключення конденсаторів 1210. Крім того, видалено маску поруч із контактним майданчиком котушки індуктивності, щоб можна було використовувати той самий індуктор. Менший розмір «гарячого» контуру означає, що загальна індуктивність контуру менша.

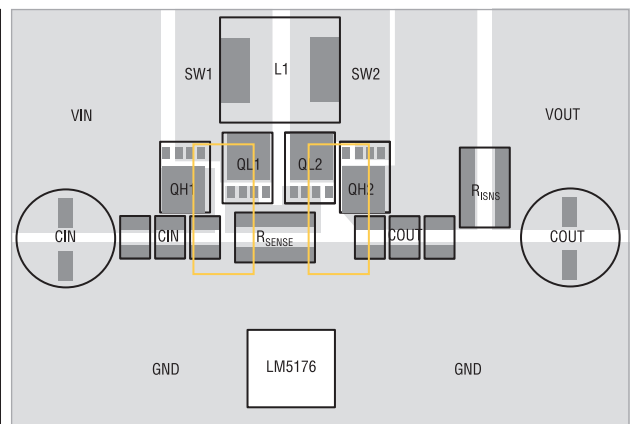


Рис. 2. Рекомендоване розведення для контролера LM5176

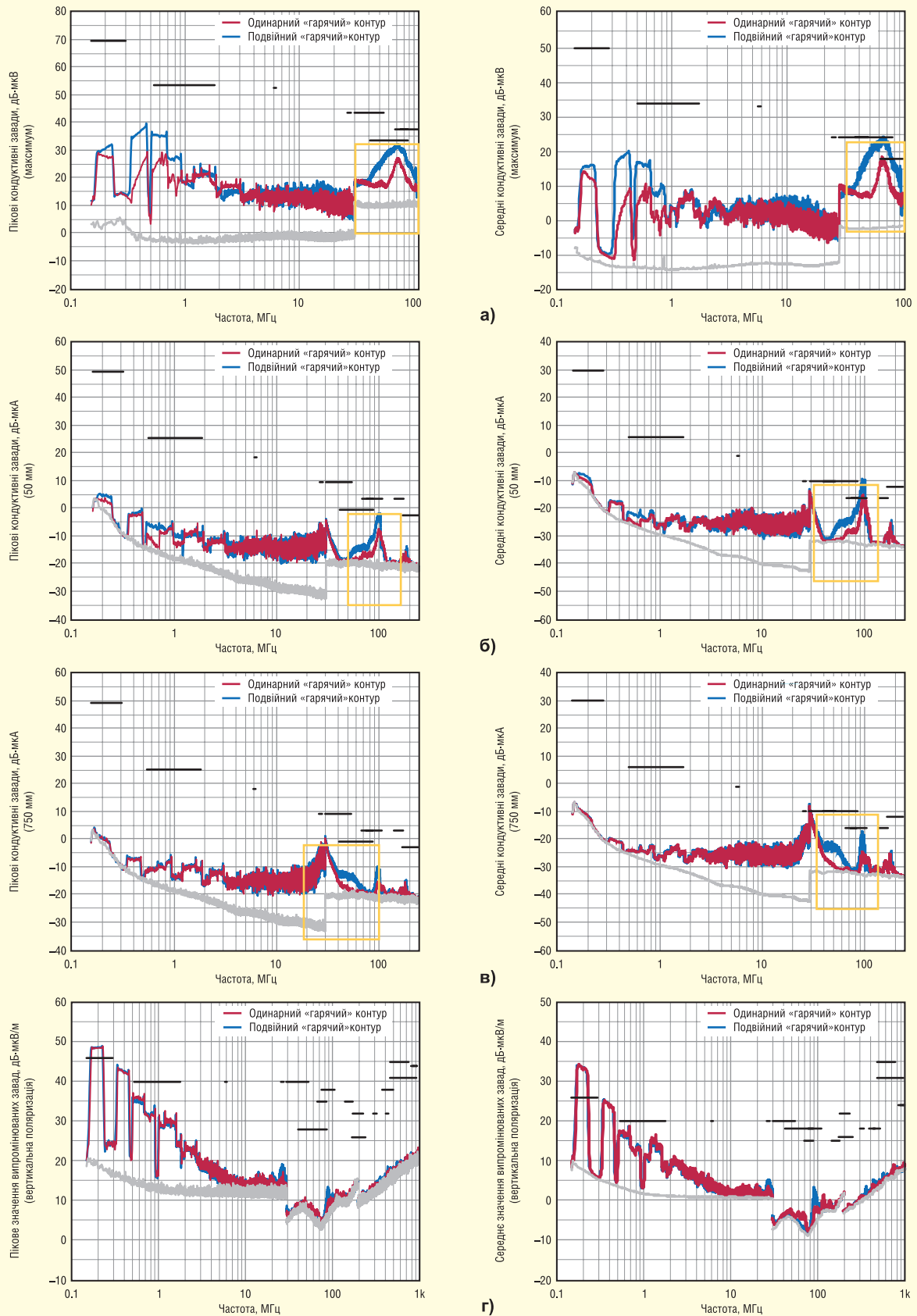


Рис. 3. Електромагнітні завади подвійного «гарячого» контуру й одинарного «гарячого» контуру: середні та піки кондуктивних завад за методом напруги (а); викиди 50 мм пікового та середнього значення кондуктивних завад за методом зондування (б); викиди 750 мм пікового та середнього значення кондуктивних завад за методом зондування (в); вертикальний пік і середнє значення випромінюваних завад (г)

Таким чином, знижуються втрати перемикачів і послаблюється комутаційний дзвін. Крім того, зменшений «гарячий» контур робить внесок у зменшення кондуктивних завод у діапазоні частот вище 30 МГц, оскільки випромінювані заводи впливають на кондуктивні заводи в цьому діапазоні частот.

За допомогою підвищувально-знижувального контролера Analog Devices із чотирма ключами можна сформувати «гарячий» контур із мінімальними розмірами завдяки запатентованій схемі керування піковим струмом (peakbuck/peakboost). Резистор для вимірювання струму з'єднаний послідовно з основним індуктором. На відміну від цього рішення, контролери інших виробників мікросхем використовують іншу схему керування струмом (valley buck/peak boost), у якій шунтовий резистор має бути встановлений між витком транзисторів нижнього плеча і «землею». На рисунку 2 показано рекомендовану схему одного з таких понижувально-підвищувальних перетворювачів. Можна помітити, що контур «гарячої» петлі, позначений жовтим кольором, має більший розмір, порівняно з розглянутими раніше подвійним і одинарним контурами. Більш того, паразитна індуктивність струмовимірювального резистора збільшує загальну індуктивність «гарячої» контуру.

ПОРІВНЯННЯ ВИПРОМІНЮВАНИХ ЕМЗ

Було проведено випробування на електромагнітні заводи подвійного «гарячого» контуру й одинарного «гарячого» контуру в безлунній камері, яка відповідає стандарту CISPR 25, ре-

зультати представлено на рисунку 3, на якому також позначено обмеження згідно з CISPR 25 класу 5. Синім кольором показано графік для подвійного контуру, червоним — для одинарного контуру, сіра лінія — рівень шуму, який було виміряно в умовах навколишнього середовища. Як видно на рисунку 4, відкриті комутаційні вузли нижніх шарів подвійного «гарячого» контуру екрановані мідною стрічкою, щоб показати, наскільки ефективний «гарячий» контур меншого розміру. Випромінювання подвійного «гарячого» контуру без мідного екрана набагато вище, ніж результат, представлений на рисунку 3. Вихідна напруга становить 12 В при струмі навантаження 8 А, вхідна напруга встановлена на 13 В, щоб схема працювала в режимі перемикачів з чотирма ключами.

На рисунку 3а показано результати, отримані методами зміни пікових і середніх значень напруги завод. Одинарний «гарячий» контур має запас 5 дБмкВ на частотах, вищих за 30 МГц, і задовольняє стандарту CISPR 25 класу 5 як для пікового, так і для середньоквадратичного методу вимірювання напруги. Подвійні «гарячі» контури мають перевищення в УКХ-діапазоні (68–108 МГц), виділено жовтим прямокутником (верхній правий малюнок).

Слід звернути увагу, що зниження на 5 дБмкВ у цьому діапазоні частот стає дійсно складним завданням. Одинарний «гарячий» контур ефективний не тільки у високочастотному діапазоні 30 МГц, який є найскладнішою областю для ослаблення, а й на нижчій частоті (2 МГц), що охоплює СХ-діапазон (0.53–1.8 МГц). Завжди бажано мати нижчі викиди, особливо якщо це кондуктивні заводи, оскільки вони впливають на всю електрично пов'язану систему.

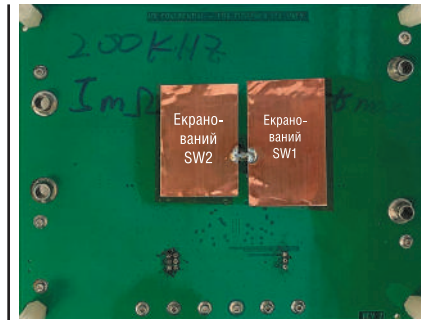


Рис. 4. Екранування для подвійного «гарячого» контуру

Метод вимірювання струмовими пробниками — ще один спосіб вимірювання, що визначається стандартом CISPR 25 класу 5. За його допомогою вимірюються синфазні кондуктивні випромінювання на відстані 50 мм і 750 мм від пристрою, що тестується (DUT), у той час як метод напруги вимірює змішані синфазні та диференціальні заводи. На рисунку 3б, в порівнянні з випромінювання, виміряні методом струмових пробників у схемах з подвійним і одинарним «гарячим» контуром. Вони показують, що одинарний «гарячий» контур має нижчі випромінювання в діапазоні частот вище за 30 МГц, особливо в діапазоні УКХ, як показано в прямокутниках, виділених жовтим кольором. На відміну від попереднього методу вимірювання, немає значної переваги одинарного «гарячого» контуру перед подвійним контуром у СХ-діапазоні частот.

Нарешті, на рисунку 3г показано випромінювані заводи двох різних схем підвищувально-знижувальних перетворювачів. Результати майже ідентичні, за винятком того, що у подвійного «гарячого» контуру є пік на частоті, близькій до 90 МГц, який має значення на 5 дБмкВ/м вище, ніж для одинарного контуру.

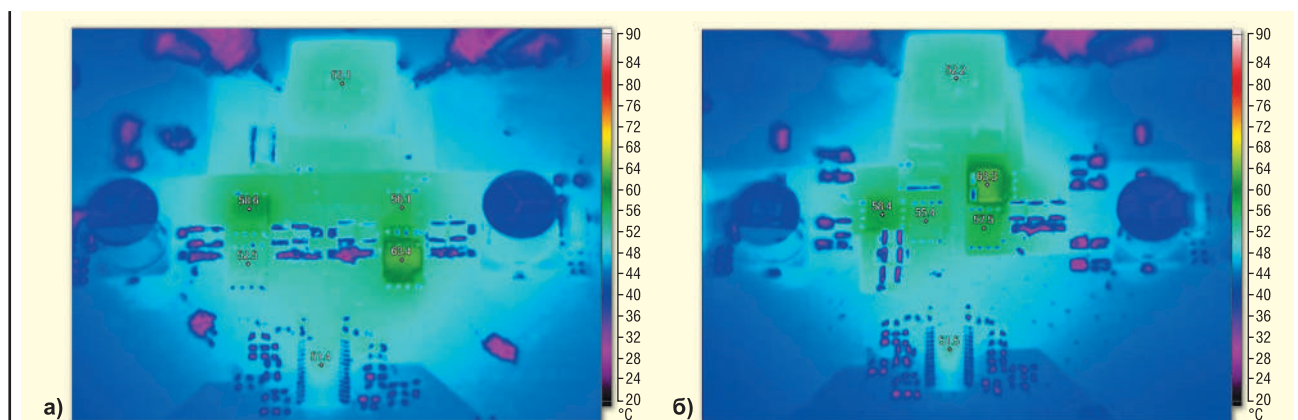


Рис. 5. Тепловізійні знімки двох контурів: теплове зображення подвійного «гарячого» контуру (а); теплове зображення одинарного «гарячого» контуру (б)

ПОРІВНЯННЯ ТЕПЛОВИХ ХАРАКТЕРИСТИК СХЕМ

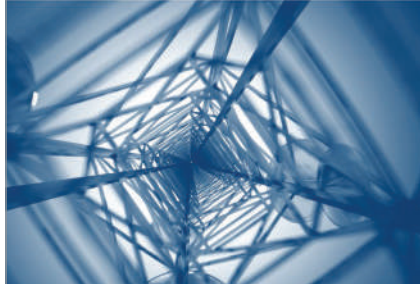
На рисунку 5 дано порівняння температури плат з подвійним і одинарним «гарячим» контуром. Тепловізійні зображення знімають за вхідної напруги 9.4 В з увімкненим режимом SSFM. Напруга 9.4 В є прикордонною під час переходу з чотирьохключового режиму в двоключовий підвищувальний режим, для варіанта з вихідною напругою 12 В. Таким чином, умови випробування є максимально жорсткими. Компонент подвійного «гарячого» контуру, який виділяє найбільше тепла, — нижній MOSFET підвищувального контуру, одинарний «гарячий» контур має майже таку саму температуру. Хоча одинарний «гарячий» контур не має перехідних отворів і додаткового полігона на нижньому боці плати для відводу тепла, його втрати під час перемикання нижчі, ніж у подвійного «гарячого» контуру, через менший розмір. Крім того, завдяки відсутності перехідних отворів одинарний «гарячий» контур забезпечує краще розсіювання тепла на верхньому шарі, оскільки площа контакту витoku MOSFET-транзистора і контактного майданчика вузла комутації більша, ніж у подвійного «гарячого» контуру.

ВИСНОВОК

Запропонована нова топологія підвищувально-знижувального перетворювача з одинарним «гарячим» контуром рекомендована для нових високопотужних застосувань. Завдяки мінімізації впливу комутаційного вузла і «гарячої» петлі вдається знизити кондуктивні та випромінювані завади без погіршення теплових характеристик. Примітно, що зменшуються кондуктивні завади в діапазоні частот понад 30 МГц, який є найскладнішою сферою частот для ослаблення і фільтрації. Завдяки фірмовій функції керування струмом *reactbuck/reactboost* у контролерів ADI з чотирма перемикачами (LT8390/LT8390A, LT8391/LT8391A, LT8392, LT8393, LT8253 тощо), «гарячий» контур може бути значно меншим, ніж у інших виробників мікросхем. Функція керування забезпечує вищу енергоефективність і нижчий рівень електромагнітних завад, що робить *buck-boost*-контролери ADI з чотирма перемикачами найкращим вибором для автомобільних застосувань або будь-яких застосувань, чутливих до електромагнітних завад. **СН**




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



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



Авторизований дистриб'ютор
Ampleon в Україні

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

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

Li-Fi новий конкурент Wi-Fi

Передача даних за допомогою світла

Стаття пояснює переваги Li-Fi перед Wi-Fi, такі як швидкість, безпека, відсутність завад і можливість використання будь-якого джерела світлодіодів як точки доступу. Наведено принципи роботи Li-Fi та потенційні застосування цієї технології в різних галузях разом з необхідною сертифікацією стандарту Li-Fi, яка сприяє її комерціалізації та інноваціям.

Із сертифікацією стандарту Li-Fi (light fidelity), 802.11bb-2023, відкрилася нова ера для локального бездротового зв'язку. Li-Fi належить до технології бездротової передачі даних за допомогою світла, а не радіохвиль, які використовуються Wi-Fi (рис. 1). Він швидший, захищений від електромагнітних завад і його важче перехопити. Він працює шляхом модуляції світлодіодів ближнього інфрачервоного, видимого або ближнього ультрафіолетового променів, що робить будь-яке джерело світлодіодів потенційною точкою доступу.

ПЕРЕДАЧА ДАНИХ ЗІ СВІТЛОМ НЕ Є ЧИМОСЬ НОВИМ

Незалежний зв'язок на короткій відстані через світло існував задовго до винаходу Wi-Fi — навіть до радіопередач будь-якого типу — і залишається у використанні донині. Світлові засоби зв'язку були випробувані ще в 1867 році Військово-морськими силами Великобританії з використанням попередника азбуки Морзе, яка використовувалася в режимі крапок і тире. У більш практичному сенсі бездротовий цифровий зв'язок на основі світла увійшов у комерційне використання з широким впровадженням інфрачервоних світлодіодів наприкінці 1970-х років. Його використовували для таких пристроїв, як пульти дистанційного керування телевізорами та приладами, бездротові клавіатури та зв'язок між пристроями з низькою швидкістю передачі даних.

Однак обмеження швидкості передачі даних і труднощі з надійною передачею призвели до того, що вони в основному віднесені до низькошвидкісних,

неважливих пристроїв. Wi-Fi з'явився наприкінці 1990-х років і зробив потребу у високошвидкісних, легких бездротових мережах до недавнього часу в основному спірною.

Wi-Fi, що відповідає стандарту IEEE 802.11, був новою технологією, що змінила світ, коли вона була випущена в 1997 році. Вперше середній користувач персонального комп'ютера міг перерізати мережевий шнур і вільно переміщатися в межах діапазону сигналу. Після шести основних оновлень і оновлених з'єднань для передачі даних смартфонів тепер люди можуть бути підключені практично будь-де на планеті. Однак, попри те, що Wi-Fi є зручним, він має обмеження та низку невирішених питань.

WI-FI МАЄ СВОЇ МЕЖИ

Сьогодні Wi-Fi стикається з обмеженнями доступного спектру, оскільки все більше пристроїв конкурують за дім у радіочастотному спектрі. Він також схильний до великої кількості вразливостей безпеки. Одним із найбільших ризиків Wi-Fi є погано захищена точка доступу. Оскільки Wi-Fi проходить крізь стіни (хоча інколи не так добре, як хотілося б домашнім користувачам), зловмисники можуть зламати системи Wi-Fi, які не захищені належним чином. Він також схильний до завад у шумному радіочастотному або електромагнітному середовищі, що призводить до уповільнення або переривання передачі.

Високошвидкісна передача даних на основі світла знову вийшла на сцену трохи понад десять років тому з утворенням консорціуму Li-Fi. Тер-

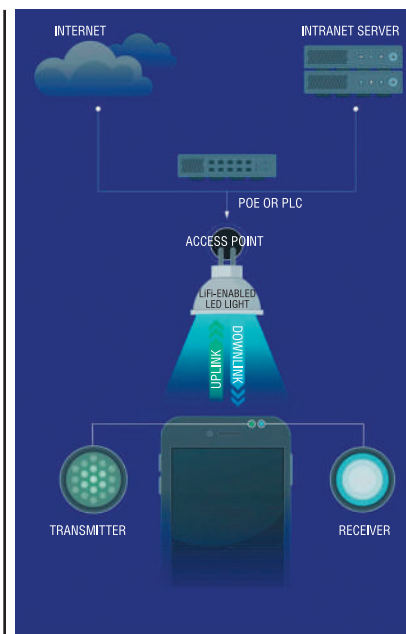


Рис. 1. Типова архітектура точки доступу Li-Fi

мін Li-Fi був введений Гаральдом Хаасом і представлений світові у виступі Хааса на TED talk у 2011 році. Пізніше Хаас став співзасновником PureLiFi, члена-засновника консорціуму та одного з ключових рушійних сил у комерціалізації комунікацій у видимому світлі (VLC), ключовою технологією якої є Li-Fi (рис. 2).

ВІДМІННОСТІ МІЖ WI-FI ТА LI-FI

Найбільша різниця між Wi-Fi та Li-Fi, звичайно, є середовищем передачі. Wi-Fi передається через радіохвилі в діапазоні частот ГГц, а Li-Fi передається світлом. Стандарт 802.11bb не містить нових протоколів. Хоча фізичний рівень (PHY) відрізняється, протоколи залишаються спільними з Wi-Fi. Це забезпечить взаємодію між пристроями Wi-Fi та Li-Fi. Наприклад, нещодавно випущена Light Antenna One від PureLiFi (рис. 3) може бути інтегрована з теперішніми чипсетами Wi-Fi та відображається в системі як інший діапазон Wi-Fi.

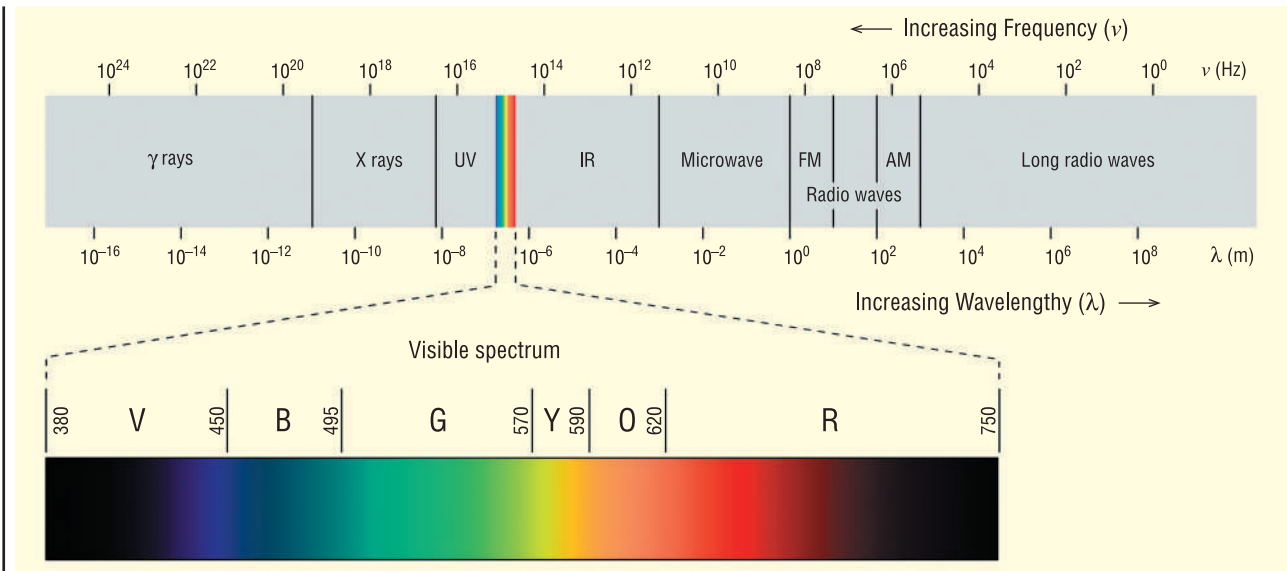


Рис. 2. Li-Fi працює у видимому спектрі разом із ближнім інфрачервоним та ближнім ультрафіолетовим

У типовій установці Li-Fi Інтернет і локальні мережі підключаються до світлодіодів із підтримкою Li-Fi через живлення через Ethernet (POE) або зв'язок по лінії електропередач (PLC). Світлодіод буде оснащений мікроконтролером і фотодетектором для забезпечення двонаправленого зв'язку. Через точку доступу Li-Fi може спілкуватися безліч мобільних пристроїв або пристроїв, що живляться від батарейок.

Li-Fi модулює світлодіод на частотах, набагато вищих, ніж може сприймати людське око. Вночі світлодіоди видимого спектра можуть бути слабкими, тому дані все ще проходять, але світло фактично вимкнено для людських цілей.

Li-Fi можна модулювати за допомогою звичайної модуляції з однією несучою (SCM) і модуляцією з кількома несучими (MCM). Проте найвищі швидкості доступні з похідною від MCM, що називається мультиплексуванням з ортогональним частотним поділом (OFDM). OFDM використовує широкий доступний спектр світла для реалізації піднесучих для передачі кількох паралельних потоків даних. Досліджувані швидкості

досягає 224 Гбіт/с, хоча в реальних ситуаціях вона буде нижчою.

LI-FI: КОМПАЇОН WI-FI ЗАМІСТЬ КОНКУРЕНТА?

Сильні та слабкі сторони Li-Fi та Wi-Fi досить добре доповнюють один одного. Це, у поєднанні з вбудованою сумісністю, робить Li-Fi не тільки компаньйоном Wi-Fi, але й конкурентом. Wi-Fi може забезпечити загальне покриття всередині або навколо будівлі, коли проблеми з безпекою та завади знаходяться в допустимих межах, тоді як точки доступу Li-Fi можуть забезпечувати зв'язок у межах прямої або майже прямої видимості в набагато більш обмеженій зоні.

Партнери Li-Fi окреслили низку наладувань, у яких Li-Fi може працювати краще, ніж Wi-Fi, або де Wi-Fi просто неможливий. Наприклад, світло може проникати в морську воду на глибину до 200 метрів, тому Li-Fi відкриває можливість високошвидкісного зв'язку без прив'язки між підводними апаратами з дистанційним керуванням і операторами. Li-Fi також можна використовувати в медичних кабінетах для хірургії або обладнання для обробки зображень, де Wi-Fi не можна використовувати через можливі завади для обладнання.

Окрім такого спеціалізованого використання, менший розмір комірки,

який підтримує Li-Fi, дозволяє використовувати більшу кількість точок доступу, що може забезпечити одночасну пропускну здатність для більшої кількості пристроїв, ніж Wi-Fi. Це робить його кращим варіантом для щільних інсталяцій IoT.

LI-FI СЕРТИФІКОВАНО – НАСТАВ ЧАС

Тепер, коли стандарт Li-Fi сертифіковано, більше постачальників можуть відчувати себе в безпеці, інвестуючи кошти на дослідження та розробки, необхідні для розробки та виробництва продуктів Li-Fi. Збільшення виробництва призведе до зниження витрат і подальших інновацій. Повсюдне поширення світлодіодів означає, що потенційні точки доступу є всюди. І оскільки стіни є жорстким бар'єром безпеки, Li-Fi може стати останнім інгредієнтом, щоб зробити універсальне підключення домашніх і офісних пристроїв безпечною та практичною реальністю.

Для отримання додаткової інформації та запиту datasheet зв'яжіться, будь ласка, з відділом продажу бездротових компонентів Компанії CEA:

**(044) 330-00-88,
e-mail: info@sea.com.ua**

CN

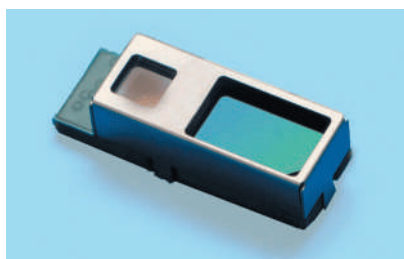


Рис. 3. Один із перших комерційних продуктів Li-Fi: Light Antenna One

Захист пристрою під час тестування від пошкоджень, пов'язаних з електроживленням

Адаптований переклад українською та технічне редагування:

Віктор Бутирін, директор, Юнітест

E-mail: Victor_Butyrin@unitest.com

Якщо ви хочете досягти своїх цілей, дотримуючись термінів і бюджету, важливо захистити пристрої від пошкоджень під час тестування. Якщо ризик пошкодження пристрою є предметом значного занепокоєння, під час планування тестування слід врахувати стратегії та обладнання, що дають змогу знизити цей ризик. Вибір джерела живлення з вбудованими функціями захисту, такими як захист від перенапруги чи перевищення струму, дуже важливий для безпеки пристрою та дає можливість скоротити інвестиції в розробку системи тестування шляхом зменшення загальної кількості системного обладнання. У цій статті розглядається, як перевірені методи автоматично захищають ваш тестований пристрій від ушкоджень.

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ

Контроль вихідної напруги та струму джерела живлення для запобігання перенапруги тестованого пристрою в умовах, наближених до відмови, вимагає швидкої та ефективної реакції на різні ситуації. Основними причинами відмови тестованого пристрою є перевантаження за напругою і струмом, деякі з яких можуть бути дуже нетривалі, а деякі — тривати аж до того моменту, поки не будуть виявлені.

Перевантаження за напругою або струмом можуть відбуватися з різних причин, зокрема:

- відмова внутрішньої схеми може призвести до підвищення вихідної напруги до небажаного рівня;
- наявність декількох джерел енергії, наприклад, ще одного джерела живлення або акумулятора;
- розімкнуте з'єднання сенсорного проводу;
- локальне зчитування напруги замість дистанційного;
- відмова контролера системи або помилка програмування;

- відмова джерела напруги, що працює в режимі постійної напруги паралельно з одним або кількома джерелами, що працюють у режимі постійного струму;
- протидія умові перевантаження за напругою шляхом замикання накоротко вихідних терміналів джерела живлення, що призводить до стрибка струму розряду з тестованого пристрою;
- велике значення пускового струму тестованого пристрою;
- надлишковий струм в результаті перевантаження тестованого пристрою;
- надлишковий струм, пов'язаний із близькою або фактичною відмовою в схемі тестованого пристрою;
- коротке замикання проводки в системі тестування.

ЗАХИСТ ВІД НАДЛИШКОВИХ НАПРУГИ ТА СТРУМУ

Захист тестованого пристрою від надлишкової або невідповідної напруги

і струму живлення може бути забезпечено за допомогою джерела живлення, що має розширені функції захисту і покращену систему реакції на ці події.

Захист від умов перевантаження за напругою (ЗПН)

Програмований ЗПН дистанційного зчитування з сенсорів з функціями виявлення пошкоджених або під'єднаних у зворотному порядку сенсорів напруги та керованого вимкнення виходу джерела живлення може допомогти захистити тестований пристрій від впливу надлишкової напруги (рис. 1).

ЗПН з дистанційним керуванням

Тестований пристрій, що споживає значну кількість струму через довгі дроти живлення з відносно високими опорними, може створювати великі перепади напруги на виводах. Без дистанційного зчитування отримання потрібної напруги на тестованому пристрої може вимагати налаштування вихідної напруги джерела живлення для компенсації перепаду напруги на виводах під час споживання пристроєм максимального струму. Якщо струм, що споживається пристроєм, переривається або значно знижується, в результаті може створюватися напруга, що перевищує допустиму. Дистанційний ЗПН забезпечує конфігуруємий ЗПН, який налаштовується на основі напруги на виводах сенсорів. Контроль схемою захисту напруги на виводах сенсорів замість напруги вихідного терміналу забезпечує більшу точність контролю напруги безпосередньо на навантаженні. Функція локального захисту від перевантаження за напругою забезпечує додатковий захист. Вона відстежує запрограмоване

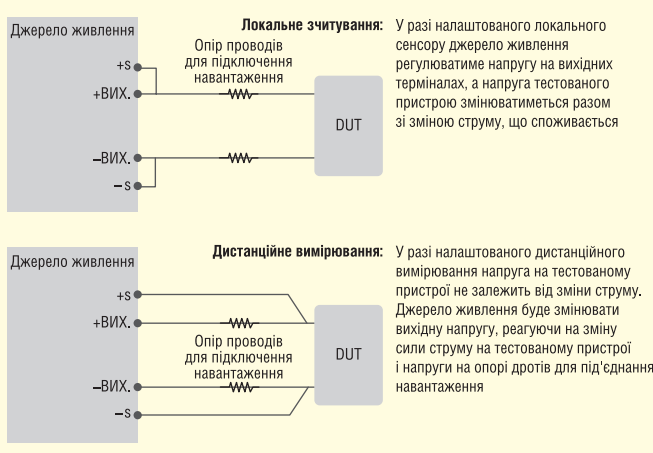


Рис. 1. Локальне та дистанційне вимірювання захисту від перевантаження за напругою

налаштування захисту від перевантаження за напругою і спрацює, якщо напруга на вихідних терміналах «+» і «-» підіймається на більш ніж 1 В + 10% від номінальної напруги пристрою вище за програмованого налаштування захисту від перевантаження за напругою.

Виявлення пошкоджених або підключених у зворотному порядку сенсорів напруги

Якщо дистанційні сенсори вмикаються під час під'єднання виводів сенсорів джерела живлення до тестованого пристрою в точці, до якої під'єднано дроти живлення, важливо переконатися, що з'єднання виводів сенсорів виконано коректно. Якщо один або кілька виводів сенсорів не підключені або несправні та відсутній будь-який захист від сенсорів напруги, напруга на тестованому пристрої може підвищуватися до несподіваних і потенційно шкідливих рівнів. Для захисту від втрати здатності до дистанційного зчитування напруги джерела живлення Keysight Advanced Power System (APS) виконують перевірку на предмет розімкнутих виводів на одному або обох сенсорних дротах перед увімкненням і протягом усього часу тестування. Функція безперервної діагностики виводів сенсорів дає змогу джерелу живлення реагувати на переривання сигналу зчитування під час тестування. Пристрій реагує на умову відмови протягом приблизно 50 мкс. Крім виявлення розімкнутих виводів сенсорів, функція виявлення несправностей сенсорів джерела живлення вимкне вихід, якщо зчитувальні виводи випадково замкнуть накоротко або якщо дроти буде під'єднано у зворотному порядку. Зверніть увагу, що, як і раніше, важливо переконатися в належному під'єднанні

сенсорних дротів, оскільки функція захисту не може виявляти неправильно під'єднані зчитувальні виводи, не вмикаючи вихід, на короткий час спричиняючи непередбачуване підвищення напруги.

Цю функцію також можна вимкнути, якщо вона створює небажані перебої в роботі пристрою, що тестується, або якщо конфігурація виводів чи динаміка навантаження призводять до помилкового спрацювання системи. Якщо функцію виявлення пошкоджень виводів джерела живлення APS не ввімкнено й один або обидва сенсорні виводи не під'єднано перед увімкненням, джерело живлення буде продовжувати працювати. Напруга на вихідних терміналах у цьому разі становитиме приблизно на 1% більше запрограмованого значення.

Послідовне та кероване вимкнення виходу (без шунту)

Для деяких тестованих пристроїв швидке коротке замикання виходу джерела живлення з використанням шунту буде достатнім або єдиним дієвим методом захисту від перевантаження за напругою. Для захисту від перевантаження за напругою інших пристроїв необхідний більш керований підхід. Конструкція вихідного каскаду потужності джерела живлення APS дає змогу вимкати вихід для полегшення послідовного керованого зупинення. Вимкнення виходу джерела живлення замість замикання накоротко вихідного каскаду за допомогою шунтувального вентиля може допомогти захистити деякі типи пристроїв, що тестуються, від пошкодження.

Коротке замикання виходу джерела живлення може призвести до споживання надлишкового шкідливого струму перевантаження з тестованого пристрою,

якщо після виявлення та усунення умови перевантаження за напругою на ньому зберігається значний заряд. Якщо джерело живлення не перебуває в стані захисту від перевантаження за напругою або струмом, а його напругу необхідно швидко знизити, щоб захистити тестований пристрій, можливість поглинати струм може забезпечити швидке зниження напруги за допомогою споживання струму обсягом до 10% від номінального значення джерела. Для швидшого зниження напруги можна додати зовнішній розсіювач потужності, здатний споживати до 100% від номінального значення струму джерела живлення. Ви можете налаштувати внутрішнє навантаження і зовнішній розсіювач на потрібний рівень струму.

ЗАХИСТ ВІД УМОВ ПЕРЕВАНТАЖЕННЯ ЗА СТРУМОМ

Захист від перевантаження за струмом допомагає захистити тестований пристрій від споживання надлишкового струму. У джерелах живлення APS ця функція програмується користувачем і може бути як вимкнена, так і ввімкнена. Якщо функцію ввімкнено, вихід буде вимкнено, коли струм на виході досягне граничного значення. Якщо тестований пристрій споживає, або очікується, що він буде споживати миттєві стрибки струму, здатні перевищити граничне значення, спрацювання захисту від перевантаження за струмом може бути програмно відкладено на 0–0.255 с, щоб уникнути помилкового виконання. На рисунку 2 показано знімок із джерела живлення APS, на якому струм навантаження швидко підвищився з 0 до 12 А. Граничне значення струму — 5 А, захист від перевантаження за струмом увімкнено. Вихід джерела живлення APS відключається менш ніж за 500 мкс, і значення вихідного струму повертається до 0. На рисунку 3 порівнюються захист від перевантаження за струмом і час встановлення джерела живлення загального призначення (верхня лінія) і джерела живлення APS (нижня лінія). Модель APS працює на порядок швидше.

Швидкість реакції на умови, що швидко змінюються

Для забезпечення надійного захисту тестованого пристрою джерелу живлення необхідні: функція контролю в режимі реального часу і швидка реакція на

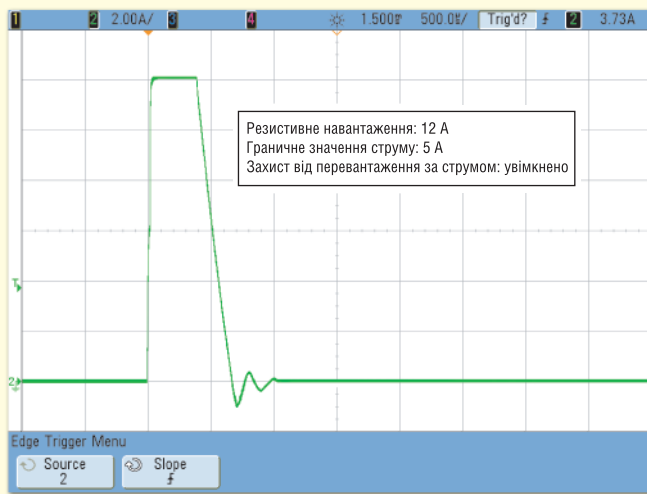


Рис. 2. Захист від перевантаження за струмом джерела живлення APS вимикає вихід

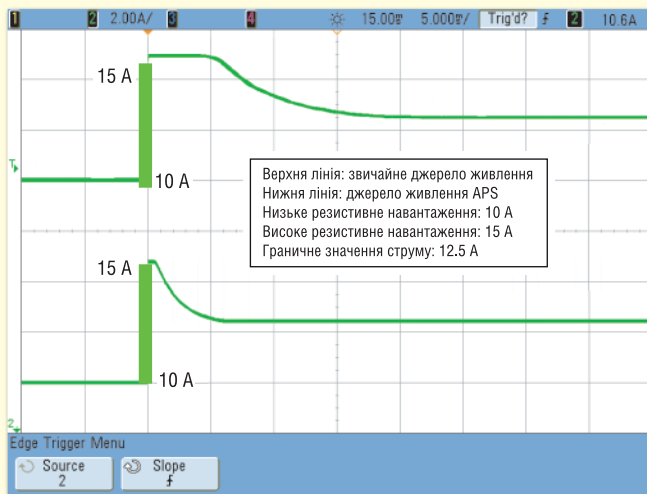


Рис. 3. Порівняння функцій обмеження струму

виникнення умов відмови. Коли струм або напруга, що подаються на тестовий пристрій, досягають неприпустимих умов або виходять за межі встановленого діапазону робочих режимів, може знадобитися негайна реакція. Контроль у режимі реального часу в поєднанні з системою запуску APS забезпечує швидший відгук порівняно з використанням зовнішніх інструментів, як-от струмовий шунт, вольтметр, кабельна розводка і контролер.

ЗАХИСТ ВІД ПОРУШЕННЯ ЗВ'ЯЗКУ МІЖ КОНТРОЛЕРОМ І ДЖЕРЕЛОМ ЖИВЛЕННЯ

Коли безпека тестованого пристрою пов'язана з роботою програми (application) на зовнішньому контролері, а програма або контролер припи-

няють працювати належним чином, для захисту тестованого пристрою можна використовувати сторожовий таймер виходу джерела живлення APS. У складних тестованих пристроях, що виконують функції, які залежать від часу, коли параметри джерела живлення системи тестування потрібно налаштувати відповідним чином, несправна програма або контролер можуть завдати шкоди.

Сторожовий таймер може допомогти пом'якшити наслідки такої несправності. Сторожовий таймер виходу переводить усі виходи в режим захисту за відсутності активності вхідних/вихідних команд SCPI на інтерфейсах керування (USB, LAN, GPIB) протягом періоду часу, зазначеного користувачем. Значення затримки сторожового таймера може бути встановлено в межах від 1 до 3600 секунд із кроком підвищення в 1 с. Під час постачання джерел жив-

лення APS із заводу сторожовий таймер налаштовують на вимкнення виходів після відсутності активності вводу/виходу протягом 60 с. Після закінчення цього періоду часу виходи буде вимкнено. У разі переходу до умов захисту внаслідок відсутності активності вводу/виходу можна використовувати інтелектуальну систему запуску джерела живлення APS для запуску інших інструментів або сигналу тривоги в системі тестування (якщо система має аварійну сигналізацію). Також може бути налаштоване вимкнення всієї системи тестування.

Внутрішній контрольний таймер джерела живлення APS усуває необхідність у виготовленому на замовлення незалежному зовнішньому або такому, що працює на базі ПК, сторожовому таймері, який контролює діяльність вхідних/вихідних команд ПК. Він також зменшує складність і ризики системи тестування.

Швидке припинення тестування в разі виникнення умов, що викликають сумніви

Інтелектуальна система запуску джерела живлення APS призначена для приймання та надсилання тригерів. Вхідний тригер може увімкнути або вимкнути вихід, викликати перехід до нового налаштування вихідної напруги/струму або запустити вимірювання. Вихідний тригер може запустити дію іншого інструменту на випробувальному стенді. Використання комбінацій вхідних і вихідних тригерів для контролю джерела живлення і синхронізації з системою тестування може допомогти захистити тестований пристрій. Для визначення умови захисту в джерелах живлення APS набір вхідних сигналів від підсистем стану, запуску та цифрових портів можна поєднувати з логічними операторами «!», «АБО», «НЕ». Наявність доступу до сигналів реального часу всередині джерела живлення може сприяти зменшенню часу реагування на умови тестування, що викликають сумніви, порівняно із системою захисту тестованого пристрою, яка залежить від зовнішніх вольтметрів, амперметрів, струмових шунтів і контролерів.

На рисунку 4 показано приклад інтелектуальної системи запуску APS, яка створює сигнал для запуску визначеної користувачем події або спеціальної події захисту.

Контроль і реакція на події в реальному часі для захисту тестованого пристрою

Покращена система вимірювання та інтелектуальна система запус-

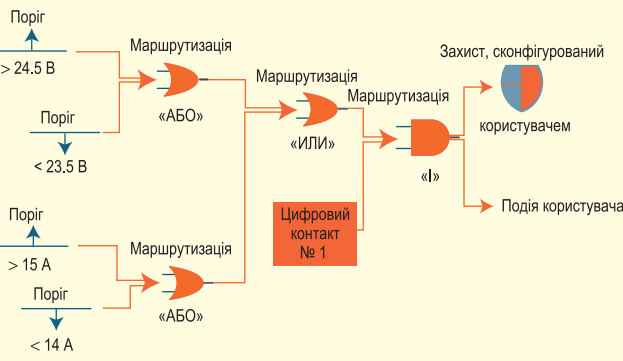


Рис. 4. Приклад інтелектуальної системи запуску APS, яка створює сигнал для запуску визначеної користувачем події або спеціальної події захисту

ку джерела живлення APS може допомогти знизити ризики тестування завдяки малому часу реагування та меншій складності системи тестування. Щоб досягти рівня керування виходом, еквівалентного рівню джерел живлення APS, потрібна індивідуальна або дискретна система вимірювання, що містить у собі струмовий шунт, один або кілька вольтметрів, кабельне розведення і контролер із програмним забезпеченням і драйверами. Однак реагування на умову відмови під час використання зовнішнього обладнання для вимірювання та керування здійснюватиметься повільніше.

Коли під час циклу тестування створюється внутрішній тригер, це може бути критично важливим для безпеки вашого тестованого пристрою з погляду синхронізації із системою тестування або події сигналу на іншому тестовому обладнанні. Джерела живлення APS можуть створювати тригери для наборів внутрішніх подій. До таких подій належать: зміна стану з CV на CC, перехід виходу в кінцеве значення і зміна вимірної величини виходу на конкретне значення, що перевищує встановлений поріг або виходить за межі конкретного діапазону. Захист тестованого пристрою не завжди залежить від активації захисту від перевантаження за напругою або струмом. Якщо тестований пристрій має працювати в межах встановленого діапазону значень напруги та/або струму, а фактично виміряна робоча точка виходить за межі цього діапазону або потрапляє на конкретне значення, це може свідчити про несправність пристрою. Щоб захистити пристрій, джерело живлення може створити тригер для переходу в стан захисту, зміни налаштувань напруги/струму або запуску необхідних дій устаткування випробувального стенда, наприклад, застосування інших джерел живлення та навантажень.

Джерела APS можуть взаємодіяти з іншим обладнанням на випробувальному стенді та навіть із тестованим пристроєм, якщо він може приймати або створювати тригерні сигнали. З погляду захисту тестованого пристрою, якщо умови цього пристрою або іншого обладнання випробувального стенда вказують на наближення потенційно небезпечної умови, джерела живлення APS можуть прийняти тригер, здатний увімкнути або вимкнути вихід або змінити налаштування вихідної напруги чи струму.

ВИСНОВОК

Джерело живлення має швидко й ефективно реагувати на різні ситуації, щоб уникнути пошкодження тестованого пристрою за умов відмови або близьких до неї. Вибір джерела живлення з вбудованими розширеними функціями захисту — найкращий спосіб уникнути пошкодження тестованого пристрою, пов'язаного з потужністю, і скоротити інвестиції в розробку системи тестування завдяки зменшенню загальної кількості системного обладнання. Джерела живлення Advanced Power System пропонують контроль у режимі реального часу та інтелектуальну систему запуску, забезпечуючи швидкий відгук порівняно з використанням зовнішніх інструментів.

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

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

ГЕНЕРАТОР ВЕКТОРНИХ СИГНАЛІВ ДЛЯ ШИРОКОСМУГОВИХ БАГАТОКАНАЛЬНИХ ЗАСТОСУВАНЬ

Компанія **Keysight Technologies, Inc.** представляє новий компактний чотириканальний генератор векторних сигналів (VSG), здатний генерувати сигнали до 8.5 ГГц зі смугою модуляції 960 МГц на канал. N5186A MXG — це високопродуктивний VSG наступного покоління в портфоліо генераторів сигналів Keysight серії X, що забезпечує створення численних, індивідуально складних сигналів, необхідних для широкосмугових багатоканальних застосувань в умовах щільної зайнятості спектру частот.

Технології бездротового зв'язку і радіолокації, що розвиваються, вимагають частотного покриття в більш високому частотному діапазоні з використанням складних схем модуляції, таких як MIMO, формування променя і мультиплексування, для максимізації пропускної здатності даних. Для тестування цих додатків потрібні прилади для генерації сигналів, які підтримують відмінну якість модуляції при роботі з великою смугою пропускання. Для досягнення вищих частот, більшої пропускної здатності і складніших схем модуляції інженерам-розробникам мереж і конструкторам зазвичай потрібні більше місця на стенді для додаткового випробувального обладнання і пристосувань.

Keysight N5186A MXG вирішує цю проблему шляхом спрощення складних налаштувань за допомогою меншої кількості зовнішніх підключень і до чотирьох каналів в компактному форм-факторі 2U. Оскільки N5186A MXG є першим у світі генератором сигналів з вбудованим рефлектометром, він забезпечує надзвичайно точні сигнали для пристрою, що тестується (DUT).

Забезпечуючи стабільні та повторювані результати, генератор векторних сигналів N5186A MXG є ідеальним рішенням для різноманітних комерційних та аерокосмічних оборонних застосувань. Спеціальні інтегральні схеми (ASIC) ЦАП MXG використовують DDS для передачі точних сигналів, щоб мінімізувати спотворення і відповідати новим стандартам проектування компонентів і модулів. Крім того, вбудований рефлектометр прискорює процес налаштування, коригуючи відповідність DUT, що дозволяє скоротити час тестування.

<https://www.keysight.com>

Партнерство заради надійного постачання промислових силових модулів

Пол Дрексейдж (Paul Drexhage), менеджер з технічного маркетингу, Semikron Danfoss
Адаптований переклад українською та технічне редагування:
Володимир Павловський, к.т.н, с.н.с., Інститут електродинаміки НАН України

Користувачі потужних напівпровідників в останні роки почали потерпати від проблем через нестабільне постачання компонентів. Тому пошук альтернативних постачальників завжди є важливим моментом при розробці силових перетворювачів. Компанія Semikron Danfoss, як найбільший незалежний виробник силових модулів, має унікальні можливості для вирішення цієї проблеми. Разом зі своїм давнім партнером компанією ROHM Semiconductor вона додає до своєї лінійки модулів малої потужності новий повністю сумісний модуль 1200 В IGBT. Це допоможе зменшити дефіцит силових модулів і зробити ланцюг постачання таких модулів більш стабільним та надійним.

Невпинне зростання технологій у галузі електроенергетики створило безпрецедентний попит на силові модулі. Але часто саме процедура постачання модуля обмежує його доступність. Незважаючи на поточні інвестиції виробників чипів у виробничі потужності ситуація з постачанням модулів залишається напруженою. На цьому тлі компанія ROHM представила новий модуль 1200-В RGA IGBT як альтернативу модулям IGBT останнього, 7-го покоління, для застосування в промисловості. Впродовж багатьох років компанія ROHM є надійним партнером компанії Semikron Danfoss з постачання карбідкремнієвих приладів. Зараз ROHM розширює свої пропозиції для компанії Semikron Danfoss щодо кремнієвих кристалів, позиціонуючи себе як сучасну альтернативу традиційним постачальникам чипів.

RGA — це нещодавно розроблені IGBT з канавковою структурою затвора (trench gate structure) та максимально допустимою температурою $p-n$ -переходу — $T_{j,max} = 175$ °C. Характеристики провідності, комутаційні показники та теплові характеристики транзисторів оптимізовані для застосування промислових електроприводів у діапазоні низької та середньої потужності. У той же час RGA має бути сумісним з існуючими IGBT, забезпечуючи можливість легкої заміни транзисторів. Дана стаття ілюструє це за допомогою порівняння основних характеристик, які отримані в результаті тестування двох модулів ідентичних за рештою параметрів. Модуль IGBT 1200-В RGA був протестований в корпусі MiniSKiIP без базової пластини. В якості еталону для по-

рівняння використовували модуль SKiIP24AC12T7V1 7-го покоління ($I_{Cnom} = 35$ А). В обох модулях схеми вимірювання параметрів були ідентичні та використовували зворотний діод Semikron Danfoss CAL4F.

СТАТИЧНИЙ РЕЖИМ

Сучасний дизайн RGA з канавковою структурою затвора та тип носіїв вибрані так, щоб забезпечити мале падіння напруги на транзисторі у відкритому стані. Як у всіх сучасних кремнієвих IGBT, RGA має позитивний температурний коефіцієнт (PTC) для прямого падіння напруги на верхній межі діапазону робочого струму. Хоча крутизна цієї характеристики PTC у RGA більша, ніж у IGBT 7-го покоління, трохи збільшене пряме падіння напруги за високих температур частково компенсоване меншим падінням цієї напруги за кімнатної температури (рис. 1).

З рисунку 1 видно, що прямі падіння напруги для обох IGBT майже однакові при номінальному струмі, причому модуль RGA має розкид цієї напруги $\pm 4\%$ відносно пристрою 7-го покоління в заданому діапазоні температур. Загалом, як і IGBT 7-го покоління, модуль RGA демонструє набагато нижче пряме падіння напруги, ніж попередні покоління модулів.

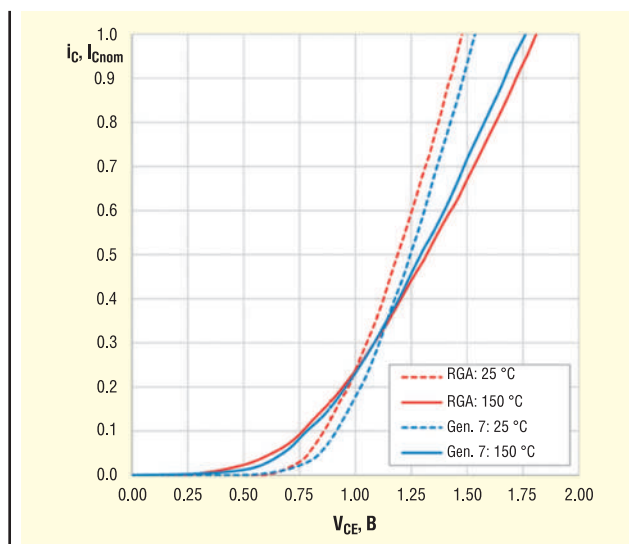


Рис. 1. Залежності прямого падіння напруги (chip level), приведені до номінального струму

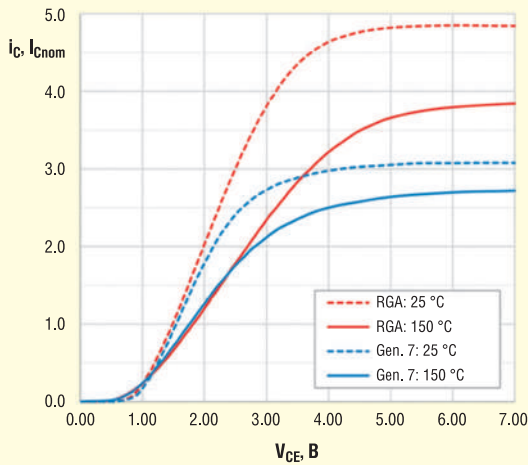


Рис. 2. Залежності прямого падіння напруги (chip level) для високого струму, приведені до номінального струму

Поведінка модуля RGA IGBT при протіканні великого струму відрізняється від модуля IGBT 7-го покоління. Як показано на рисунку 2, модуль RGA IGBT виходить з насичення при більшому струмі. Це дозволяє краще справлятися зі сплесками струмів, які виникають в умовах експлуатації з частими перевантаженнями, наприклад в електроприводах. Навіть при температурі чипа 150 °C модуль RGA може витримувати пікові струми, що в три рази перевищують номінальний. Це потенційно дозволяє використовувати модулі з номінальним піковим повторюваним струмом $I_{CRM} = 3 \times I_{Cnom}$, що підходить для умов експлуатації з очікуваними періодичними перевантаженнями.

Підвищена здатність до перевантаження силових вузлів з модулями RGA IGBT дозволяє експлуатацію при таких же високих температурах, як і з модулями IGBT 7-го покоління: допускається періодична робота при максимальній температурі чипа до 175 °C. Більш детально дозволений температурний профіль наведений в розділі 2.3 [1]. Для режиму безперервної роботи силових вузлів, оснащених модулями RGA IGBT, слід дотримуватися тих самих рекомендацій, що й для існуючих модулів: запас 25 K від максимально дозвільної температури $p-n$ -переходу (тобто $T_{top} = 150$ °C).

ХАРАКТЕРИСТИКИ ЗАТВОРА

У модулях IGBT 7-го покоління застосовують канавкову структуру затвора з метою отримати мінімально можливий крок комірки IGBT і високу електропровідність (тобто низьке падіння напруги). Однак недоліком такої структури є те, що вона має значно вищу ємність затвора порівняно, наприклад, з модулями IGBT 4-го покоління. Висока ємність затвора спричиняє під вищени вимоги до вихідної потужності схеми драйвера при перемиканні. Загальноприйнята канавкова структура затвора, яка використовується в модулях RGA IGBT, успішно пройшла тривалу перевірку і дозволяє на 18% зменшити заряд затвора порівняно з еквівалентним модулем IGBT 7-го покоління. У той же час порогова напруга затвора, $V_{GE(th)}$ залишається подібною (наприклад, 6.0 В) до інших сучасних IGBT, забезпечуючи оптимальний баланс між стійкістю до несанкціонованого переходу модуля у відкритий стан та простотою керування. Рекомендована напруга ке-

руванням затвором така ж, як і для більшості IGBT модулів, а випробування модулів проводилися з напругами $V_{G,on} = 15$ В і $V_{G,off} = -8$ В.

ПОВЕДІНКА МОДУЛІВ ПРИ ПЕРЕМИКАННЯХ

Новіші покоління IGBT, як правило, демонструють вищі рівні dv/dt (наприклад, понад 7 кВ/мкс) через зменшені комутаційні втрати за рахунок збільшення швидкості процесів відкриття і закриття. Те ж можна сказати і про модулі RGA, але як і для IGBT 7-го покоління, швидкості наростання dv/dt та di/dt на етапі відкриття транзистора можна змінювати шляхом зміни опорного резистора у колі затвора. Так можна досягти рівнів dv/dt , прийнятних для роботи електроприводу (наприклад, <5 кВ/мкс), особливо на значних струмах. Загалом потрібно збільшувати значення R_{Gon} , щоб модуль RGA відповідав таким значенням dv/dt та di/dt , які є типовими для модулів 7-го покоління (рис. 3).

Збільшення швидкості перемикання та роль резистора у колі затвора видно при дослідженні процесу відкриття модуля RGA і модуля IGBT 7-го покоління за тих же умов і з однаковими резисторами у колі затвора ($R_{Gon} = 8.2$ Ом, рис. 4). У такій ситуації піковий струм у модулі RGA приблизно на 22% вищий, ніж у модулі 7-го покоління. Однак велика

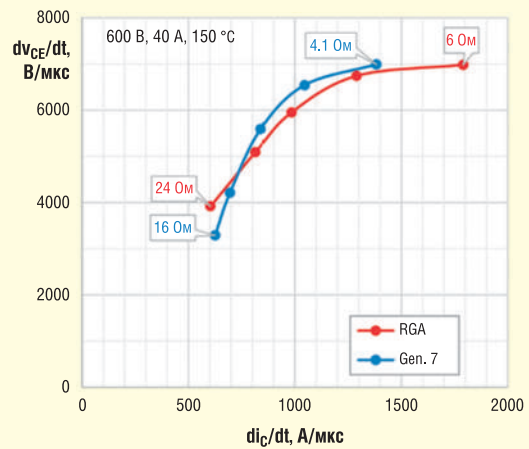


Рис. 3. Швидкості наростання dv/dt та di/dt на етапі відкриття транзистора в залежності від R_{Gon}

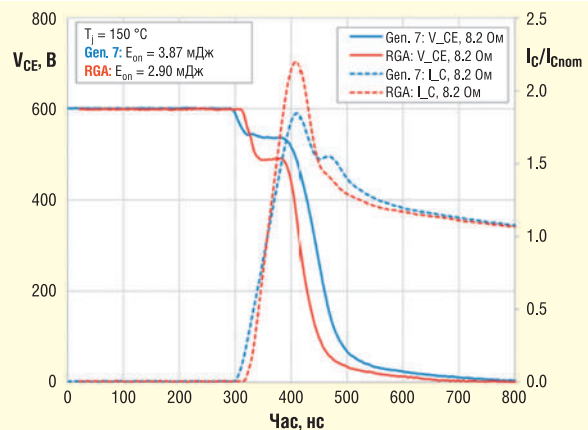


Рис. 4. Напруга на транзисторі та струм через транзистор в процесі відкриття; $R_{Gon} = const$, осцилограма струму відцентрована відносно I_{Cnom}

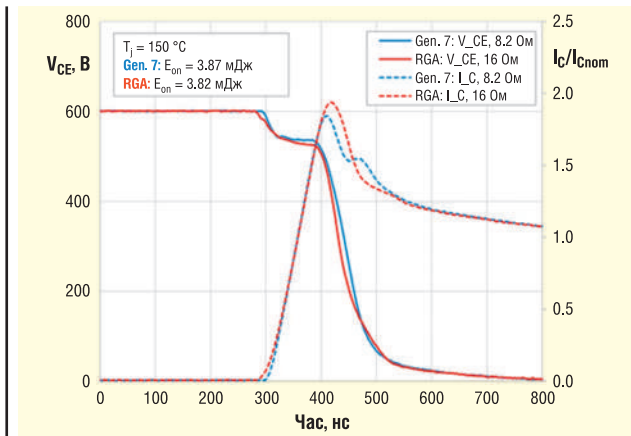


Рис. 5. Осцилограми напруги та струму на етапі відкриття для різних значень R_{Gon} , осцилограми струму відцентровані відносно $I_{Cном}$

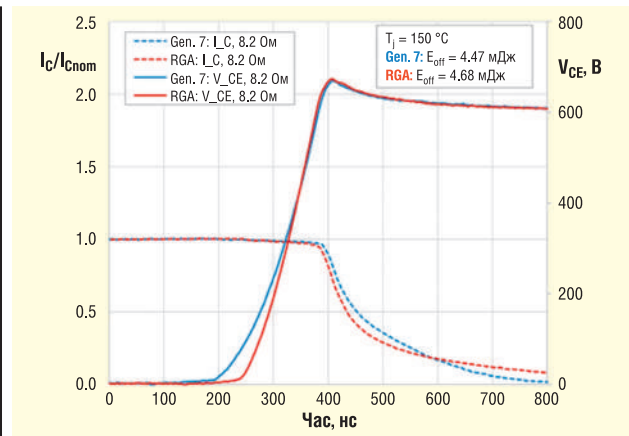


Рис. 6. Осцилограми напруги та струму на етапі закривання для $R_{Gon} = const$, осцилограми струму відцентровані відносно $I_{Cном}$

швидкість di/dt у поєднанні зі швидким падінням напруги колектор-емітер означають, що добуток струму і напруги та підсумкові втрати при перемиканні є меншими.

Якщо висока швидкість dv/dt є прийнятною (наприклад, у високошвидкісних сервоприводах), то при використанні модулів RGA IGBT можна досягти 25% зниження втрат енергії на етапі відкриття транзистора.

І навпаки, якщо потрібно, щоб швидкість перемикання транзисторів була подібною до IGBT 7-го покоління, то подвоєння опорного резистора у колі затвора дозволяє одержати цей результат. Рисунок 5 демонструє, що плавні, майже з повним збігом, осцилограми напруги та струму досягаються у разі підвищеного опорного резистора у колі затвора ($R_{Gon} = 16 \text{ Ом}$). Нижча швидкість перемикання збільшує втрати, але для розглянутого вище прикладу значення енергії на етапі відкриття у модулі RGA та у еталонному модулі 7-го покоління майже однакові.

IGBT 7-го покоління, як і більшість сучасних конструкцій IGBT з канавковою структурою затвора, менше реагують на вплив невеликих змін опорного резистора на етапі закривання транзистора. Це також вірно для модулів RGA IGBT, у яких вибір опорного резистора в діапазоні вище $\sim 20 \text{ Ом}$ дозволяє отримати незначні зміни як у швидкості di/dt , dv/dt , так і у значенні енергії на етапі закривання. Порівняння з IGBT 7-го покоління на етапі вимкнення транзистора з використанням того самого опорного резистора 8.2 Ом показує майже ідентичне значення перенапруги, незважаючи на більшу швидкість наростання напруги (рис. 6). Модуль RGA IGBT демонструє монотонно спадний, але довгий «хвіст» струму, що збільшує добуток напруга-струм. Однак цей ефект частково компенсується більшою швидкістю dv/dt . Кінцевий результат полягає в тому, що в модулі RGA енергія на етапі закривання лише на 5% вища, ніж у еталонному пристрої 7-го покоління.

ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ МОДУЛІВ ЗА ОДНАКОВИХ УМОВАХ ЕКСПЛУАТАЦІЇ

Сумарний ефект від втрат на провідність і на комутацію, а також тепловий режим модуля найкраще виявляється шляхом розрахунку підсумкової температури $p-n$ -переходу для заданих умов експлуатації модуля. Як приклад розглянуто трифазний 2-рівневий інвертор напруги з модулем MiniSKIIP

в sixpack топології; параметри застосування наведені в таблиці 1. Для порівняння обрано два модулі з номінальним струмом 35 А . Цей тип модуля підійде для організації електроживлення електродвигуна з потужністю в діапазоні $5.5\text{--}11 \text{ кВт}$, залежно від заданого рівня перевантаження.

Таблиця 1. Параметри застосування для прикладу теплового розрахунку

Параметри	Значення
Напруга пост. струму, V_{DC}	650 В
Лінійна напруга, V_{out}	400 В
Коеф. потужності, $\cos(\phi)$	0.85
Частота основної гармоніки, f_{out}	50 Гц
Вихідний струм, I_{out}	25.9 А (Вих. потужність 15.3 кВт)
Частота ШІМ, f_{sw}	Змінна
ШІМ	Синус-трикутник
Температура $p-n$ переходу, T_j	Змінна
Тепловий опір «тепловідвід-повітря», $R_{th(b-a)}$	0.1 К/Вт
Темп. навколишн. середовища, T_a	450 °С
Тепловий опір «кристал-тепловід», $R_{th(j-IGBT)}$	0.80 К/Вт (RGA)
R_{Gon}	16.4 Ом (RGA)
	8.2 Ом (7 покоління)
R_{Goff}	13.7 Ом (RGA)
	8.2 Ом (7 покоління)

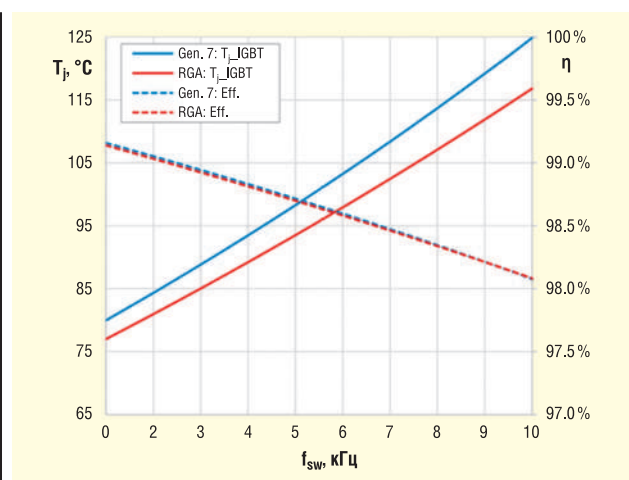


Рис. 7. Розрахована температура переходу та коефіцієнт потужності для фіксованого вихідного струму

Для проведення порівняльних розрахунків використано п'яту версію стандартної програми розрахунку SemiSel від Semikron Danfoss. Один модуль MiniSKiiP змонтовано на гіпотетичному радіаторі з використанням високоефективної термопасти (HPTP) та примусовим охолодженням повітрям з температурою 45 °С. Температуру *p-n*-переходу розраховують для ситуації, коли схема інвертора має параметри та працює в режимах, які наведені у таблиці 1. У відповідності до приведеного раніше, для кола затвора RGA IGBT вибрано резистор з підвищеним опором, щоб забезпечити таку ж швидкість dv/dt на етапі відкриття, як у IGBT 7-го покоління. Далі вибирають струм, який забезпечує температуру *p-n* переходу 125 °С для найвищої обраної частоти перемикання. Ця температура визначає обмеження типової тривалості безперервної роботи для класифікації модулів у системах електроприводів через негативний вплив циклічних режимів роботи на строк служби модулів. Підсумкова температура *p-n*-переходу та коефіцієнт потужності в залежності від частоти зображені на рисунку 7.

За тих самих умов експлуатації розрахована температура *p-n*-переходу IGBT RGA в середньому на 6 К нижча, ніж у IGBT 7-го покоління (суцільні лінії на рисунку 7). Це є результатом оптимізації розміру чипа у модулі RGA IGBT, що призводить до зниження теплового опору від *p-n* переходу до радіатора на 14%. Нижча температура *p-n*-переходу дає меншу термомеханічну напругу в силовому модулі і зменшує негативний вплив термоциклічних режимів роботи на строк служби модулів. Якщо така температура *p-n*-переходу є прийнятною для RGA IGBT, можна зменшити вимоги до охолодження модуля. Це може бути у формі зменшення вартості радіатора або зниження швидкості вентилятора.

Збільшене падіння прямої напруги у RGA при високих температурах впливає на коефіцієнт потужності на низьких частотах комутації, де домінують втрати провідності. І навпаки, зменшена енергія на увімкнення модуля RGA дає йому перевагу в коефіцієнті потужності на вищих частотах перемикання. Однак у наведеному прикладі застосування коефіцієнти потужності напівпровідників в діапазоні 1...10 кГц для двох чипів по суті однакові (див. пунктирні лінії на рисунку 7).

Крім того, можна скористатись дуже хорошими тепловими характеристиками RGA для того, щоб отримати більший вихідний струм без переходу до модуля з

більшою потужністю. Розрахунок теплового режиму модуля показав, що RGA IGBT здатний віддавати вихідний струм на 2...9% вищий у діапазоні 1...10 кГц, ніж IGBT 7-го покоління, ціною деякого зниження коефіцієнту потужності.

СТІЙКІСТЬ МОДУЛІВ ДО КОРОТКОГО ЗАМИКАННЯ

Загальна тенденція до зменшення розмірів чипів зменшила теплову потужність сучасних IGBT матриць і, отже, стійкість до короткого замикання порівняно зі старими поколіннями IGBT чипів. Модуль 1200-В RGA IGBT відповідає вимогам сучасного стандарту по часу стійкості до імпульсного короткого замикання t_{psc} , що дорівнює 8 мкс при 800 В постійного струму та температурі 150 °С, який також є чинним для IGBT 7-го покоління. Висока швидкість di/dt у модулі IGBT RGA означає, що під час коротких замикань виникають значні сплески струму, амплітуда яких у п'ять разів перевищує номінальний струм $I_{ном}$. Незважаючи на це, процес вимкнення модуля залишається контрольованим, без будь-яких високочастотних коливань.

ВОЛОГОСТІЙКІСТЬ

Уміру того, як використання перетворювачів енергії поширюється на нові застосування по всьому світу, все більше силових напівпровідникових пристроїв, імовірно, будуть піддаватися впливу навколишнього середовища з високою вологістю. Цей факт, в поєднанні з кращим розумінням процесів збоїв у модулях, підштовхнув галузь до проведення більш суворої кваліфікаційних випробувань. Зокрема високовольтний, з високою вологістю та високою температурою (HV-H³TRB) тест на зворотне зміщення

став стандартом для вимірювання довготривалої стійкості модулів до вологості. У цьому тесті піддають жорсткій перевірці кінцеву структуру IGBT чипа шляхом подачі на модуль 80% від паспортної напруги блокування (наприклад, 960 В постійного струму) у випробувальній камері при температурі повітря 85 °С і відносній вологості 85%. Модулі оцінюються на основі того, скільки годин (наприклад, 168/504/1000 год.) вони можуть витримувати такі умови експлуатації без перевищення заданого стандарту струму витоку для даної напруги блокування. Тестування, проведене у фірмі Semikron Danfoss, показало, що модулі RGA IGBT витримують 1000 годин і більше, що ставить їх в той самий клас, що й IGBT 7-го покоління.

РЕАЛІЗАЦІЯ МОДУЛІВ

Фірма Semikron Danfoss може запропонувати модулі 1200-В RGA IGBT у всьому діапазоні номінального струму від 10 до 150 А. Такий діапазон струмів у поєднанні зі зручністю застосування чипів RGA означає, що сімейство MiniSKiiP є ідеальним вибором модуля для електроприводів. Модулі MiniSKiiP з пружинним контактом і без базової пластини широко представлені на світовому ринку електроприводів і містять IGBT останнього покоління. Тому для цього продукту важливо мати альтернативне джерело постачання IGBT для диверсифікації ланцюжка поставок. Сімейство корпусів MiniSKiiP однакової висоти (рис. 8) також пропонується на ринку; це робить будь-який альтернативний тип IGBT вигідним варіантом для виробників. Перші модулі MiniSKiiP, обладнані RGA, будуть доступні в sixpack топологіях («AC») і топологіях converter-inverter-brake («NAB»), щоб забезпечити можливість легкої заміни модулів, об-

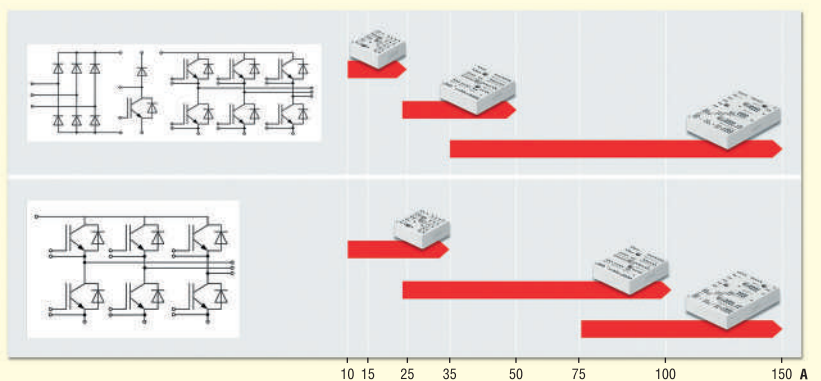


Рис. 8. MiniSKiiP 1/2/3, оснащений RGA

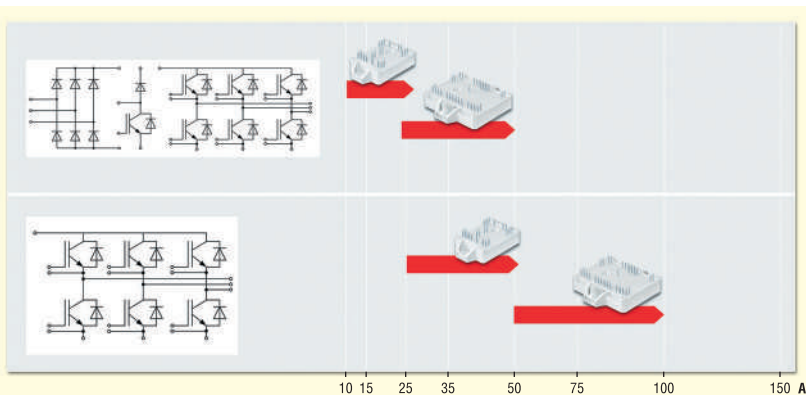


Рис. 9. Модуль SEMITOR E1/E2, оснащений RGA

ладнаних IGBT 7-го покоління. Для модуля MiniSKiIP підходить такий самий тип високоефективної теплопровідної пасти (НРТП), який використовувався у вищезгаданих порівняльних розрахунках умов застосування.

Для застосувань з кріпленням модуля притисканням або пайкою призначений модуль SEMITOR E у конфігураціях, сумісних з нумерацією контактів для існуючих модулів IGBT 7-го покоління. У вищезгаданому сімействі корпусів (рис. 9) також будуть передбачені sixpack («GD») схемні конфігурації та конфігурації «converter-inverter-brake» («DGDL»).

Конструкція модуля SEMITOR E повністю сумісна з модулями інших конструктивів, і має удосконалення у вигляді інтегрованих монтажних вкладок замість металевих затискачів. Вони створюють підвищений монтажний тиск у місці з'єднання, що призводить до зниження теплового опору. Поліпшений штифт з пресою посадкою забезпечує зняття механічної напруги для більшої надійності механічного кріплення. Модуль SEMITOR E поставляють із попередньо нанесеною теплопровідною пастою НРТП або новим ексклюзивним високоефективним фазозмінним матеріалом фірми Semikron Danfoss (HP-PCM), що полегшує монтаж модуля. Модуль 1200-V RGA IGBT буде мати позначення «12RA» в описі цього модуля: наприклад модуль Mini-SKiIP C1B з номінальним струмом 35 А буде називатися SKiIP 24NAB12RAV1.

ВИСНОВОК

Галузь силової електроніки продовжує відновлюватися та засвоювати уроки з проблем постачання, що мали місце в останні роки. Зрозуміло, що диверсифікація як у виробництві напівпровідникових чипів, так і у виробництві модулів потрібна для того, щоб забезпечити віль-

ний доступ до силових модулів за принципом «з кількох джерел». Для модулів IGBT 1200-V 7-го покоління тепер доступний надійний еквівалент від авторитетного виробника у діапазоні низьких потужностей. Модуль 1200-V RGA IGBT від компанії ROHM є ідеальною альтернативою модулям IGBT 7-го покоління, і шляхом невеликого регулювання опору резистора у колі затвора цьому модулю можна встановити режим роботи, в якому зазвичай працюють модулі IGBT 7-го покоління. Невеликі відмінності у втрат провідності модуля повністю компенсуються його покращеними тепловими характеристиками. Це робить модуль 1200-V RGA IGBT повністю сумісним з модулями IGBT 7-го найновішого покоління. Завдяки стійкості до вологи, короткого замикання та підвищеної температури модуль 1200-V ROHM RGA IGBT позиціонується як дуже надійний вибір, якщо його використовують в комплекті з силовими модулями Semikron Danfoss.

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

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

Література:

1. Представлення нового IGBT 7-го покоління (AN 19-002). <https://www.semikron-danfoss.com/dl/service-support/downloads/download/semikron-application-note-introduction-of-new-igbt-generation-7-en-2019-10-10-rev-01.pdf> CN

НОБЕЛІВСЬКУ ПРЕМІЮ З ФІЗИКИ ПРИСУДИЛИ ЗА ПРОРИВ У ДОСЛІДЖЕННІ ЕЛЕКТРОНІВ

Дослідження П'єра Агостіні, Ференца Крауша й Анн Л'Юльє дозволить вивчати настільки швидкі процеси, за якими спостерігати раніше вчені не були в змозі. Зміни у світі електронів відбуваються за кілька десятих аттосекунди — однієї квінтільйонної частки секунди (уявіть, таких відрізків у секунді приблизно стільки ж, скільки пройшло загалом секунд з моменту народження Всесвіту) — і раніше не було можливості їх простежити.

Л'Юльє, професорка Лундського університету у Швеції (яка стала лише 5-ю жінкою, яку відзначили Нобелівською премією з фізики) виявила новий ефект від взаємодії лазерного світла з атомами в газі. А Агостіні, професор Університету штату Огайо, і Крауш, професор Інституту квантової оптики Макса Планка в Німеччині, продемонстрували, що його можна використовувати для створення коротших імпульсів світла, які вимірюються в аттосекундах.

«Тепер ми можемо відкрити двері у світ електронів. Аттосекундна фізика дає нам можливість зрозуміти механізми, якими керують електрони. Наступним кроком буде їх використання», — каже Єва Олссон, голова Нобелівського комітету з фізики.

Потенціал для застосування таких коротких імпульсів світла загалом є у багатьох областях, але у першу чергу буде корисним в електроніці та ідентифікації різних молекул, наприклад, у медичній діагностиці.

Премія у розмірі 11 мільйонів шведських крон буде розподілена порівну між лауреатами.

Торік Нобелівську премію з фізики присудили Алену Аспекту, Джону Клаузеру й Антону Цайлінгеру за експерименти із заплутаними квантовими станами, у 2021 році — Джорджу Парізі, Сюкуро Манабе та Клаусу Хассельману за моделювання складних систем, а у 2020-му відзначили Роджера Пенроуза, Райнхарда Генцеля та Андреа Гез — за дослідження чорних дір.

Як тало відомо, Ференц Крауш планує витратити свою премію на благодійність та допомогу українцям. Зокрема, він передасть кошти ініціативі Science4People, яка допомагає відбудувати українські школи. Цей фонд у 2022 році заснував сам Крауш.

www.nobelprize.org

НВП "ТЕХНОСЕРВІСПРИВІД"

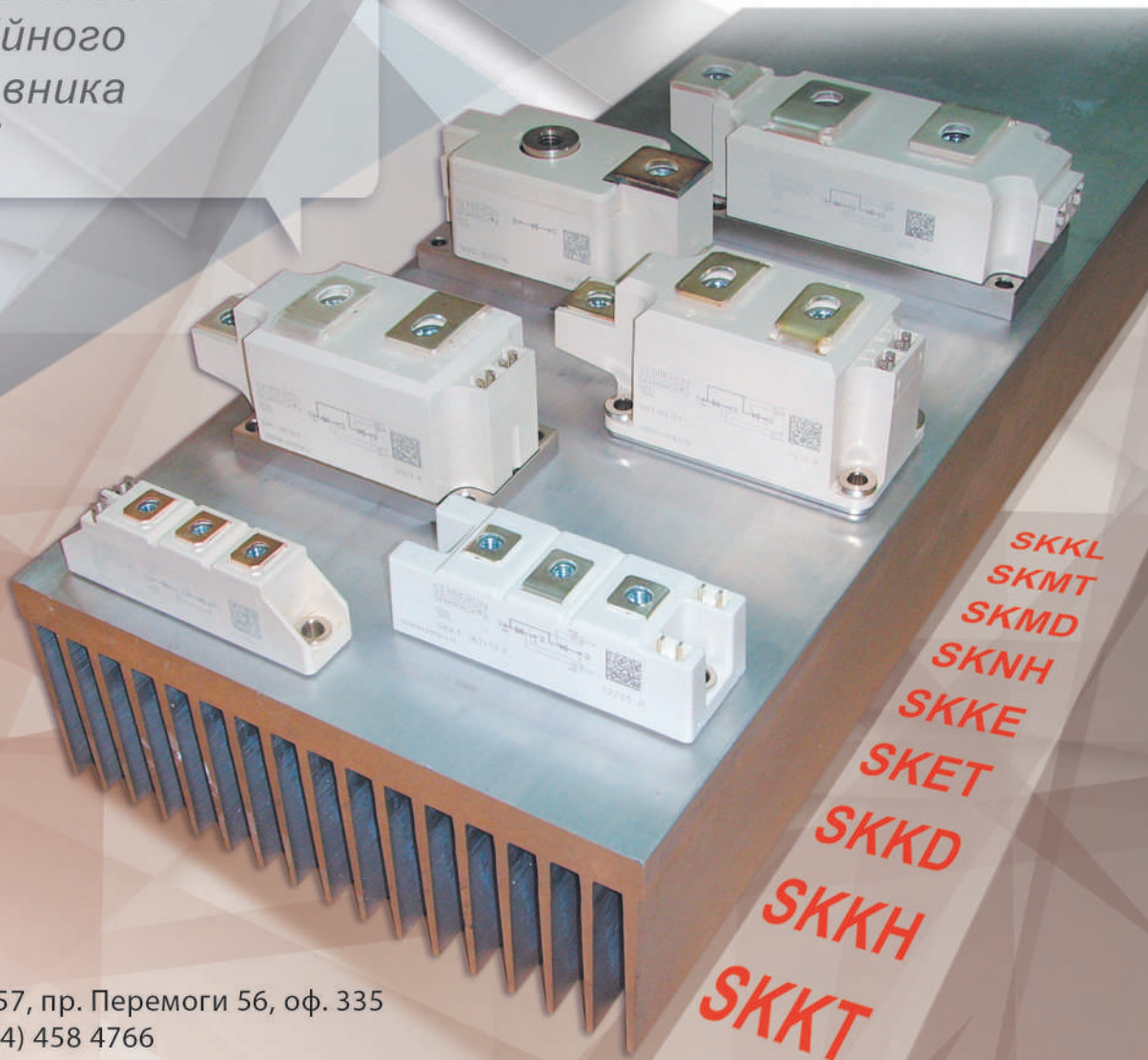
Офіційний представник Semikron Danfoss в Україні

www.tsdrive.com.ua



**SEMİKRON
DANFOSS**

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



03057, Київ-57, пр. Перемоги 56, оф. 335
тел/факс (044) 458 4766
E-mail: sp.tsdrive@gmail.com

Вплив радіації на силові напівпровідники в джерелах живлення

Пол Шимель (Paul L. Schimel), головний інженер із сигової електроніки, Microchip Technology

Які функції виконують радіаційно-стійкі пристрої? Що визначає їхню стійкість до радіації? Як враховувати її під час проектування? Як працюють ці компоненти? Як їх тестувати та перевіряти на відповідність? Усі ці та інші питання розглядаються в цій публікації.

ВПЛИВ КОСМІЧНОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ

Наша електроніка, що експлуатується на поверхні Землі, великою мірою захищена атмосферним «екраном», або «щитом». Однак слово «екран» не зовсім точно відображає суть справи. Наприклад, у камері для випробувань на електромагнітну сумісність застосовуються суцільні екрани, як правило, з дуже малим питомим опором.

Атмосферний «екран» працює за іншим принципом. Заряджені частинки, що з'явилися в результаті ядерної реакції на Сонці або в глибокому космосі, взаємодіють з молекулами газів, проходячи через шар атмосфери. У міру зростання кількості зіткнень ці частинки втрачають все більше енергії. На момент, коли частинки досягають земної поверхні, вони втрачають найбільшу частину своєї енергії або ж їхній рух припиняється в нижніх шарах атмосфери. Під час експлуатації електронних пристроїв на досить великій висоті вони частіше піддаються впливу заряджених частинок протягом усього терміну служби.

Відомо, що пілоти літаків надягають сонцезахисні козирки і вживають інших запобіжних заходів, які зазвичай не використовуються, наприклад, під час відпочинку на морі. Ці заходи зумовлені тим, що на великих висотах атмосферний шар стає тоншим, і його захисні властивості погіршуються. На цих висотах помітний вплив також ультрафіолетового випромінювання більших енергій, ніж бета-промені з довжиною

хвилі 315–280 нм або короткохвильові промені (280–100 нм).

За межами земної атмосфери, де починається область низької навколосемної орбіти, що має висоту над поверхнею планети в діапазоні 160–2000 км, захисні властивості атмосфери практично відсутні, але роль екрана виконує магнітне поле Землі. Воно утворює магнітосферу, що простягається на 70–80 тис. км у напрямку Сонця. Магнітосфера екранує поверхню Землі, захищаючи її від шкідливого впливу заряджених частинок великих енергій і космічних променів.

У магнітосфері Землі є два радіаційні пояси із зарядженими частинками сонячного вітру, захопленими магнітним полем нашої планети. Американський учений Ван-Аллен відкрив внутрішній радіаційний пояс, який розташований на висоті 3–12 тис. км над поверхнею Землі і складається переважно з електронів і протонів великих енергій. Вчені С. Н. Вернов і А. Є. Чудаков відкрили зовнішній радіаційний пояс на висоті 18–57 тис. км, який здебільшого складається з електронів, що мають малу енергію.

ПІК БРЕГГА

Крива Брегга описує залежність втрати енергії зарядженої частинки від глибини проникнення у зразок, що випробовується. Для альфа-частинок та інших іонів крива має виражений пік, що з'являється незадовго до їхньої зупинки. Цей пік заведено називати піком Брегга за ім'ям сера Вільяма Генрі Брегга і

його сина Вільяма Лоуренса Брегга. Як правило, у випадку з напівпровідниковими пристроями зразком, що випробовується, є пристрій, що тестується, основну масу якого становить кремній (Si). Глибина проникнення залежить від розміру частинки.

На перший погляд, складається враження, що частинки більшого розміру і більшої енергії проникають на більшу глибину, але це не так, оскільки більша важка частинка стикається з набагато більшою кількістю частинок у зразку, який випробовується, ніж частинка меншого розміру. Велика частинка передає набагато більше енергії частинкам, з якими вона стикається.

Частинки зразка, що випробовується, з якими зіткнулися частинки бомбардувального пучка, розсіюються з великою швидкістю. У результаті енергія цього пучка швидко зменшується, а його частинки припиняють рух, проникнувши на порівняно малу глибину. Наприклад, часто вони зупиняються посередині каналу MOSFET або зони дрейфу біполярного транзистора.

Натомість частинки відносно малого розміру не витрачають великої кількості енергії на зіткнення, що дає їм змогу проникати глибше у зразок, що випробовується, а іноді навіть проходити крізь нього.

РАДІАЦІЙНІ ЕФЕКТИ

Радіаційно-стійкі напівпровідники проходять чотири основні випробування, метою яких є встановити здатність пристроїв протистояти впливу радіаційного випромінювання різних типів. Випробування на виникнення поодиноких ефектів (single event effect, SEE) призначені для дослідження поодиноких збоїв під впливом окремих важких заряджених частинок. Випробування на стійкість до

накопиченої дози іонізуючого випромінювання (total ionizing dose, TID) проводиться з використанням радіації набагато меншої інтенсивності. У цьому тесті застосовуються гамма-промені від джерела радіоактивного кобальту-60. При цьому випробуваний пристрій піддається тривалому впливу випромінювання для виявлення наслідків.

Випробовуваний пристрій реагує не тільки на рівень набраної дози, а й на швидкість її набору — що повільніше набирається доза, то гірша стійкість. Вплив цього ефекту здійснюється в рамках випробування TID і називається ELDRS (Enhanced Low Dose Rate Sensitivity). При цьому інтенсивність дози, або густина випромінювання, набагато нижча за TID. Тестування бомбардуванням нейтронами виявляє тільки ефекти, пов'язані тільки з впливом цих частинок на випробуваний пристрій. Ці випробування дають змогу визначити різні характеристики, починаючи з довготривалої деградації і закінчуючи миттєвими збоями та катастрофічними відмовами. Згадані тести визначають впливи тільки двох видів: іонні і ті, які викликають порушення структури кристалічної решітки.

Випробування на виникнення поодиноких ефектів проводяться за допомогою лінійних прискорювачів заряджених частинок за постійного значення енергії, що припадає на атомну одиницю маси (а.о.м.). Наприклад, енергія частинки з атомною масою 4 од. за 15 MeV/а.о.м. становитиме 60 MeV. Але як ця енергія передається у випробуваному пристрої?

Щоб зрозуміти цей механізм, слід скористатися такою характеристикою як лінійне перенесення енергії (linear energy transfer, LET), яка визначає величину іонізаційних втрат енергії на одиниці шляху в речовині і має розмірність MeV/мг/см². Згідно зі стандартом JESD57A, тест SEE є нетривалим. Густина потоку в одиницю часу перебуває в діапазоні 10³–10⁵ іонів/см²/с, а сумарна густина часто дорівнює 10⁷ іонів/см². Ефект SEE в основному визначається іонною взаємодією.

Як і в більшості випробувань на вплив радіації, у тесті SEE по-різному визначається вплив випромінювання на різні компоненти. У випадку з дискретним силовим MOSFET з вертикальним каналом, який застосовують у більшості комутаційних рішень, спостерігаються два основні ефекти: пробій виткової області (single event burnout, SEB) і пробій оксидного шару затвора (single event gate rupture, SEGR).

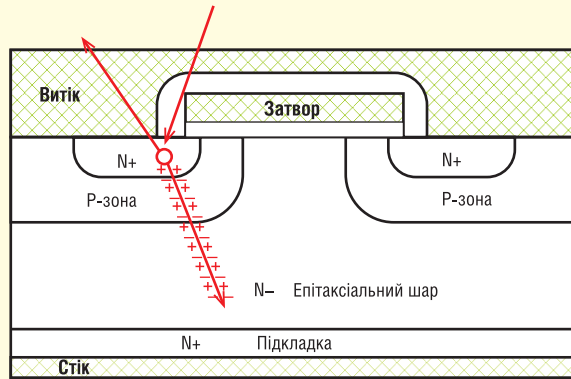


Рис. 1. Проникнення важкого іона в область N+ на початку випробування

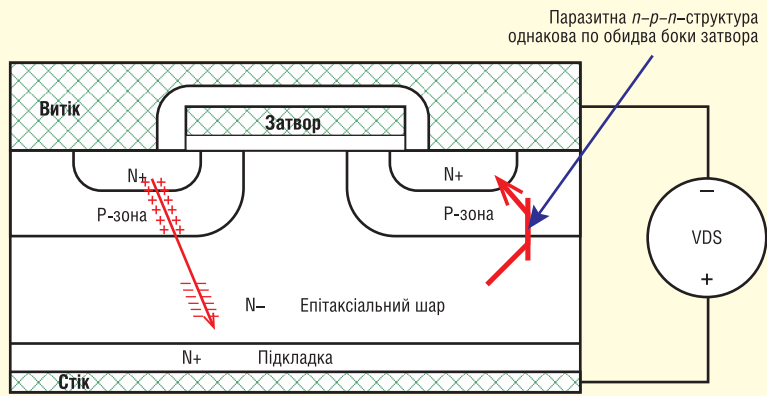


Рис. 2. На другому етапі випробування SEB оболонка з електронів і дірок, утворена навколо шляху проходження іона, притягує частинки з полярністю, яка протилежна напрузі V_{DS} . У результаті вмикається паразитний транзистор $p-p-n$, що призводить до ввімкнення MOSFET

У більшості сучасних силових MOSFET ефект SEB спостерігається рідше, ніж SEGR. Випробування SEB проходить у два етапи. Спочатку важкий іон, що летить до поверхні випробовуваного пристрою під кутом, близьким до нормалі, проникає в ділянку N+, яка перебуває під шаром металізації витку (див. рис. 1).

Далі іони, отримані в результаті ядерної реакції, проходять вертикально через кристал. У міру їх проходження через кристал навколо трактів іонів утворюється коаксiальна оболонка з електронно-діркових пар. Зауважимо, що MOSFET при цьому перебуває у вимкненому стані, блокуючи напругу стік-джерело (VDS). У цьому стані ключа електрони притягуються до задньої сторони кристала, або до виводу стоку, а дірки (позитивні іони) — до виводу витку.

На рисунку 2 показано шлях проходження іона і внутрішню $p-p-n$ -структуру. Це дуже важливий елемент n -канального MOSFET, що працює в режимі збагачення. Якщо вона перебуває у ввімкненому стані, MOSFET завжди

замкнений незалежно від величини напруги затвор-джерело (V_{GS}) або напруги керування затвора.

Імпеданс шару металізації витку має бути дуже малий на переході база-емітер $p-p-n$ -структури. Якщо до області p -зони притягнулася достатня кількість дірок, нижня частина переходу база-емітер структури може виявитися прямо зміщеною. При цьому вона вмикається. Так відбувається на деякій відстані від металізованої поверхні, що закорочує внутрішній перехід $p-p-n$ -структури. При цьому пристрій вмикається незалежно від напруги керування V_{GS} . Так працює механізм SEB, що для більшості застосувань неприйнятно. Зауважимо, однак, що у сучасних радіаційно-стійких пристроях ймовірність виникнення ефекту SEB мінімальна.

Ефект SEGR відрізняється від SEB тим, що виникає в сучасних MOSFET з більшою ймовірністю. SEGR також впливає на MOSFET у вимкненому стані. Оскільки максимально допустима величина напруги V_{DS} у тесті, як правило, обирається відповідно до зазначеної в технічному описі, а напруга V_{GS} є від'єм-

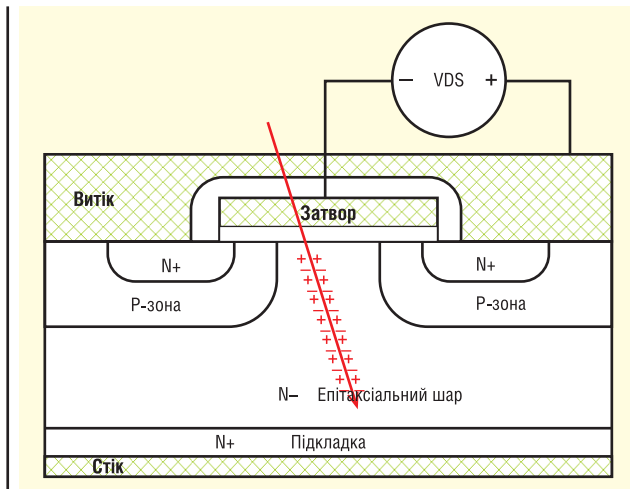


Рис. 3. Ефект SEGR у MOSFET: шлях проходження важкого іона

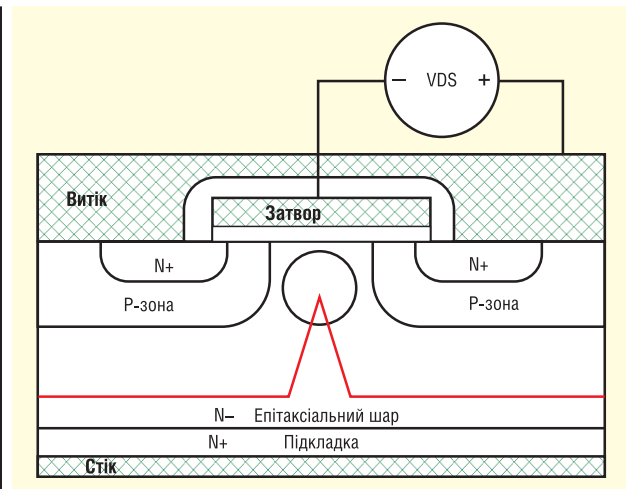


Рис. 4. Поява градієнта електричного поля під час випробування SEGR

ною, пристрій гарантовано перебуває у вимкненому стані.

Зауважимо, що величина напруги на стiці є позитивною, а на затворі — негативною. Напруженість електричного поля в розглянутій вертикальній структурі є високою. Дуже велика позитивна напруга на підкладці і дуже мала негативна напруга на затворі за малої відстані між підкладкою і затвором забезпечують максимальну напруженість електричного поля, що вимірюється в одиницях В/м. У цих умовах важкий іон проходить через затвор, підзатворний шар діелектрика і канал ключа. Ця частинка може зупинитися в каналі, в підкладці або пройти крізь пристрій. Навколо шляху проходження іона утворюється оболонка з електронно-діркових пар (див. рис. 3).

У результаті її появи змінюється розподіл електричного поля. Епітаксiальний шар N- різко підіймається до затвора (див. рис. 4), що зменшує відстань між стоком і затвором і, отже, ще більшою мірою підвищує напруженість електричного поля, градієнт якого помітно збільшується безпосередньо під затвором. Якщо величина цього поля досить велика, виникає пробій підзатворного діелектрика і відмова пристрою. Радіаційно-стійкі MOSFET проєктуються з урахуванням цієї обставини.

Нині дедалі ширше застосування як основні прилади для потужної перетворювальної техніки знаходять MOSFET на основі карбiду кремнію (SiC). У цих ключів — менший опір відкритого каналу з розрахунку на одиницю площі, а матеріал, з якого вони виготовлені, працює за набагато більшої напруженості електричного поля. Це означає, що пристрій меншого розміру функціонує при вищому струмі і напрузі.

Однак актуальні на ринку переваги SiC-ключів негативно проявляються під час випробування SEGR. Підзатворний діелектрик зазнає набагато більшого навантаження в карбiдокремнієвих пристроях за номінальної напруги і в умовах проведення тесту SEGR, а напруженість електричного поля набагато вища. Саме з цієї причини сучасні SiC MOSFET насилу застосовують у радіаційно-стійких рішеннях.

Геометричні параметри сучасних SiC-ключів роблять їх дуже вразливими для випробування SEGR, але ці пристрої успішно проходять тест за менших номінальних значень напруженості електричного поля, що відповідають пристроям на основі кремнію. Сучасні 1200-В SiC MOSFET могли б успішно пройти тестування SEE за V_{DS} у діапазоні 200–250 В.

Число поодиноких випадкових ефектів (SEE) у біполярних транзисторах мінімальне. Випробування показали, що поодинокі перехідні ефекти (single event transient, SET) у цих транзисторах змiщують їх у лінійний режим. Вважається, що ці події є перехідним процесом і тому нешкідливі. При грубому моделюванні перехідного процесу важкий іон проходить через область дрейфу або припиняє в ній своє просування. Ця подія миттєво змінює розподіл носіїв. При цьому на колекторі спостерігається шум.

Вважалося, що діоди Шотткі не схильні до впливів типу SEE. Однак випробування показали, що за відносно високих напруг у цих діодах відбуваються поодинокі події. У високовольтному діоді Шотткі важкий іон, що падає, змiщує частинки металу в замикальному переході в ділянку напівпровідника, внаслідок чого навколо відповідної зони виникає електричне поле високої напру-

женості. Воно руйнує напівпровідник (це явище називається електроміграцією) доти, доки не виникне коротке замикання. У низьковольтних діодах Шотткі така проблема не спостерігається.

І знову порівнюємо SiC-діоди Шотткі, що працюють з електричними полями вищої напруженості, з кремнієвими діодами. Для успішного проходження тестів SEE напругу SiC-діода Шотткі слід набагато зменшити. Зокрема, номінальну напругу 1200 В SiC-діода Шотткі необхідно скоротити до 200–250 В.

Діоди з *p-l*-переходом відносно стійкі до впливів типу SEE.

ПРОЄКТУВАННЯ З УРАХУВАННЯМ ЕФЕКТУ SEE

Під час розроблення з урахуванням поодиноких ефектів (SEE) слід ретельно розібратися в механізмах їх виникнення, щоб зробити правильний вибір силових MOSFET і діодів Шотткі. Наприклад, буде потрібно зменшити допустиме значення V_{DS} MOSFET у два-три рази. Зокрема, для роботи зі 120-В шиною можна вибрати 250-В MOSFET.

Крім того, слід так вибрати схему керування затвором, щоб пристрій залишався вимкненим за максимальних швидкостей зміни синфазної напруги. Під час швидкої комутації вихідна ємність C_{OSS} ключа MOSFET, яка була ввімкнена в нульовий момент часу, швидко вимикається. Потім вона заряджається з нульового рівня до напруги шини.

Якщо це відбувається досить швидко, заряд надходить у ємність C_{ISS} через C_{RSS} . Часто таке увімкнення позначається як Cdv/dt . Імпеданс драйвера у вимкненому стані має бути досить малий, щоб

MOSFET був вимкнений за такої швидкої комутації (див. рис. 5–6).

ВИПРОБУВАННЯ TID

Випробування TID здійснюється за набагато меншої інтенсивності радіаційної дози, ніж SEE. У цьому тесті використовується гамма-випромінювання вищої густини потоку на основі радіоактивного кобальту-60. Цей тест, що імітує довготривалий вплив випромінювання на зразок, виконується згідно з методом TM1019 за стандартом MIL-STD-750. У цьому випробуванні розглядаються іонні взаємодії.

Вплив тесту TID на MOSFET мінімальний. Найпомітнішим ефектом є захоплення дірок і підсумкове зміщення напруги V_{TH} . Під впливом гамма-випромінювання на окисний шар затвора на поверхні напівпровідника виникають дірки та електрони. Оскільки електрони рекомбінують швидше за дірки, виникає надлишок останніх. Через ці дірки змщується порогова напруга при збільшенні густини потоку.

У *n*-канального MOSFET відбувається негативний зсув порогової напруги, а у *p*-канального MOSFET — позитивний зсув V_{TH} . Щоб пристрій був стійким до радіації, цей зсув має бути близько 1 В за густини потоку 100 крад. Решту впливів можна вважати несуттєвими, проте струми витоку злегка збільшуються зі зростанням густини потоку (наприклад, струм I_{DSS}).

Вплив TID на біполярні транзистори набагато більший. Базовий механізм той самий, що і у випадку з MOSFET: електрони і дірки збираються на поверхні пристрою. У біполярного транзистора відсутній окисний шар, який захоплював би дірки. Вони накопичуються у вигляді резистивного шару на переході база-емітер, шунтуючи струм, що керує базою. Таким чином, у цьому випадку базовий струм має бути більшим, щоб колекторний струм був тієї ж величини. Цей механізм зменшує коефіцієнт посилення (див. рис. 7).

Розглянемо деякі тонкощі роботи цього механізму. Напруги V_{CBO} і V_{CEO} пов'язані з показником h_{FE} . Усі, хто, можливо, пам'ятає, як використовували біполярні транзистори для високовольтних силових ключів, знає про цей взаємозв'язок: що менший h_{FE} , то більшою є напруга колектор-емітер V_{CEO} щодо напруги колектор-база V_{CBO} . Ці напруги пов'язані з часом накопичення в переході база-емітер. Чим більша величина h_{FE} біпо-

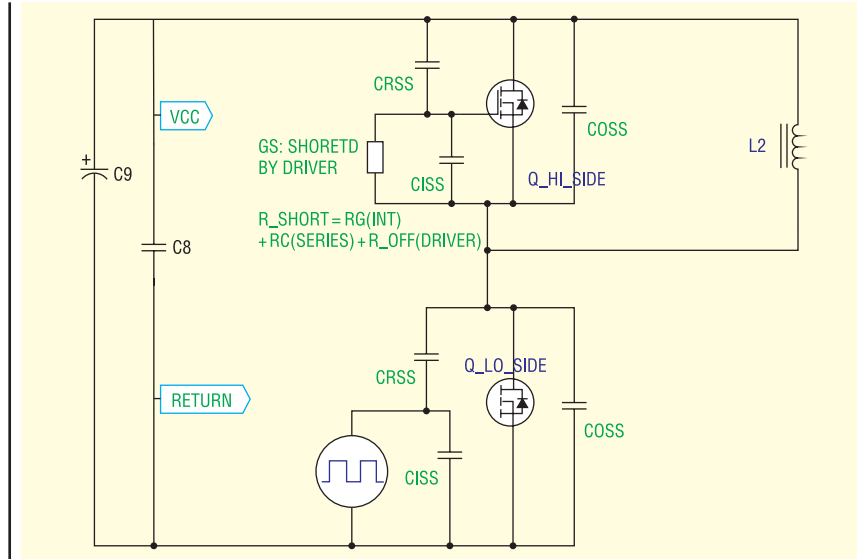


Рис. 5. Для перевірки реакції на події Cdv/dt використовується двоімпульсна схема випробування

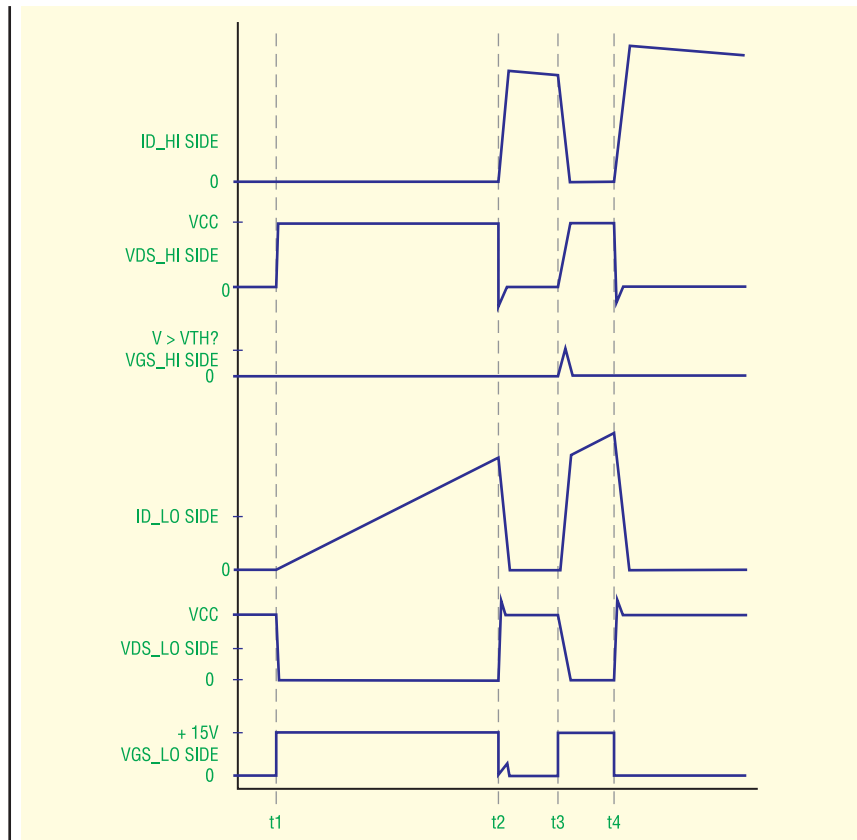


Рис. 6. Сигнали у двоімпульсній схемі випробування. У момент часу $t3$ спостерігається швидка комутація. Напруга V_{GS} ключа у верхньому плечі є позитивною в цей момент часу завдяки швидкому заряджанню конденсатора і зв'язку через ємність C_{RSS}

лярного транзистора, тим більший час накопичення в переході база-емітер. Це означає, що за більшого коефіцієнта h_{FE} більше носіїв у переході база-емітер і потрібно більше часу для їхньої рекомбінації порівняно з пристроєм, у якого h_{FE} менший (за інших рівних умов).

Що менший цей коефіцієнт і час накопичення в переході база-емітер, то швидше рекомбінують носії в цьому переході і вища напруга V_{CEO} . Після тестування TID величина V_{CBO} зазвичай залишається постійною, а V_{CEO} незначно збільшується. За вищих напруг спостері-

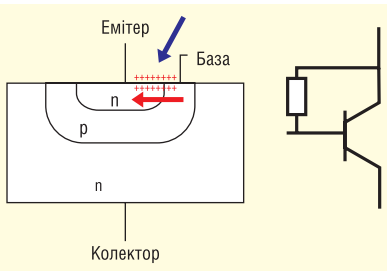


Рис. 7. Випробування TID біполярного транзистора. Блакитна стрілка позначає гамма-іпромінування, що впливає, а червона — шунтувальний тракт струму бази

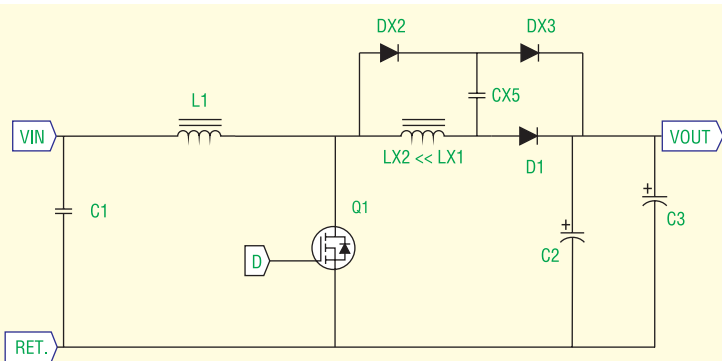


Рис. 8. Схема підвищувального перетворювача зі снабером (струм перебуває в режимі безперервної провідності)

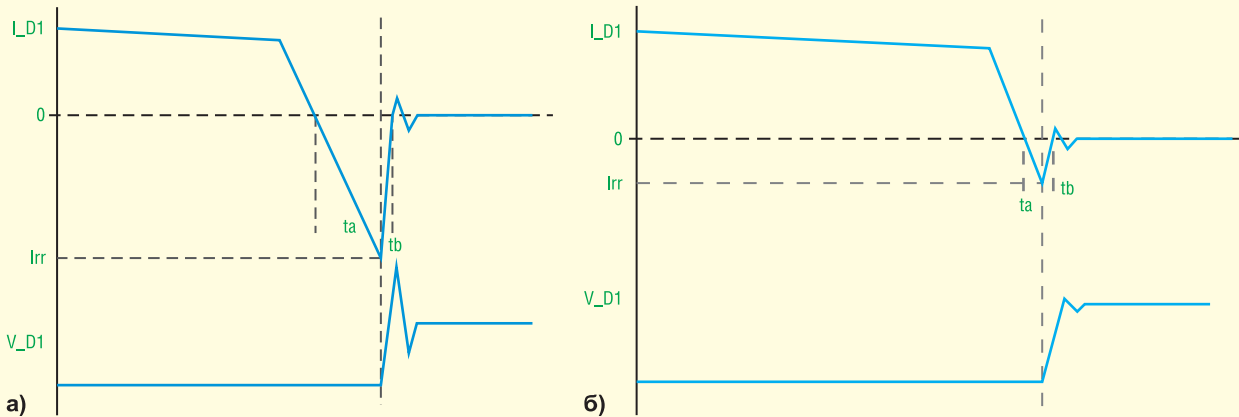


Рис. 9. Сигнал зворотного відновлення: вихідного діода (а); діода з опроміненою тильною стороною (б). У другому випадку струм змінюється більш плавно за час t_b , а значення I_{RR} , Q_{RR} і E_{RR} стали набагато меншими. Унаслідок цього відпала необхідність у підвищувальному снабері

гається різке зростання V_{CEO} залежно від густини потоку. Зрозуміло, що напруга V_{CEO} ніколи не перевищить V_{CBO} , але може наблизитися до його значення. На зростання струмів витoku в біполярному транзисторі впливають інші ефекти, крім TID і збільшення густини потоку.

Ефекти TID у діодах Шотткі незначні. Впливом цих ефектів на p - n -діоди часто нехтують, але динамічні параметри діода, що зазнав впливу радіації, дещо відрізняються від відповідних параметрів діода у вихідному стані.

Наведемо приклад. В одному проекті виникла потреба у використанні діодів із м'яким зворотним відновленням. У результаті було обрано дуже швидкі діоди. У цих пристроїв — досить тривалий час t_A і дуже короткий час t_B . Крім того, у них дуже великий струм I_{RR} (який часто в п'ять разів більший за I_F) і, відповідно, великий заряд зворотного відновлення Q_{RR} . Використання цих діодів викликало певні труднощі. Для того щоб забезпечити імпульс струму I_{RR} і компенсувати заряд зворотного відновлення, на вихід навколо діода було встановлено снабери без втрат (див. рис. 8).

В усуненні зазначених проблем брав участь діод з p - n -переходом. Задня сторона підкладки діода була опромінена під час його виготовлення. Таким чином були створені області рекомбінації і сходинки в забороненій зоні. Ці області рекомбінації невеликою мірою підвищили напругу V_F , істотно скоротили величини I_{RR} і Q_{RR} , дещо збільшили час t_B . При цьому сигнали стали змінюватися набагато менш різко (див. рис. 9).

Отже, опромінення діода з p - n -переходом, дійсно, певною мірою позначається на його роботі. Напруга V_F може трохи підвищитися, а області рекомбінації, що з'явилися внаслідок опромінення, пом'якшують зворотне відновлення структури. Ці зміни не можна вважати основними в більшості застосувань, але про них не варто забувати.

ПРОЄКТУВАННЯ З УРАХУВАННЯМ ЕФЕКТУ TID

Під час використання MOSFET необхідно велику увагу приділити випробуванням SEE, насамперед — драйверу

затвора. Під час керування n -каналним MOSFET наприкінці терміну служби при високій температурі слід враховувати, що порогова напруга може не перевищувати 1 В. Ця напруга зменшується зі зростанням температури ще більшою мірою під впливом механізму захоплення дірок під час тестування TID. Драйвер затвора повинен утримувати цей пристрій у вимкненому стані при виникненні події Cdv/dt під час комутації.

Схемні рішення з використанням біполярних транзисторів залежать від використання. Як найбільш наочний приклад можна навести зворотногоходний перетворювач, у якому застосовується біполярний транзистор як силовий ключ (див. рис. 10).

У схемі на цьому рисунку реалізовано таке керування біполярним транзистором, за якого він або насичений, або вимкнений. На початку терміну служби коефіцієнт посилення біполярного транзистора високий. Керування транзистором у режимі насичення дасть змогу зменшити втрати пристрою на провідність завдяки істотному зростанню комутаційних втрат. Буде потрібно чимало

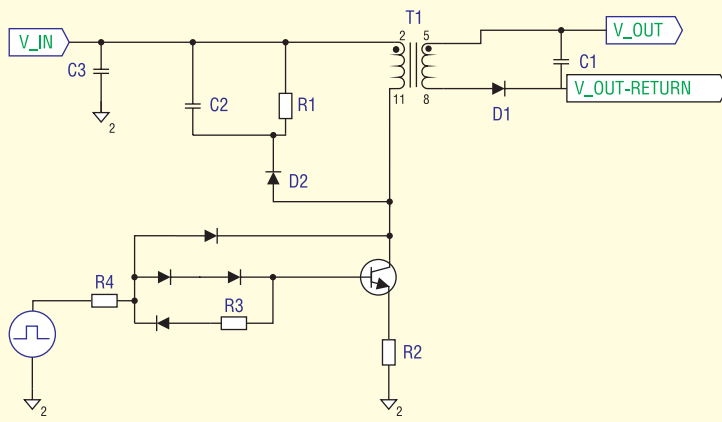


Рис. 10. Біполярний транзистор як силовий ключ у зворотногоходовому перетворювачі

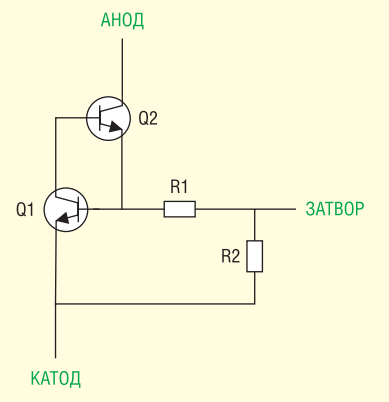


Рис. 10. Простий р-п-р-п-стек замикається під впливом радіації

часу, щоб позбутися неосновних носіїв заряду в переході база-емітер під час вимкнення, що призведе до додаткових комутаційних втрат.

Схема на рисунку 10 під назвою «Обмежувач Бейкера» дає змогу зберегти постійною напругу насичення колектор-емітер V_{CESAT} упродовж усього терміну служби та деградації коефіцієнта підсилення пристрою. Якщо базою керувати так, щоб напруга V_{CESAT} була дуже низькою, надлишковий струм керування потече через колектор. Наприкінці терміну служби пристрою розглянута схема буде віддавати в колектор струм меншої величини, і пристрій стане функціонувати при досить постійному значенні V_{CESAT} . Для забезпечення стійкості до впливу випробувань TID діодам з р-п-переходом і діодам Шотткі не потрібні якісь особливі схемні рішення; при цьому, можливо, невеликою мірою змінюються динамічні параметри діодів.

ВИПРОБУВАННЯ ELDRS

Як уже згадувалося, тестування ELDRS є складовою частиною випробування TID. Тест ELDRS виконується тим самим чином і з використанням іонів. Інтенсивність потоку частинок і його густина нижчі: 0,5–10 мрад/см²/с і 5–50 крад, відповідно.

Вважається, що за вищої інтенсивності потоку на поверхні пристрою накопичується більший заряд. При цьому дірки, відштовхуючись одна від одної, рівномірніше розподіляються по всій невеликій області. За потоку меншої інтенсивності відштовхування проявляється меншою мірою, що призводить до утворення скупчення з дірок. Це означає, що деякі пристрої більшою мірою чутливі до потоків меншої ін-

тенсивності. Ця обставина становить основу ефекту ELDRS.

MOSFET, р-п-діоди та діоди Шотткі відносно несприйнятливі до ефекту ELDRS, тоді як чутливість біполярних транзисторів до ELDRS залежить від технології виготовлення та робочої напруги. Що менші розміри елементів, то вища їхня чутливість. Заходи, що забезпечують стійкість пристроїв до ефектів ELDRS, ті самі, що й щодо TID.

БОМБАРДУВАННЯ НЕЙТРОНАМИ

При бомбардуванні нейтронами пристрій перебуває в незміщеному стані. Випробовувані зразки часто поміщують у підвищений пакет, який піддається впливу пучка частинок. У результаті такого бомбардування виникають ефекти зміщення. Це випробування здійснюється згідно з методом TM1017 стандарту MIL-STD-750.

Як відомо, нейтрони не мають заряду, на відміну від протонів, іонів і гамма-променів. Шлях гальмування нейтрона набагато більший, ніж у гамма-променів від джерела радіоактивного кобальту-60 або важких іонів. Нейтрони проходять крізь випробовуваний пристрій.

Густина потоку нейтронів перебуває в діапазоні 10⁹–10¹³ нейтронів/см². Оскільки у цих частинок немає заряду і їхня маса дуже мала, на них меншою мірою впливають пояси Ван Алена і земна атмосфера. Цю обставину необхідно враховувати під час розроблення компонентів для авіоніки. Заходи, що забезпечують стійкість пристроїв до нейтронного бомбардування, схожі з тими, яких вживають під час проектування схем з урахуванням ефекту TID.

ІС З ВИЩИМ СТУПЕНЕМ ІНТЕГРАЦІЇ

Досі ми обговорювали такі дво- або тришарові пристрої як діоди, біполярні транзистори або MOSFET. Що станеться при додаванні в компонент четвертого шару? Наприклад, при використанні р-п-р-п-стека велика ймовірність того, що відбудеться ефект замикання (див. рис. 11).

Ймовірність збою багат шарової мікросхеми, виготовленої за техпроцесом БіКМОН, експоненціально зростає внаслідок ефектів замикання, SEE, ELDRS, нейтронного бомбардування або TID. У таких випадках потрібно визначити відмінності між радіаційною стійкістю (radiation hardened) і радіаційною «толерантністю» (radiation tolerant).

Кожна комірка, кожне з'єднання і кожен перехід радіаційно-стійких пристроїв розробляється з використанням добре випробуваних і відомих методів. Радіаційно-стійкі пристрої створюються для експлуатації в комерційних, промислових або автомобільних застосуваннях. Ці пристрої проходять ретельні випробування, але в явному вигляді вони не призначені для використання в радіаційних умовах.

ВИСНОВКИ

Ми розглянули деякі загальні терміни і види тестів, а також схемні рішення для випробування пристроїв в умовах впливу гамма-променів, важких іонів і нейтронів. Сподіваємося, ця публікація допоможе фахівцям відповідних галузей розробляти схеми, правильно читати специфікації та розуміти, як коректно використовувати пристрої в умовах радіації.

CN

Багаточастотні квадрифілярні спіральні антени для точного GNSS позиціонування

Ламберт Ваннігер (Lambert Wanninger), Мелані Тімір (Melanie Thiemig),
Фолькер Фреверт (Volker Frevert)

Адаптований переклад українською та технічне редагування:
Володимир Рентюк

Вже декілька років для потреб точного позиціонування в глобальних супутникових системах позиціонування (Global Navigation Satellite System, далі — GNSS) доступні багаточастотні квадрифілярні спіральні антени із відхиленням вимірювання всього у декілька сантиметрів. Автори проєкту та пропонованої статті виконали тестові вимірювання з двома типами багаточастотних квадрифілярних антен та порівняли їх із еталонною геодезичною patch-антеною. Незважаючи на те, що фазовий шум носійної частоти, помилки у коді та чутливість до високочастотної багатоприменності, порівняно з геодезичною антеною, були більшими, але точність вимірювання швидких статичних горизонтальних координат все ж залишилася на тому самому рівні та демонструє можливість досягти похибки позиціонування усього в декілька сантиметрів. Автори статті у ході дослідницьких експериментів встановили, що один із типів антен продемонстрував підвищену чутливість до ефектів багатоприменності ближнього поля, що призвело до погіршення точності у вимірюванні вертикальної складової координат, але інший показав в цілому прийнятні результати.

ВСТУП

Квадрифілярна спіральна антена (англ. Quadrifilar Helix Antenna, далі — QHA-антена) складається з чотирьох резонансних антенних елементів у вигляді спіральних випромінювачів, розташованих з кутовим зсувом на дев'яносто градусів, які намотані навколо циліндра із діелектричного матеріалу [6, 4]. Для зменшення втрат елементи такої антени можна виготовляти за технологією звичайних друкованих плат. Розмір антени залежить від вибору того чи іншого діелектричного матеріалу.

Використання QHA-антен як приймальних антен GNSS-приймачів обговорювалося ще в 1990 році [9]. Ці антени, у першу чергу, використовуються у складі комплексних радіотехнічних систем, що складаються з сукупності назем-

ного та космічного обладнання, яке призначено для визначення розташування в просторі (місцезнаходження в географічній системі координат) і в часі, а також для визначення параметрів руху (швидкості, напрямку та ін.) наземних, водних та повітряних об'єктів. Одночастотні QHA-антени широко використовувались в GNSS-системах для портативних приймачів [4], але нещодавно для точного позиціонування легких безпілотних літальних апаратів (БПЛА) були запропоновані багаточастотні (мультичастотні) антени. Порівняно із іншими типами антен, такі QHA-антени через їх малу вагу чудово підходять саме для БПЛА.

Прим. перекладача. Приймач GPS був розроблений лише для прийому сигналу із супутників угруповання (сузір'я) GPS (24 супутники). На відміну від GPS, GNSS — це сумісне обладнання,

яке може використовувати навігаційні супутники з інших мереж ГЛОНАСС, BeiDou (Китай), а також розширення Galileo (Європа). Оскільки кожна така мережа, включаючи GPS, контролює від 24 до 30 супутників, позиціонування є простішим та точнішим.

QHA-антена має напівсферичну діаграму спрямованості з круговою поляризацією, причому обертання кругової поляризації визначається напрямком формування монофілярів. При проєктуванні такої антени, для того, щоб приймати сигнали GNSS із максимальним рівнем вкрай важливо, щоб головний пелюсток її діаграми спрямованості було направлено в небо. З іншого боку, для QHA-антен є характерними бічні (зворотні) пелюстки, що порівняно із іншими типами антен може зробити таку антену більш чутливою до прийому багатоприменних сигналів, отриманих внаслідок їх відбиття від поверхні, яка лежить нижче горизонту діаграми направленості антени, насамперед це конструктивні елементи та поверхня, на яку встановлена антена. Послабити небажані бічні пелюстки QHA-антени може збільшення її довжини [6].

Однак циліндрична форма QHA-антен та їх більша довжина порівняно з patch-антенами (які використовуються як геодезичні антени, а також на літаках та космічних апаратах) робить QHA-антени не дуже придатними при їх застосуванні для колісної техніки [4]. Під час тестування двох типів QHA-антен автори мали на увазі класичну GNSS-зйомку в режимі реального часу або в режимі постобробки. При цих застосуваннях циліндрична форма та розмір антени не викликають обмежень, тоді як мала вага антени може бути перевагою. Ще однією перевагою для використання багаточастотних QHA-антен, які з'явилися

за останні кілька років, є їх невелика роздрібна ціна.

Після ознайомлення з антенами, на яких автори цього порівняння проводили вимірювання, та використаним додатковим обладнанням, у статті будуть представлені результати вимірювань якості прийому та передачі коду і фази носійної частоти, що були отримані за допомогою QHA-антен та від еталонної геодезичної patch-антени. Далі в тесті автори визначили чутливість (сприйнятливості) цих типів антен до багатопроменевості ближнього поля і виконали визначення центру фази антени.

Прим. перекладача. Багатопроменевість — це явище, коли в антену приймача надходять хвилі, що отримані безпосередньо як від передавача супутника, наприклад GPS, так і відбиті від різних поверхонь (Земля, оточуючі будівлі). Ближнє поле або близьке поле — це електромагнітне поле на відстані від джерела випромінювання, меншій за довжину хвилі. На цій відстані електромагнітна хвиля ще не сформована, і поле випромінювача можна розглядати в квазістатичному наближенні.

Нарешті, щоб визначити ефективність типів антен у точних швидкісних статичних застосуваннях, були проведені масштабні польові випробування. Швидкісні статичні GNSS зйомки координат подібні до статичних GNSS зйомок, але з коротшими періодами спостереження (приблизно від 5 до 10 хвилин). Процедури швидкої статичної GNSS зйомки вимагають більш досконалого обладнання та методів обробки даних, ніж статичні методи оцінки.

По всьому тексту автори статті називають сигнали відповідно до конвенції RINEX 3 [7] і для GNSS помічають їх однією великою літерою: G, R, E, S для систем GPS, ГЛОНАСС, Galileo, BeiDou, відповідно. Таким чином ми маємо: одна цифра — для частоти від 1 до 8, і одна велика літера — для режиму стеження наприклад, C, I, P, R, W. Для отримання додаткової інформації про ці скорочення, будь ласка, зверніться до [7].

ОБЛАДНАННЯ

Як вже було сказано вище, у цьому дослідженні автори проекту провели тестування двох типів QHA-антен та проаналізували їхні можливості щодо позиціонування. Для цього у авторів були дві антени Maxtena M7HCT-A-SMA [12] і чотири антени Tallysman HC975 [13]. Крім того ними було використано дві

Таблиця 1. Технічні дані двох типів QHA-антен та геодезичної patch-антени NavXperience NAX3G+C

Параметри	Антенa		
	Maxtena M7HCT-A-SMA	Tallysman HC975	NavXperience NAX3G+C
Діапазон робочих частот	1 192–1 231 МГц	прибл. 1 164–1 240 МГц	1 150–1 300 МГц
	1 559–1 606 МГц	прибл. 1 559–1 610 МГц	1 525–1 610 МГц
Розмір (діаметр×висота)	3.4×5.1 см	4.4×6.2 см	12.7×7.2 см
Вага	25 г	42 г	385 г
Роз'єм	SMA, центрований	SMA, центрований	TNC, нецентрований
Кріплення	–	3 гвинти (2.5 мм)	Різьба 5/8"

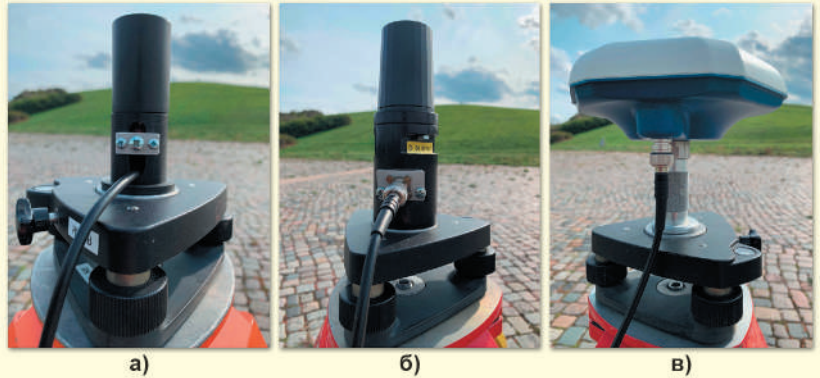


Рис. 1. Три типи антен, які були використані у дослідженні: Maxtena M7HCT (а); Tallysman HC975 (б); NavXperience 3G+C (в)

GNSS patch-антени програмного типу NavXperience NAX3G+C [5, 14]. Вони використовувалися або для порівняння характеристик спостереження двох типів QHA-антен у порівнянні із характеристиками patch-антени, або для визначення опорних координат польових станцій. У подальшому два типи QHA-антен називатимемо як M7HCT і HC975, а patch-антену NavXperience NAX3G+C як 3G+C.

Прим. перекладача. Базова (геодезична) станція — приймач, встановлений на пункті з відомими координатами і передає диференціальні поправки за допомогою додаткового радіоканалу на рухомі приймачі.

У таблиці 1 наведено деякі технічні характеристики цих трьох типів антен, які було взято з технічної документації їх виробників [12, 13, 14], а їх зовнішній вигляд приведено на рисунку 1. Усі три антени призначені для прийому широкого діапазону частот GNSS сигналу. Однак діапазони частот цих QHA-антен не включають такі діапазони частот:

- M7HCT: G5/E5/C5 (1 176.45 МГц), R2 (приблизно 1 246 МГц), C6 (1 268.52 МГц) і E6 (1 278.75 МГц);
- HC975: R2 (приблизно 1 246 МГц), C6 (1 268.52 МГц) і E6 (1 278.75 МГц).

Тим не менш, оскільки антени приймали сигнали також і на цих частотах, тому автори дослідження також обробили ці спостереження, як і всі інші резуль-

тати. Можна очікувати, що зазвичай на цих виключених частотах антени працюють гірше порівняно з тими частотами, для яких ці антени було розроблено.

QHA-антени та patch-антени суттєво відрізняються своєю конструкцією, а отже, розміром і вагою. QHA-антени не містять внутрішньої або зовнішньої площини заземлення, тому вони набагато менші, а їх вага становить лише близько 10% від ваги звичайної геодезичної patch-антени. Оскільки два типи QHA-антен не були розроблені для використання на трінозі і гніздо кабелю таких антен розташоване в центрі їх нижньої частини, то з їх використанням виникли певні незручності. Тому автори розробили та виготовили адаптери¹ для двох типів QHA-антен і спростили налаштування антени, направивши антенний кабель вбік.

Більшість геодезичних антен мають позначки, які вказують, яка частина антени повинна бути орієнтована на справжню північ. Наявність точної орієнтації є важливим фактором для правильного застосування поправок фазового центру антени до даних спостереження. Якщо такий маркер відсутній, було досягнуто домовленість про використання нецентрованої точки кріплення антенного кабелю як північного маркера, на-

¹ Адаптери були виготовлені з поліоксиметилену (POM).

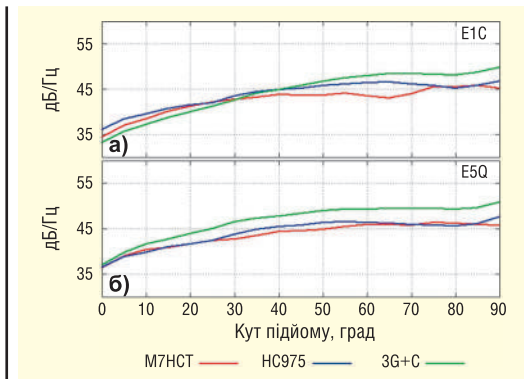


Рис. 2. Залежність C/N_0 від кута підйому супутника над горизонтом спостереження для сигналів E1C і E5Q

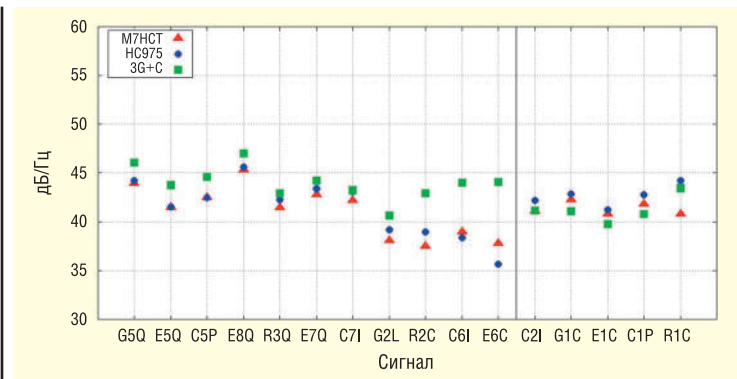


Рис. 3. Середні значення C/N_0 у порядку частот сигналів для діапазону кута підйому супутника над горизонтом спостереження від 10 до 30 градусів

приклад, як це описано в [11]. Два типи використаних у цьому дослідженні QHA-антен не мають навіть і такого маркеру, бо їхні кабельні роз'єми відцентровані, тому не можуть використовуватися як його заміна. Таким чином авторам для тестування таких антен довелося вибрати довільний напрямок, який і буде використовуватися як горизонтальний опорний напрямок для кожної окремої QHA-антени.

Усі спостереження та вимірювання параметрів GNSS проводилися з використанням приймачів Septentrio PolaRx5 з однаковими налаштуваннями. Тест на завади від багатопробності ближнього поля і калібрування антени вимагали локальної опорної станції GNSS. З цією метою авторами використовувалася антена типу Javad RingAnt-DM JVDM, яка була підключена до приймача. Вся обробка даних GNSS проводилась за допомогою модуля програмного комплексу WaSoft.

ПЕРШІ ЕКСПЕРИМЕНТИ ТА КАЛІБРУВАННЯ АНТЕНИ

Оцінка якості спостереження

Для перших кроків аналізу за допомогою двох QHA-антен та додатково за допомогою patch-антени 3G+C були зібрані добові (24-годинні) набори даних статичних спостережень. Антени були встановлені на даху будівлі без завад для сигналу та в умовах низького рівня багатопробного розповсюдження, тобто за відсутності радіочастотного відбиття (еха). Усі три антени було встановлено на одну і ту ж станцію, а результати відстежувалися та накопичувалися протягом наступних 24-годинних періодів. Підключений приймач Septentrio PolaRx5 був налаштований на збір усіх доступних сигналів GPS, ГЛОНАСС, Galileo та BeiDou.

Записані значення співвідношення сигнал/шум (C/N_0) для всіх сигналів і антен показують типову залежність від висоти над горизонтом, відому для GNSS антен геодезичного типу із слабшими сигналами при нижчих кутах підйому супутника над горизонтом спостереження, та максимальним рівнем сигналу при прийомі сигналу від супутника із кутами приблизно 60 градусів. Було виявлено, що два використаних типи QHA-антен поведуться подібним чином. Записані для них значення C/N_0 часто дещо менші, ніж значення patch-антени, однак при низьких кутах підйому супутника відносно горизонту спостереження ця різниця стає меншою, а потужність сигналу (рівень сигналу) цих двох QHA-антен навіть перевищує рівень сигналу від patch-антени (рис. 2).

Щоб порівняти властивості антени для всіх доступних сигналів і частот, автори дослідження обчислили середні значен-

ня C/N_0 для кожного сигналу у діапазоні кута підйому супутника над горизонтом спостереження від 10 до 30 градусів. На рисунку 3 показано результати для цих 16-ти GNSS сигналів з достатньою кількістю супутників у космосі. Зверніть увагу, що деякі сигнали використовують ідентичні частоти, але, незважаючи на це, відрізняються своєю модуляцією та режимом відстеження приймача. Ідентичні частоти використовуються такими групами сигналів: G5Q/E5Q/C5P (1 176.45 МГц), E7Q/C7I (1 207.14 МГц) і G1C/E1C/C1P (1 575.42 МГц).

У нижній смузі частот від 1176.45 МГц (G5Q/E5Q/C5P) до 1278.75 МГц (E6C) значення потужності сигналу QHA-антен нижчі, ніж у patch-антени 3G+C. У більш високочастотному діапазоні частот вони зазвичай трохи більші. Найбільші відмінності в значенні потужності сигналу спостерігаються для деяких сигналів QHA-антен з частотами, для яких ці антени не були розроблені, це, нагадаємо — R2C, C6I, E6C. Антена M7HCT також демонструє слабку силу сигналу для частоти R1C (це приблизно 1 602 МГц).

Використовуючи однакові набори даних, автори дослідження визначили рівень кодового шуму та рівні багатопробного розповсюдження для всіх 16-ти сигналів. Вони використовували лінійну комбінацію MP (від multipath — багатопробність) кодових спостережень і двочастотних спостережень фази носійної частоти, яку іноді також називають лінійною комбінацією CMC (від англ. Code Minus Carrier — кодова частота мінус носійна частота) [1, 3]. У часових рядах цієї багатопробного комбінації переважають кодовий шум і завади від багатопробності стосовно їх впливу на код. Коли ця інформація отримана, тоді є можливість обчислити середньоквадратичні значення, що залежать від висоти встановлення антени. Результати показано на рисунках 4 і 5.

Тут відмінності між трьома протестованими антенами порівняно зі значеннями потужності сигналу набагато більші. Порівняно з patch-антеною QHA-антенна завжди показує вищий рівень відношення кодового шуму та залежності від завад багатопробності від кута підйому супутника над горизонтом спостереження порівняно з patch-антеною. Крім того, значення MP для антени M7HCT, порівняно з HC975, завжди більші. У той час як patch-антена демонструє чітку залежність її MP значень від висоти з меншими значеннями для більших кутів підйому супутника над горизонтом спостереження, але ця залежність вже не настільки яскраво виражена для обох QHA-антен (рис. 4).

Середньоквадратичні значення MP від підйому в діапазоні кутів підйому супутника над горизонтом спостереження від 10 до 30 градусів (рис. 5) демонструють чіткий порядок

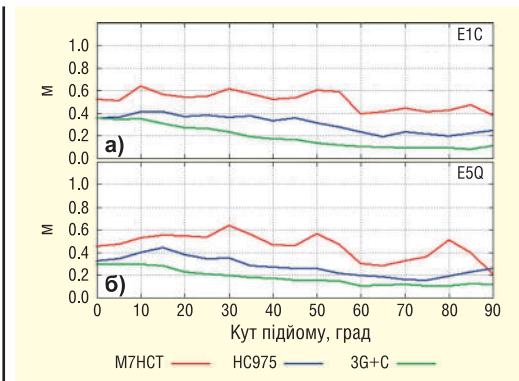


Рис. 4. Середньоквадратичне співвідношення МР сигналів E1C і E5Q від кута підйому супутника над горизонтом спостереження і висоти встановлення антени

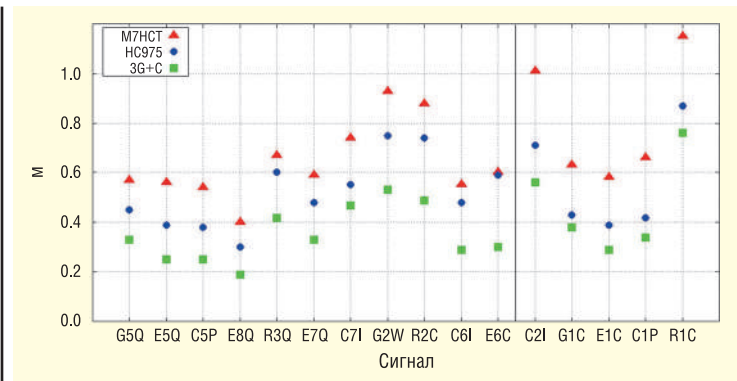


Рис. 5. Середньоквадратичне відношення МР в порядку частот сигналів для діапазону висоти підйому антени в умовах кута підйому супутника над горизонтом спостереження від 10 до 30 градусів

ранжування трьох типів антен: patch-антена 3G+C показує рівень кодового шуму/багатопроменевості 0.4 м в середньому для всіх сигналів. Було встановлено, що відповідний рівень для антени HC975 вище в середньому приблизно на 30%, а рівень антени M7HCT вище в середньому приблизно на 70%. У вищому діапазоні частот різниця між 3G+C і HC975 набагато менша порівняно з нижчим діапазоном частот.

Щоб визначити фазовий шум носійної частоти та вплив високочастотних рівнів багатопроменевого розповсюдження для всіх трьох антен, автори дослідження звернули увагу на використання в статичному режимі коротких базових ліній пар антен одного типу. Тут знову антени були встановлені на даху без завад сигналу та з низьким рівнем завад від багатопроменевості. Усі три пари антен було встановлено на ті ж самі станції, моніторинг відбувався протягом наступних 24-годинних періодів.

На коротких базових лініях між парами антен неодноразовно фіксувалася до цілих значень, а потім аналізувалися залишки з лише однією різницею щодо їх рівня відношення шуму/багатопроменевості, залежного від висоти. У цьому та в усіх подальших аналізах спостережень фази носійної частоти, автори дослідження об'єднали сигнали з однаковими частотами і таким чином представили результати як функцію від частоти сигналу. Залежність рівня шуму фази носійної фази і високочастотного багатопроменевого сигналу від висоти показано на рисунку 6 для двох обраних частот: 1 575.42 МГц (G1/E1/C1) і 1 176.45 МГц (G5/E5/C5). В обох випадках вимірювання для QНА-антен показують вищий рівень шуму, ніж вимірювання з patch-антенною. При цьому антенна M7HCT демонструє найбільшу частоту помилок. Спостереження фази носійної частоти для всіх трьох антен теж демонструють чітку залежність — від висоти антени та кута супутника відносно горизонту.

Автори дослідження знову розглянули всі частоти сигналу в діапазоні висоти для кута підйому супутника над горизонтом спостереження від 10 до 30 градусів. Середньоквадратичні значення показують чітке ранжування трьох типів антен: для всіх частот patch-антена 3G+C демонструє фазовий шум носійної та високочастотний рівень багатопроменевого розповсюдження в середньому на висоті 4.6 мм, при цьому відповідний рівень для антени HC975 вищий у середньому майже на 40%, а рівень для антени M7HCT вищий в середньому майже на 70%. У нижній смузі частот відмінності більші. У вищому діапазоні частот середньоквадратичні значення для фазового шуму носійної частоти та впливу багатопроменевості, що залежить від кута підйому супутника над гори-

зонтоспостереження, у короткій базовій лінії у QНА-антен, порівняно з patch-антенною, приблизно на 30% більше.

Тест на стійкість до завад від багатопроменевості ближнього поля

Вплив багатопроменевості на спостереження фази носійної частоти, як визначено в попередньому розділі, стосується лише ефектів багатопроменевості для сигналів із високою частотою. Вони спричинені віддаленими (1 м і більше) відбивачами (рефлекторами), які створюють для сигналів супутників GNSS, розташованих на середніх навколосеземних орбітах, високочастотні ефекти багатопроменевості з періодами від кількох та більше хвилин. Якщо рефлектори розташовані ближче до антени, то така багатопроменевість стає довгоперіодичною і її важко відокремити від обчислених координат, тобто ефекти багатопроменевості діють як зсув реальних координат. Ця багатопроменевість ближнього поля може значно змінюватися залежно від висоти антени, тобто зміна висоти антени спричиняє зміну багатопроменевості ближнього поля і, таким чином, ми маємо справу зі зміщенням багатопроменевості, що впливає на обчислені координати, див. наприклад [2, 10].

Щоб визначити вплив цієї багатопроменевості ближнього поля для кожного типу антени, авторами проекту було проведено наступний експеримент. На даху з низьким рівнем багатопроменевості вони двічі визначили короткі базові лінії між еталонною антенною та кожною тестовою антенною. Перший кількогодинний період спостережень проводився з тестовою

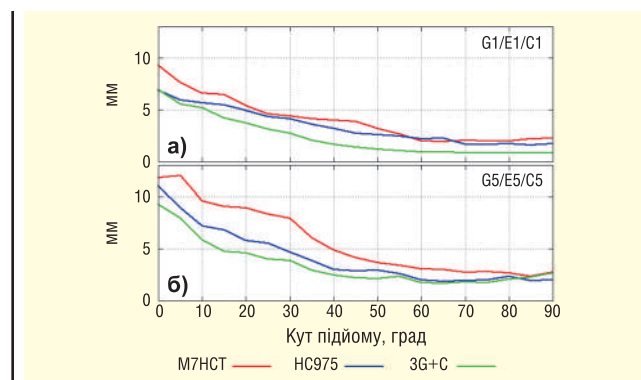


Рис. 6. Залежність фазового шуму носійної від висоти та багатопроменевості у коротких базових лініях ідентичних типів антен для сигналів G1/E1/C1 (1 575.42 МГц) і G5/E5/C5 (1 176.45 МГц)

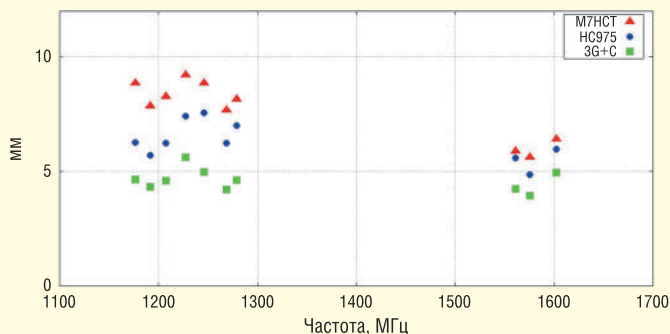


Рис. 7. Фазовий шум носійної та вплив багатопроменевості (у середньоквадратичних значеннях) на коротких базових лініях однакових типів антен для діапазону висот і кута підйому супутника над горизонтом спостереження від 10 до 30 градусів на вибраних частотах сигналів із достатньою кількістю активних супутників

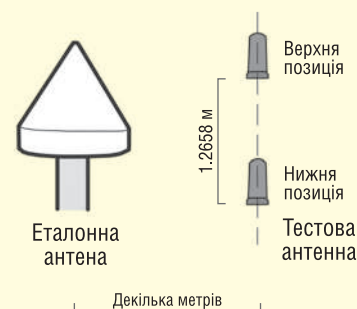


Рис. 8. Налаштування високо-низького тесту на оцінку впливу багатопроменевості ближнього поля

антенною в її низькому положенні, потім другий кількогодинний період спостережень проводився з тестовою антенною вже у високому положенні. Різниця висот між низьким і високим положенням, яка була реалізована сполучною планкою, склала рівно 1.2658 м (рис. 7 і 8). Зовнішній вигляд вимірювальної установки показано на рисунку 9. Ця різниця у висоті була визначена на основі різниці двох базових результатів GNSS позиціонування. Порівняння визначеної та відомої різниці у висоті дає інформацію про стійкість антен до завад від багатопроменевого розповсюдження.

Ефект від наслідків дії багатопроменевості ближнього поля змінюється між низьким і високим положенням антени залежно від обраної різниці висот і довжин хвиль сигналу. Один такий експеримент із одночастотним GNSS спостереженням може випадково дати ідеальне визначення різниці у висоті. Тому такі експерименти потрібно або повторювати з кількома різницями у висоті, або

оцінювати кілька сигналів з різними довжинами хвиль. Автори цього дослідження застосували інший підхід і визначили різницю у висоті одночасно на десяти доступних на даний момент частотах GNSS із довжинами хвиль від 18.7 до 25.5 см.

Можна сподіватися, що антени, які показують дуже добру стійкість до завад від багатопроменевості ближнього поля, демонструватимуть і більші варіації помилок різниці у висоті. З іншого боку, антени, сильно залежні від завад від багатопроменевості ближнього поля, демонструватимуть великі варіації помилок різниці висот.

Так три різні тестові антени показують дуже різні результати (рис. 10). Хоча похибки різниці у висоті patch-антени 3G+C не перевищують 1.5 мм, набагато більші похибки різниці для HC975 коливаються у межах від -5 до +5 мм. Похибки висоти були визначені для обох QNA-антен. Для антени M7HCT максимум досягнуто на висоті 10 мм. У результаті можна зробити висновок, що усі три

типи антен чутливі до впливу багатопроменевості ближнього поля, але на дуже різних рівнях: 3G+C зазнає найменшого впливу, HC975 відчуває більші ефекти багатопроменевості, а вплив цього явища на M7HCT є найбільшим.

Калібрування антени

З індивідуальних калібрувань QNA-антен за полем для всіх шести антен були визначені зміщення фазового центру (Phase-center offset, далі — PCO) та його варіації (Phase-center variation, далі — PCV).

Для цього вимірювання автори проекту використовували ротатійний пристрій DRB2 (рис. 11), який дозволяє проводити спостереження в чотирьох азимутальних орієнтаціях за хвилину, але не виконує нахил антени [8]. Спостереження в різних азимутальних орієнтаціях дозволяють визначити варіації фазового центру для повної верхньої півкулі, а також допомагають послати вплив багатопроменевих ефектів



Рис. 9. Квадрифілярна спіральна антена в низькому (ліворуч) та високому (праворуч) положенні

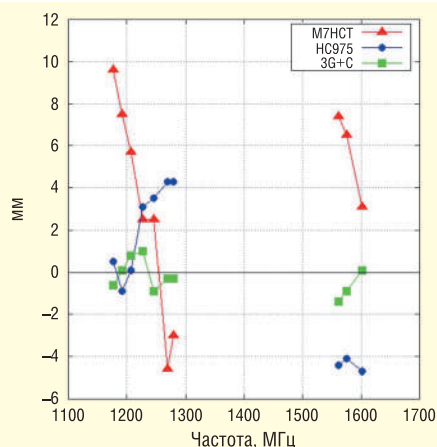


Рис. 10. Похибки по різниці висот низької установки мінус висока установка в короткій базовій лінії до опорної станції в залежності від частоти



Рис. 11. Одна із QNA-антен на калібрувальному пристрої DRB2

фази носійної частоти на горизонтальні складові PCO. Однак на ці складові все ще впливає локальна багатопроменевість, яка залежить від висоти. Репером у цьому дослідженні слугувала локальна опорна станція, оснащена антеною JavRingAnt_DM JVDM. Оскільки базова лінія між еталонною антеною та QNA-антеною становить лише кілька метрів, то усі атмосферні впливи усуваються і не погіршують результати калібрування. Кожен сеанс калібрування тривав щонайменше 24 години.

Прим. перекладача. Базова лінія (у супутникових визначеннях); вектор базової лінії — тривимірний вектор просторових координат між суміжними пунктами супутникових спостережень, виконаних протягом одного сеансу (baseline vector).

Результати калібрування складаються з вимірювання PCO та PCV. Результати PCO для всіх доступних частот GNSS зображено на рисунках 12 і 13. Значення PCO суміжних частот з'єднані лініями.

А на рисунку 14 показано середні значення PCV для двох обраних частот для кожного типу QNA-антен.

Оскільки корпуси QNA-антен є ротаційно-симетричними та в них немає маркера для визначення опорного напрямку, автори проекту змушені були додати до кожної окремої антени, щоб вона була вирівняна на справжню північ, довільний маркер. Таким чином, горизонтальний PCO, як показано на рисунках 12а, 13а, може бути скручений. Результати однак показують, що всі горизонтальні PCO менші за кілька міліметрів, а оскільки діаграма PCV не виявила жодних значних азимутальних варіацій, то можна зробити висновок, що азимутальна орієнтація

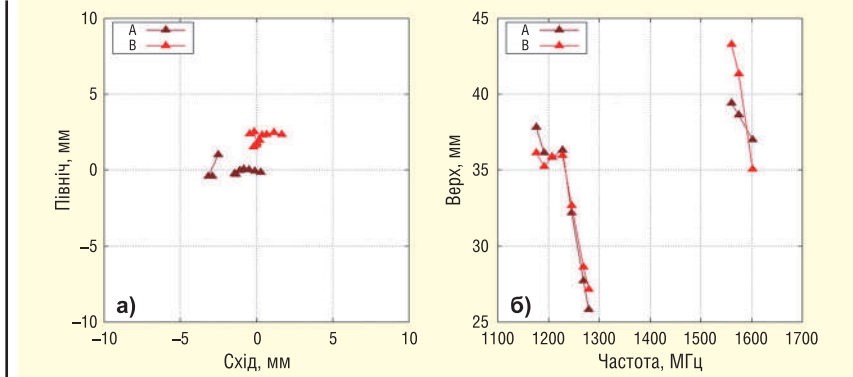


Рис. 12. Результати калібрування двох окремих антен М7НСТ на 10 частотах: зміщення фазового центру по горизонталі та висхідна складова як функція частоти

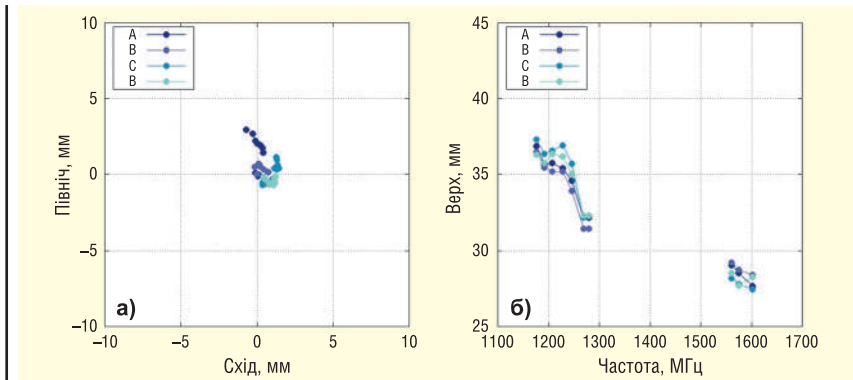


Рис. 13. Результати калібрування чотирьох окремих HC975 на 10 частотах: зміщення фазового центру по горизонталі та висхідна складова як функція частоти

окремих антен не має значення, якщо горизонтальна точність у кілька міліметрів є достатньою.

Крім того, вертикальні PCO (рис. 12б, 13б) окремих антен демонструють добру узгодженість між QNA-антенами одного й того самого типу. Антена М7НСТ демонструє чітку частотну залежність свого вертикального PCO (рис. 12б), але автори у цьому до кінця не впевнені і тому не радять вважати, що ці варіації порядку 1 см викликані тільки ефектами багатопроменевості ближнього поля. Виробник антен М7НСТ для високочастотного діапазону опублікував значення вертикального PCO як 36.2 та 34.8 мм для нижнього діапазону частот [12]. Ці значення можуть бути використані, але при практичних застосуваннях слід очікувати залишкові похибки висоти іще на кілька міліметрів, незалежно від того, спричинені вони невизначеністю фазового центру чи наслідками від впливу багатопроменевості ближнього поля.

Залежність значення вертикального PCO антени HC975 від частоти здається меншою (рис. 13б). Що стосується середнього вертикального PCO, то у нижній смузі частот і, за винятком частот

E6/C6, він становить 36 мм з індивідуальними відхиленнями максимум у кілька міліметрів. У вищій смузі частот середній вертикальний PCO становить 28 мм. Виробник антен HC975 опублікував значення для вертикального PCO як 38 мм для нижньої смуги частот і 32 мм для смуги вищих частот [13]. Таким чином, як можна бачити, результати калібрування дали трохи менші значення. Крім того, отримані авторами проекту результати для вертикальних значень PCO для частоти E6/C6 значно відрізняються (32 мм). Але слід пам'ятати, що виробник не рекомендує використовувати цей тип антени в діапазоні частот E6/C6.

Що стосується антени М7НСТ, то визначені значення PCV для неї досягають приблизно 1 см, тоді як для антени HC975 вони не перевищують кількох міліметрів. Збалансованість між значеннями PCV для окремих антен була настільки хорошою, що автори проекту змогли об'єднати їх за PCV для усіх типів антен (рис. 14).

Калібрування антен показало хорошу узгодженість фазових центрів окремих антен кожного типу. Горизонтальні PCO досить малі і не потребують корекції для позиціонування з точністю до

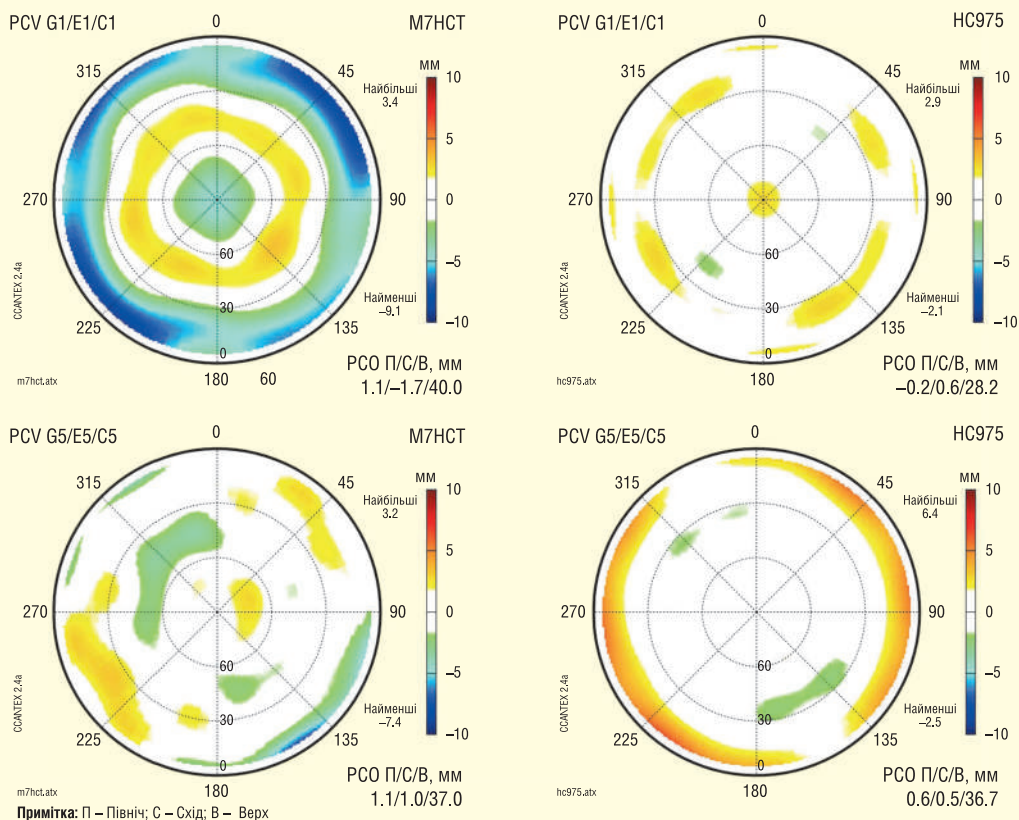


Рис. 14. Середні результати калібрування двох антен М7HCST (ліворуч) і чотирьох антен HC975 (праворуч) на частотах G1/E1/C1 та G5/E5/C5

сантиметра. Вертикальні PCO залежать від частоти сигналу і для отримання сантиметрової точності мають бути скориговані. PCV антен типу HC975 настільки малі, що їм така корекція не потрібна. Однак залежність PCV М7HCST від висоти встановлення відносно носія антени все ж вимагає корекції.

ПОЛЬОВІ ВИМІРЮВАННЯ ТА ДОСЯЖНА ТОЧНІСТЬ ПОЗИЦІЮВАННЯ

Польові вимірювання проводилися на 15-ти станціях з використанням усіх

трьох типів антен. На кожній станції кожен із трьох типів антен працював протягом двох годин. Станції було обрано таким чином, щоб серед них були як сприятливі для GNSS місця з незначними завадами, так і несприятливі, де сигнали загороджуються рослинністю та будівлями, але при цьому придатні для позиціонування з точністю до см (рис. 15). Усі спостереження проводилися з антенами на стійких штативах (див. рис. 1). Приймачі Septentrio PolARx5 забезпечували спостереження всіх 4-х типів GNSS: GPS, ГЛОНАСС, Galileo і BeiDou.

Результати позиціонування були отримані в режимі постобробки. В цію

метою автори проекту, як еталон для відносного позиціонування на основі спостережень за фазою носійної з фіксованою неоднозначністю, використовували віртуальні опорні станції (virtual reference station, VRS). VRS були обчислені та змодельовані із безперервно діючої опорної станції німецької мережі SAPOS (рис. 16). Усі рухомі станції у вигляді роверів були розташовані в південній частині району міста Дрезден, на відстані від 3 до 6 км від постійно діючої опорної станції DRE4 і в межах трикутника WALD-DRE4-SAYD або в межах SAYD-DRE4-ALDO.

VRS забезпечує багаточастотне спостереження всіх чотирьох стандартів GNSS. У сприятливих місцях було доступно в середньому 28–29 супутників, які були вище кута підйому супутника над горизонтом спостереження щонайменше у 10 градусів. На несприятливих ділянках це число менше і досягає лише 24–25 супутників. Жодних істотних відмінностей щодо кількості спостережуваних сигналів GNSS між трьома антенами не виявлено. Базові результати VRS-ровера базуються на двочастотній обробці даних усіх чотирьох доступних супутників GNSS. Додатково автори проекту у всіх спостереженнях застосовували корек-

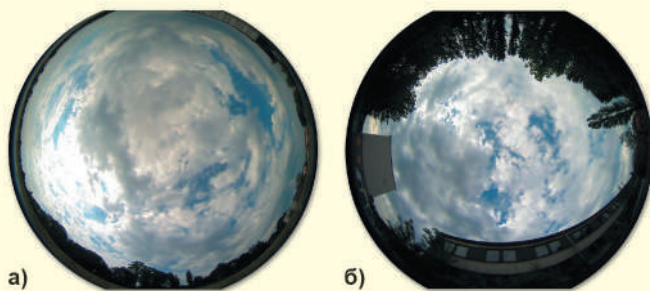


Рис. 15. Приклади оточення рухомої станції для сприятливої ситуації (а) та несприятливої ситуації (б). Фотографії були зроблені за допомогою об'єктива «риб'яче око»

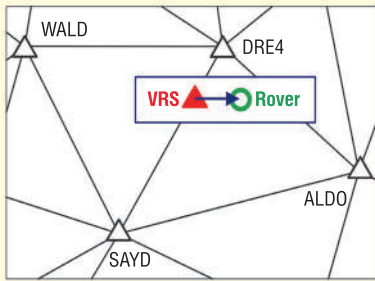


Рис. 16. Постійно діючі GNSS-станції німецької мережі SAPOS, що оточують місця польових вимірювань і використовуються для обчислень VRS і, відповідно, для отримання базових результатів

цію фазового центру антени. Спостереження QNA-антен були скориговані з використанням результатів, відповідних для того та іншого типу антени, які частково показано на рисунку 4.

Результати двогодинних сеансів спостереження за patch-антенами 3G+C були використані як опорні координати для всіх подальших оцінок. Кожний 2-годинний сеанс був розбитий на 24 коротких сеанси по 5 хвилин кожен. Кожний п'ятихвилинний сеанс оброблявся незалежно і його результати порівнювалися з еталонними координатами. Таким чином, для кожного типу антени є 360 вибірок п'ятихвилинних сеансів. При цьому 216 зразків, які було відібрано на місцях, оцінених як сприятливі, і ще 144 зразки на місцях, оцінених як несприятливі. Крім того, авторам проекту для антен M7HCT, HC975 і 3G+C довелося видалити 0.6%, 0.3% та 0.6%

Таблиця 2. Середньоквадратичні значення похибок координат п'ятихвилинних сеансів у сантиметрах

Тип антени	9 сприятливих станцій (n = 216) північ/схід/висота	6 несприятливих станцій (n = 144) північ/схід/висота
M7HCT	0.73/0.42/2.08	0.70/0.42/2.50
HC975	0.49/0.41/1.02	0.70/0.33/1.51
3G+C	0.48/0.39/0.80	0.46/0.32/0.93

усіх результатів, відповідно, які були оцінено, як викиди. Усі вони були викликані неповною фіксацією неоднозначності на одній із несприятливих станцій. Таким чином, рівень успіху фіксації неоднозначності був майже ідентичним для всіх трьох типів антен. Більш високий рівень шуму та вплив багатопроменевості на спостереження коду та фази носійної частоти для QNA-антен, здається, не спричиняє у швидкому статичному режимі жодних негативних впливів на виправлення неоднозначності.

У горизонтальних складових діаграми направленості антен розподіл похибок координат п'ятихвилинних сеансів показує досить невеликі відмінності між трьома типами антен (рис. 17). Переважна більшість усіх рішень має похибки горизонтальних координат менше 1 см. Жодних зміщень теж не спостерігається.

Прим. перекладача. Процентиль (англ. Percentile) — це значення, яке задана випадкова величина не перевищує з фіксованою ймовірністю, заданою у відсотках.

Для всіх трьох типів антен у вертикальній складовій діапазони між мінімальною та максимальною похибками координат дуже схожі. Однак є похибки, особливо велика похибка результатів M7HCT з медіаною -2.0 см. Похибки вертикальної координати антен типу

HC975 мають медіану менше 0.7 см. Вертикальні результати patch-антени 3G+C не демонструють зміщення. Однак це не дивно, оскільки опорні координати були визначені за тими ж наборами даних 3G+C.

Автори проекту мають думку, що таке велике вертикальне зміщення результатів антени M7HCT спричинене впливом багатопроменевості ближнього поля. Висока чутливість цього типу антени до багатопроменевості ближнього поля була показана в цій статті раніше. Ефекти багатопроменевості ближнього поля відрізняються від результатів калібрування використаної антени на DRB2 і польових вимірів на штативі та тринозі. Для антен, не надто чутливих до багатопроменевості ближнього поля, така зміна середовища ближнього поля антени не викликає значних вертикальних зміщень. Однак у випадку M7HCT підсумкове зміщення перевищує порогове значення в 1 см.

На наступному кроці автори дослідження порівняли результати п'ятихвилинних сеансів сприятливих станцій з результатами несприятливих станцій. Середньоквадратичні значення для несприятливих станцій, як показано в таблиці 2, демонструють дещо вищі значення у вертикальних складових для усіх трьох типів антен. Але загалом автори

MAXTENA

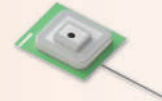
- **Active quadrifilar helix antenna for RTK applications**
- Concurrent GNSS reception on L1: GPS, GLONASS, Galileo, Beidou L2: GPS L2C, GAL E5B, GLO L3OC L5: GPS (M8HCT-A-SMA) L-Band (M9HCT-A-SMA)
- Rugged IP-67 rating with SMA
- Dimensions (mm) Ø 35 x H 57

M7HCT-A-SMA



- Standards **WiFi, Bluetooth, ISM**
- Frequency 2400-2500 MHz 5700-5870 MHz
- Waterproof
- **Various** mounting options available
- Efficiency over 60%

MAXTENA MPA-254-WIFI



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

M1575HCT-22P-SMA (GG)



MAXTENA MEA-2400-UWB-SM



MAXTENA MEA-2400-MM



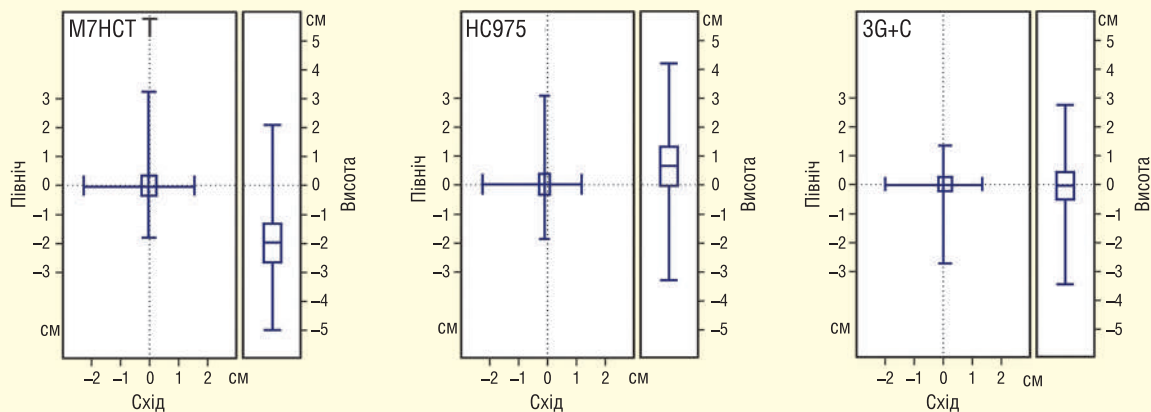


Рис. 17. Розподіл координатних помилок 5-хвилинних сеансів ($n = 360$) у вигляді двовимірних (північ/схід) і одновимірних (висота) квадратних і уособлених діаграм, на яких подано процентильні значення 0 (мінімум), 25, 50 (медіана), 75 і 100 (максимум)

проекту були здивовані, побачивши, що загальна продуктивність антен не дуже сильно відрізняється між сприятливими та несприятливими станціями. Цей результат можна пояснити великою кількістю доступних супутникових сигналів.

Середньоквадратичні значення помилок, наведені у таблиці 2, ще раз демонструють, що для горизонтальних компонентів всі три типи антен дали результати однакової якості. Ефективність у вертикальних компонентах показує значні відмінності в основному через вертикальне зміщення для антени M7HCT, про що йшлося раніше.

Таким чином, з огляду на продемонстровані характеристики QNA і їхні переваги щодо маси і роздрібною ціни, їх слід розглядати як альтернативу геодезичним patch-антенам для великої кількості застосувань.

Додаткову інформацію щодо продукції компанії Махтена можна отримати у офіційного дистриб'ютора в Україні – Мікродіс Електронікс ГмбХ:
тел.: (067) 475-81-86,
Roman.Prokopets@microdis.net,
www.microdis.net

Література:

ВИСНОВКИ

Хоча обидві випробувані багаточастотні QNA-антени працюють дещо гірше за геодезичну patch-антену щодо кодкових і фазових шумів носійної та високочастотних багатопромених сигналів (високочастотного багатопроменового розповсюдження), результати швидкого статичного горизонтального позиціонування перебувають на одному якісному рівні. Результати горизонтального позиціонування з сантиметровою точністю можуть бути легко досягнуті при використанні всіх трьох типів антен.

Однак у вертикальній складовій результати істотно відрізняються, особливо для одного з типів QNA, який виявився сильно сприйнятливим (чутливим) до ефектів багатопроменивості ближнього поля. Вони можуть викликати систематичні помилки вертикальної координати порядку від одного до кількох сантиметрів. Інший тип QNA був менш чутливим до впливу багатопроменивості ближнього поля і показав кращі результати у вертикальній складовій.

1. Braasch MS. Multipath. In Springer Handbook of Global Navigation Satellite Systems, Teunissen PJG, Montenbruck O (eds.). Springer International Publishing, Cham, 2017, 443-468. doi 10.1007/978-3-319-42928-1_15.
2. Elösegui P, Davis JL, Jaldehag RTK, Johansson JM, Niell AE, Shapiro II. Geodesy using the Global Positioning System: The effects of signal scattering on estimates of site position. J. Geophys. Res. Solid Earth 100, B6 (June 1995), 9921–9934. doi 10.1029/95JB00868.
3. Hauschild A. Combinations of Observations. In Springer Handbook of Global Navigation Satellite Systems, Teunissen PJG, Montenbruck O (eds.). Springer International Publishing, Cham, 2017, 583–604. doi 10.1007/978-3-319-42928-1_20.
4. Maqsood M, Gao S, Montenbruck O. Antennas. In Springer Handbook of Global Navigation Satellite Systems, Teunissen PJG, Montenbruck O (eds.). Springer International Publishing, Cham, 2017, 505–534. doi 10.1007/978-3-319-42928-1_17.

5. Popugaev AE, Wansch R. Multi-Band GNSS Antenna. In Microelectronic Systems, Heuberger A, Elst G, Hanke R (eds.). Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg, 2011, 69–75. doi 10.1007/978-3-642-23071-4_8.

6. Rama Rao B, Kunysz W, Fante RL, McDonald KF. GPS/GNSS antennas. Artech House, Boston, 2013.

7. Romero I. RINEX – The Receiver Independent Exchange Format Version 3.05 (IGS/RTCM RINEX Working Group), 2020. Retrieved from <https://files.igs.org/pub/data/format/rinex305.pdf>

8. Schmolke A, Wanninger L, Frevert V. Erste GNSS-Antennenkalibrierungen im Feldverfahren auf neuen Signalfrequenzen. Zfv – Z. für Geodäsie Geoinformation Landmanagement 5 (2015), 283–289. doi 10.12902/zfv-0083-2015.

9. Tranquilla JM, Best SR. A study of the quadrifilar helix antenna for Global Positioning System (GPS) applications. IEEE Trans. Antennas Propag. 38, 10 (Oct 1990), 1545–1550. doi 10.1109/8.59766.

10. Wanninger L. Correction of apparent position shifts caused by GNSS antenna changes. GPS Solut. 13, 2 (March 2009), 133–139. doi 10.1007/s10291-008-0106-z.

11. NGS. Guidelines for New and Existing Continuously Operating Reference Stations (CORS), National Geodetic Survey, Silver Spring, MD, 2018. Retrieved from https://www.ngs.noaa.gov/PUBS_LIB/CORS_guidelines.pdf

12. Maxtena M7HCT-A-SMA. Retrieved from <https://maxtena.com/products/gps/m7hct-a-sma-multi-frequency-active-antenna/>

13. Tallysman HC975. Retrieved from <https://www.tallysman.com/product/hc975-triple-band-helical-antenna-l-band/>

14. AX3G+C. Retrieved from <https://navxperience.com/>

Боротьба з синфазними електромагнітними завадами в установках з електроприводом

Маркус Хердін (Markus Herdin), менеджер з маркетингу, компанія Rohde & Schwarz

У цій статті розглядаються основні властивості та причини виникнення синфазних струмів. На приведеному прикладі вивчаються принципи вимірювання та захисні заходи з придушення синфазних завад в обладнанні з електроприводами.

ВСТУП

Синфазні сигнали часто виникають в установках із частотно-регульованим приводом. Насамперед високочастотні синфазні напруги, що вносяться перетворювачем, формують ємнісні синфазні струми, що протікають у двигуні від обмоток статора до «землі» різними трактами. Вони не тільки зношують шари ізоляції, а й серйозно пошкоджують підшипники двигуна, що призводить до значного скорочення його терміну служби.

СИНФАЗНИЙ ШУМ

Синфазну складову на виході електропривода можна розрахувати на основі окремих лінійних напруг таким чином:

$$V_{CM} = 1/3(V_a + V_b + V_c), \quad (1)$$

що збігається зі складовою нульової послідовності фаз у разі використання симетричних складових.

Тоді як низькочастотні синфазні гармоніки можна контролювати за допомогою адаптивних схем модуляції, високочастотні

тотні складові, викликані синфазним струмом через двигун, значною мірою залежать від самих складових, а також їхньої взаємодії між собою та параметрів установки. Отже, для мінімізації високочастотного синфазного шуму часто потрібна додаткова оптимізація системи після монтажу.

Попри те, що в більшості випадків явний шлях для синфазних сигналів відсутній, паразитні ємності, показані червоним кольором на рисунку 1, допускають виникнення синфазних струмів за наявності синфазних напруг.

На практиці в більшості випадків паразитні ємності, імпеданси лінії або навантаження не ідентичні. Таким чином, синфазна напруга призведе до неоднакового розподілу струмів $I_{L1} \neq I_{L2} \neq I_{L3}$, тобто до різних значень падіння напруги на вузлах навантаження, які можна виміряти у вигляді диференціальних завад. Відповідно, це явище називається перетворенням синфазного режиму в диференційний (CMDM). Аналогічно, диференціальні завади можна перетворити на синфазні сигнали (DMCM).

Зауважимо, що фільтри електромагнітних завад, які зазвичай встановлюють між лінією і перетворювачем, також можуть призвести до перетворення виду CMDM або DMCM.

ПРОБЛЕМИ ІЗ СИНФАЗНИМ ШУМОМ У СИСТЕМАХ СИЛОВОГО ПРИВОДУ

Синфазні сигнали повинні відповідати стандартам ЕМС для систем силового приводу. Ці сигнали можуть призвести до серйозних пошкоджень двигуна. Як видно з рисунка 1, частина синфазних струмів тече від обмоток статора до ротора через паразитні ємності. Одна частина синфазного струму (позначена синім) тече на «землю» через ємність між обмоткою статора і самим статором, інша частина — до ротора через обмотку статора до ємності ротора. Далі струм або потече на «землю» через ємність статора-ротора (зелений), або пройде через підшипники двигуна (жовтий).

Через утворення ізоляційної плівки мастильного матеріалу при високій швидкості обертання ротора (вище 100 об./хв) імпеданс підшипника в основному є ємнісним. Однак випадкові контакти або пробої діелектрика призводять до раптових ефектів розряду цих ємностей через сфери всередині підшипників. У результаті через точку контакту між кулькою підшипника та доріжжками кочення протікають великі струми, через що утворюються борозенки, щербини, тріщини або сколи. Ці пошкодження з часом накопичуються, що, зрештою,

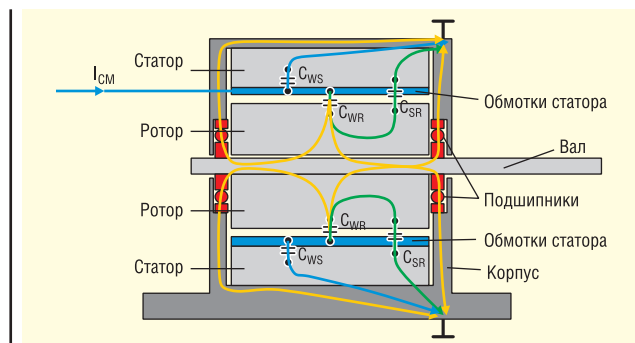


Рис. 1. Тракти високочастотних синфазних струмів, наведених у двигуні

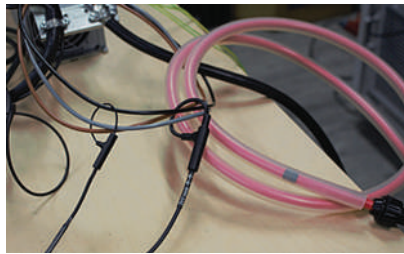


Рис. 2. Вимірювання синфазного струму за допомогою трьох різних поясів Роговського від РЕМ UK [8]. Ліворуч — РЕМ CWT Ultra mini; по центру — РЕМ CWT miniHF; праворуч — замовний РЕМ (дві обмотки)

призводить до виходу з ладу підшипників і різкого скорочення терміну служби двигуна, тобто високих витрат через простої обладнання.

ВИМІРЮВАННЯ СИНФАЗНИХ СИГНАЛІВ

Синфазний струм можна легко і точно виміряти на місці за допомогою портативних осцилографів, наприклад R&S RTH1004, і широкосмугових поясів Роговського [7]. Синфазний струм можна виміряти безпосередньо, замкнувши пояс Роговського навколо всіх трьох фаз, як показано на рисунку 2. Зауважимо, що для правильного вимірювання необхідно виключити екран кабелю з вимірювання, тому що в іншому разі екранувальні струми вплинуть на результат вимірювання. З рисунка 3 видно, що це можна легко зробити безпосередньо на виході перетворювача 1 або на вході двигуна 2.

Високочастотні синфазні струми звичай складаються з послідовностей імпульсів. Необхідно ретельно налаштувати запуск за піковим значенням. В іншому разі осцилограф може відобразити максимальне значення нижче фактичного.

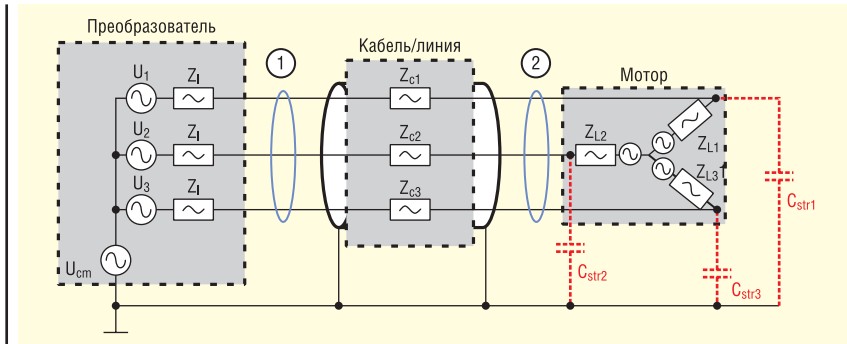


Рис. 3. Вимірювання синфазного струму за допомогою поясів Роговського (синій), на виході перетворювача 1 або на вході двигуна 2

Це одна з найчастіших причин заниженої оцінки синфазних струмів.

ЗАХОДИ ЗАХИСТУ

Ефективний спосіб зменшити синфазні струми у двигуні — збільшити повний синфазний опір (імпеданс). Цього можна домогтися за допомогою дроселів із компенсацією струму. У такому разі всі три фази проходять через кільцеві сердечники з високою магнітною проникністю. Оскільки диференціальні струми нейтралізуються, дросель має імпеданс тільки для синфазного струму.

Залежно від сфери застосування використовується певна геометрія кільцевого сердечника, матеріал і кількість обмоток, щоб достатньо мірою збільшити синфазний імпеданс дроселя. Для правильного вибору осердя застосовуються таблиці [1–2] або інструменти онлайн-моделювання [3]. На рисунку 4 чотири високопроникних кільцевих осердя від MAGNETEC використовували як дроселі з компенсацією струму і двома обмотками кожен. Їхню роботу показано в часовій області на рисунку 5. Зауважимо, що пікове значення знижено з 13.77 до 3.15 А, тобто більш ніж у чотири рази.



Рис. 4. Чотири послідовно з'єднаних кільцевих осердя з високою магнітною проникністю, що працюють як дроселі з компенсацією струму з двома обмотками

Ще одним корисним способом візуалізації впливу застосованих захисних заходів є функція ШПФ (швидке перетворення Фур'є) осцилографа, яка дає змогу дослідити вплив конкретного заходу в заданому діапазоні частот. На рисунку 6 показано вплив чотирьох дроселів у частотній області. Зображення отримано за допомогою функції ШПФ осцилографа.

Вимірювання частотного спектра є особливо важливим, оскільки кожен фільтр електромагнітних завад, включно з дроселями з компенсацією струму, вводить нові реактивні компоненти у вигляді ємностей або індуктивностей, що можуть спричинити додаткові коливання, резонанси або навіть сприяти



Рис. 5. Типова послідовність імпульсів синфазного струму: без захисних заходів (а); після встановлення струмових дроселів (б)

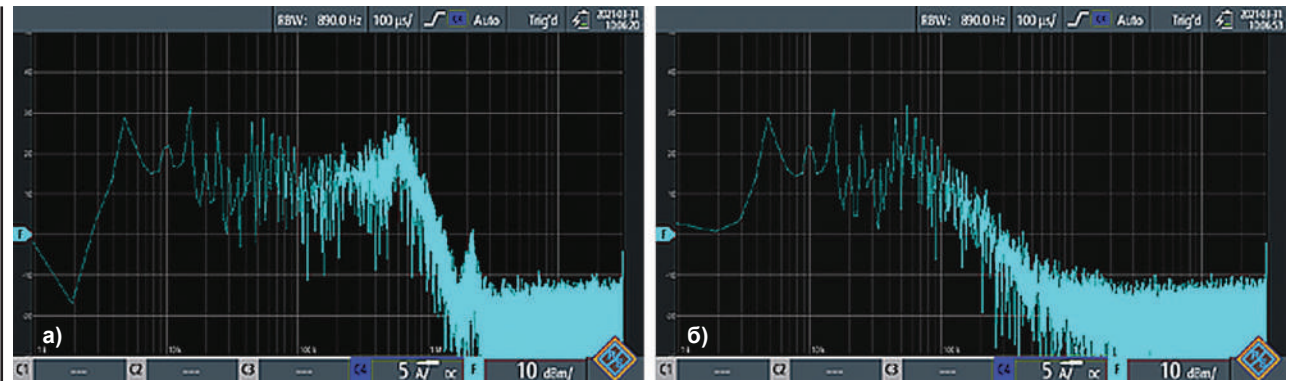


Рис. 6. Візуалізація частоти синфазного струму за допомогою функції ШПФ осцилографа. Спектр: до (а); після встановлення дроселів (б)

виникненню нестійкого режиму. Отже, вплив фільтрувальних елементів на поведінку системи має бути ретельно виміряний для всіх робочих точок.

ВИСНОВКИ

Синфазні струми є однією з основних причин відмов підшипників і, таким чином, можуть значно скоротити термін служби електроприводів. Синфазні перешкоди необхідно ретельно досліджувати на місці після монтажу системи. З цієї метою застосовують такі ефективні інструменти, як портативні осцилографи в поєднанні з пробниками Роговського, що дають змогу легко виявляти ці струми та вимірювати ефектив-

ність захисних заходів. Ми описали процедуру вимірювання синфазних завод і встановлення дроселів із компенсацією струму як ефективний захід захисту. Вимірювання засвідчили, що під час використання чотирьох магнітних кільцевих осердь, які працюють як струмовий дросель, піковий струм знижується більш ніж у чотири рази.

Література:

1. MAGNETEC. Nanoperm — Cased EMC Core Selection Matrix.
2. MAGNETEC. CoolBlue — Tape Wounded Cores to Reduce Motor-Bearing Currents // www.magnetec.de
3. MAGNETEC. Magnetec Simulation Tool // <https://simtool.magnetec.de/>

СН



Офіційний дистриб'ютор



BETTERFUSE
You build electronics, We safeguard them!





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



Комплексний захист від перевантаження по струму і високій температурі
(серія BTU потужність 0,5, 1 і 2 Вт)



Захист від високої температури
(серія запобіжників та серія термостатів)



Захист від перенапруги
(супресори обмежувачі електростатичного заряду та напруги)



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

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

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

Мікроконтролери сімейств RX72T і RX72M від Renesas

Сергій Надєждін

У статті розглядаються мікроконтролери сімейств RX72T і RX72M від компанії Renesas. Вони базуються на власному процесорному ядрі Renesas RXv3 останнього покоління. Обидва сімейства схожі за архітектурою, а відносно невеликі відмінності між ними зумовлені різним призначенням: мікроконтролери сімейства RX72M призначено для використання в промислових застосуваннях, а МК сімейства RX72T орієнтовані на керування електроприводом.

ВСТУП

Компанія Renesas продовжує розширювати лінійку мікроконтролерів, що базуються на власному процесорному ядрі RXv3. Слідом за МК сімейства RX66, про які ми вже писали, компанія вивела на ринок відразу два сімейства МК — RX72T і RX72M. Наразі в групу МК RX7000 входять три сімейства МК; їхні основні ознаки наведено в таблиці 1.

МК сімейства RX72M орієнтовані на застосування в промисловості. До складу цих пристроїв входить інтерфейс Ethernet, промисловий інтерфейс EtherCAT, мультимедійні інтерфейси, а також вдосконалена функція обробки переривань. МК сімейства RX72T має вужчу спеціалізацію і призначені для керування складними високопродуктивними електроприводами, до складу яких можуть входити до чотирьох електродвигунів.

Незважаючи на різні сфери застосування, а отже, і відмінності в складі периферійних модулів, методологія побудови архітектури обох сімейств схожа, що і дає привід розглядати їх в одній статті. Ми не будемо докладно

описувати добре знайомі читачеві модулі, наприклад DMA або стандартні інтерфейси, але акцентуємо увагу на модулях, типових для розглянутих МК. У разі необхідності ми будемо вказувати, до якого саме МК належить той чи інший модуль. Для зручності читання почнемо публікацію з МК сімейства RX72M зі структурною схемою на рисунку 1. Діапазон робочої температури становить $-40...85$ °C для виконання D і $-40...125$ °C — для G.

ПРОЦЕСОРНЕ ЯДРО ТА АРИФМЕТИЧНИЙ СПІВПРОЦЕСОР

Ядро RXv3 завдяки низці покращень, у т.ч. збільшенню ефективності виконання команд, дало змогу підвищити продуктивність МК до 5.81 CoreMark/МГц (нагадаємо, що в ядра попереднього покоління RXv2 величина цього показника становила 4.55). Таким чином, при максимальній частоті тактування 240 МГц продуктивність МК сімейства RX72M досягає неймовірного числа 1396 CoreMark.

До складу ядра входять 16 32-розрядних регістрів загального призначення, 10 32-біт регістрів керування і два 72-біт регістри акумулятора. Усього використовуються 113 команд — на чотири більше, ніж у ядрі RXv2. У ядро вбудовано співпроцесор для виконання операцій з подвійною точністю з числами з плаваючою комою. Співпроцесор відповідає вимогам стандарту IEE 754. Крім того, у ЦП є апаратний помножувач 32×32 і апаратний дільник $32/32$, а також 32-біт регістр зсуву.

Можливі два режими роботи: користувача (User Mode) і супервізора (Supervisor Mode). У режимі супервізора доступні всі ресурси і команди. У режимі користувача доступ до окремих регістрів, деяких бітів регістрів і команд обмежений. Привілейовані команди (RTFI, MVTIPL, RTE, WAIT, SAVE, RSTR) можуть виконуватися тільки в режимі супервізора.

Адресний простір становить 4 Гбайт. У ньому виділено адресний простір для зовнішніх компонентів, який, своєю чергою, поділяється на області CS0-CS7 і область SDCS для SDRAM. Кожна з областей CS0-CS7 відповідає сигналам вибору кристала CS (Chip Select).

Арифметичний співпроцесор TFU виконує такі операції:

- обчислення кореня квадратного із суми квадратів $\sqrt{x^2 + y^2}$;
- обчислення синуса;
- обчислення косинуса;
- обчислення арктангенса.

Усі зазначені обчислення проводяться за 14 циклів. Результат подається у форматі з плаваючою комою з одиначною точністю. Причому, обчислення синуса і косинуса можуть здійснюватися одночасно, як і обчислення арктангенса і $\sqrt{x^2 + y^2}$.

Схема обробки даних DOC виконує операції порівняння, додавання і віднімання 16-біт даних. Модуль DOC формує переривання в разі переповнення або при збігу/незбігу даних. За цими ж ознаками формуються і події.

Таблиця 1. Група МК RX7000

Сімейство	Об'єм флеш-пам'яті, Кбайт	Об'єм ОЗП, Кбайт	Кількість виводів корпусу	Напруга живлення, В	Тактова частота, МГц	Ядро
RX71M	2048-4096	512	100-177	2.7-3.6	240	RXv2
RX72M	1024	1024	176-224	2.7-3.6	240	RXv3
RX72T	512-1024	128	100-144	2.7-5.5	200	RXv3

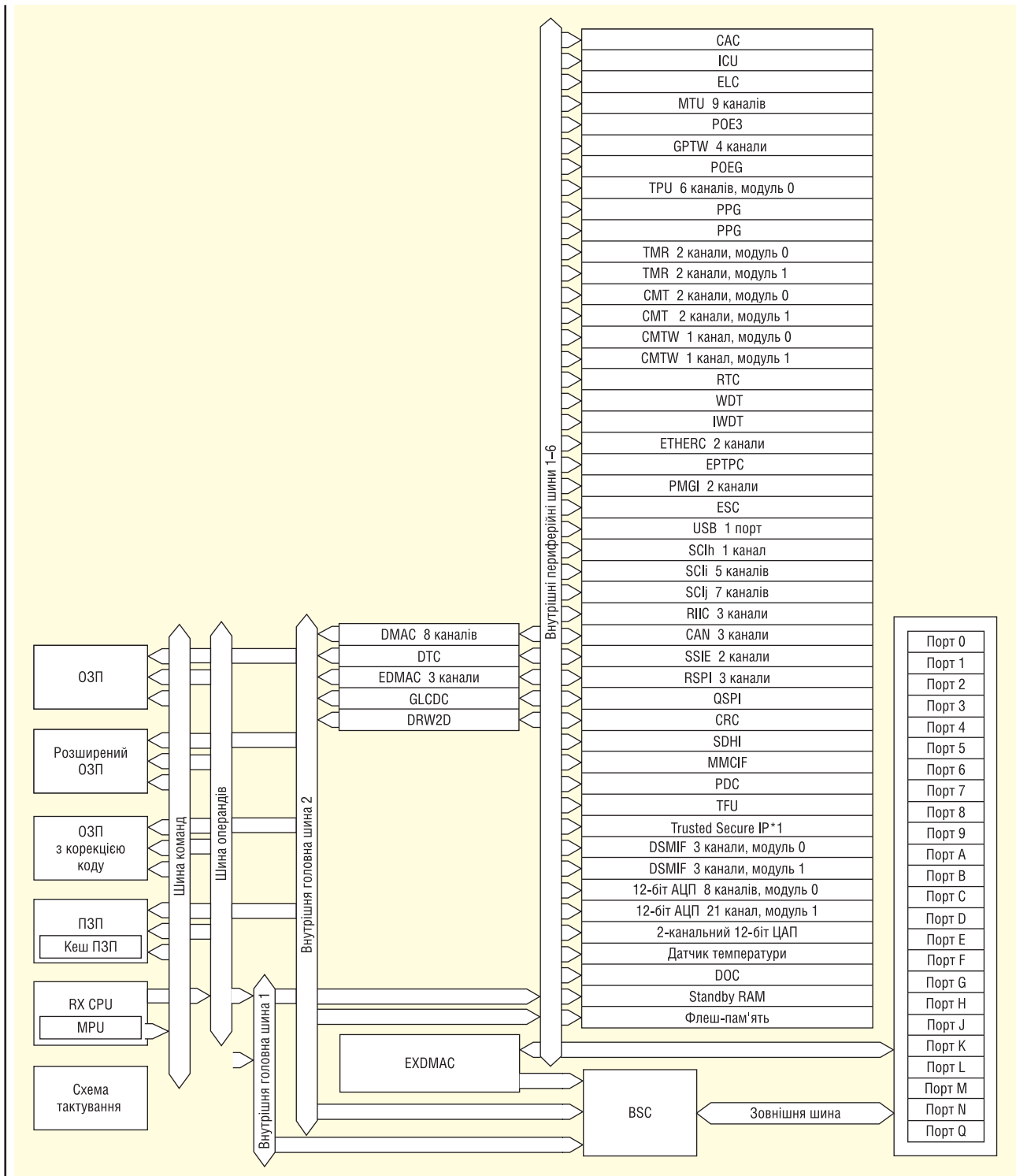


Рис. 1. Структурна схема МК сімейства RX72M

ШИНИ

Як завжди, у всіх МК компанії Renesas чималу роль у досягненні високої продуктивності відіграє структура шин. Вона відображена на рисунку 2. Така досить складна конфігурація забезпечує гнучку частоту тактування і мінімальний час відповіді на переривання.

Шина команд шириною 64 біт з'єднує процесорне ядро з флеш-пам'яттю команд і з усіма областями ОЗП; шина тактується частотою ICLK. Однак пряме підключення до флеш-пам'яті можливе тільки для читання — при стиранні або програмуванні флеш-пам'яті з'єднання здійснюється через периферійну шину. Шина операндів також тактується час-

тотою ICLK і з'єднує ЦП з усіма областями ОЗП. 64-біт шини пам'яті забезпечують під'єднання різних областей пам'яті до шин команд і операндів. Зрозуміло, вони також тактуються частотою ICLK.

Головні внутрішні шини забезпечують з'єднання процесорного ядра і всіх областей пам'яті з периферійними блоками. Головна шина 1 служить для кому-

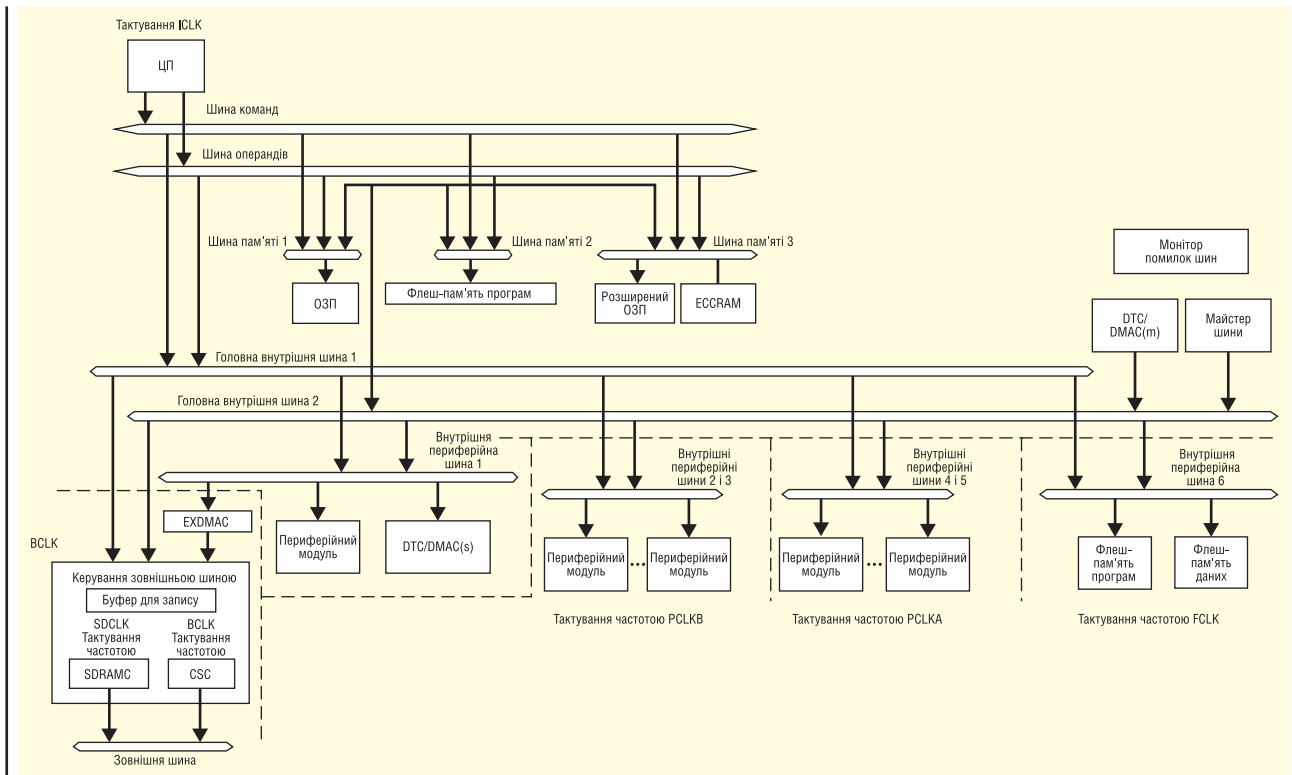


Рис. 2. Конфігурація шин МК сімейства RX72M

тації процесорного ядра з периферійними модулями. Запити на вибірку команд і доступ до операндів обробляються через головну шину 1. Порядок опрацювання запитів відповідає пріоритетам запитувальних пристроїв. Якщо запити на доступ до пам'яті надходять для трьох різних шин пам'яті, то надається одночасний доступ до всіх трьох шин.

Периферійні шини реалізують підключення окремих периферійних модулів до головних шин. Зовнішні шини призначені для з'єднання зовнішніх областей пам'яті CS0-CS7 і SDCS з внутрішніми головними шинами.

Існують два типи помилок шин:

- неприпустима адреса;
- перевищено час очікування відповіді, величина таймауту становить 768 циклів.

Неприпустима адреса виникає під час звернення до області зовнішнього адресного простору, доступ до якої відключено/заборонено. Ця ж помилка фіксується в тому випадку, коли реєструється запит на доступ до неприпустимих адрес. Дозволений діапазон адрес областей адресного простору вказано в документації виробника. Реєстрація помилки таймауту може бути заборонена користувачем. Якщо ж реєстрацію помилки дозволено, то після її фіксації час доступу до шини призупиняється на 256 циклів відповідної актової частоти.

При виникненні помилки не гарантується коректне завершення операції.

ПАМ'ЯТЬ

Вбудована ОЗП поділяється на три області:

- 512-Кбайт ОЗП;
- 512-Кбайт розширене ОЗП;

- 32-Кбайт ОЗП з корекцією коду ECC (ECCRAM).

Кожна з цих областей може бути незалежно дозволена або заборонена. Доступ до ОЗП для читання або запису здійснюється за один цикл. Доступ до розширеного ОЗП може здійснюватися за один або два цикли залежно від встановлення відповідного біта в конфігураційному регістрі. Доступ протягом двох циклів

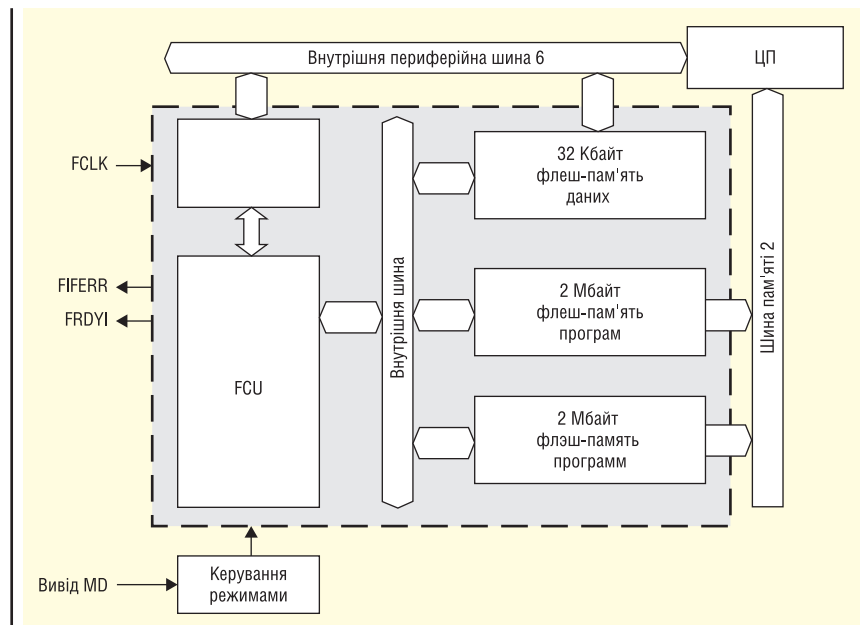


Рис. 3. Організація флеш-пам'яті МК сімейства RX72M

можна реалізувати під час тактування шини ICLK частотою понад 120 МГц. За вибором користувача область ОЗП ECCRAM може працювати і з корекцією коду ECC, і без корекції. Для зменшення енергоспоживання в кожній з областей пам'яті можна відключити сигнал тактування. У режимі глибокого сну дані у всіх трьох областях ОЗП не зберігаються.

Максимальний обсяг флеш-пам'яті програм становить 4 Мбайт, а обсяг флеш-пам'яті даних — 32 Кбайт. Структурна схема організації флеш-пам'яті показана на рисунку 3. Пам'ять програм стирається і програмується блоками по 128 байт; пам'ять даних програмується блоками по чотири байти, а стирання здійснюється за вибором користувача блоками 64/128/256 байт. Флеш-пам'ять захищена від несанкціонованого доступу і від помилкового запису.

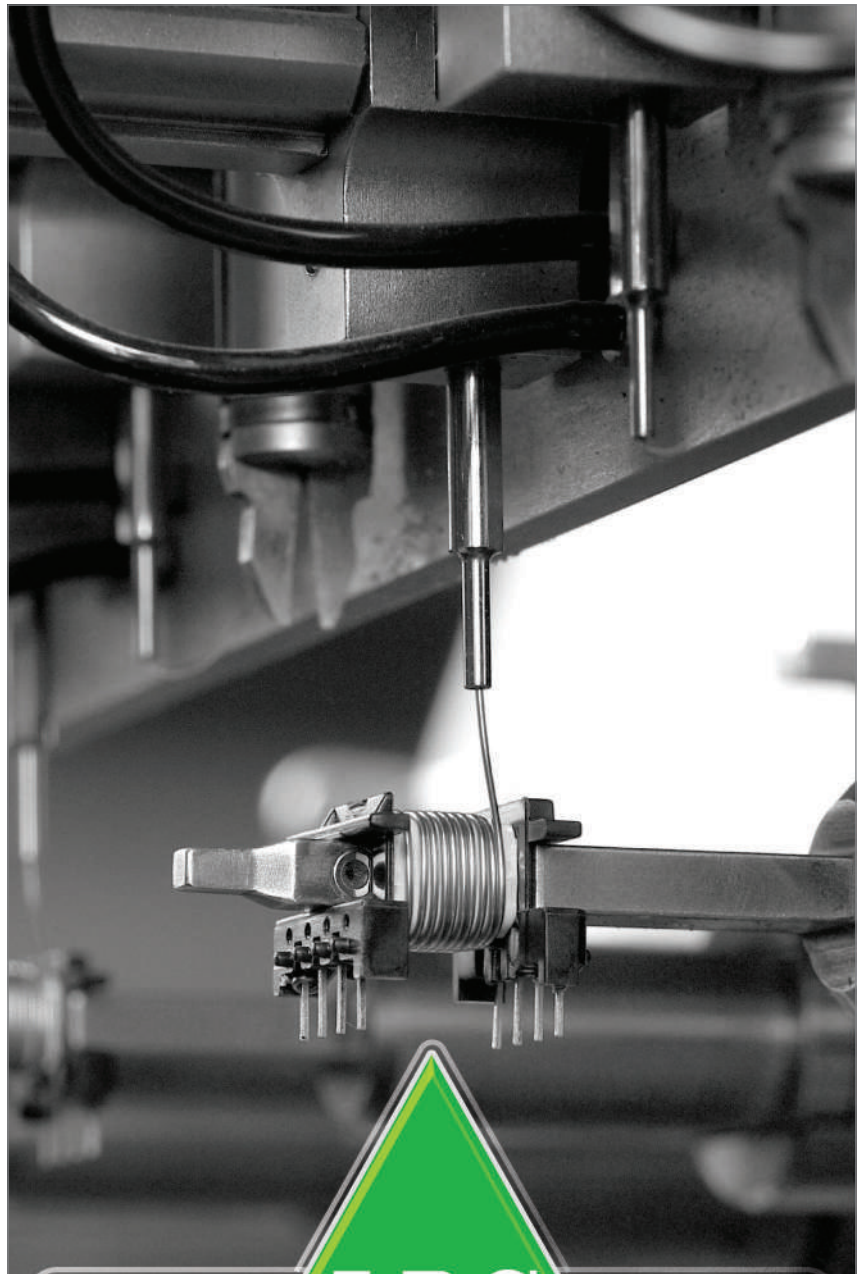
Для прискорення доступу до області пам'яті команд використовується кеш. У разі потрапляння в кеш час доступу займає 1 цикл за будь-якої частоти тактування шини ICLK. У разі промаху кеша час доступу може зрости до 2 циклів за частоти шини ICLK менше ніж 120 МГц і до 2–3 циклів — за її частоти, вищої за 120 МГц. У разі заборони кеша на час доступу до області пам'яті потрібен 1 цикл за частоти шини ICLK менше ніж 120 МГц і 2 цикли за частоти понад 120 МГц. У пам'яті даних кеш не передбачений.

Область пам'яті команд можна розділити на два незалежні банки пам'яті, що полегшує оновлення програми. У процесі стирання або програмування пам'яті даних область пам'яті команд доступна для читання. Область пам'яті даних доступна і в процесі програмування або стирання флеш-пам'яті команд. Залежно від адрес звернення окремі блоки пам'яті команд можуть бути доступні для читання в процесі програмування або стирання інших областей пам'яті команд.

До складу процесорного ядра входить модуль захисту пам'яті MPU. Він може захищати до восьми областей адресного простору. Умови доступу до кожної області встановлюються користувачем. У разі некоректного звернення до області пам'яті модуль формує сигнал помилки. Захист пам'яті застосовується в режимі користувача і не використовується в режимі супервізора.

ТАКТУВАННЯ, СКИДАННЯ І ЗНИЖЕНЕ ЕНЕРГОСПОЖИВАННЯ

Мікроконтролер має вельми розгалужену схему тактування, в якій



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

www.adcgr.com

тел. +38 044 206 22 52

моб. +38 067 249 77 58

+38 050 464 22 52

використовуються майже 30 ліній тактової частоти. Для підключення зовнішніх осциляторів і виведення тактових сигналів передбачено дев'ять зовнішніх виводів мікросхеми. Крім того, в МК вбудована схема контролю частоти тактових сигналів. У разі розбіжності частоти контрольованої тактової послідовності із заданим значенням формується сигнал помилки. Передбачено дев'ять джерел скидання:

- скидання від зовнішнього сигналу;
- скидання під час увімкнення живлення;
- три сигнали скидання, що формуються трьома детекторами напруги;
- скидання під час виходу з режиму глибокого сну;
- скидання від незалежного сторожового таймера;
- скидання від сторожового таймера;
- програмне скидання.

Залежно від джерела відбувається скидання тих чи інших модулів. Наприклад, під час скидання від зовнішнього сигналу або під час увімкнення живлення скидаються всі модулі,

окрім окремих бітів регістра лічильника реального часу, а в разі програмного скидання та під час скидання, спричиненого виходом із режиму глибокого сну, скидають менше половини модулів.

У МК передбачено різні способи зменшення енергоспоживання. Серед них — припинення тактування окремих модулів і вимкнення живлення деяких доменів. Існують чотири режими зниженого енергоспоживання:

- сон;
- зупинка тактування всіх модулів (all-module clock stop mode);
- програмний перехід у стан очікування (software standby mode);
- програмний перехід у стан очікування з мінімальним енергоспоживанням (deep software standby mode).

Крім перерахованих способів можлива зупинка тактування або вимкнення живлення окремих модулів, а не всього домену.

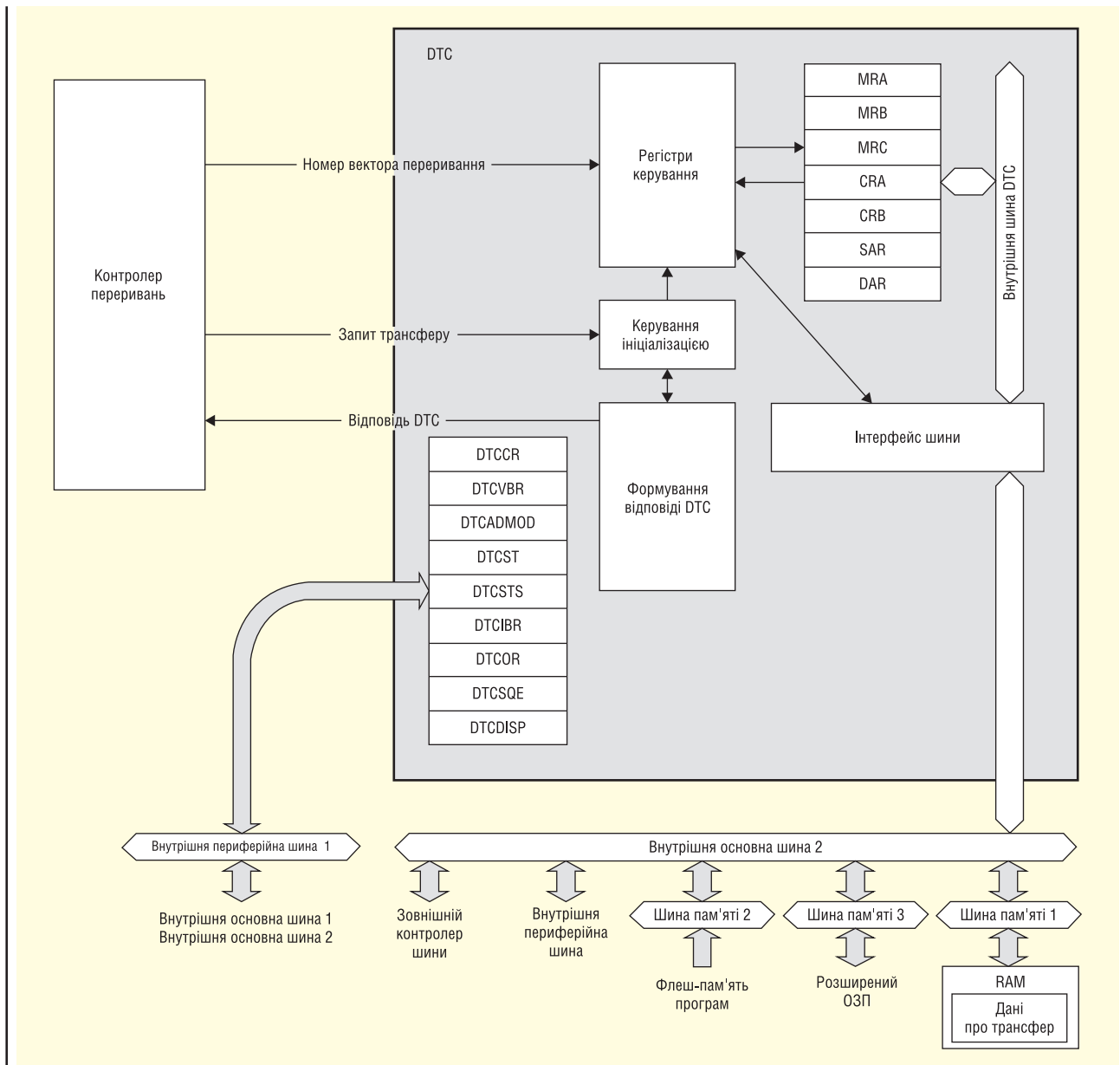


Рис. 4. Структурна схема контролера

КОНТРОЛЕР ПЕРЕДАВАННЯ ДАНИХ DTC

Цей контролер призначений для передачі даних між периферійними модулями МК, а також зв'язку МК із зовнішніми пристроями. Передана інформація має бути записана в ОЗП. У регістрі керування DTCCR контролера записується вектор з початковою адресою, з якої починається передача даних.

Структурна схема контролера показана на рисунку 4. Контролер DTC, а також контролер подій ELC, про який ітиметься нижче, дають змогу здійснювати обмін великими об'ємами даних і встановлювати зв'язки між периферійними пристроями без участі ЦП, що значно збільшує продуктивність МК під час роботи з великим масивом даних і зовнішніми пристроями. Саме складна конфігурація шин дала змогу компанії реалізувати подібні модулі в МК. Автору невідомі аналогічні модулі в МК інших виробників.

Контролер DTC може здійснювати передачу даних у таких режимах:

- нормальний;
- повторюваний;
- передача блоків даних.

У модифікації контролера DTC для сімейства RX72M можливий послідовний спосіб передавання даних, коли в заданій користувачем послідовності комбінуються наведені вище режими передавання даних. У нормальному режимі відбувається одноразове передавання даних. У повторюваному режимі після закінчення передавання даних контролер знову звертається за початковою адресою ОЗП, з якої починалося попереднє передавання. Якщо для передавання даних з ОЗП використовується

одна й та сама початкова адреса, то операція запису стартової адреси не обов'язкова. Максимальне число повторів: 256.

З огляду на те, що за один трансфер можна передати 32 біти, загальна кількість переданих даних у повторюваному режимі становитиме 256×32 біти = 1024 байти. При послідовному способі передачі даних максимальний сумарний обсяг передачі також не може перевищити 1024 байт. Мінімальний розмір переданих даних становить 1 байт, 2-байт слово і довге 4-байт слово.

У режимі короткої адресації доступний контролеру адресний простір становить 4 Мбайт, а в режимі повної адресації контролеру доступний весь адресний простір 4 Гбайт. Після закінчення трансферу даних контролер DTC формує сигнал події. Для зменшення енергоспоживання контролер можна вимкнути.

КОНТРОЛЕР ПОДІЙ ELC

Контролер подій ELC використовує сигнали переривання, що формуються периферійними модулями для встановлення з'єднань між ними. Загалом контролер може встановлювати з'єднання за 137 подіями, у т.ч. через порти В і Е можна встановлювати зв'язок із зовнішніми пристроями. У результаті скорочується час виконання операцій, і не використовуються ресурси процесорного ядра. Структурна схема контролера ELC показана на рисунку 5.

При виникненні переривання кожен периферійний модуль формує дві події. Перша з них — прапор у регістрі

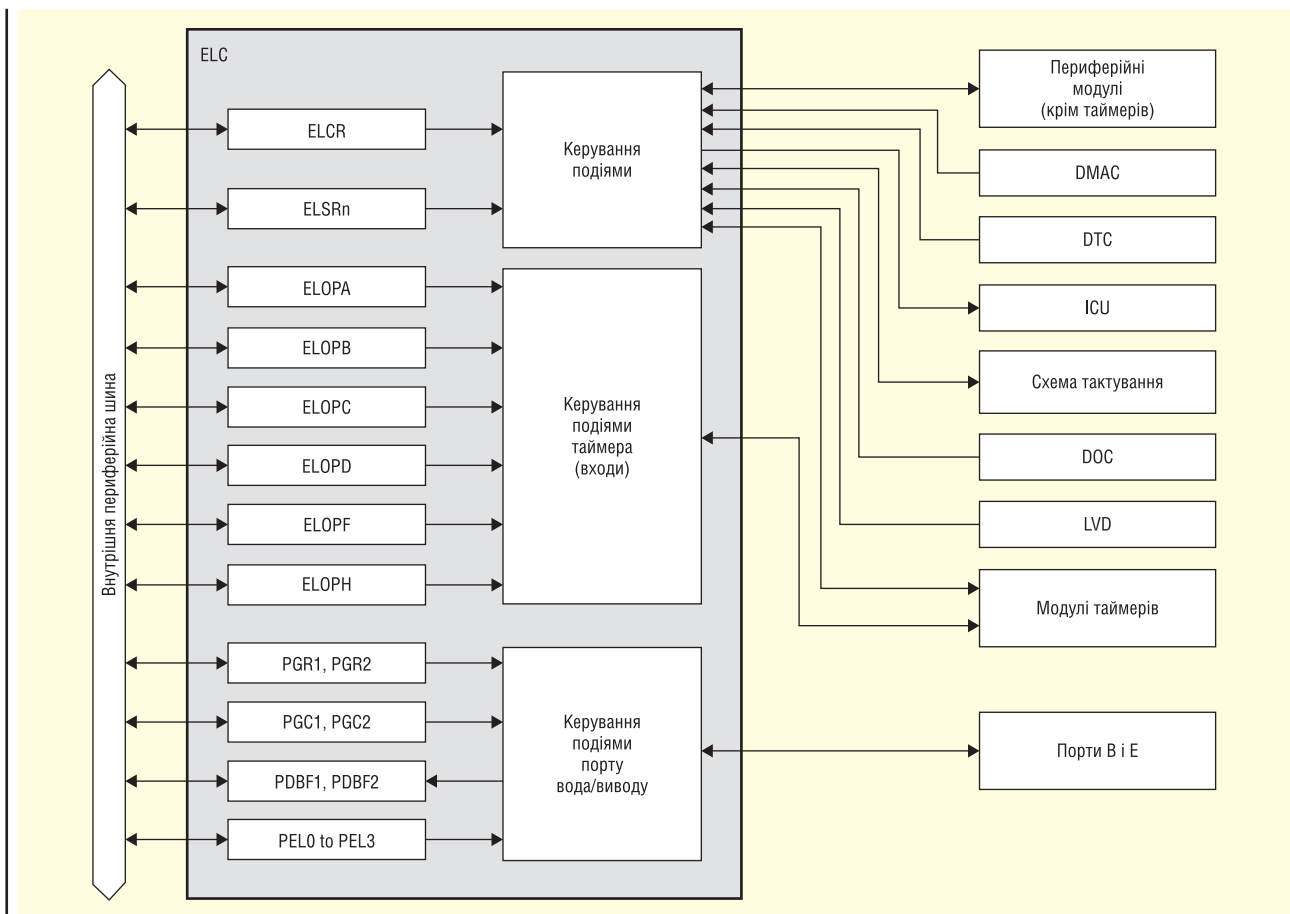


Рис. 5. Структурна схема контролера ELC

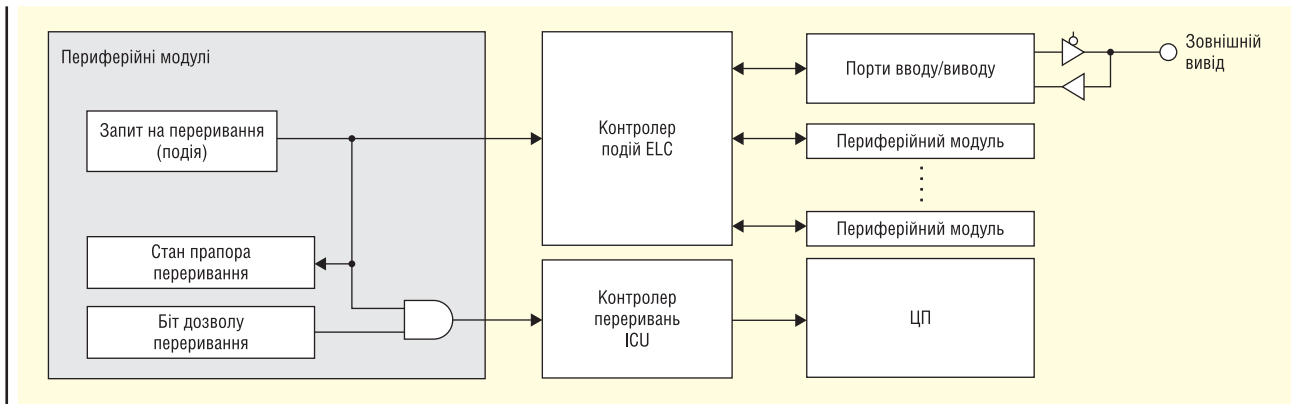


Рис. 6. Організація взаємодії контролера ELC з іншими модулями МК

стану, який вказує на переривання, а друга подія — власне вектор переривання. Користувач може заборонити прапор у регістрі стану, і тоді процесор не реагуватиме на переривання. Контролер подій ELC не читає прапор переривання в регістрі стану, але може формувати з'єднання тільки за вектором переривання. Його роботу добре ілюструє рисунок 6, на якому показано взаємодію контролера ELC з іншими модулями МК. Як видно з рисунка, контролер ELC через порти вводу/виводу може взаємодіяти із зовнішніми пристроями.

Зауважимо, що, по-перше, є можливість встановити тільки одне з'єднання для кожного периферійного модуля. По-друге, у регістрах ELSRn контролера необхідно описати (специфікувати) зв'язки периферійних модулів. Якщо периферійний модуль не описано в регістрах ELSRn, то контролер не реагує на переривання від цього модуля.

КОНТРОЛЕР GLCDC ГРАФІЧНОГО РКД І МОДУЛЬ DRW2D

Багатофункціональний контролер GLCDC кольорового графічного РК-дисплея входить до складу тільки МК сімейства RX72M. Контролер GLCDC підтримує кольорні формати 16- і 32-bpp (біт на піксель) і 1-, 4- і 8-біт таблиці кодування кольору, які іноді називають таблицями кольоровості CLUT (color look-up table). Таблиці CLUT представлені у форматі 256 слів × 32 біт для обох графічних панелей. Апаратно контролер налаштований для підтримки двох кольорових графічних панелей і одноколірного підсвічування.

Контролер GLCDC підтримує практично всі види прогресивної розгортки та альфа-змішання кольорів у співвідношенні 0-255 для досягнення ефекту прозорості. Максимальна розмірність екрана становить 1024×1024 пікселів. Можливі такі форми даних:

- паралельний 24-біт при RGB 888;
- паралельний 18-біт за RGB 666;
- паралельний 16-біт при RGB 565;
- послідовний 8-біт за RGB 888.

У процесі згладжування зображення використовується усічення, округлення, дизеринг 2×2. На виході контролера загалом можна сформувати чотири сигнали вертикальної та горизонтальної синхронізації. Максимальна частота синхронізації контролера GLCDC становить 30 МГц.

Одноканальний модуль опрацювання векторних 2D-зображень DRW2D має два входи (читання текстури зображення і буфера кадру) і один вихід для запису зображень у буфер кадру. Цей модуль вбудований тільки в МК сімейства RX72M.

Модуль підтримує 8-, 16-, 32-біт формат пікселів і введення даних текстури з ряду 1–32 біт. Можливі два режими візуалізації.

ТАЙМЕРИ ТА ГЕНЕРАТОР ІМПУЛЬСІВ

До складу МК входять два 8-біт двоканальних таймери TMR, кожен з яких містить два канали 8-біт лічильників. Таймери TMR можна використовувати для підрахунку зовнішніх подій, а також для формування сигналів скидання, запитів на переривання та інших аналогічних завдань.

Два 16-біт таймери захоплення/порівняння (CMT) можуть формувати переривання в разі збігу значень, записаних у регістрі порівняння і стану лічильника. Будь-який із цих таймерів формує сигнал події для контролера подій ELC. При цьому контролер з'єднує лічильник з іншим периферійним вузлом відповідно до даних, записаних у регістрах ELSRn.

Імпульсний таймер TPU складається з шести 16-біт таймерів; як і всі інші таймери МК, він формує сигнали переривань (до 26 переривань) і подій (до шести подій) і може реалізувати функції захоплення і порівняння. Слід зазначити можливості одночасного запису та очищення всіх шести каналів таймера.

Багатофункціональний таймер MTU складається з восьми 16-біт таймерів і одного 32-біт таймера. Таймер здатний формувати до 43 переривань. Як і в таймері TPU, у багатофункціональному таймері MTU можливий синхронний запис і очищення. Використовуючи вісім 16-біт таймерів, можна сформувати 12-фазний ШІМ.

Таймер ШІМ загального призначення GPTW складається з чотирьох 32-біт таймерів, до того ж для кожного з них можна незалежно вибрати джерело тактування. Кожен канал таймера під'єднується до двох зовнішніх виводів порту вводу/виводу. Для обраних каналів можна реалізувати синхронний старт, зупинку або очищення. Таймер може формувати до восьми сигналів подій. Звичайно, до складу МК входить таймер реального часу і два сторожові таймери. Крім таймерів, до складу МК входять два програмовані генератори імпульсів (PPG), робота яких заснована на часових послідовностях, що формуються таймерами MTU і TPU. Загалом, кожен із двох генераторів PPG здатний формувати сигнали на 16 виходах. Таким чином, можна отримати 32 вихідні сигнали.

КОМУНІКАЦІЙНІ ІНТЕРФЕЙСИ

Оскільки до складу МК сімейства RX72M входять добре відомі стандартні комунікаційні інтерфейси, ми не ста-

немо зупинятися на їхньому описі, а лише перерахуємо їх, згадавши основні параметри.

- Двоканальний контролер Ethernet ETHERC реалізує передачу даних зі швидкістю 10 або 100 Мбіт/с і відповідає вимогам стандарту IEEE 802.3. Він підтримує інтерфейси MII і RMII за протоколами IEEE 802.3u. У МК вбудовано модуль RTP, що дає змогу підтримувати протокол точного часу стандарту IEEE 1588.
- 2-портовий контролер ESC промислового інтерфейсу EtherCAT підтримує режим веденого пристрою і розпізнає кадри Ethernet 88A4h, стандартні кадри Ethernet, кадри EtherCAT з VLAN Tag і EtherCAT UDP/IP.
- USB 2.0. У повношвидкісному режимі швидкість передачі даних становить 12 Мбіт/с, у низькошвидкісному — 1.5 Мбіт/с; буфер даних має обсяг 2 Кбайт.
- SC1j, SC1h, SC1i. 13 каналів послідовних інтерфейсів, що працюють у синхронному або асинхронному режимах, а також у режимі інтерфейсу смарт-карт. Підтримується інтерфейс LIN.
- I2C. Три канали з максимальною швидкістю передачі 1 Мбіт/с.
- CAN. Три канали, відповідає стандарту ISO11898-1.
- RSPI. Три канали, аналогічний інтерфейсу SPI. За один трансфер можна передати максимум чотири кадри, об'єм яких не повинен перевищувати 32 байти; є вбудований буфер ємністю 128 байт.
- QSPI. Призначений для комутації зовнішньої послідовної флеш-пам'яті.
- SSIE. Два канали передачі аудіоданих.
- SDHI. Швидкість передачі даних до 25 Мбіт/с.
- MMC. Мультимедійний інтерфейс, що відповідає стандарту JESD84-A441.
- DSMIF. Два модулі інтерфейсу сигма-дельта перетворювачів призначені для комутації із зовнішніми сигма-дельта модуляторами. Можливе під'єднання до шести зовнішніх модуляторів.

АНАЛОГОВІ МОДУЛІ

До складу аналогової периферії входять два 12-біт АЦП послідовного наближення, два 12-біт ЦАП і датчик температури з похибкою вимірювання ± 1 °C. АЦП працюють у 8-біт режимі (час перетворення: 0.42 мкс), у 10-біт режимі (час перетворення: 0.45 мкс) і в 12-біт режимі з часом перетворення 0.48 мкс. Можливі три режими опитування каналів:

- одиничний;
- безперервний;
- груповий.

У першому режимі відбувається одноразове опитування всіх обраних каналів. У разі безперервного опитування обрані канали опитуються доти, доки не надійде команда на припинення опитування. У груповому режимі канали поділяються на три групи, і режим опитування для кожної з них вибирається незалежно. Запуск АЦП відбувається програмно або за сигналом таймерів чи подій, зокрема тих, що надходять із зовнішніх пристроїв. Загалом обидва АЦП можуть опитати до 29 каналів.

Вихідні сигнали обох ЦАП за вибором користувача можуть буферизуватися, що поліпшить їхню навантажувальну здатність. Для збільшення звадостійкості між перетвореннями АЦП і ЦАП вводиться зсув фази. Діапазон вихідного сигналу ЦАП становить 0.2...(AVSS — 0.2 V), де AVSS — напруга живлення ЦАП.

СЛОВНИК

BCLK — частота тактування зовнішніх пристроїв
CAC — модуль вимірювання тактової частоти
CACCLK — частота тактування модуля CAC
CANMCLK — частота тактування модуля CAN
CLUT — таблиця кодування кольору, або таблиця кольоровості
CMT — таймер захоплення/порівняння
CRA, CRB — реєстри рахунку числа трансферів контролера DTC
CRCA — модуль перевірки за допомогою циклічно надлишкового коду
CS — зовнішній адресний простір
CSC — контролер зовнішнього адресного простору
DAR — реєстр адреси призначення трансферу даних контролера DTC
DOC — схема обробки даних
DRW2D — модуль обробки 2D-зображень
DSMIF — інтерфейс сигма-дельта перетворювачів
DTC — контролер переміщення даних контролера DTC
DTCADM0D — реєстр режиму адресації контролера DTC
DTC0R — реєстр керування контролера DTC
DTCST — реєстр старту контролера DTC
DTCSTS — реєстр стану контролера DTC
DTCVBR — векторний реєстр контролера DTC
ECCRAM — область ОЗП з корекцією коду ECC
ELC — контролер подій
ELSRn — реєстри контролера ELC, у яких специфікуються з'єднання периферійних модулів
ETHERC — контролер Ethernet
ESC — контролер промислового інтерфейсу EtherCAT
ICLK — системна тактова частота
ICUC — контролер переривання
IWDT — незалежний сторожовий таймер
IWDTCLK — частота тактування модуля WDT
FACI — інтерфейс флеш-пам'яті
FCLK — частота тактування модуля флеш-пам'яті
FCU — модуль керування флеш-пам'яттю
GLCDC — контролер графічного РКД
GPTW — таймер модуля ШИМ загального призначення
HRPWM — модуль ШИМ високої роздільної здатності
MPC — багатофункціональний контролер виводів
MPU — модуль захисту пам'яті
MRA, MRB — реєстри встановлення режиму контролера DTC
MTU — модуль багатофункціонального таймера 3
OFSM — пам'ять, що опціонально налаштовується
PCLKA-PCLKD — тактова частота периферійних шин A–D
POE3B — дозвіл виходу порту 3
POEG — дозвіл виведення порту для GPTW
PPG — програмований генератор імпульсів
RIIC — модуль інтерфейсу I2C
RSPIC — модуль інтерфейсу SPI
SAR — реєстр джерела даних контролера DTC
SDCS — область зовнішнього адресного простору, виділеного для зовнішньої пам'яті SDRAM
SC1j, SC1h, SC1i — послідовні комунікаційні інтерфейси
TFU — арифметичний співпроцесор
TMR — 8-біт таймер
WDTA — сторожовий таймер
UCLK — частота тактування USB

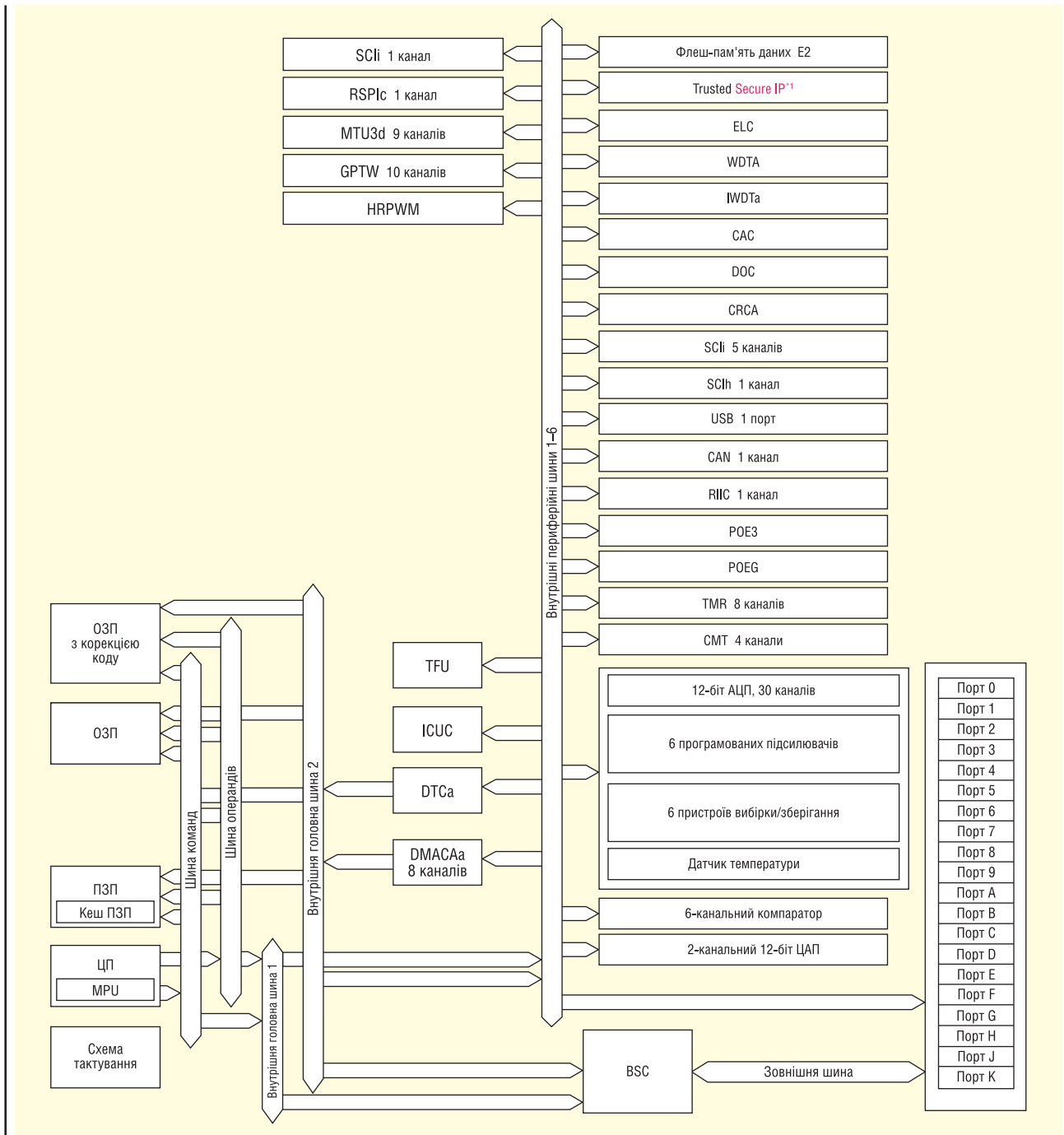


Рис. 7. Структурна схема МК сімейства RX72T

МІКРОКОНТРОЛЕРИ СІМЕЙСТВА RX72T

Структурну схему МК сімейства RX72T наведено на рисунку 7. Під час порівняння її зі структурною схемою МК RX72M, а також за допомогою таблиці 1 можна переконалися, що істотних відмінностей МК обох сімейств небагато. Назвемо деякі з них, на наш погляд, найважливіші. У МК сімейства RX72T збільшено до трьох число 12-біт АЦП і введено шість аналогових компараторів. Для керування електроприводом вбудовано високошвидкісний модуль ШІМ HRPWM з високою роздільною здатністю аж до 195 пс.

Модуль ШІМ HRPWM формує до чотирьох комплементарних виходів ШІМ. Тривалість фронту наростання і спа-

ду програмується користувачем з роздільною здатністю 1/32 періоду частоти тактування в межах 80–160 МГц.

З іншого боку, в МК сімейства RX72T відсутні контролер GLCDC графічного РКД і модуль DRW2D обробки 2D-графіки, а також інтерфейси Ethernet, EtherCAT, SSIE, SDHI, MMC, QSPI і DSMIF. Різниця у складі периферійних модулів МК обох родин обумовлена різним призначенням МК. На наш погляд, інтерфейс Ethernet не завадив би як опція і для МК сімейства RX72T.

Таким чином, можна зробити висновок, що МК сімейства RX72T мають вузьку сферу застосування, ніж МК сімейства RX72M. Мікроконтролери RX72T призначені, в основному, для керування складними системами електроприводів. **СН**



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



**ПОЄДНУЄМО ВАШІ ІДЕЇ
З НОВІТНІМИ ТЕХНОЛОГІЯМИ**

Захист низькошвидкісних інтерфейсів і джерел живлення

Тодд Філіпс (Todd Phillips)

Ця стаття є третьою* в серії публікацій про принципи побудови захисту портів і інтерфейсів. У ній ми розглянемо низькошвидкісні інтерфейси та джерела живлення, як-от DC/DC-перетворювачі та інші вироби, наведемо різні методи їхнього захисту.

ВСТУП

У попередніх частинах серії ми розглянули захист високошвидкісних інтерфейсів Power-Over-Ethernet, USB, HDMI, Display Port і eSATA. У третій частині зупинимося на низькошвидкісних інтерфейсах, а додатково розглянемо захист ліній живлення змінного струму AC, а також кіл живлення постійного струму DC.

До числа низькошвидкісних інтерфейсів, описаних у цій статті, відносяться цифрове аудіо, аналогове відео і клавіатура.

Низькошвидкісні інтерфейси чутливі до сплесків напруги внаслідок перехідних процесів, а також до електростатичних розрядів (ESD). Водночас джерела живлення чутливі до сплесків напруги та перевантажень за струмом, індукованих лініями живлення. Розроблен-

ня надійної схеми інтерфейсу, здатної витримати шкідливі перепади напруги під час перехідних процесів, вимагає застосування різних методів захисту схеми, що розробляється. У статті надано рекомендації побудови захисту інтерфейсів і джерел живлення, що забезпечують енергією, зокрема, й різні схеми інтерфейсів.

ЗАХИСТ ЦИФРОВОГО АУДІОІНТЕРФЕЙСУ

Схема аудіокодека, який зазвичай стає ключовим вузлом цифрової аудіосхеми, наведена на рисунку 1а. Аудіокодек може піддаватися впливу як перехідних процесів, так і електростатичних розрядів ESD. На щастя для розробника, досить застосувати всього один компонент для захисту виходу

лівого і правого каналу. У цих збірках рекомендується застосовувати пару зустрічно з'єднаних TVS-діодів Зеннера, як показано на рисунку 2.

Переваги TVS діодної збірки:

- здатність поглинання до 40 А швидкого перехідного процесу;
- безпечне поглинання електростатичного розряду ± 15 кВ;
- висока швидкодія на рівні 1 нс;
- наднизький струм витоку близько 0.5 мкА;
- низька ємність не більше 6 пФ практично не вносить змін у переданий сигнал.

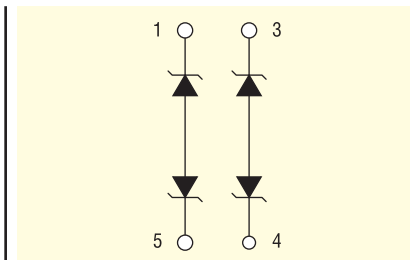
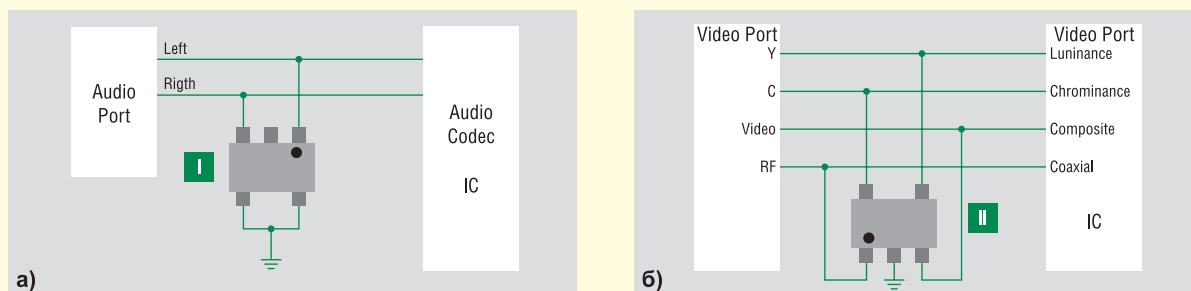


Рис. 2. Двонаправлена збірка для захисту від статичних розрядів цифрового аудіоінтерфейсу

* Див. CHIP NEWS, № 2, 2022; № 2, 2023.



	Технологія	Функції, що виконуються	Серія	Переваги	Особливості
	TVS діодна збірка	Захист аудіо кодека від електростатики ESD	SP1002	Поглинання повторюваних розрядів ESD максимального рівня без деградації параметрів схеми, компактне виконання	Низька ємність 5 пФ, малий струм витоку 0.5 мкА, мініатюрний корпус
	TVS діодна збірка	Захист АЦП від пошкодження електростатичними розрядами ESD	SP3019-04HTG	Поглинання повторюваних розрядів ESD максимального рівня без деградації параметрів схеми, компактне виконання	Мала ємність 3 пФ, малий струм витоку

Рис. 1. Захист аудіо- та відеоінтерфейсів від сплесків напруги під час перехідних процесів: audio line (а); video line (б)

На додаток існує версія діодної збірки, сертифікованої AEC-Q101 для застосування в автомобільній електроніці. Стандарт AEC-Q101 використовує різноманітні стрес-тести для того, щоб упевнитися у відмовостійкості компонентів в автомобільних застосуваннях. Розглянуті TVS діодні збірки доступні в корпусі SC70-3 для поверхневого монтажу. Таким чином, надійний захист аудіоінтерфейсу може бути реалізовано з мінімальними габаритами на друкуваній платі.

ЗАХИСТ ВІДЕОІНТЕРФЕЙСУ

Подібно до аудіоінтерфейсу, відеоінтерфейс схильний до впливу швидких перехідних процесів і електростатичних розрядів. На рисунку 1б наведено приклад відеоінтерфейсу з чотирма лініями: Y, C, video і RF (синхронізація). Захист входу відео АЦП може бути реалізовано за допомогою одного компонента. У цьому випадку рекомендується застосовувати 4-канальну TVS діодну збірку, зображену на рисунку 3.

Діодна збірка забезпечує такі характеристики:

- поглинання швидких перехідних процесів до 40 А;
- захист від статичних розрядів до ± 15 кВ повітрям і ± 10 кВ за прямого контакту;
- малий струм витоку близько 10 нА;
- мала власна ємність вхід-«земля» близько 0.3 пФ;

Існують версії цієї збірки, сертифіковані за AEC-Q101 для автомобільних застосувань. Вони доступні в корпусі SOT23-6 поверхневого виконання для мінімізації місця на друкуваній платі. Чотириканальна TVS діодна збірка забезпечує необхідний захист відеопортів за мінімального впливу на переданий сигнал.

ЗАХИСТ КЛАВІАТУРИ

Клавіатура використовується як пристрій введення інформації та контролю в різних промислових і побутових застосуваннях. На рисунку 4 показано типову схему інтерфейсу клавіатури.

Під час роботи з клавіатурою постійно присутній прямий контакт, унаслідок якого може виникнути електростатичний вплив на клавіатурну схему. Для захисту ліній інтерфейсу клавіатури використовують багатозарові варистори (MLV), які мають такі характеристики:

- поглинання імпульсів зі струмом до 500 А за енергії 2.5 Дж;
- широкий діапазон температури: $-40...+125$ °C;
- розширений діапазон робочих напруг від 3.5 В.

Багатозарові варистори допомагають пройти тести на відповідність директиві IEC 61000-4-2 і мають малі габарити в корпусі 0402.

ЗАХИСТ БЛОКУ АКУМУЛЯТОРНИХ БАТАРЕЙ

Блок акумуляторних батарей призначений для живлення електричної схеми, тому ІС контролера батареї потребує захисту від перевантаження за струмом і від сплесків напруги. На рисунку 4 наведено блок-діаграму контролера заряду батареї з сигналами керування. Оскільки акумуляторна батарея слугує джерелом постійного струму, діод захисту від перевантаження за струмом найкраще використовувати швидкодіючий запобіжник.

Швидкодіючий запобіжник повинен забезпечувати:

- швидке вимкнення порядку 0.2 с при перевантаженні 300%;
- діапазон струму: 0.25–5 А;
- рівень вимкнення струму не менше 32 А за напруги до 32 В.

Для захисту від сплесків напруги під час перехідних процесів рекомендується застосовувати TVS діодні збірки на зразок розглянутої раніше 4-канальної збірки для захисту відеоінтерфейсу. Така збірка забезпечить захист ІС контролера батареї від статичних розрядів. Існують варіанти цих збірок для автомобільного застосування, що відповідають вимогам AEC-Q101.

ЗАХИСТ ДЖЕРЕЛ ЖИВЛЕННЯ

Джерела живлення схильні до впливу як перевантажень за струмом, так і сплесків напруги внаслідок перехідних процесів у лініях електроживлення змінного струму. Так, захист лінії живлення змінного струму вимагає не тільки наявності запобіжника для захисту за

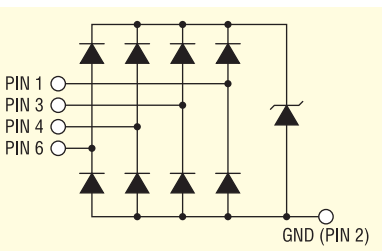
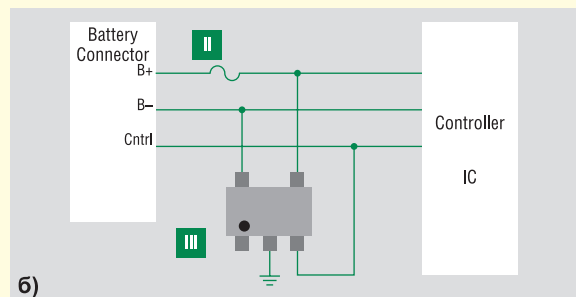
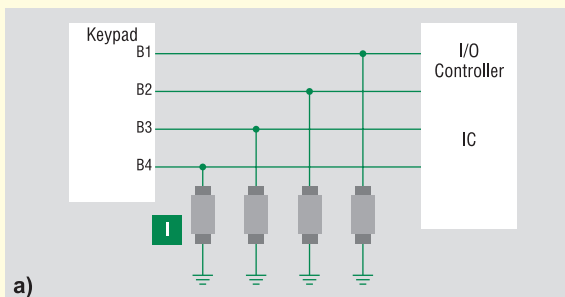
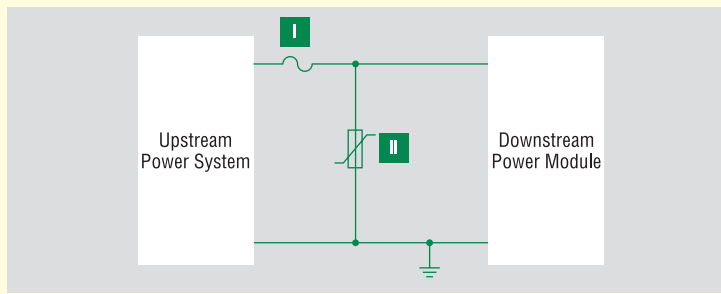


Рис. 3. Чотириканальна TVS діодна збірка з діодами Зенера



	Технологія	Функції, що виконуються	Серія	Переваги	Особливості
I	MLV-варистор	Захист ІС та інших компонентів від електростатичного розряду	V5.5MLA0402	Гнучкість під час розроблення завдяки одноканальному виконанню	Низька ємність і відповідність вимогам AEC-Q200
II	Запобіжник	Захист від перевантаження за струмом у колі живлення	435	Компактний корпус	Струм вимкнення 32 А за 32 В постійного струму, компактне виконання
III	TVS діодна збірка	Захист від статичних розрядів у лініях живлення та керування	SP3019-04HTG	Надійний захист у разі безперервності режимів передавання сигналів	Низька вхідна ємність, висока швидкодія менше 1 нс, відповідність AEC-Q101

Рис. 4. Захист аудіо- та відеоінтерфейсів від сплесків напруги під час перехідних процесів: audio line (a); video line (б)



	Технологія	Функції, що виконуються	Серія	Переваги	Особливості
I	Запобіжник	Захист від короткого замикання та перевантаження за струмом	313	Захист від пошкодження обладнання, компактні розміри, енергоефективність	Відповідність стандартам, низький опір
II	Варистор	Захист від істотних сплесків напруги	UltraMOV	Скорочення часу на випробування та сертифікацію за рахунок відповідності стандартам безпеки	Здатність до поглинання великої енергії, невеликий корпус, висока робоча температура до +125 °C

Рис. 5. Рекомендований захист для лінії живлення змінного струму.
Примітка.* Потужні TVS-діоди серії АК можуть бути

струмом, а й варистора для захисту від сплесків напруги. Деякі застосування передбачають використання інших компонентів захисту, таких як TVS-діоди, захисних тиристорів SIDA Ctors або газорозрядників (GDTs). Детальнішу інформацію можна отримати в документі IEC62368-1. На рисунку 5 наведено типову схему захисту лінії живлення.

Для AC/DC-джерел живлення рекомендуються запобіжники з «повільним спрацюванням» у скляному корпусі. Вони не відключають коло у разі включення чи виключення індуктивного навантаження в лінії живлення змінного струму. Інші особливості цих запобіжників:

- діапазон струму: 10 мА–30 А;
- напруга: до 250 В AC і вище;
- струм вимкнення: не менше 10 кА для схем 120 В AC.

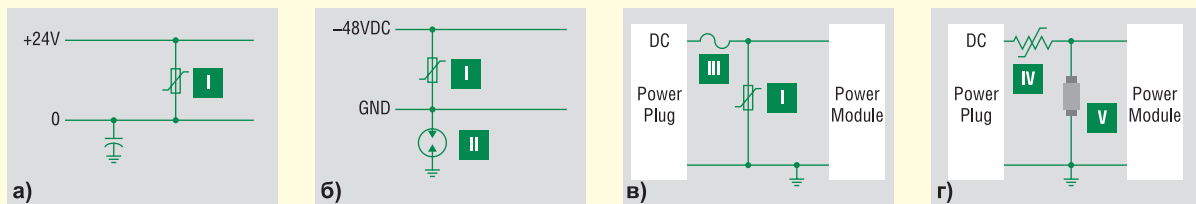
Ця група запобіжників відповідає вимогам UL і CSA, що спрощує сертифікацію обладнання з боку контролюючих органів.

Металооксидні варистори MOV мають здатність поглинати істотну енергію на вході AC/DC-перетворювача, яка може виникати внаслідок перехідних процесів у лінії живлення AC, ефективно захищаючи схему AC/DC-перетворювача від їхнього впливу. Існують версії MOV-варисторів, здатних витримувати струм до 10 кА в імпульсі, з енергією поглинання 400 Дж в імпульсному режимі. Крім того, доступні високонадійні версії MOV-варисторів, здатні працювати в широкому діапазоні температур –55...+125 °C. Так само як і у випадку з запобіжниками, рекомендується використовувати варистори, що відповідають вимогам UL і CSA.

ЗАХИСТ ДЖЕРЕЛ ПОСТІЙНОЇ НАПРУГИ

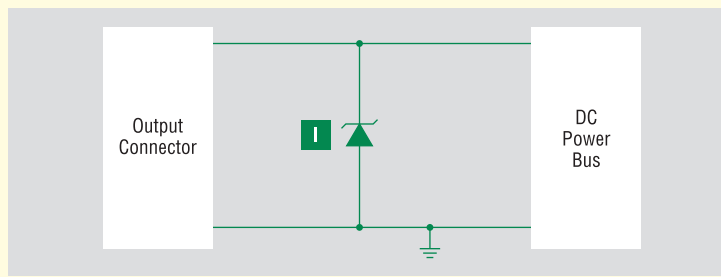
Залежно від робочої напруги, схемотехніки та сфери застосування потрібні різні варіанти захисту таких джерел. Для різних схем існують індивідуальні рекомендації.

Для захисту входів із напругою 12 і 24 В постійного струму рекомендується застосовувати варистор MOV і TVS-діод (рішення, аналогічне показаному вище для лінії живлення змінного струму AC). На рисунку 6а представлено схему під'єднання варистора MOV паралельно лінії живлення постійної напруги DC. Таке рішення здатне захистити схему від стрибків струму до 10 кА за температури до +125 °C. Також варистор MOV забезпечує довготривалий захист силових схем.



	Технологія	Функції, що виконуються	Серія	Переваги	Особливості
I	Варистор	Захист від сплесків напруги внаслідок перехідних процесів	CHI, LV Ultra MOV, LA	Покращення надійності протягом тривалого часу експлуатації, здатність поглинути викиди з високою енергією	Високий імпульсний струм, висока робоча температура до +125 °C
II	Газорозрядник GDT	Захист ізоляції на «землю»	CG	Наднизький струм витoku на «землю»	Високий імпульсний струм, широкий діапазон робочих напруг
III	Запобіжник	Захист від перевантаження за струмом	477, 505	Запобігання пошкодженню обладнання, малі розміри	Малі розміри за високої відключальної здатності
IV	Самовідновлювальний запобіжник PPTC	Захист від короткого замикання і перевантаження за струмом	LoRho	Швидка реакція на перевантаження за струмом, компактні розміри, сумісність із портативним обладнанням	Наднизький власний опір, широкий діапазон струму у мініатюрних SMD-корпусах
V	TVS діодна збірка	Захист від сплесків напруги і статичних розрядів	SP11xx	Захист обладнання від повторюваних статичних розрядів без впливу на роботу виробу	Наднизький струм витoku близько 100 нА, малі габарити, широкий вибір напруги

Рис. 6. Рекомендації щодо захисту джерел постійного струму різної конфігурації



	Технологія	Функції, що виконуються	Серія	Переваги	Особливості
I	TVS-діоди	Захист від сплесків напруги	SMBJ	Підвищення надійності системи шляхом захисту чутливих елементів схеми від перехідних процесів у колі живлення	Чудова обмежувальна здатність

Рис. 7. Рекомендована схема захисту виходу DC-джерела живлення

Для захисту входу джерел постійного струму 48 В і вище рекомендується встановлювати TVS-діод у паралельно-включенні (рис. 6б). Газорозрядник здатний витримати імпульсний струм до 20 кА й оптимальний для захисту схеми від дрейфу «нульової точки» до не безпечно рівня відносно «землі», за якого може статися розряд. За власного опору 10 ГОм газорозрядник споживає менше 10 нА в нормальному режимі.

Джерела постійного струму зі схемою корекції коефіцієнта потужності (ККП) повинні мати запобіжник, встановлений послідовно з варистором для захисту від перевантаження за струмом і напругою. На рисунку 6в показано «повільний» запобіжник, який повинен не вимикати коло у разі виникнення пускових струмів в імпульсному джерелі живлення. Рекомендується застосовувати запобіжники в керамічному корпусі на струм 10–30 А, здатні відключити 20 кА за напруги 500 В DC. Варистор, застосований у цій схемі, займає мінімальну площу, оскільки виконаний у корпусі розміром лише 6.3×32 мм. Один і той самий тип варисторів рекомендований для напруг 12, 24 і 48 В.

Для захисту джерела постійної напруги в портативних пристроях потрібно врахувати ще кілька факторів. Як і в інших випадках, тут потрібен захист і від перевантаження за струмом, і від сплесків напруги, проте краще застосовувати самовідновлювальні запобіжники з позитивним температурним коефіцієнтом PPTC (рис. 6г).

Самовідновлювальний запобіжник PPTC дає можливість не замінювати його в разі виникнення перевантаження за струмом. Цей тип запобіжників має малий власний опір від десятків до сотень міліом і малий час вимкнення — менше 5 с. Запобіжники PPTC доступні в корпусах від 0402 для мінімізації місця, що

займають на друкованій платі, що особливо важливо для портативної техніки. У цьому разі для захисту кіл постійного струму від сплесків напруги краще використовувати не варистори MOV, а TVS-діоди. TVS-діоди Зеннера здатні забезпечити захист від статичних розрядів ± 30 кВ повітрям, а також поглинути імпульс до 80 А під час розряду блискавки.

Вихід джерела живлення постійного струму також потребує надійного захисту. Рекомендується використовувати TVS діод, як показано на рисунку 7, що захистить під'єднану схему від сплесків напруги, викликаних перехідними процесами, обмежуючи їх на допустимому рівні. Такі TVS-діоди доступні як в однополярному, так і в двополярному виконанні.

ВИСНОВОК

Можна розробити надійну і стійку схему, включивши в неї компоненти захисту на етапі проектування. Для цього не знодобиться багато компонентів, а конфігурація їхнього під'єднання досить проста для розуміння та реалізації. Як розробнику, вам доступно безліч технологій захисту. При цьому виробник компонентів захисту надає технічну підтримку при виборі та перевірці на відповідність безлічі стандартів під час розроблення електронних виробів. Деякі виробники надають розширене тестування як для перевірки заявлених параметрів і режимів, так і на предмет розширеного тестування на відповідність галузевим і регіональним стандартам. Включення компонентів захисту скоротить витрати під час гарантійного та сервісного обслуговування і створить вашій компанії репутацію виробника якісного та надійного обладнання.

РЕЛЕ ДУГОВОГО РОЗРЯДУ ДЛЯ ОБМЕЖЕНОГО ПРОСТОРУ

Компанія **Littelfuse** випустила серію AF0025 — економічно ефективне рішення для захисту від дугового розряду в найкомпактнішому корпусі для OEM-продукції. Реле дугового розряду значно зменшує пошкодження від дугових замикань у відсіках змінного та постійного струму, виявляючи світло від дугового розряду та швидко подаючи сигнал відключення. Завдяки глибині всього 1.82" (46.23 мм), компактна конструкція може бути встановлена на поверхню або на DIN-рейку в найвужчих місцях. Це робить його ідеальним для застосування у відновлюваних джерелах енергії, таких як комбіновані блоки та інвертори, в промисловому застосуванні, включаючи джерела безперебійного живлення (ДБЖ) і частотно-регульовані приводи (ЧРП), а також в розподільних коробках і панелях з обмеженим простором.

Використання одного або двох датчиків робить серію AF0025 придатною для малих і середніх панелей, з можливістю вбудованого або віддаленого скидання. Для реле AF0025 не потрібне додаткове налаштування.

«Пошкодження, спричинені дуговим розрядом, можуть дорого коштувати як для персоналу, так і для обладнання. Залежно від потужності дугового розряду, ремонт може зайняти місяці», — заявив Річард Дейл, менеджер з продукції промислового підрозділу Littelfuse. — Компактне дугове реле AF0025 виявляє проблему протягом п'яти мілісекунд і надсилає сигнал на відключення живлення, щоб зменшити або навіть усунути ризик для персоналу та обладнання — рятуючи життя, запобігаючи дорогим ремонтам і скорочуючи час простою».

www.littelfuse.com

ЕЛЕКТРОННІ КОМПОНЕНТИ

від провідних виробників світу,
зі складу та під замовлення

Гнучкі ціни



ТОВ "АДС ТІМ"

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

ТОВ Аіронікс КОМПОНЕНТ

тел.: +38 044 384-17-55
+38 044 501-07-29
+38 044 501-80-09
info.aironixs@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.aironixs.com.ua
www.aironixs.prom.uaAltway Electronics, Inc
5970 Unity Drive Suite E,
Norcross, GA 30071, USA
www.altwaygroup.comОПЕРАТИВНІ ПОСТАВКИ
ЕЛЕКТРОННИХ КОМПОНЕНТІВТел. 044-3-922-911
E-mail: sales.int@altwaygroup.com

ТОВ «НВП АСТЕРА»

директор ТЕРЕЙКОВСЬКИЙ
Артем СеменовичФерритові 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

SONION Amphemol LTM 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

VD MAIS

ДИСТРИБ'ЮЩА +
КОНТРАКТНЕ
ВИРОБНИЦТВО03061, Київ,
вул. Михайла Донця, 6
тел.: +380 (44) 201 02 02
info@vdmails.ua
www.vdmails.ua

- електронні компоненти
- електромеханічні компоненти
- промислова автоматизація
- вимірювальні прилади
- обладнання та матеріали для виробництва електроніки
- друковані плати
- контрактне виробництво

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

Виробництво електроніки
Вимірювальна техніка
3-D моделювання та друк
Промислові комп'ютерні системи
Дистрибуція електронних компонентівпр-т. Відрадний, 95-С, 03061, Україна, м. Київ,
+38044 507-0202, www.biaKOM.comДП «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



Прямі поставки від виробника



Комплексні поставки електронних комплектуючих

- Автоматика
- Датчики
- Джерела живлення
- Компоненти і модулі СВЧ
- Мікросхеми
- Рознімачі
- Реле
- Системи бездротового зв'язку
- Системи відображення інформації
- Хімічні джерела струму

38 (044) 239-96-06
38 (044) 498-01-68www.grandelectronic.com
office@grandelectronic.comБульвар Вацлава Гавела, 8
м. Київ, 03124

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**

Виробництво одно-, дво-, багатшарових друкованих плат, плат на алюмінієвій основі з технологічними показниками відповідно до вимог міжнародного стандарту IPC-A-600

Мембранні клавіатури

- мембранні клавіатурні панелі
- лицеві і накладні панелі

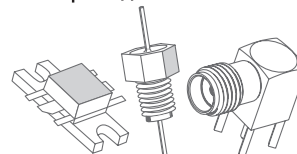
www.pcbetal.com

ТОВ «PCB-ЕТАЛ»
28000, Кіровоградська обл.,
м. Олександрія, вул. Заводська, 1Для замовлення:
Тел.: +38 (066) 872-60-65
e-mail: pcb@etal.ua**Ціни знижено**дистрибуція електронних компонентів
контрактне виробництво08298, смт. Коцюбинське
вул. Пономарьова, 7

Тел. +38 044 33 44 575

www.eurocom-c.com

E-mail: info@eurocom-c.com

ВЧ- та НВЧ-КОМПЛЕКТУЮЧІ І КОМПОНЕНТИмікросхеми • транзистори • коаксіальні фільтри
коаксіальні з'єднувачі • коаксіальні кабелі
матеріал для ВЧ-лат • теплорозподільчі матеріали**ЄВРОКОНТАКТ**www.eurocontact.kiev.ua
т/ф +380 44 500 7991
info@eurocontact.kiev.ua**Інтегральні Комплексні Системи**
Контрактне виробництво електроніки

+38 (050) 469-12-07 info@incos.kiev.ua www.incos.kiev.ua

Київ, вул. Бориспільська, 9, корпус 111

ІМРАД
Електронні компоненти

Електронні компоненти провідних світових виробників зі складу в Києві та на замовлення

Інформаційна та технічна підтримка

- 03113, Україна, м. Київ вул. Шугова 9, офіс 211
- Тел. (044) 495-21-09, 490-91-59 факс: (044) 495-21-10 E-mail: imrad@imrad.kiev.ua www.imrad.com.ua

Радіодеталі зі складу – 35 000 найменувань!



Усе для розробки, ремонту та виробництва електроніки!

Від резистора до мікропроцесора, радіомонтажний інструмент та вимірювальні прилади, підбір аналогів та консультації.

www.ims.kh.ua тел.: (073) 757 25 22 (23), (098) 028 89 17
e-mail: imskharkov@gmail.com (057) 732 04 50, 732 01 76**K206**

Електронні компоненти

Все для виробництва та ремонту зі складу та на замовлення

www.k206.net

+38 096 77-99-665





ТОВ "КОМПАНІЯ ОЛЬВІЯ"
Корпуса пластикові, Клавіатура плівкова,
Кабельно-провідникова продукція.

[044].599.7550 [044].503.3323 KORPUS.KIEV@GMAIL.COM
ICSA#: 268-782-777
03113, м. Київ, вул. Дружківська, 12 А korpus.kiev.ua



м. Київ, пров. Радищева, 3, офіс 307
тел. +38 (044) 451-60-80 info@mastek.com.ua
моб. +38 (067) 919-51-15 www.mastek.com.ua

Авторизований дистриб'ютор
NXP, AMPLEON, WeEn в Україні

Microdis Electronics GmbH
Rheinauer Straße 1
68766 Hockenheim
Germany

MICRODIS

Дистриб'ютор
електронних
компонентів

Роман Прокопець
Менеджер з продажу

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

www.microdis.net

www.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.



PCBA

КОНТРАКТНИЙ
ВИРОБНИК ЕЛЕКТРОНІКИ
ПІД ЗАМОВЛЕННЯ


+38 044 338 97 73
info@pcba.com.ua
pcba.com.ua



**КОМПАНІЯ
СК-ТЕХНО**
контрактне виробництво

- контрактне виробництво
- друковані плати
- монтаж
- комплектація

<http://spcb.com.ua>
e-mail: info@spcb.com.ua
тел./факс: (044) 369-53-67



<http://melsys.com.ua>

- контрактне виробництво електроніки
- монтаж і виготовлення друкованих плат
- виготовлення трафаретів

ТОВ "Мелсис"
Київ, вул. Новозабарська, 2/6, оф. 204
info@melsys.com.ua

+38 044 578 18 15
+38 096 926 70 69
+38 063 435 68 10

Партнерство
в електроніці

МІКРО
ПРИЛАД

avalue Touch XCK PARTEX HARKING SYSTEMS mecatron 77 WAGO LINEAR TEXAS INSTRUMENTS DZ NAGANO Sensorteknik

03142, м. Київ, вул. Омеляна Прицака, 4, офіс 101
Тел.: 044 392-93-86, Факс: 044 392-93-87
www.micropribor.com.ua sales@micropribor.com.ua

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

**За 24 години виготовимо
Ваше замовлення**

Власне виробництво у м. Львів

ТОВ «Крейтив Лоджікс»
www.pcb24.com.ua
info@pcb24.com.ua
pcbprint24@gmail.com
068 614 38 28



PCBТУТ

Зручний онлайн РСВ-калькулятор
мінімальне замовлення - 5 шт.

Постачання:
- друковані плати FR-4;
- алюмінієві друковані плати;
- трафарети для паяльної пасту;
- паяльна паста;
- припій.

Сайт: pcbтut.com
e-mail: pcbтut@pcbтut.com
+38 (067) 674 99 14

вбудовані процесорні плати

COMexpress
Qseven
PC-104
ETX

промислові комп'ютери та системи

www.proxis.ua
+380(44)4675977
+380(44)5995977Пр
СМ

RADIODETAILI

- Паяльне обладнання
- Резистори
- Вентилятори
- Світлодіодне обладнання
- Трансформатори
- Акумулятори
- Реле
- Блоки живлення
- Конденсатори
- Мобільні аксесуари

КУПУЙ ВИГІДНО

radiodetaili.com.ua



РАДІОМАГ
МЕРЕЖА МАГАЗИНІВ РАДІОДЕТАЛЕЙ

Львів Київ Харків
Одеса Дніпро

www.rcscomponents.kiev.ua
+38(044)299-77-55 sales@radiomag.com.ua

- мікросхеми
- транзистори
- діоди і діодні містки
- GSM, GPS, GPRS
- паяльне обладнання
- вимірювальне обладнання
- блоки живлення
- рознімачі
- інструмент
- пасивні компоненти
- батарейки та акумулятори та багато іншого

RAINBOW TECHNOLOGIES

Rainbow Technologies – офіційний дистриб'ютор і постачальник в Україні:

MICROCHIP, MAXIM, INFINEON, WINBOND, ALTERA, SAMSUNG (LED), LEDIL, VISHAY, ANALOG DEVICES, TEXAS INSTRUMENTS

04112, Україна, м. Київ, вул. Дегтярівська, 62, оф. 46
Тел./факс: +38 (044) 290-41-69, 290-41-82
e-mail: cov@rainbow.com.ua

МП "РЕМІКС"
www.remix.com.ua
Офіційний дистриб'ютор в Україні

FineTek, Venanzetti Vibrazioni, Nivelko
Пропонує датчики рівня рідин та сипучих матеріалів, датчики тиску, різноманітні регулятори, панель метри, пневмо та електровібратори

Тел./факс +38 04563 99-760, 99-926, 99-775

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

ENCLAVES 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-проводникова продукція • Обладнання для промислової автоматизації • Бездротові компоненти вимірювальної 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: Великоузлове складання обладнання • Просектування друкованих плат
Виробництво друкованих плат • Контрактне виробництво електроніки • SMD і DIP монтаж компонентів • Комерційні розробки • Проектування, монтаж, модернізація, технічне обслуговування паркувальних комплексів, світлофорних та WIM об'єктів

Харків: kharkiv@sea.com.ua Дніпро: dnipro@sea.com.ua Львів: lviv@sea.com.ua

Semisvit
Create with us

ТОВ "СЕМІСВІТ"
вул. Б. Хмельницького, 16-22, оф. 504-Г
01601, м. Київ, Україна
тел./факс: +380 44 586-2580
www.semisvit.com.ua
info@semisvit.com.ua

Електронні компоненти зі всього світу.
Створюйте з нами!

ЕЛЕКТРОННІ КОМПОНЕНТИ ТА КОНТРАКТНЕ ВИРОБНИЦТВО

SMD UKRAINE

03057, м. Київ, вул. Желябова, 2-А, корп. 7, кім. 303

тел.: (044) 223-12-42
(073) 705-70-05
(096) 705-70-05

info@smdua.in.ua www.smdua.in.ua

SOFTPROM
VALUE ADDED IT DISTRIBUTOR

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

ТОВ "Софтпром Солошнін"




НВП ТЕХНОСЕРВІСПРИВІД
ВСЕ ДЛЯ СИЛОВОЇ ЕЛЕКТРОНИКИ ТА ЕЛЕКТРОТЕХНІКИ

Діоди та містки, діодні, тиристорні, IGBT модулі, силові напівпровідники (SEMİKRON), конденсатори косинусні, імпульсні, моторні (ELECTRONICON)

Продаж, ремонт перетворювачів частоти, пристроїв плавного пуску (DANFOSS)

Для пошти: 04211, Київ-211, а/с 141
Тел./факс: (044) 458-47-66, 456-19-57
E-mail: tsdrive@ukr.net, Web: www.tsdrive.com.ua



Електронні компоненти Рознімачі З'єднувачі

ТЕХПРОГРЕСС
www.tpss.com.ua

ТОВ «КП «Техпрогрес»
04070, м. Київ,
вул. Ігорівська, 8/10-А, оф. 38
(044) 461-91-00



TMS PROJECT

Контрактне виробництво
Сертифіковано ISO9001
Постачання електронних компонентів

Україна, Київ
вул. Марії Капніст, 2а, оф. 114
тел./факс: (044) 501-9335
URL: www.tmsproject.com.ua
E-mail: sales@temys.kiev.ua



ELFA DISTRELEC
ПОСТАВКИ ЕЛЕКТРОННИХ КОМПОНЕНТІВ ЗІ СКЛАДУ У ЄВРОПІ.

ТОК ЕЛЕКТРОНІКС
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



Trafaret

Полімерні трафарети для SMD монтажу

www.trafaret.net.ua
e-mail: order@trafaret.net.ua
тел. 063-851-12-76, 098-871-58-76



PHOENIX CONTACT

phoenixcontact.com



ФІЛУР ЕЛЕКТРИК

Електронні компоненти
Електротехнічна продукція
Технологічне обладнання, інструмент, матеріали

1-й пов., вул. Попудренка, 22/14, м. Київ
тел. 044 495 75 75, моб. 068 496 75 75

www.filur.net
office@filur.net



КОНТРОЛЬНО-ВИМІРОВАЛЬНІ ПРИЛАДИ
АВТОРИЗОВАНИЙ ДИСТРИБ'ЮТОР В УКРАЇНІ
продаж • навчання • сервіс

ТОВ "ЮНІТЕСТ"
вул. Олесь Гончара, 6
04053, м. Київ, Україна
тел: +38 (044) 272-60-94
тел./факс: +38 (044) 272-60-95
e-mail: web@unitest.com
<http://www.unitest.com>

KEYSIGHT TECHNOLOGIES
Авторизований дистриб'ютор



ЮСТАС

Електронні компоненти провідних світових виробників:
конденсатори всіх типів, транзистори, теристори,
мікросхеми, діоди, діодні мости, кварци,
індикаторна продукція всіх типів, вентилятори,
механічні елементи, кабельна продукція

Магазин "Електронних компонентів"
79018, м. Львів, вул. Героїв УПА, 40,
т/ф (032) 237-31-82, (032) 238-94-41
понеділок - субота з 10.00 до 18.00

justas@ipm.lviv.ua
justas_k@ukr.net

<http://justas-electronics.com.ua>
+38 (093) 020-40-51





V Міжнародна спеціалізована виставка
низьковольтної електротехніки
та електроніки

ELECTRO INSTALL 2023

Жовтень 17–19



**МІЖНАРОДНИЙ
ВИСТАВКОВИЙ ЦЕНТР**

Україна, м. Київ, Броварський пр-т, 15

тел.: +38 (095) 268-05-84

e-mail: lyudmila@iec-expo.com.ua

www.iec-expo.com.ua



**НАБЛИЖАЄМО ЕНЕРГЕТИКУ
МАЙБУТНЬОГО СЬОГОДНІ**

**XV МІЖНАРОДНА
СПЕЦІАЛІЗОВАНА ВИСТАВКА
ВІДНОВЛЮВАНОЇ ЕНЕРГЕТИКИ, ЕКОЛОГІЇ,
ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ**



**EcoEnergy
Expo'2023**

**17–19
ЖОВТНЯ**



**МІЖНАРОДНИЙ
ВИСТАВКОВИЙ ЦЕНТР**
м. Київ, Броварський пр-т, 15
станція метро «Лівобережна»



+38 (095) 268-05-84



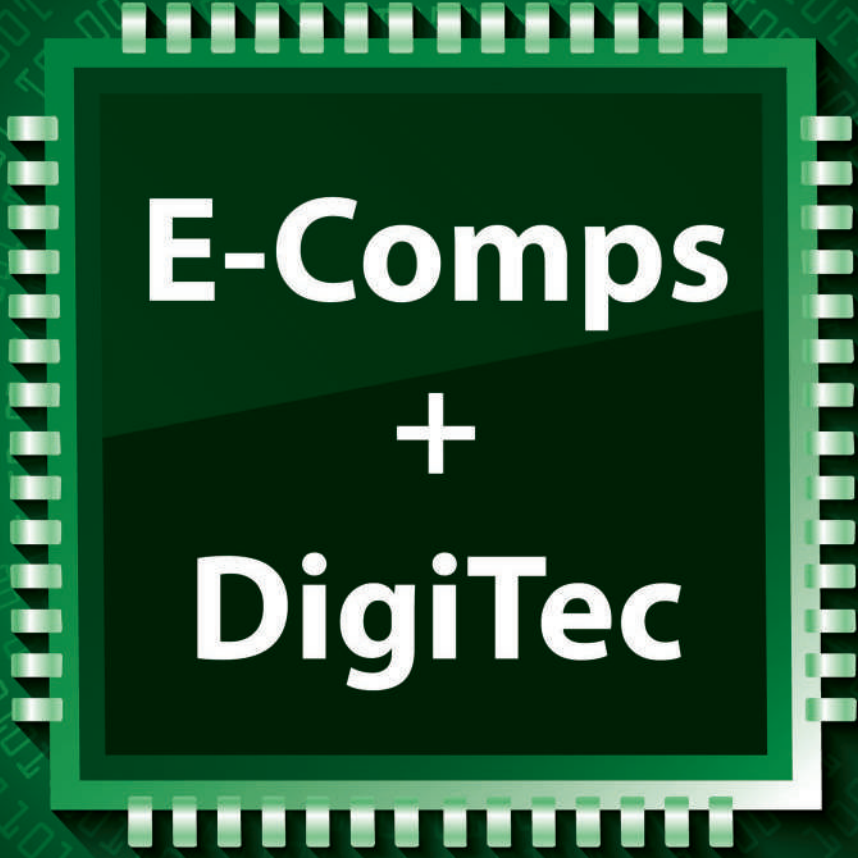
lyudmila@iec-expo.com.ua



www.iec-expo.com.ua



II МІЖНАРОДНА СПЕЦІАЛІЗОВАНА ВИСТАВКА



**E-Comps
+
DigiTec**

17–19 ЖОВТНЯ 2023



МІЖНАРОДНИЙ
ВИСТАВКОВИЙ ЦЕНТР

м. Київ, Броварський пр-т, 15
станція метро «Лівобережна»



+38 (095) 268-05-84



lyudmila@iec-expo.com.ua



www.iec-expo.com.ua



XX МІЖНАРОДНА СПЕЦІАЛІЗОВАНА ВИСТАВКА

ЕНЕРГЕТИКА В ПРОМИСЛОВОСТІ '2023



**17–19
ЖОВТНЯ**



МІЖНАРОДНИЙ
ВИСТАВКОВИЙ ЦЕНТР

м. Київ, Броварський пр-т, 15
станція метро «Лівобережна»



+38 (095) 268-05-84



lyudmila@iec-expo.com.ua



www.iec-expo.com.ua







VII МІЖНАРОДНА
СПЕЦІАЛІЗОВАНА ВИСТАВКА
**MINING &
MINERALS EXPO**



17–19 ЖОВТНЯ 2023

**ТЕХНОЛОГІЇ, ОБЛАДНАННЯ, МАТЕРІАЛИ ДЛЯ
ГІРНИЧОДОБУВНОЇ ТА ВУГІЛЬНОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ**



 **МІЖНАРОДНИЙ
ВИСТАВКОВИЙ ЦЕНТР**
м. Київ, Броварський пр-т, 15
станція метро «Лівобережна»

 + 38 (066) 921-47-51
 sheer@iec-expo.com.ua
 www.iec-expo.com.ua



ВИСТАВКИ 2023

Назва	Сайт	Організатор	Місто	Дата проведення*
SECURITY 2.0 (виставка «Безпека»)	www.bezpeka.ua	Євроіндекс	Київ	04.10–05.10.2023
Electro Install	www.iec-expo.com.ua	МВЦ	Київ	17.10–19.10.2023
EcoEnergy Expo	www.iec-expo.com.ua	МВЦ	Київ	17.10–19.10.2023
E-Comps + DigiTec	www.iec-expo.com.ua	МВЦ	Київ	17.10–19.10.2023
Енергетика в промисловості	www.iec-expo.com.ua	МВЦ	Київ	17.10–19.10.2023
Mining & Minerals Expo	www.iec-expo.com.ua	МВЦ	Київ	17.10–19.10.2023

* Інформація отримана від організаторів виставок. Можливі зміни в залежності від ситуації.

РОЗМІРИ РЕКЛАМНИХ БЛОКІВ

1 сторінка (200×270 мм)*
 2/3 сторінки (112×240 мм)
 1/2 сторінки (170×120/83.5×240 мм)
 1/3 сторінки (54×240/112×120/170×80 мм)
 1/4 сторінки (112×100 мм)
 1/6 сторінки (54×120/112×60/127×55 мм)
 «Візитка» (80×40 мм)

* Для усунення неточностей при обрізанні, розмір реклами, яка подається, повинен бути 210×280 мм (дообрізний формат з урахуванням «вильотів» по 5 мм з кожного боку, які краще заповнити основним фоном реклами). Значимі символи (текст, логотип та інші елементи оформлення, які гарантовано не повинні потрапити під обрізку) не повинні підходити до краю сторінки менш ніж на 10 мм (післяобрізний формат сторінки 200×270 мм).

Редакція журналу «CHIP NEWS» приймає до розміщення тільки повнокольорові рекламні блоки, розміри яких повинні в точності відповідати розмірам, наведеним у таблиці.

Текст реклами повинен бути виключно українською мовою.

ВИМОГИ ДО РЕКЛАМНИХ І АВТОРСЬКИХ МАТЕРІАЛІВ

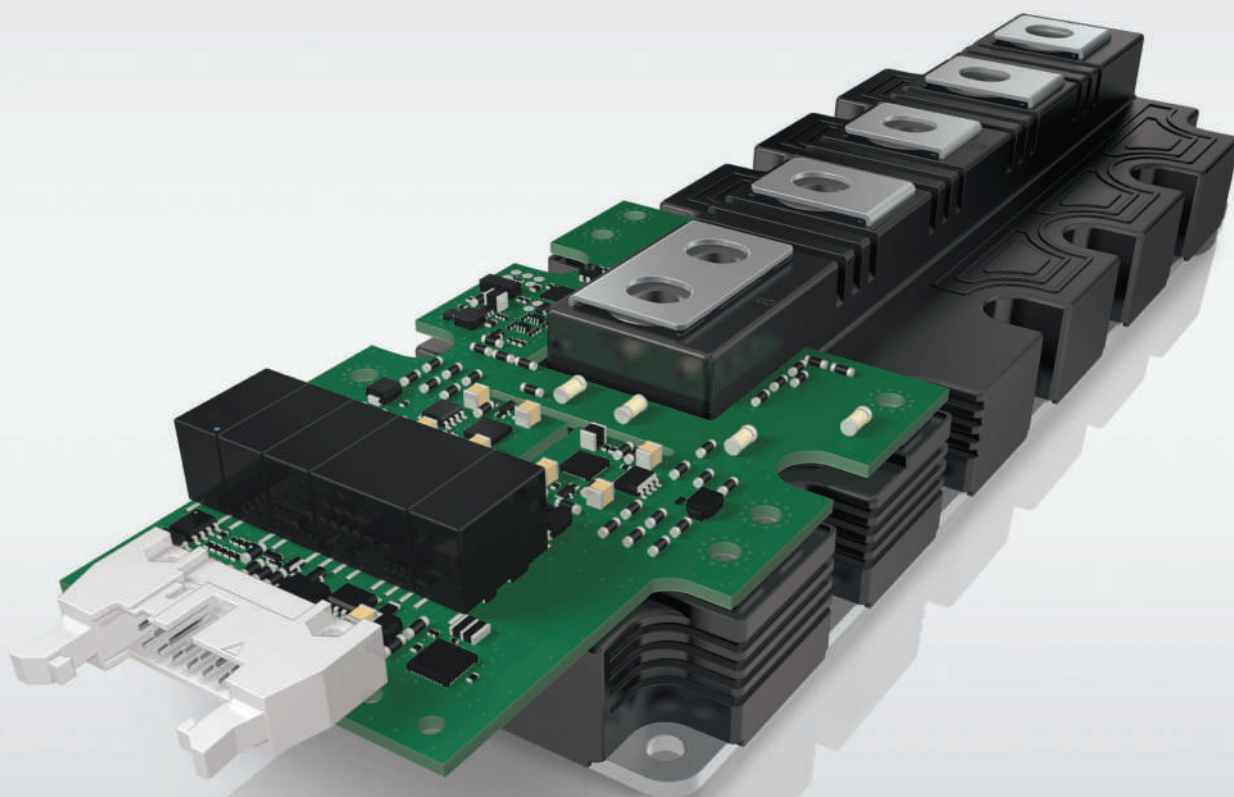
Рекламні матеріали приймаються **тільки українською мовою в форматах «.eps» або «.tif» (300 dpi)**. Кольорова модель — **СМУК**. Сумарний процент фарб — не більше 300%. Якщо в форматі «.eps» є впроваджені растрові зображення, вони також повинні мати роздільну здатність 300 dpi і кольорову модель СМУК. **Всі шрифти обов'язково повинні бути переведені в криві.**

Авторські матеріали. Текст статті приймається в форматі «.doc» (Microsoft Word). Всі рисунки повинні бути підготовлені **тільки в форматах «.eps»**, фотографії — в форматі «.tif» (300 dpi), кольорова модель — **СМУК** і надані окремими файлами. Кожний рисунок повинен мати підписувачий підпис і посилання на нього в статті. Якщо в статті є таблиці, то кожна таблиця повинна мати назву, посилання на неї в статті і надаватись в форматах «*.doc» або «*.xls».



ПОШТОВИЙ ВИПУСК «ПЕС ПАТРОН»

Нове покоління модулів SEMITRANS 10 і цифрових драйверів SKYPER PRIME



Діапазон потужностей 500 кВт–1,5 МВт

Модулі IGBT в стандартному промисловому корпусі

Висока стійкість до термоциклювання

Цифровий драйвер із наднизьким рівнем джиттеру та вихідним струмом 50 А

Два ізольованих канали передачі сигналів сенсорів з ШІМ-модуляцією

Волоконно-оптичний інтерфейс (опціонально)



Моторні
приводи



Альтернативні
джерела енергії



Перетворювачі
потужності



Електротранспорт



www.semikron-danfoss.com



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

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

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



MASTEK

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

Авторизований дистриб'ютор
WeEn в Україні

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