

# Огляд і застосування мікросхем змішаних сигналів GreenPAK

**У статті представлено системи GreenPAK — велике сімейство економічних програмованих пристроїв з non-volatile memory (NVM), які випускає фірма Dialog Semiconductors (на сьогодні — частина компанії Renesas), що дають змогу інтегрувати багато системних функцій у єдину схему для користувача та водночас мінімізувати кількість компонентів, унаслідок чого можна заощадити не тільки простір на платі, а й енергоспоживання.**

GreenPAK — досить специфічні системи. Їх не можна віднести ні до класу програмованих аналогових матриць (FPAА), ні до класу звичайних ПЛІС.

На відміну від ПЛІС, внутрішня конфігурація мікросхем GreenPAK зібрана з готових високорівневих модулів. У мініатюрних корпусах розміром 1.6 × 2 × 0.55 мм містяться:

- 8-бітний АЦП послідовного наближення;
- ЦАП;
- аналогові компаратори;
- джерело опорної напруги;
- комбінаторні таблиці перетворення (LUT);
- багатофункціональні комірки;
- цифрові компаратори/блоки ШІМ;
- лічильники та затримки;
- D-тригери;
- програмовані лінії затримки з детектуванням фронтів;
- три генератори тактової частоти;
- блок скидання під час увімкнення живлення.

Звичайно, ці мікросхеми не настільки гнучкі, як ПЛІС, зате працювати з ними набагато простіше: для цього не потрібно вивчати щось нове. Як середовище проектування використовується програмне забезпечення Go Configure Software Hub (*GreenPAK Designer*) і набір апаратних засобів розробки GreenPAK.

Простий інтерфейс програми GreenPAK Designer дає змогу створювати внутрішню конфігурацію мікросхем, рисуєчи необхідні зв'язки між блоками.

З мікросхемами GreenPAK можна без особливих складнощів побудувати систему збирання даних, систему оброблення змішаних сигналів тощо та інтегрувати ці мікросхеми у виріб, об-

мінюючись даними з мікроконтролером за послідовним інтерфейсом. Але найголовніша особливість GreenPAK полягає в можливості перебудувати внутрішню конфігурацію мікросхеми. Це, по-перше, дає змогу налагоджувати виріб «на ходу», без перепаювання мікросхем, а по-друге, створювати пристрої з різними функціями. Наприклад, використовуючи одну й ту саму плату, можна випускати серію промислових карт збору даних — відрізнятися в них буде тільки конфігурація мікросхеми GreenPAK і програма мікроконтролера.

Мікросхеми GreenPAK можуть використовуватися при створенні пристроїв переносної електроніки (планшети, смартфони, ноутбуки), «розумного» одягу, «Інтернету речей», а також у промислових пристроях збирання даних і системах автоматизації, в обладнанні передачі даних.

Усі мікросхеми можна розбити на кілька сімейств, кожне з яких має вузьку спеціалізацію. Представники сі-

мейств відрізняються набором аналогових блоків, складом комбінаторної логіки та можливостями програмованої матриці з'єднань. У підсумку кожна мікросхема має мінімальні габарити, відмінні характеристики й низьку вартість. При цьому користувач вибирає потрібну мікросхему, виходячи з конкретного завдання. Далі розглянемо кожне сімейство.

## GREENPAK 3 IN-SYSTEM PROGRAMMABILITY

До цього сімейства належать мікросхеми SLG46826 і SLG46824, які є першими мікросхемами GreenPAK на ринку, що підтримують внутрішньо-системне програмування з використанням послідовного інтерфейсу I<sup>2</sup>C. Це спрощує процес розроблення, оскільки дає змогу встановлювати незапрограмовану мікросхему GreenPAK на друковану плату і підтримує програмування енергонезалежної пам'яті в системі, що спрощує налагодження всередині системи. Така гнучкість корисна і у виробничому процесі, оскільки можна легко змінити конфігурацію або додати функціональність пристрою, запрограмувавши енергонезалежну пам'ять безпосередньо на виробничій лінії.

NVM на цих мікросхемах розрахована на 1 000 циклів стирання/запису.

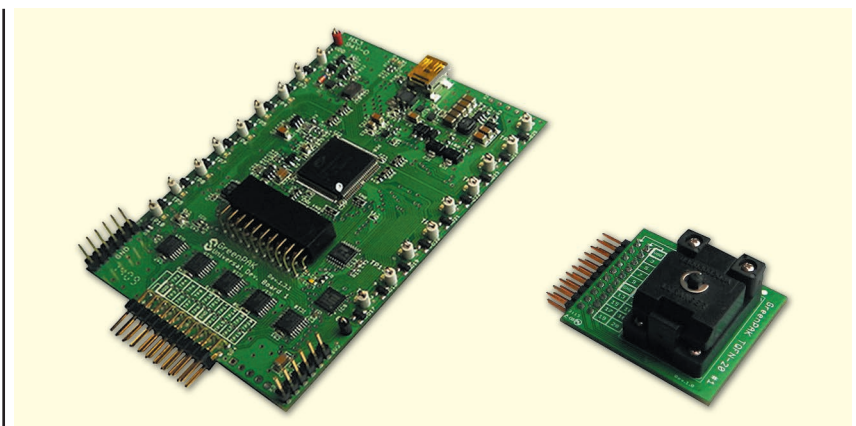


Рис. 1. Інструмент GreenPAK Advanced Development Board SLG4DVKADV

Крім того, SLG46826 включає 2 кбіт пам'яті емуляції EEPROM, яку можна використовувати як I<sup>2</sup>C-сумісну послідовну EEPROM на платі — там можна зберігати, наприклад, резервні копії даних конфігурації, контрольні суми або серійні номери.

Як програматор для мікросхем SLG46824, SLG46826, і SLG47004 можна використовувати GreenPAK Serial Debugger Board SLG4DVKGSD [1].

Існує і варіант програмування мікросхем SLG46824 і SLG46826 за допомогою Arduino. Докладніше про це можна дізнатися на офіційному сайті в документі AN-CM-255 SLG46824/6 MTP Arduino Programming Example.

Крім того, є ще один інструмент для налагодження та програмування GreenPAK — Advanced Development Board SLG4DVKADV [2]. Далі буде наведено опис налагодження проєкту за допомогою цього інструменту (рис. 1).

## HIGH VOLTAGE GREENPAKS

До цього сімейства належить мікросхема SLG47105.

Програмована матриця змішаних сигналів High Voltage GreenPAK з чотирма виходами з робочою напругою до 13.2 В і струмом до 2 А на вихід SLG47105 поєднує в собі логіку змішаних сигналів і функції високовольтного H-моста. Мікросхема випускається в невеликому корпусі QFN розміром 2 × 3 мм і є одноразово програмованою.

Вбудована функція подвійного H-моста/чотириканального напівмоста дає змогу керувати різними навантаженнями до 2 А на вихід за напруги до 13.2 В. Вдосконалені макрокомірки широтно-імпульсної модуляції (ШИМ) SLG47105 забезпечують можливість керування кількома двигунами з різними частотами PWM і робочими циклами. Низьке споживання струму в режимі холостого ходу в поєднанні з компактними розмірами ще більше розширює сферу застосувань. До складу цієї мікросхеми входять такі функціональні макрокомірки:

- Чотири макрокомірки High Voltage, Current Drive.
- Дві 8-бітні макрокомірки PWM із вбудованим 16-байтовим реєстровим файлом
- Два осцилятори:
  - з частотою 2.048 кГц;
  - із частотою 25 МГц.
- Два високошвидкісних аналогових компаратори загального призна-

Таблиця 1. Мікросхеми сімейства Automotive GreenPAK Programmable Mixed-Signal

Назва	GPIO	Цифрові макрокомірки	Аналогові макрокомірки	Лінії затримки/лічильники	Комунікаційний інтерфейс
SLG46620	18	26LUT, 12DFF/LATCH, 3DCMP, 3PWM	6ACMP, 1ADC, 2DAC	2 Pipe Delay, 10 CNT/DLY	SPI
SLG46827	17	17DFF/LATCH, 19LUT	4ACMP, 1 Temp Sensor	8CNT, 1 Pipe Delay	I <sup>2</sup> C
SLG46855	12	23LUT, 1DFF/LATCH	4 ACMP	8 CNT/DLY, 1 Pipe Delay	I <sup>2</sup> C
SLG46538	18	8-state ASM, 17 LUT, 8 DFF/LATCH	4 ACMP	1 Pipe Delay 7, CNT/DLY	I <sup>2</sup> C

чення з вбудованою опорною напругою.

- Диференціальний підсилювач з інтегратором і аналоговим компаратором.
  - Два компаратори вимірювання струму з вбудованим джерелом опорної напруги.
  - 12 макроелементів з комбінованими функціями:
    - три DFF/Latch або 2-бітні LUT;
    - один Programmable Pattern Generator/2-бітна LUT;
    - шість DFF/Latch або 3-бітних LUT;
    - один Pipe Delay/Ripple Counter/3-бітна LUT;
    - один DFF/Latch або 4-бітна LUT.
  - Макрокомірка послідовного інтерфейсу I<sup>2</sup>C.
  - Датчик температури.
  - Фільтр із детектором фронтів.
  - Програмована затримка з детектором фронту.
  - Супервізор подачі живлення Power on reset (POR).
  - GPIO з високою напругою до 13.2 В і сильним струмом до 2 А.
  - H-міст із незалежним керуванням напівмостами.
  - 8-бітні ШІМ-макрокомірки, що налаштовуються.
- Діапазон напруг живлення мікросхеми:
- від 2.5 В (±8%) до 5 В (±10%) VDD1;
  - від 3.3 В (±10%) до 12 В (±10%) VDD2.
- У мікросхемі реалізовано вбудовані захисти:

- Блокування за зниженої напруги.
  - Захист від надструму.
  - Теплове вимкнення.
- Діапазон робочих температур: -40...+85 °С.

Цю мікросхему можна застосовувати в таких галузях:

- «Розумні» замки і клапани.
- Банкомати і POS-принтери.
- Драйвери MOSFET.
- Камери відеоспостереження.
- Іграшки.
- Робототехніка.
- Персональні комп'ютери та сервери.
- Оргтехніка.

- Пристрої для особистого та медичного догляду.
- Різна побутова електроніка.

## AUTOMOTIVE GREENPAK PROGRAMMABLE MIXED-SIGNAL

Мікросхеми цього сімейства створені для застосування в автомобільній промисловості та є економічними програмованими пристроями з NVM, що дають змогу інтегрувати безліч системних функцій автомобільної електроніки в одну IC, яка відповідає вимогам AEC-Q100. Застосування цих мікросхем дає змогу помітно знизити вартість системи, зменшити кількість компонентів і знизити енергоспоживання.

До цього сімейства входять мікросхеми, перелічені в таблиці 1.

## ANALOGPAK

Мікросхеми сімейства, що вирізняються низьким енергоспоживанням, мініатюризацією і функціональністю, підходять для застосування в сучасній побутовій електроніці.

У складі мікросхем цього сімейства, крім цифрових макрокомірок, передбачено високопродуктивні аналогові блоки, як-от операційні підсилювачі, якими можна конфігурувати та керувати користувацькими логічними функціями.

Області застосування мікросхем AnalogPAK:

- Аналоговий інтерфейс датчиків газу.
- Аналоговий інтерфейс мостових датчиків.
- Інструментальні підсилювачі зі зміщенням і регулюванням посилення.
- Аналогові фільтри, що налаштовуються.
- Аналогові інтерфейси фотодіода.
- Генератори імпульсів із підстроюванням частоти.
- Тепловий захист з регульованим порогом
- Інші аналогові схеми, критичні до розміру/ціни.

Таблиця 2. Мікросхеми сімейства AnalogPAK		
Продукт	Опис	Застосування
SLG47004	Програмована ASIC змішаних сигналів з операційними підсилювачами, цифровими реостатами, EEPROM і широким набором аналогових і цифрових макрокомірок	Інтерфейси датчиків, підсилювачі з програмованим підсиленням, інструментальні підсилювачі, портативна та кишенькова електроніка, промислова електроніка, побутова техніка та «Інтернет речей».
SLG88103	Двоканальний КМОП-операційний підсилювач з rail-to-rail входом/виходом 375 нА	Пристрої з батарейним живленням, портативні пристрої, носимі пристрої, датчики, медичні монітори, детектори диму, активні зчитувачі RFID
SLG88104	Чотириканальний КМОП-операційний підсилювач з rail-to-rail входом/виходом 375 нА	Пристрої з батарейним живленням, портативні пристрої, носимі пристрої, датчики, медичні монітори, детектори диму, активні зчитувачі RFID

До сімейства AnalogPAK входять мікросхеми, зазначені в таблиці 2.

## GREENPAK 3 ASYNCHRONOUS STATE MACHINE

Мікросхеми цього сімейства GreenPAK містять макрокомірку асинхронно-кінцевого автомата (*Asynchronous State Machine, ASM*), що дає змогу фахівцям розробляти власні конструкції кінцевих автоматів. Є можливість конфігурувати стани кінцевого автомата, задавати переходи між станами та призначати сигнали, які запускатимуть кожен перехід між станами. Цю макрокомірку також можна гнучко під'єднати до контактів вводу/виводу та інших ресурсів GreenPAK для призначення сигналів переходу між станами, а виходи з макрокомірки можна спрямувати на інші макрокомірки або контакти введення/виводу.

Два важливі робочі параметри цієї макрокомірки — час переходу менше ніж 1 мкс зі стану в стан і струм у режимі очікування менше ніж 1 мкА, коли немає активних станів.

Макрокомірку ASM конфігурують у спеціальному вікні редактора ASM у програмному забезпеченні GreenPAK Designer.

Приклад роботи редактора ASM буде показано нижче.

Редактор дає змогу гнучко задавати:

- Прапорці для вибору станів у проєкті, аж до допустимої максимальної кількості станів.
- Імена станів.
- Додавати та видаляти переходи між станами.
- Розташовувати діаграму станів для зручності перегляду.
- Встановлювати значення вихідних сигналів.

Усередині основного графічного інтерфейсу GreenPAK Designer відображається макрокомірка ASM із входами, що керують переходами станів, і виходами, які можна спрямувати на інші внутрішні ресурси або на виводи.

Усередині кожного стану відображаються дозволені стани з вхідними даними, які під час спрацювання викличуть перехід у відповідний стан.

Зв'язок між ресурсами, що використовуються для виконання переходів між станами, і посиланнями на переходи між станами також відображається у вихідному вікні редактора ASM з мітками на кожному із сигналів переходу між станами, що показують джерело сигналу.

Оскільки для цієї макрокомірки не потрібен тактовий вхід, вона буде споживати менше за 1 мкА, коли немає активних переходів між станами.

Це дає розробнику неймовірну гнучкість для створення проєктів із низьким енергоспоживанням за лічені хвилини, що є особливо цінним під час розроблення систем, що керуються подіями, які очікують на тривалі проміжки часу з невеликою активністю, оскільки макрокомірка ASM може залишатися в стані з низьким енергоспоживанням в очікуванні сигналу керування та реагувати менш ніж за 1 мкс на зміну стану.

## GREENPAK 3 LOW DROP OUT REGULATORS

Проектування систем живлення в епоху мобільних пристроїв, і особливо носимих пристроїв, є складнішим завданням, ніж будь-коли.

Кінцеві користувачі цих пристроїв хочуть, щоб вони стали меншими та легшими, але водночас мали триваліший термін служби батареї.

Настільки протилежні цілі, а також необхідність зниження вартості та зменшення розмірів друкованих плат лише деякі із завдань, що стоять перед розробником системи електроживлення.

Для того, щоб подолати низку проблем, з якими стикається розробник системи живлення для мобільних пристроїв, було створено концепцію Flexible Power Islands. Використовуючи Flexible Power Islands, проєктувальники можуть розділити свою складну енергосистему

на кілька локальних областей живлення (*Power Regions*), кожна з яких охоплює керування та контроль живлення, що підводиться до навантаження.

Цей метод забезпечує вищу продуктивність і ефективніші рішення, які можна гнучко адаптувати до вимог кожної окремої системи.

У деяких випадках використання Flexible Power Islands може бути дуже корисним для розширення функцій керування живленням, доданих у мікросхеми керування живленням (*Power Management IC, PMIC*).

Для невеликих і простих систем, що мають до шести шин живлення, концепція Flexible Power Islands може забезпечити більшість або всі необхідні функції системи живлення. У цьому разі Flexible Power Islands може виконувати роль  $\mu$ PMIC, але з додатковою перевагою вищого рівня гнучкості та налаштування.

Концепція Flexible Power Islands може бути широко застосована в таких сферах:

- Портативні пристрої.
- Носима електроніка.
- Обчислення та зберігання.
- Побутова електроніка.
- «Розумний» будинок.
- Мережі та комунікації
- Медицина та промисловість.

Представником цього сімейства є мікросхема SLG46580.

З SLG46580 можна реалізувати досить багато різноманітних функцій системи живлення, разом з моніторингом живлення, послідовністю ввімкнення живлення, скиданням і перемиканням живлення, і все це вмістити в крихітному, 2 × 3 мм 20-контактному корпусі.

Мікросхема SLG46580 оснащена чотирма LDO, кожен з максимальним вихідним струмом 150 мА. Кожен з LDO має програмований рівень вихідної напруги, який може бути встановлений на одне з 32 різних значень у межах 0.9–4.35 В, а також має програмовані параметри для вибору швидкості наростання та виявлення несправностей.

Переваги GreenPAK з LDO:

- Висока інтеграція: включає безліч компонентів, які зазвичай зустрічаються в енергосистемах.
- Маленький розмір: корпус 2 × 3 STQFN для невеликих плат.
- Трирежимні регулятори LDO 150 мА:
  - режим 0: вихідний сигнал 150 мА за струму спокою ~60 мкА;
  - режим 1: вихідний струм 100 мкА за струму спокою ~6 мкА;

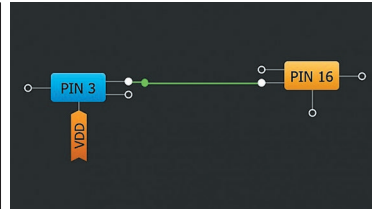
- режим обходу: діє як перемикач навантаження.
- Мікросхеми містять різноманітний набір макрокомірок:
  - аналогові компаратори;
  - логічні макрокомірки;
  - асинхронний кінцевий автомат (ASM);
  - інтерфейс веденого протоколу I<sup>2</sup>C.

Макрокомірка асинхронного кінцевого автомата (ASM) оптимальна для керування гнучкою архітектурою систем живлення. Інструменти розроблення на основі графічного користувачького інтерфейсу (GUI) дають змогу швидко визначати робочі стани, допустимі переходи між станами та пов'язувати сигнали, які керують кожним переходом стану. Використання інших макрокомірок GreenPAK дозволяє легко виконувати переходи станів на основі застосування макрокомірки затримки (CNT/DLY) або логічних функцій (LUT). Приклад кінцевого автомата описано в демонстраційному проєкті AN-1105 A State Machine Linear Sequencer [3].

### Керування LDO за допомогою ресурсів GreenPAK

LDO, що включені в ці пристрої, дають змогу динамічно керувати багатьма аспектами виводу під час роботи:

- Керування вихідною напругою: кожен LDO може підтримувати дві вихідні напруги, обрані користувачем. Від матриці підключення надходить внутрішній сигнал, який може перемикає вихідну напругу під час роботи.
- Керування споживаною потужністю: кожен стабілізатор LDO може працювати в режимі MODE0 (стандартний активний режим, що підтримує повний вихідний сигнал 150 мА), а також у режимі MODE1 (режим низького енергоспоживання з максимальним вихідним сигналом 100 мкА і зменшеним споживанням струму спокою).
- Режим перемикача навантаження: кожен LDO має опцію, яку обирає користувач, за якої регулятор перестав регулювати, а силовий польовий МОН-транзистор вмикається як перемикач живлення, пропускаючи напругу, що подається на VIN, безпосередньо на VOUT.
- Зміна поведінки LDO через I<sup>2</sup>C: усі перелічені вище функції керування також можна змінити за допомогою команд I<sup>2</sup>C.



**Рис. 2. Пряме з'єднання з мікросхемою GreenPAK для передавання сигналів у двох діапазонах напруги**

### DUAL SUPPLY GREENPAK

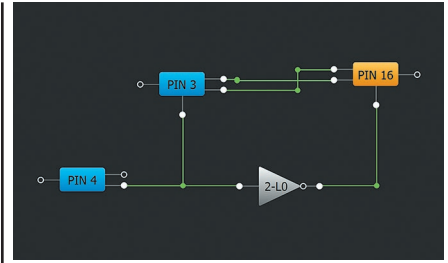
Dual Supply GreenPAK призначений для гнучкого сполучення двох незалежних доменів напруги з використанням програмованої логіки, синхронізації та аналогових компонентів, доступних на всіх пристроях сімейства GreenPAK.

У мікросхем цього сімейства є можливість легко додавати перетворення рівнів до набору функцій, реалізованих в індивідуальному проєкті. Існує можливість гнучкого перетворення рівня або з області вищої напруги в область нижчої напруги, або в іншому напрямку.

Найпростіший варіант використання цього сімейства пристроїв — пряме з'єднання для передавання сигналів у двох діапазонах напруги. На рисунку 2 контакти вводу/виводу, які під'єднуються до основної напруги живлення (Vdd), виділено синім кольором, а контакти вводу/виводу, під'єднані до джерела нижчої напруги (Vdd2), — жовтим. Виконання прямого дротового з'єднання, як показано тут, дасть змогу пройти сигналу від контакту 16 у домені Vdd2 до контакту 3 у домені Vdd. Також є можливість керувати передаванням сигналів у тому чи іншому напрямку під керуванням іншого сигналу. Приклад показано на рисунку 3, де сигнал може виходити або від контакту 3, або від контакту 16, при цьому прямиий вибір здійснюється залежно від стану контакту 4.

### GREENPAK 3 LOAD SWITCHES

До складу мікросхем цього сімейства входять силові ключі для комутації напруги живлення. Це дає можливість керувати перемиканням живлення за великого струму навантаження. Керування внутрішніми перемикачами живлення реалізується за допомогою простого під'єднання їх до контактів вводу/виводу, логічних комірок, макрокомірок лічильників/затримки або інших макрокомірок GreenPAK, які виступають як джерела сигналів керування.



**Рис. 3. Керування передаванням сигналів**

Мікросхеми цього сімейства дають змогу керувати перемиканням струму до 2 А і можуть застосовуватися в різних випадках:

- поділ навантажень із незалежним керуванням і захистом;
- послідовне включення навантажень;
- зменшення струму витoku під час вимкнення живлення із застосуванням комутатора навантаження;
- зменшення пускового струму;
- запобігання плавному спаду напруги живлення після вимкнення живлення навантаження;
- усунення впливу брязкоту на вході керування на вихідний сигнал;
- захист від КЗ;
- захист від перегрівання;

Застосування мікросхем сімейства GreenPAK with Load Switches дає змогу значно скоротити кількість компонентів і площу, яку вони займають на платі, а також розширити функціональні можливості.

### Далі буде

#### Література:

1. User Manual. GreenPAK Serial Debugger UM-GP-004. <https://www.renesas.com/en/document/mat/um-gp-004-greenpak-serial-debugger-user-manual>
2. User Manual. GreenPAK Advanced Development Platform UM-GP-002. <https://www.renesas.com/en/document/mat/greenpak-advanced-development-platform-user-guide?language=en>
3. AN-1105 A State Machine Linear Sequencer. <https://www.renesas.com/en/document/apn/1105-state-machine-linear-sequencer>
4. AN-1195 Supercapacitor-Based Backup Solutions: a Design Toolkit. <https://www.renesas.com/en/document/apn/1195-supercapacitor-based-backup-solutions-design-toolkit>
5. Dobkin B., Hamburger J. Section 16, Supercapacitor Charging. Analog Circuit Design Volume Three: Design Note Collection. Newnes, 2015.

CN