

ПРИВАТНЕ АКЦІОНЕРНЕ ТОВАРИСТВО «ВИШИЙ НАВЧАЛЬНИЙ
ЗАКЛАД «МІЖРЕГІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ УПРАВЛІННЯ
ПЕРСОНАЛОМ»



МЕТОДИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ ЩОДО
ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ САМОСТІЙНОЇ РОБОТИ
СТУДЕНТІВ З ДИСЦИПЛІНИ

«Робототехніка»

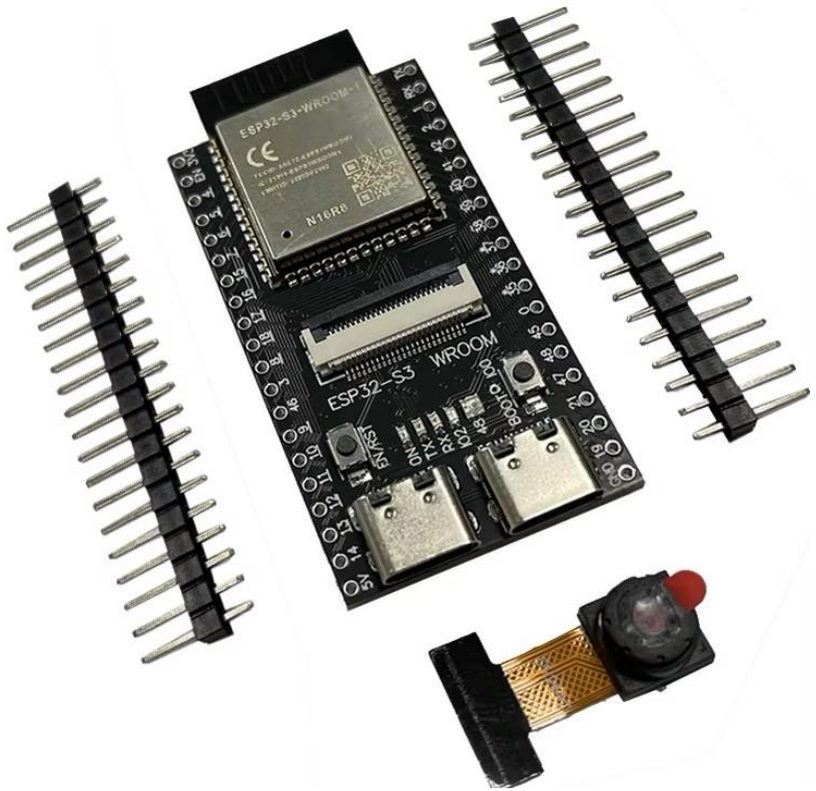
Частина 2

Київ, 2024



Espressif

ESP32-S3 N16R8



Методичні рекомендації щодо забезпечення самостійної роботи студентів з дисципліни «Робототехніка»-ч.2 для студентів усіх форм навчання спеціальності 121 «Інженерія програмного забезпечення».

Методична розробка містить опис загальної інформації, завдання щодо самостійного вивчення студентами та самоконтролю, індивідуальні завдання, складається з трьох частин. Призначена для методичного забезпечення самостійної роботи студентів денної форми навчання, які вивчають навчальну дисципліну «Робототехніка»

Розробники:

ГОРДІЄНКО Олександр Миколайович, кандидат технічних наук, доцент кафедри комп'ютерних інформаційних систем та технологій Інститут комп'ютерно-інформаційних технологій та дизайну ПрАТ «ВНЗ «Міжрегіональна Академія управління персоналом»

КОВАЛЬ Аліна Олександрівна, викладач кафедри комп'ютерних інформаційних систем та технологій Інститут комп'ютерно-інформаційних технологій та дизайну ПрАТ «ВНЗ «Міжрегіональна Академія управління персоналом»

Розглянуто та ухвалено на засіданні кафедри комп'ютерних інформаційних систем та технологій Інституту комп'ютерно-інформаційних технологій та дизайну ПрАТ «ВНЗ «Міжрегіональна Академія управління персоналом»

Протокол №__ від «__» _____ 2024 р.

Завідувач кафедри _____ КАВУН Сергій Віталійович

Гордієнко О.М., Коваль А.О. Методичні рекомендації щодо забезпечення самостійної роботи студентів з дисципліни «Робототехніка» .-ч.2. – К.: МАУП, 2024. – 73 с.

Міжрегіональна Академія управління персоналом (МАУП) 2024 ©

ЗМІСТ

ЗМІСТ	4
ESP32-S3-WROOM-1	7
Функції.....	7
Опис.....	10
Застосування.....	12
Опис виводів.....	13
Конфігураційні виводи	15
Процесор і пам'ять	18
Процесор.....	18
Внутрішня пам'ять	19
Зовнішня флеш-пам'ять та RAM.....	20
Кеш.....	21
Контролер eFuse	22
Розширення інструкцій процесора	24
Годинник реального часу та управління низьким споживанням енергії.....	25
Блок управління живленням (PMU).....	25
Копроцесор з наднизьким споживанням.....	26
Аналогова периферія	28
Аналого-цифровий перетворювач (АЦП)	28
Датчик температури	28
Датчик дотику	29
Компоненти системи.....	30
Перезавантаження та тактування	30
Матриця переривань	31
Контроль доступу	32
Системні регістри.....	34
Контролер GDMA.....	34
Тактова частота процесора	35

Годинник RTC.....	36
Виявлення збою годинника	37
Цифрова периферія.....	38
Матриця ІО MUX і GPIO	38
Послідовний периферійний інтерфейс (SPI)	40
UART Контролер	43
Інтерфейс I2C	44
Інтерфейс I2S.....	44
LCD інтерфейс	45
Інтерфейс камери	45
пристрій дистанційного управління	46
Контролер підрахунку імпульсів.....	47
Світлодіодний ШІМ-контролер.....	48
Повношвидкісний інтерфейс USB 2.0 OTG	49
Контролер USB Serial/JTAG.....	51
ШІМ керування двигуном (MCPWM).....	52
Хост-контролер SD/MMC.....	53
Контролер TWAI®	53
Радіо та Wi-Fi	55
Приймач 2.4 ГГц.....	55
Передавач 2.4 ГГц.....	56
Генератор тактового сигналу	57
Wi-Fi радіо та базова смуга	57
Wi-Fi MAC (Media Access Control).....	59
Мережеві функції	60
Bluetooth LE.....	60
Bluetooth LE радіо та PHY	60
Контролер каналу зв'язку Bluetooth LE	61
Таймери та система спостереження (Watchdog)	63
Таймери загального призначення.....	63

Системний таймер.....	64
Watchdog таймери.....	65
XTAL32K Watchdog таймери	66
Криптографія/Компоненти безпеки	67
Шифрування/дешифрування зовнішньої пам'яті .	67
Безпечне завантаження	67
Прискорювач HMAC	68
Контроллер системи світу	69
Прискорювач SHA	70
Прискорювач AES.....	71
Акселератор RSA.....	72
Генератор випадкових чисел	72

ESP32-S3-WROOM-1

ФУНКЦІЇ

Центральний процесор і пам'ять на кристалі

- Серія вбудованих SoC ESP32-S3, оснащена двоядерним 32-бітним мікропроцесором Xtensa® LX7 (з блоком FPU для обчислень з одинарною точністю), із частотою до 240 МГц.
- 384 КБ ROM (постійної пам'яті).
- 512 КБ SRAM (статичної оперативної пам'яті).
- 16 КБ SRAM у модулі реального часу (RTC).
- До 16 МБ PSRAM (псевдостатичної оперативної пам'яті).

Wi-Fi

- 802.11 b/g/n
- Швидкість передачі даних: 802.11n до 150 Мбіт/с.
- Агрегація A-MPDU та A-MSDU.
- Підтримка інтервалу захисту 0.4 мкс.
- Діапазон центральних частот робочого каналу: 2412 ~ 2484 МГц.

Bluetooth

- Bluetooth LE: Bluetooth 5, Bluetooth mesh
- Швидкість: 125 Kbps, 500 Kbps, 1 Mbps, 2 Mbps
- Рекламні розширення
- Кілька рекламних наборів
- Алгоритм підбору каналу #2
- Внутрішній механізм співіснування Wi-Fi та Bluetooth для спільного використання однієї антени

Периферія

- GPIO (виводи загального призначення)
- SPI (інтерфейс послідовного периферійного пристрою)
- LCD (інтерфейс для рідкокристалічних дисплеїв)
- Камерний інтерфейс
- UART (універсальний асинхронний приймально-передавальний пристрій)
- I2C (інтерфейс послідовного підключення)
- I2S (інтерфейс для цифрового аудіо)
- Інтерфейс для дистанційного керування
- Лічильник імпульсів
- LED PWM (широтно-імпульсна модуляція для світлодіодів)
- USB 2.0 OTG (On-The-Go) з повною швидкістю
- USB Serial/JTAG контролер
- MCPWM (модуль керування широтно-імпульсною модуляцією)

- SDIO (інтерфейс для підключення SD-карт) хост
- GDMA (генератор DMA)
- Контролер TWAI® (сумісний з ISO 11898-1)
- ADC (аналогово-цифровий перетворювач)
- Датчик дотику
- Датчик температури
- Таймери та watchdog (контролери стеження).

Інтегровані компоненти на модулі

- Кварцовий генератор 40 МГц
- Флеш-пам'ять Quad SPI до 16 МБ

Антенa

- Вбудована антена, що надрукована платі

Умови експлуатації

- Робоча напруга/джерело живлення: 3.0 ~ 3.6 В
- Робоча температура навколишнього середовища: -40 ~ 65 °С

ОПИС

ESP32-S3-WROOM-1 — це потужний, універсальний модуль мікроконтролера з підтримкою Wi-Fi та Bluetooth LE, який побудований на базі серії SoC ESP32-S3. Завдяки багатому набору периферійних пристроїв та прискоренню обчислень для нейронних мереж і сигналів, цей модуль є ідеальним вибором для різноманітних застосувань, пов'язаних з AI (штучним інтелектом) та IoT (інтернетом речей), таких як:

- Виявлення ключових слів
- Розпізнавання голосових команд
- Виявлення та розпізнавання облич
- Розумний дім
- Розумні прилади
- Панелі управління
- Розумні динаміки

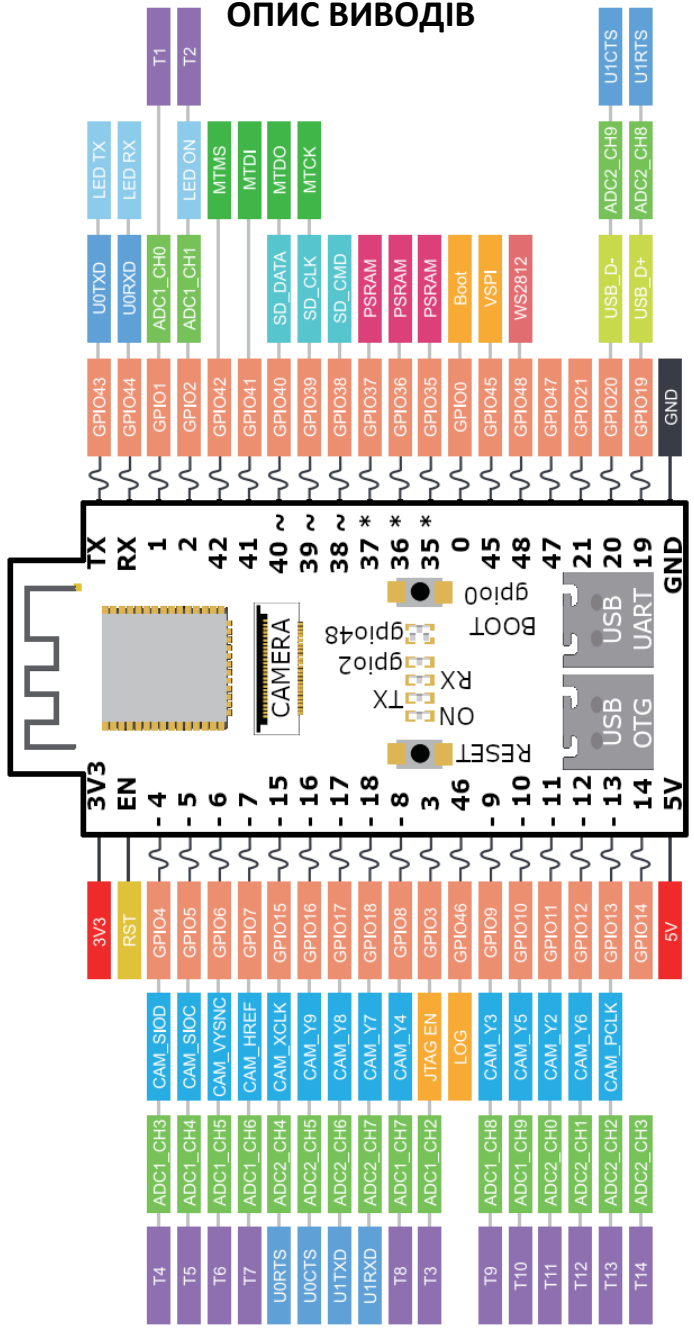
ESP32-S3-WROOM-1 постачається з PCB-антенною. Модулі можуть працювати в діапазоні температур від -40 до 65 °C. Якщо функція корекції помилок (ECC) для PSRAM увімкнена, максимальна робоча температура може бути підвищена до 85 °C, хоча корисний обсяг PSRAM зменшиться на 1/16.


В основі модулів лежить серія SoC ESP32-S3, мікропроцесор Xtensa® 32-бітний LX7, який працює на частоті до 240 МГц. Ви можете вимкнути процесор і використовувати низькопотужний сопроцесор для постійного моніторингу периферійних пристроїв на предмет змін або перетворення порогів. ESP32-S3 інтегрує широкий набір периферійних пристроїв, включаючи SPI, інтерфейс для LCD, камери, UART, I2C, I2S, інтерфейс для дистанційного керування, лічильник імпульсів, LED PWM, USB Serial/JTAG контролер, MCPWM, SDIO (хост), GDMA, контролер TWAI® (сумісний з ISO 11898-1), ADC, датчик дотику, датчик температури, таймери та контролери стеження, а також до 45 GPIO. Крім того, він включає інтерфейс USB 2.0 On-The-Go (OTG) для забезпечення USB-зв'язку.

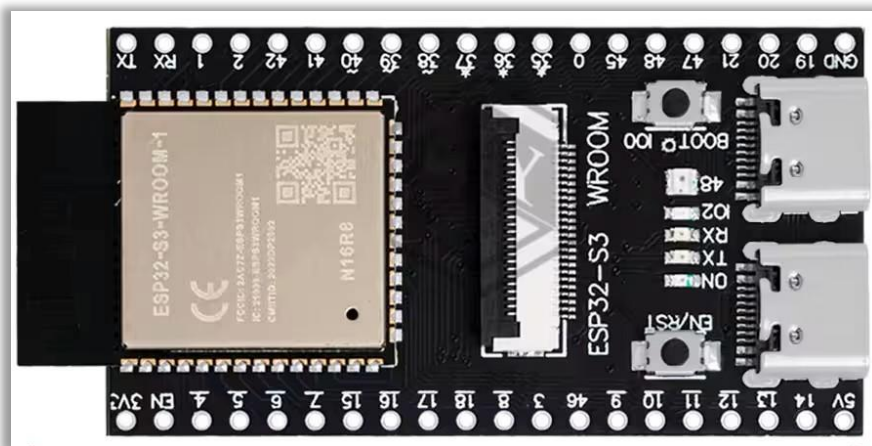
ЗАСТОСУВАННЯ

- Загальний низькопотужний IoT-сенсорний хаб
- Загальні низькопотужні IoT-логери даних
- Камери для потокового відео
- Пристрої «over-the-top» (OTT)
- USB-пристрої
- Розпізнавання мови
- Розпізнавання зображень
- Мережа Mesh
- Автоматизація будинку
- Розумні будівлі
- Промислова автоматизація
- Розумне сільське господарство
- Аудіо-застосунки
- Застосунки в охороні здоров'я
- Іграшки з підтримкою Wi-Fi
- Носима електроніка
- Застосунки в роздрібній торгівлі та харчуванні

ОПИС ВИВОДІВ



Power	PWD
Ground	GND
Serial for Debugging/Programming	Serial
Analog-to-Digital Converter	ADCX_CH
Reset the chip	RESET
GPIO Input and Output	GPIOX
Touch Sensor Input Channel	TOUCHX
Strapping Pin Functions	STRAP
On-board SD Card Pin	SD
On-board LED Pin	LED
On-board WS2812 Pin	WS2812
Built-in expansion memory chip pin	PSRAM
USB Function Pin	USB
Camera Pin	CAMERA
Jtag for Debugging	JTAG
PWM Capable Pin	



- Выводы для камеры

* Выводы PSRAM

~ Выводы SD-карт

КОНФІГУРАЦІЙНІ ВИВОДИ

Конфігураційні виводи – це специфічні піни на мікроконтролерах або системах на кристалі (SoC), які використовуються для налаштування різних параметрів пристрою під час його включення або ініціалізації. Ці виводи можуть визначати режими роботи, вибір джерела завантаження, а також інші важливі характеристики функціонування пристрою.

При кожному запуску або перезавантаженні модуль потребує деяких початкових параметрів конфігурації, таких як режим завантаження модуля, напруга флеш-пам'яті тощо. Ці параметри передаються через конфігураційні виводи. Після перезавантаження конфігураційні виводи функціонують як звичайні виводи.

Параметри, що контролюються відповідними конфігураційними виводами під час перезавантаження модуля, є наступними:

- Режим завантаження чіпа – GPIO0 та GPIO46
- Напруга VDD_SPI – GPIO45
- Друк повідомлень ROM – GPIO46
- Джерело сигналу JTAG – GPIO3

GPIO0, GPIO45 і GPIO46 з'єднані з внутрішніми слабкими резисторами pull-up/pull-down чіпа під час його перезавантаження. Ці резистори встановлюють

значення бітів за замовчуванням для конфігураційних виводів. Також вони визначають значення бітів, коли конфігураційні виводи підключені до зовнішнього кола з високим імпедансом.

Pull-up резистор: Це резистор, підключений між живленням (VCC) і виводом. Коли вивід не підключений до іншого сигналу (високий імпеданс), він "підтягується" до високого рівня (логічна 1).

Pull-down резистор: Це резистор, підключений між виводом і землею (GND). Він "протягує" вивід до низького рівня (логічний 0), коли вивід не підключений до іншого сигналу.

Щоб змінити значення бітів, конфігураційні виводи слід підключити до зовнішніх резисторів підтягування або протягування. Якщо ESP32-S3 використовується як пристрій, підключений до хостового мікроконтролера, рівні напруги на конфігураційних виводах також можуть контролюватися цим мікроконтролером. Усі конфігураційні виводи оснащені засувками. Під час скидання системи засувки зчитують значення бітів зі своїх відповідних конфігураційних виводів і зберігають їх до моменту, коли чіп буде вимкнено або відключено. Стан засувки не можна змінити жодним іншим способом. Це забезпечує доступність значень конфігураційних виводів протягом усієї роботи чіпа, а після перезавантаження ці виводи

можуть бути використані як звичайні виводи вводу/виводу.

Конфігураційний вивід	Стандартна конфігурація	Значення біта
GPIO0	Pull-up	1
GPIO3	Floating	-
GPIO45	Pull-down	0
GPIO46	Pull-down	0

ПРОЦЕСОР І ПАМ'ЯТЬ

ПРОЦЕСОР

ESP32-S3 обладнаний енергоефективним двоядерним 32-бітним мікропроцесором Xtensa® LX7, який має такі характеристики:

- П'ятиступеневий конвеєр, що підтримує тактову частоту до 240 МГц
- Набір інструкцій на 16/24 біти, що забезпечує високу щільність коду
- Налаштований 32-бітний набір інструкцій і 128-бітна шина даних, які забезпечують високу обчислювальну продуктивність
- Підтримка блоку з плаваючою комою з одинарною точністю (FPU)
- 32-бітний множник і 32-бітний ділильник
- Інструкції GPIO без буферизації
- 32 переривання на шести рівнях
- Віконний AVI з 64 фізичними загальними реєстрами
- Функція трасування з компресором TRAX, до 16 КБ пам'яті для трасування
- JTAG для налагодження

ВНУТРІШНЯ ПАМ'ЯТЬ

Внутрішня пам'ять ESP32-S3 включає:

- 384 КБ ROM: для завантаження та основних функцій
- 512 КБ SRAM на чіпі: для даних та інструкцій, що працює на конфігурованій частоті до 240 МГц
- Швидка пам'ять RTC: 8 КБ SRAM, що підтримує читання/запис/вибір інструкцій основним процесором (двоядерний LX7). Вона може зберігати дані в режимі глибокого сну
- Повільна пам'ять RTC: 8 КБ SRAM, що підтримує читання/запис/вибір інструкцій основним процесором (двоядерний LX7) або сопроцесорами. Вона також може зберігати дані в режимі глибокого сну
- 4 Кб eFuse: 1792 біта зарезервовано для користувацьких даних, таких як ключ шифрування та ідентифікатор пристрою
- Вбудована флеш-пам'ять і PSRAM

ЗОВНІШНЯ ФЛЕШ-ПАМ'ЯТЬ ТА RAM

ESP32-S3 підтримує інтерфейси SPI, Dual SPI, Quad SPI, Octal SPI, QPI та OPI, що дозволяють підключення до кількох зовнішніх флеш-пам'ятей та RAM.

Зовнішня флеш-пам'ять та RAM можуть бути відображені в простір пам'яті інструкцій ЦП та простір пам'яті даних тільки для читання. Зовнішня RAM також може бути відображена в простір пам'яті даних ЦП. ESP32-S3 підтримує до 1 ГБ зовнішньої флеш-пам'яті та RAM, а також апаратне шифрування/дешифрування на основі XTS-AES для захисту програм і даних користувача у флеш-пам'яті та зовнішній RAM.

Через високошвидкісні кеші ESP32-S3 може підтримувати одночасно до:

- Зовнішньої флеш-пам'яті або RAM, відображеної в 32 МБ пам'яті інструкцій як окремі блоки по 64 КБ
- Зовнішньої RAM, відображеної в 32 МБ пам'яті даних як окремі блоки по 64 КБ. Підтримуються читання та запис даних розміром 8, 16, 32 та 128 біт. Зовнішня флеш-пам'ять також може бути відображена в 32 МБ пам'яті даних як окремі блоки по 64 КБ, але тільки з підтримкою читання розміром 8, 16, 32 та 128 біт.

КЕШ

ESP32-S3 має кеш інструкцій та кеш даних, які спільно використовуються двома ядрами ЦП. Кожен кеш може бути розділений на кілька банків і має такі характеристики:

- Кеш інструкцій: 16 КБ (один банк) або 32 КБ (два банки)
- Кеш даних: 32 КБ (один банк) або 64 КБ (два банки)
- Кеш інструкцій: асоціативний з чотирма або вісьмома наборами
- Кеш даних: асоціативний з чотирма наборами
- Розмір блоку 16 байт або 32 байти для обох кешів (інструкцій і даних)
- Функція попереднього завантаження
- Функція блокування
- Критичне слово спочатку та ранній перезапуск

КОНТРОЛЕР EFUSE

Контролер eFuse — це апаратний компонент, який використовується для управління електронними запобіжниками (eFuse) у мікропроцесорах, таких як ESP32-S3.

Основні функції контролера eFuse:

1. Зберігання даних: Контролер eFuse дозволяє зберігати невелику кількість даних, таких як ключі шифрування, ідентифікатори пристроїв або інші конфіденційні налаштування. Ці дані зазвичай записуються один раз і не можуть бути змінені.
2. Безпека: eFuse використовується для забезпечення безпеки, наприклад, для захисту програмного забезпечення від несанкціонованого доступу. За допомогою eFuse можна контролювати доступ до функцій мікропроцесора.
3. Конфігурація пристрою: В eFuse можна зберігати параметри конфігурації, які визначають роботу пристрою. Наприклад, ви можете використовувати eFuse для вибору версії програмного забезпечення або для налаштування режимів роботи.
4. Апаратна захист: В eFuse можна зберігати дані, які забезпечують апаратний захист від зловмисних дій, таких як спроби зламати або обійти захист пристрою.

Принцип роботи:

eFuse використовує технологію, яка дозволяє «перегорати» або змінювати стан елементів пам'яті, що дозволяє зберігати інформацію. Це робиться за допомогою електричного струму, який руйнує структуру пам'яті у певних місцях, що заважає їхньому відновленню. Таким чином, після запису інформація залишається постійною і не може бути повернена до початкового стану.

ESP32-S3 обладнаний 4-Кб eFuse для зберігання параметрів, які записуються та зчитуються контролером eFuse. Цей контролер надає такі можливості:

- Загальний обсяг пам'яті — 4 Кб, з яких 1792 біта відведено для користувачів, наприклад, для зберігання ключів шифрування та ідентифікаторів пристроїв.
- Запис лише один раз (one-time programmable storage).
- Конфігурований захист від запису.
- Конфігурований захист від читання.
- Різноманітні апаратні схеми кодування для захисту даних від пошкодження.

РОЗШИРЕННЯ ІНСТРУКЦІЙ ПРОЦЕСОРА

ESP32-S3 містить новий набір розширених інструкцій, що покликаний підвищити ефективність виконання специфічних алгоритмів штучного інтелекту та цифрової обробки сигналів (DSP). Розширення інструкцій процесора (PIE) має такі характеристики:

- 128-бітні нові регістри загального призначення
- 128-бітні векторні операції, такі як комплексне множення, додавання, віднімання, множення, зсув, порівняння тощо
- Інструкції обробки даних, об'єднані з інструкціями завантаження/зберігання
- Неалеговані 128-бітні векторні дані
- Операція насичення

ГОДИННИК РЕАЛЬНОГО ЧАСУ ТА УПРАВЛІННЯ НИЗЬКИМ СПОЖИВАННЯМ ЕНЕРГІЇ

БЛОК УПРАВЛІННЯ ЖИВЛЕННЯМ (PMU)

Завдяки використанню передових технологій управління живленням, ESP32-S3 може перемикатися між різними режимами живлення:

- Активний режим: процесор і радіомодуль чіпа увімкнені. Чіп може отримувати, передавати або прослуховувати.
- Режим модемного сну: процесор працює, а тактова частота може бути знижена. Бездротовий базовий канал і радіо вимкнені, але бездротове з'єднання може залишатися активним.
- Режим легкого сну: процесор зупинено. Переферійні пристрої RTC, а також ULP-копроцесор можуть періодично пробуджуватися за допомогою таймера. Будь-які події пробудження (MAC, хост, таймер RTC або зовнішні переривання) розбудять чіп. Бездротове з'єднання може залишатися активним. Користувачі можуть на свій розсуд вирішувати, які переферійні пристрої вимкнути, а які залишити увімкненими для збереження енергії.

- Режим глибокого сну: процесор і більшість периферійних пристроїв вимкнені. Лише пам'ять RTC залишається увімкненою, а периферійні пристрої RTC є необов'язковими. Дані з'єднання Wi-Fi зберігаються в пам'яті RTC. ULP-копроцесор залишається функціональним.

КОПРОЦЕСОР З НАДНИЗЬКИМ СПОЖИВАННЯМ

ULP (Ultra-Low-Power) – це термін, що означає "наднизьке споживання", зазвичай використовується для опису компонентів або технологій, що спроектовані для мінімального енергоспоживання. У контексті ESP32-S3, ULP вказує на копроцесор, призначений для виконання простих завдань з низьким споживанням енергії під час режимів сну, що дозволяє зберегти заряд батареї.

Копроцесор ULP розроблений як спрощена, енергозберігаюча альтернатива процесору в режимах сну. Він також може доповнювати функції процесора в нормальному робочому режимі. Копроцесор ULP та пам'ять RTC залишаються увімкненими під час режиму глибокого сну. Тому розробник може зберегти програму для копроцесора ULP у повільній пам'яті RTC, щоб отримувати доступ до GPIO RTC, периферійних пристроїв RTC, таймерів RTC та внутрішніх сенсорів у режимі глибокого сну.

ESP32-S3 має два копроцесори ULP: один заснований на архітектурі набору інструкцій RISC-V (ULP-RISC-V), а інший — на кінцевій машині станів (ULP-FSM). Тактовий генератор копроцесорів використовує внутрішній швидкий RC-осцилятор.

ULP-RISC-V має такі характеристики:

- Підтримка набору інструкцій RV32IMC
- Тридцять два 32-бітні регістри загального призначення
- 32-бітний множник і ділильник
- Підтримка переривань
- Завантажується процесором, своїм власним таймером або GPIO RTC

ULP-FSM має такі характеристики:

- Підтримка загальних інструкцій, включаючи арифметичні, стрибкові та інструкції управління програмою
- Підтримка інструкцій для вимірювання даних з вбудованих сенсорів
- Завантажується процесором, своїм власним таймером або GPIO RTC

АНАЛОГОВА ПЕРИФЕРІЯ

АНАЛОГО-ЦИФРОВИЙ ПЕРЕТВОРЮВАЧ (АЦП)

ESP32-S3 інтегрує два 12-бітні SAR АЦП та підтримує вимірювання на 20 каналах (аналогових виводах). Для економії енергії копроцесори ULP в ESP32-S3 також можуть використовуватися для вимірювання напруги в режимах сну. Використовуючи порогові налаштування або інші методи, можна розбудити процесор із режимів сну.

ДАТЧИК ТЕМПЕРАТУРИ

Датчик температури генерує напругу, що змінюється залежно від температури. Ця напруга внутрішньо перетворюється через АЦП у цифрове значення. Датчик температури має діапазон від -20 °C до 110 °C. Він призначений переважно для вимірювання змін температури всередині чіпа. Значення температури залежить від таких факторів, як частота такту мікроконтролера або навантаження на виводи. Як правило, внутрішня температура чіпа вища за температуру навколишнього середовища.

ДАТЧИК ДОТИКУ

ESP32-S3 обладнано 14 GPIO, що підтримують емнісне сенсування, здатні виявляти зміни, спричинені дотиками або наближенням пальця чи інших об'єктів до виводів. Завдяки низькому рівню шуму та високій чутливості схеми, можливе використання компактних сенсорних площадок. Також можна створювати масиви площадок, що дозволяє виявляти більші площі або більше точок дотику. Продуктивність сенсорів дотику можна додатково поліпшити за рахунок водонепроникного дизайну та функції цифрового фільтрування.

КОМПОНЕНТИ СИСТЕМИ

ПЕРЕЗАВАНТАЖЕННЯ ТА ТАКТУВАННЯ

ESP32-S3 забезпечує чотири рівні перезавантаження: перезавантаження процесора, перезавантаження ядра, системне перезавантаження та перезавантаження чіпа.

- Підтримка чотирьох рівнів перезавантаження:
 - Перезавантаження процесора: перезавантажується лише ядро CPUx, яке може бути CPU0 або CPU1. Після перезавантаження програми виконуються з вектора перезавантаження CPUx. Кожне ядро процесора має свою власну логіку перезавантаження. Якщо перезавантаження виконується для CPU0, також перезавантажуються чутливі регістри.
 - Перезавантаження ядра: перезавантажує всю цифрову систему, за винятком RTC, включаючи CPU0, CPU1, периферійні пристрої, Wi-Fi, Bluetooth® LE (BLE) та цифрові GPIO.
 - Системне перезавантаження: перезавантажує всю цифрову систему, включаючи RTC.
 - Перезавантаження чіпа: перезавантажує увесь чіп.

- Підтримка програмного та апаратного перезавантаження:
 - Програмне перезавантаження ініціюється конфігурацією відповідних регістрів CPUх.
 - Апаратне перезавантаження безпосередньо ініціюється схемою.

МАТРИЦЯ ПЕРЕРИВАНЬ

Матриця переривань, вбудована в ESP32-S3, незалежно розподіляє джерела переривань периферійних пристроїв на переривання двох процесорів, своєчасно сповіщаючи CPU0 або CPU1 про обробку переривань після їх виникнення.

Матриця переривань має такі характеристики:

- 99 джерел переривань периферійних пристроїв в якості вхідних сигналів.
- Генерує 26 периферійних переривань для CPU0 і 26 периферійних переривань для CPU1 на виході. Варто зазначити, що залишилися шість переривань CPU0 і шість переривань CPU1 є внутрішніми перериваннями.
- Можливість вимкнення джерел переривання, що не підлягають маскуванню (NMI).
- Можливість перевірки поточного стану переривань джерел периферійних переривань.

КОНТРОЛЬ ДОСТУПУ

У ESP32-S3 модуль контролю доступу використовується для регулювання доступу до підлеглих (включаючи внутрішню пам'ять, периферійні пристрої, зовнішню флеш-пам'ять і RAM). Господар може отримати доступ до свого підлеглого лише за наявності відповідних дозволів. Таким чином, дані та інструкції захищені від незаконного читання або запису.

Процесор ESP32-S3 може працювати як в Захищеному світі, так і в Незахищеному світі, де впроваджуються незалежні системи контролю доступу. Модуль контролю доступу здатний ідентифікувати, в якому світі працює господар, і продовжувати свої звичайні операції.

Модуль контролю доступу має такі характеристики:

- Управління доступом до внутрішньої пам'яті за допомогою:
 - Процесора
 - Модуля трасування процесора
 - GDMA
- Управління доступом до зовнішньої флеш-пам'яті та RAM за допомогою:

- MMU
- SPI1
- GDMA
- Процесора через кеш
- Управління доступом до периферійних пристроїв, підтримуючи:
 - незалежний контроль доступу для кожного периферійного пристрою
 - моніторинг неупорядкованого доступу
 - контроль доступу для налаштованого адресного діапазону
- Інтеграція реєстру блокування доступу:
 - Усі реєстри доступу можуть бути заблоковані за допомогою реєстру блокування доступу. Після блокування реєстр доступу та реєстр блокування не можуть бути змінені, якщо не буде виконано перезавантаження процесора.
- Інтеграція переривання монітора доступу:
 - У разі незаконного доступу буде активовано переривання монітора доступу, і процесор буде проінформований для обробки переривання.

СИСТЕМНІ РЕГІСТРИ

Системні регістри ESP32-S3 можна використовувати для керування наступними периферійними блоками та модулями ядра:

- Система та пам'ять
- Тактовий генератор
- Програмні переривання
- Керування енергоспоживанням
- Вимкнення тактового сигналу периферії та скидання
- Керування ЦП

КОНТРОЛЕР GDMA

ESP32-S3 має універсальний контролер DMA (GDMA) з п'ятьма незалежними каналами для передачі даних та ще п'ятьма незалежними каналами для отримання. Ці десять каналів використовуються периферійними пристроями, які мають функцію DMA, і підтримують динамічний пріоритет.

Контролер DMA керує передачею даних, використовуючи зв'язані списки. Це дозволяє здійснювати передачу даних між периферією та пам'яттю, а також між пам'яттю на високій

швидкості. Усі канали можуть отримувати доступ до внутрішньої та зовнішньої пам'яті RAM.

Десять периферійних пристроїв на ESP32-S3 з функцією DMA: SPI2, SPI3, UHCI0, I2S0, I2S1, LCD/CAM, AES, SHA, ADC та RMT.

ТАКТОВА ЧАСТОТА ПРОЦЕСОРА

Тактовий генератор ЦП має три можливі джерела:

- Зовнішній головний кристалічний генератор
- Внутрішній швидкий RC-осцилятор (зазвичай близько 17.5 МГц і регульований)
- Тактовий сигнал PLL

Застосунок може обрати джерело тактового сигналу з трьох вказаних вище. Обране джерело тактового сигналу безпосередньо керує тактовим сигналом ЦП або після поділу, залежно від застосунку. Після перезавантаження ЦП джерелом тактового сигналу за замовчуванням буде зовнішній головний кристалічний генератор, поділений на 2.

ГОДИННИК RTC

RTC (Real-Time Clock) на ESP32-S3 - це важливий компонент, який забезпечує відстеження часу та дати, навіть коли мікроконтролер перебуває в режимі низького енергоспоживання або вимкнений.

Повільний тактовий генератор RTC використовується для лічильника RTC, сторожового таймера RTC та контролера низького енергоспоживання. Він має три можливі джерела:

- Зовнішній низькошвидкісний (32 кГц) кристалічний генератор.
- Внутрішній повільний RC-осцилятор (зазвичай близько 136 кГц, регульований).
- Тактовий сигнал, отриманий від внутрішнього швидкого RC-осцилятора, поділений на 256.

Швидкий тактовий генератор RTC використовується для периферійних пристроїв RTC та контролерів датчиків. Він має два можливі джерела:

- Зовнішній головний кристалічний генератор, поділений на 2.
- Внутрішній швидкий RC-осцилятор (зазвичай близько 17.5 МГц, регульований).

ВИЯВЛЕННЯ ЗБОЮ ГОДИННИКА

Модуль виявлення спотворень тактового сигналу на ESP32-S3 контролює вхідні тактові сигнали від XTAL_CLK. Якщо він виявляє спотворення з тривалістю менше 3 нс, вхідні тактові сигнали від XTAL_CLK блокуються.

ЦИФРОВА ПЕРИФЕРІЯ

МАТРИЦЯ ІО MUX І GPIO

GPIO — це порти, які використовуються для вводу та виводу цифрових сигналів на ESP32-S3.

ІО MUX — це компонент ESP32-S3, який забезпечує гнучке призначення функцій GPIO пінів.

Особливості матриці GPIO:

- Повноцінна перемикаюча матриця між сигналами вводу/виводу периферії та GPIO пінами.
- 175 цифрових периферійних входних сигналів можуть надходити з входу будь-яких GPIO пінів.
- Вихід з будь-якого GPIO піну може здійснюватися з будь-яких 184 цифрових периферійних вихідних сигналів.
- Підтримує синхронізацію сигналів для периферійних входів на основі шини тактового сигналу APB.
- Забезпечує фільтрацію входних сигналів.
- Підтримує вихід, модульований сигмою-дельтою.
- Підтримує простий ввід та вивід GPIO.

Можливості IO MUX

- Надає регістр конфігурації IO_MUX_GPIOn_REG для кожного GPIO піну. Пін можна налаштувати для:
 - виконання функції GPIO, яка маршрутизується через GPIO матрицю,
 - або для безпосереднього підключення, обходячи GPIO матрицю.
- Підтримує деякі високошвидкісні цифрові сигнали (SPI, JTAG, UART), які обходять GPIO матрицю для покращення продуктивності на високих частотах. У цьому випадку IO MUX використовується для безпосереднього підключення цих пінів до периферійних пристроїв.

Особливості RTC IO MUX

- Керує функціями низького енергоспоживання 22 GPIO пінів RTC.
- Керує аналоговими функціями 22 GPIO пінів RTC.
- Перенаправляє 22 сигнали вводу/виводу RTC до системи RTC.

ПОСЛІДОВНИЙ ПЕРИФЕРІЙНИЙ ІНТЕРФЕЙС (SPI)

ESP32-S3 має чотири SPI інтерфейси (SPI0, SPI1, SPI2 та SPI3). SPI0 та SPI1 можуть бути налаштовані для роботи в режимі SPI пам'яті, тоді як SPI2 та SPI3 можуть бути налаштовані для роботи в загальному режимі SPI.

- Режим SPI пам'яті:
 - У режимі SPI пам'яті інтерфейси SPI0 та SPI1 взаємодіють із зовнішньою SPI пам'яттю. Передача даних здійснюється кратно байтів. Підтримуються читання та запис до 8 ліній SDR/DDR (Одинарна швидкість/Подвійна швидкість). Тактова частота налаштовується до максимуму 120 МГц для OPI SDR/DDR режиму.
- Режим загального призначення SPI2 (GP-SPI):
 - Режим майстра підтримує двохлінійну повнодуплексну комунікацію та однолінійну/двохлінійну/чотирьохлінійну/во сьми лінійну напівдуплексну комунікацію.
 - Режим слуги підтримує двохлінійну повнодуплексну комунікацію та однолінійну/двохлінійну/чотирьохлінійну напівдуплексну комунікацію. Частота

тактового сигналу хоста налаштовується. Передача даних здійснюється кратно байтів. Полярність (CPOL) і фаза (CPHA) тактового сигналу також налаштовуються. Інтерфейс SPI2 підтримує DMA.

- У режимі двохлінійної повнодуплексної комунікації частота тактового сигналу хоста налаштовується до максимуму 80 МГц, а частота тактового сигналу слуги до максимуму 60 МГц. Підтримується чотири формати SPI передачі. Підтримуються лише SDR читання та запис.
- У режимі однолінійної/двохлінійної/чотирьохлінійної напівдуплексної комунікації частота тактового сигналу хоста налаштовується до максимуму 80 МГц для SDR читань/записів і 40 МГц для DDR читань/записів. Підтримуються чотири формати SPI передачі.
- У режимі однолінійної/двохлінійної/чотирьохлінійної напівдуплексної комунікації частота тактового сигналу слуги налаштовується до максимуму 60 МГц. Підтримуються лише SDR читання та запис. Чотири формати SPI передачі також підтримуються.

- Режим загального призначення SPI3 (GP-SPI): SPI3 може працювати в режимах майстра та слуги, у двохлінійній повнодуплексній та однолінійній, двохлінійній та чотирьохлінійній напівдуплексній комунікації. Підтримуються лише SDR читання та запис. Частота тактового сигналу хоста налаштовується. Передача даних здійснюється кратно байтів. Полярність (CPOL) і фаза (CPHA) також налаштовуються. Інтерфейс SPI3 підтримує DMA.
 - У режимі двохлінійної повнодуплексної комунікації частота тактового сигналу хоста налаштовується до максимуму 80 МГц, а частота тактового сигналу слуги до максимуму 60 МГц. Підтримуються чотири формати SPI передачі.
 - У режимі однолінійної, двохлінійної та чотирьохлінійної напівдуплексної комунікації частота тактового сигналу хоста налаштовується до максимуму 80 МГц, а частота тактового сигналу слуги до максимуму 60 МГц. Підтримуються чотири формати SPI передачі.

UART КОНТРОЛЕР

ESP32-S3 має три контролери UART (Універсальний асинхронний приймач-передавач), а саме UART0, UART1 і UART2, які підтримують IrDA та асинхронну комунікацію (RS232 і RS485) зі швидкістю до 5 Мбіт/с.

Кожен контролер UART має такі функції:

- Три джерела тактового сигналу, що можуть бути розділені
- Програмована швидкість передачі (baud rate)
- 1024 x 8-розрядна пам'ять, спільна для TX FIFO та RX FIFO трьох контролерів UART
- Повнодуплексна асинхронна комунікація
- Автоматичне виявлення швидкості передачі вхідних сигналів
- Кількість бітів даних від 5 до 8
- Стопові біти: 1, 1.5, 2 або 3 біти
- Біт парності
- Виявлення спеціального символу AT_CMD
- Протокол RS485
- Протокол IrDA
- Високошвидкісна передача даних за допомогою GDMA
- UART як джерело пробудження
- Програмне та апаратне керування потоком

ІНТЕРФЕЙС I2C

ESP32-S3 має два інтерфейси I2C, які можуть використовуватися в режимі майстра або веденого, залежно від налаштувань користувача. Інтерфейси I2C підтримують:

- Стандартний режим (100 кбіт/с)
- Швидкий режим (400 кбіт/с)
- Швидкість до 800 кбіт/с (обмежена силою підтягуючих резисторів SCL та SDA)
- 7-бітний та 10-бітний режими адресації
- Подвійний режим адресації (адресація веденого пристрою та адресація регістра веденого пристрою)

Апаратура забезпечує шар абстракції команд, що спрощує використання периферії I2C.

ІНТЕРФЕЙС I2S

I2S (Inter-IC Sound) інтерфейс на ESP32-S3 призначений для цифрової передачі звуку. Цей інтерфейс є популярним у додатках, що вимагають високоякісного аудіо, таких як звукові процесори, аудіообладнання та інші мультимедійні пристрої.

ESP32-S3 включає два стандартні інтерфейси I2S. Вони можуть працювати в режимі майстра або

веденого, в повнодуплексному або напівдуплексному режимах, і можуть бути налаштовані для роботи з роздільною здатністю 8, 16, 24 або 32 біти як вхідного, так і вихідного каналу. Частота тактового сигналу ВСК підтримує діапазон від 10 кГц до 40 МГц.

Інтерфейс I2S має спеціальний контролер DMA. Він підтримує TDM PCM, TDM MSB вирівнювання, TDM LSB вирівнювання, TDM Phillips і PDM інтерфейс.

LCD ІНТЕРФЕЙС

ESP32-S3 підтримує 8- до 16-бітні паралельні інтерфейси RGB, I8080 та MOTO6800. Ці інтерфейси можуть працювати на частоті до 40 МГц і забезпечують конвертацію між форматами RGB565, YUV422, YUV420 та YUV411.

ІНТЕРФЕЙС КАМЕРИ

ESP32-S3 підтримує 8- до 16-бітні DVP (Digital Video Port) датчики зображень з тактовою частотою до 40 МГц. Інтерфейс камери забезпечує конвертацію між форматами RGB565, YUV422, YUV420 та YUV411.

ПРИСТРІЙ ДИСТАНЦІЙНОГО УПРАВЛІННЯ

Модуль призначений для відправки та прийому інфрачервоних сигналів дистанційного управління. Він має такі характеристики:

- Чотири канали передачі (TX)
- Чотири канали прийому (RX)
- Підтримка кількох каналів (програмованих), які можуть передавати дані одночасно
- Вісім каналів ділять між собою 384 x 32-бітну оперативну пам'ять
- Підтримка модуляції на імпульсах передачі (TX)
- Підтримка фільтрації та демодуляції на імпульсах прийому (RX)
- Режим циклічної передачі (Wrap TX mode)
- Режим циклічного прийому (Wrap RX mode)
- Режим безперервної передачі (Continuous TX mode)
- Доступ до DMA для режиму передачі на каналі 3
- Доступ до DMA для режиму прийому на каналі 7

КОНТРОЛЕР ПІДРАХУНКУ ІМПУЛЬСІВ

Контролер підрахунку імпульсів захоплює імпульси та підраховує їхні фронти через кілька режимів. Він має такі характеристики:

- Чотири незалежні підрахункові пристрої (одиниці), які можуть підраховувати від 1 до 65535.
- Кожна одиниця складається з двох незалежних каналів, які ділять один підрахунковий пристрій.
- Усі канали мають вхідні імпульсні сигнали (наприклад, sig_ch0_un) з відповідними контрольними сигналами (наприклад, ctrl_ch0_un).
- Незалежне фільтрування спотворень вхідних імпульсних сигналів (sig_ch0_un та sig_ch1_un) і контрольних сигналів (ctrl_ch0_un та ctrl_ch1_un) на кожній одиниці.
- Кожен канал має такі параметри:
 1. Вибір між підрахунком на зростаючому або спадному фронті вхідного імпульсного сигналу.
 2. Налаштування для збільшення, зменшення або вимкнення режиму підрахунку для високих та низьких станів контрольного сигналу.

СВІТЛОДІОДНИЙ ШІМ-КОНТРОЛЕР

Контролер ШІМ для світлодіодів може генерувати незалежні цифрові хвилі на восьми каналах. Контролер ШІМ для світлодіодів має такі характеристики:

- Може генерувати цифрову хвилю з налаштовуваними періодами та коефіцієнтом заповнення. Роздільна здатність коефіцієнта заповнення може становити до 14 біт в межах періоду 1 мс.
- Має кілька джерел тактового сигналу, включаючи тактовий сигнал APB та зовнішній основний кристалічний генератор.
- Може працювати, коли процесор перебуває в режимі легкого сну.
- Підтримує поступове збільшення або зменшення коефіцієнта заповнення, що корисно для генератора колірного згасання RGB світлодіодів.

ПОВНОШВИДКІСНИЙ ІНТЕРФЕЙС USB 2.0 OTG

ESP32-S3 має інтерфейс USB OTG (On-The-Go) з високою швидкістю та вбудованим трансивером. Інтерфейс USB OTG відповідає специфікації USB 2.0. Він має такі характеристики:

Загальні характеристики:

- Швидкості передачі даних: підтримка швидкостей FS (Full Speed) та LS (Low Speed).
- HNP та SRP: може працювати як А-пристрій або В-пристрій.
- Динамічний розмір FIFO (DFIFO): підтримка налаштування розміру FIFO в реальному часі.
- Кілька режимів доступу до пам'яті:
 - Режим DMA з розподілом/збиранням (Scatter/Gather DMA).
 - Буферний режим DMA.
 - Режим Slave.
- Можливість вибору між інтегрованим трансивером та зовнішнім трансивером.
- Використання інтегрованого трансивера з USB Serial/JTAG за допомогою мультиплексування в часі, коли використовується тільки інтегрований трансивер.
- Підтримка USB OTG за допомогою одного з трансиверів, в той час як USB Serial/JTAG використовує інший, коли обидва інтегрований та зовнішній трансивери використовуються.

Характеристики режиму пристрою

- Endpoint номер 0 завжди присутній: двонаправлений, складається з EPO IN та EPO OUT.
- Шість додаткових ендпоінтів (номер ендпоінтів з 1 по 6), які можуть бути налаштовані як IN або OUT.
- Максимум п'ять IN-ендпоінтів можуть бути активними одночасно в будь-який момент (включаючи EPO IN).
- Усі OUT-ендпоінти ділять єдиний RX FIFO.
- Кожен IN-ендпоінт має виділений TX FIFO.

Характеристики режиму хоста

- 8 каналів (трубопроводів):
- Канал управління складається з двох каналів (IN та OUT), оскільки транзакції IN та OUT повинні оброблятися окремо. Підтримується лише тип передачі Control.
- Кожен з інших семи каналів може динамічно налаштовуватися як IN або OUT і підтримує типи передачі Bulk, Isochronous та Interrupt.
- Усі канали ділять єдиний RX FIFO, неперіодичний TX FIFO та періодичний TX FIFO. Розмір кожного FIFO налаштовується.

КОНТРОЛЕР USB SERIAL/JTAG

ESP32-S3 інтегрує контролер USB Serial/JTAG, який підтримує такі функції:

- USB пристрій з високою швидкістю.
- Може бути налаштований на використання або внутрішнього USB PHY ESP32-S3, або зовнішнього PHY через GPIO матрицю.
- Пристрій з фіксованими функціями, жорстко запрограмований для функціональності CDC-ACM (Communication Device Class - Abstract Control Model) та адаптера JTAG.
- 2 OUT ендпоінти та 3 IN ендпоінти на додаток до контрольного ендпоінта 0; максимальний розмір корисного навантаження даних до 64 байтів.
- Внутрішній PHY, тому для підключення до хост-комп'ютера потрібно небагато або жодних зовнішніх компонентів.
- Емуляція серійного порту, що відповідає CDC-ACM, є «plug-and-play» на більшості сучасних операційних систем.
- Інтерфейс JTAG дозволяє швидку комунікацію з ядром налагодження процесора, використовуючи компактне представлення інструкцій JTAG.
- CDC-ACM підтримує контрольований хостом перезапуск чіпа та перехід в режим завантаження.

ШІМ КЕРУВАННЯ ДВИГУНОМ (MCPWM)

ESP32-S3 інтегрує два MCPWM, які можна використовувати для управління цифровими моторами та смарт-освітленням. Кожен периферійний пристрій MCPWM має один дільник тактового сигналу (прескалер), три таймери PWM, три оператори PWM та модуль захоплення.

- Таймери PWM використовуються для генерації часових референцій.
- Оператори PWM генерують бажану форму хвилі на основі часових референцій. Будь-який оператор PWM можна налаштувати на використання часових референцій будь-якого таймера PWM.
- Різні оператори PWM можуть використовувати часові референції одного й того ж таймера PWM для вироблення пов'язаних PWM сигналів.
- Оператори PWM також можуть використовувати значення різних таймерів PWM для генерації PWM сигналів, які працюють окремо.
- Різні таймери PWM також можуть бути синхронізовані між собою.

ХОСТ-КОНТРОЛЕР SD/MMC

ESP32-S3 має контролер SD/MMC Host з такими характеристиками:

- Підтримка Secure Digital (SD) пам'яті версій 3.0 та 3.01
- Підтримка Secure Digital I/O (SDIO) версії 3.0
- Підтримка CE-ATA (Consumer Electronics Advanced Transport Architecture) версії 1.1
- Підтримка Multimedia Cards (MMC) версії 4.41, eMMC версій 4.5 та 4.51
- Вихідна тактова частота до 80 МГц
- Три режими передачі даних:
 - 1-бітний
 - 4-бітний (підтримує дві SD/SDIO/MMC 4.41 картки або одну SD картку, що працює на 1.8 В у 4-бітному режимі)
 - 8-бітний

КОНТРОЛЕР TWAI®

Інтерфейс TWAI (Two-wire Automotive Interface) — це багатомайстерний протокол з багатопунктовою передачею, що включає виявлення помилок і сигналізацію, а також вбудовані пріоритети повідомлень та арбітраж. Контролер TWAI в ESP32-S3 має такі можливості:

- Сумісність із протоколом ISO 11898-1 (специфікація CAN 2.0)
- Підтримка стандартного (11-бітного) і розширеного (29-бітного) форматів кадрів
- Швидкість передачі даних від 1 Кбіт/с до 1 Мбіт/с
- Різні режими роботи:
 - Нормальний
 - Тільки прослуховування
 - Самотестування (без необхідності підтвердження)
- 64-байтний FIFO буфер для приймання
- Фільтр приймання з підтримкою одно- та двофільтрових режимів
- Виявлення та обробка помилок:
 - Лічильники помилок
 - Налаштовуваний поріг переривань для помилок
 - Захоплення коду помилки
 - Захоплення подій втрати арбітражу

РАДІО ТА WI-FI

Радіомодуль ESP32-S3 складається з таких блоків:

- Приймач на частоті 2.4 ГГц
- Передавач на частоті 2.4 ГГц
- Схеми зсуву та регулятори
- Балун і перемикач передача-приймання
- Генератор тактової частоти

ПРИЙМАЧ 2.4 ГГЦ

Приймач 2.4 ГГц в ESP32-S3 демодулює радіочастотний сигнал до квадратурних сигналів базової смуги і переводить їх у цифровий формат за допомогою двох високоточних і високошвидкісних АЦП. Для забезпечення стабільної роботи в умовах змін каналу сигналу, ESP32-S3 оснащений RF-фільтрами, автоматичним регулюванням підсилення (AGC), схемами усунення постійного зсуву та фільтрами базової смуги.

ПЕРЕДАВАЧ 2.4 ГГц

Передавач 2.4 ГГц модулює квадратурні сигнали базової смуги в радіочастотний сигнал 2.4 ГГц і передає його на антену через високопотужний CMOS підсилювач. Цифрове калібрування підвищує точність і лінійність роботи підсилювача потужності, забезпечуючи ефективнішу передачу сигналу.

Для компенсації недоліків приймача в чіп інтегровані додаткові методи калібрування, які включають:

- Компенсацію витоку несучої частоти
- Узгодження амплітуди та фази I/Q сигналів
- Придушення нелінійностей базової смуги
- Придушення нелінійностей радіочастотного сигналу
- Узгодження антени

Ці вбудовані калібрувальні процедури скорочують витрати та час виходу вашого продукту на ринок, а також усувають необхідність у спеціалізованому тестовому обладнанні. Це робить процес розробки більш ефективним та доступним.

ГЕНЕРАТОР ТАКТОВОГО СИГНАЛУ

Генератор тактового сигналу виробляє квадратурні тактові сигнали частотою 2.4 ГГц для обох – приймача та передавача. Всі компоненти генератора тактового сигналу інтегровані в чіп, включаючи індуктори, варкатори, фільтри, регулятори та ділильники. Це дозволяє зменшити розміри схеми, підвищити надійність та знизити витрати на виробництво.

Генератор тактового сигналу має вбудовані схеми калібрування та самотестування. Квадратурні фази тактового сигналу та фазовий шум оптимізуються в чіпі за допомогою запатентованих алгоритмів калібрування, що забезпечує найкращу продуктивність як приймача, так і передавача.

WI-FI РАДІО ТА БАЗОВА СМУГА

Wi-Fi радіо та базова смуга ESP32-S3 підтримують наступні функції:

- 802.11b/g/n: Сумісність із основними стандартами бездротового зв'язку.
- 802.11n MCS0-7: Підтримка модуляцій з кодами (MCS) для 20 МГц і 40 МГц смуги пропускання.
- 802.11n MCS32: Додаткова підтримка для підвищення швидкості передачі даних.

- 802.11n з охороною інтервалу 0,4 мкс: Підтримка коротшого охоронного інтервалу для підвищення ефективності передачі даних.
- Швидкість передачі даних до 150 Мбіт/с: Висока швидкість для швидкого обміну даними.
- RX STBC (одинарний просторовий потік): Підтримка просторової часо-просторової корекції для покращення надійності прийому сигналу.
- Регульована потужність передачі: Можливість налаштування потужності сигналу для оптимізації дальності та якості зв'язку.
- Диверсифікація антени: ESP32-S3 підтримує диверсифікацію антени з використанням зовнішнього RF перемикача. Цей перемикач контролюється одним або кількома GPIO і використовується для вибору найкращої антени, щоб мінімізувати вплив недоліків каналу.

WI-FI MAC (MEDIA ACCESS CONTROL)

ESP32-S3 реалізує повний протокол Wi-Fi MAC 802.11 b/g/n. Він підтримує операції Basic Service Set (BSS) у режимах STA (Station) та SoftAP (Software Access Point) в рамках Distributed Control Function (DCF). Управління живленням виконується автоматично з мінімальним втручанням з боку хоста, що допомагає зменшити активний період роботи.

MAC Wi-Fi ESP32-S3 автоматично реалізує такі функції низького рівня протоколу:

- 4 × віртуальні Wi-Fi інтерфейси
- Одночасний режим станції в інфраструктурній BSS, режим SoftAP та режим станції + SoftAP
- Захист RTS, захист CTS, миттєвий Block ACK
- Фрагментація та дефрагментація
- TX/RX A-MPDU, TX/RX A-MSDU
- TXOP
- WMM
- GCMP, CCMP, TKIP, WAPI, WEP та WEP
- Автоматичний моніторинг сигналів (апаратний TSF)
- 802.11mc FTM

МЕРЕЖЕВІ ФУНКЦІЇ

Користувачам надаються бібліотеки для TCP/IP мереж, мережі ESP-WIFI-MESH та інших мережевих протоколів через Wi-Fi. Також забезпечується підтримка TLS 1.2.

BLUETOOTH LE

ESP32-S3 має підсистему Bluetooth Low Energy, яка інтегрує контролер апаратного рівня зв'язку, блок RF/модему та багатофункціональний програмний стек протоколів. Вона підтримує основні функції Bluetooth 5 та Bluetooth mesh.

BLUETOOTH LE РАДІО ТА PHY

ESP32-S3 оснащено радіомодулем Bluetooth Low Energy (BLE) та фізичним рівнем (PHY), які підтримують такі характеристики:

- PHY на 1 Мбіт/с: Забезпечує стандартну швидкість передачі даних для основних застосувань Bluetooth LE.
- PHY на 2 Мбіт/с: Підтримує високу швидкість передачі та високу пропускну здатність, що дозволяє швидше передавати дані.

- Кодований РНУ: Підтримує високу чутливість приймання та велику дальність з передачею на швидкостях 125 Кбіт/с та 500 Кбіт/с.
- Клас 1 потужності передачі без зовнішнього підсилювача: Дозволяє досягати значних відстаней зв'язку без потреби в додаткових компонентах.
- НВ функція "Слухати перед розмовою" (LBT): Дозволяє контролювати частоту передачі, зменшуючи ймовірність завад від інших пристроїв, що підвищує надійність зв'язку.

КОНТРОЛЕР КАНАЛУ ЗВ'ЯЗКУ BLUETOOTH LE

Контролер каналу зв'язку Bluetooth Low Energy в ESP32-S3 підтримує:

- Розширення LE-реклами: Підвищує ємність трансляції та дозволяє передавати більш інтелектуальні дані.
- Багаторазові рекламні набори: Дозволяє працювати з кількома наборами реклами одночасно.
- Синхронна реклама та сканування: Дозволяє одночасно рекламувати та сканувати канали.
- Багато підключень у центральних і периферійних ролях: Підтримує одночасні підключення в обох ролях.

- Адаптивне стрибання частоти та оцінка каналу: Підвищує надійність зв'язку.
- Алгоритм вибору каналу #2 LE: Оптимізує вибір каналів для зменшення завад.
- Оновлення параметрів підключення: Дозволяє адаптувати налаштування з'єднання.
- Реклама з високим циклом без підключення: Підтримує рекламу без потреби у підключенні.
- LE-приватність 1.2: Забезпечує додаткові засоби захисту конфіденційності.
- Розширення довжини LE-даних пакетів: Дозволяє передавати довші дані.
- Розширені політики фільтрації сканера каналу зв'язку: Оптимізує роботу сканера.
- Реклама з низьким циклом з напрямком: Дозволяє здійснювати направлену рекламу з низьким енергоспоживанням.
- Шифрування каналу зв'язку: Забезпечує безпеку передачі даних.
- LE Ping: Дозволяє перевіряти активність підключення.

ТАЙМЕРИ ТА СИСТЕМА СПОСТЕРЕЖЕННЯ (WATCHDOG)

ТАЙМЕРИ ЗАГАЛЬНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ

ESP32-S3 обладнаний чотирма універсальними таймерами з розрядністю 54 біти, які ґрунтуються на 16-бітних переддільниках та таймерах з авто-перезавантаженням (up/down-timers) з розрядністю 54 біти.

Основні характеристики таймерів:

- 16-бітний переддільник: Діапазон налаштування від 2 до 65536.
- 54-бітний лічильник часу: Може бути запрограмований для інкрементації або декрементації.
- Читання реального значення лічильника часу: Можливість отримувати актуальні дані про значення лічильника.
- Зупинка та відновлення лічильника часу: Можливість призупиняти та відновлювати роботу лічильника.
- Генерація програмованих сигналів тривоги: Таймери можуть створювати сигнали тривоги на основі заданих параметрів.
- Перезавантаження значення таймера: Автоматичне перезавантаження при спрацюванні тривоги або миттєве

перезавантаження, контрольоване програмним забезпеченням.

- Генерація переривань на рівні: Таймери можуть генерувати переривання, що базуються на заданих рівнях.

СИСТЕМНИЙ ТАЙМЕР

ESP32-S3 інтегрує системний таймер з розрядністю 52 біти, який має два 52-бітні лічильники та три компаратори. Системний таймер має такі характеристики:

Основні характеристики системного таймера:

- Лічильники з тактовою частотою: 16 МГц.
- Три типи незалежних переривань: Генерація переривань на основі значення тривоги.
- Два режими тривоги: Режим цільового значення та періодичний режим.
- Цільове значення тривоги: 52-бітне цільове значення та 26-бітне періодичне значення тривоги.
- Читання часу сну: Можливість читання часу сну з RTC таймера при пробудженні чіпа з режимів Deep-sleep або Light-sleep.
- Затримка лічильників: Лічильники можуть бути зупинені, якщо процесор зупинено або в режимі OCD (On-Chip Debugging).

WATCHDOG ТАЙМЕРИ

ESP32-S3 містить три таймери спостереження: один у кожній з двох груп таймерів (так звані таймери спостереження основної системи, або MWDT) і один у модулі RTC (так званий таймер спостереження RTC, або RWDT).

Під час процесу завантаження з флеш-пам'яті таймери спостереження RWDT та перший MWDT автоматично активуються для виявлення і виправлення помилок завантаження.

Таймери спостереження мають такі функції:

- Чотири етапи, кожен з яких має програмоване значення тайм-ауту. Кожен етап можна налаштувати, активувати та деактивувати окремо.
- Інтеррупти, скидання ЦП або скидання ядра для MWDT по закінченню кожного етапу; інтеррупти, скидання ЦП, скидання ядра або системне скидання для RWDT по закінченню кожного етапу.
- 32-бітний лічильник закінчення терміну.
- Захист запису, щоб запобігти випадковій зміні конфігурації RWDT та MWDT.
- Захист завантаження з флеш-пам'яті.
Якщо процес завантаження з SPI флеш-пам'яті не завершується протягом встановленого

періоду часу, таймер спостереження перезавантажить всю основну систему.

XTAL32K WATCHDOG ТАЙМЕРИ

Переривання та пробудження

Коли таймер спостереження XTAL32K виявляє збій колювання XTAL32K_CLK, генерується переривання збою колювання RTC_XTAL32K_DEAD_INT. У цей момент процесор буде розбуджений, якщо перебуває в режимі легкого сну або глибокого сну.

BACKUP32K_CLK

Якщо таймер спостереження XTAL32K виявляє збій колювання XTAL32K_CLK, він замінює XTAL32K_CLK на BACKUP32K_CLK (з частотою приблизно 32 кГц), отриманий від RTC_CLK як SLOW_CLK RTC, щоб забезпечити належне функціонування системи.

КРИПТОГРАФІЯ/КОМПОНЕНТИ БЕЗПЕКИ

ШИФРУВАННЯ/ДЕШИФРУВАННЯ ЗОВНІШНЬОЇ ПАМ'ЯТІ

ESP32-S3 інтегрує модуль шифрування та розшифрування зовнішньої пам'яті, що відповідає стандарту XTS-AES. Він підтримує такі функції:

- Загальний алгоритм XTS_AES, що відповідає IEEE Std 1619-2007
- Шифрування на основі програмного забезпечення вручну
- Швидке автоматичне шифрування без участі програмного забезпечення
- Швидке автоматичне розшифрування без участі програмного забезпечення
- Функції шифрування та розшифрування визначаються спільно конфігурацією регістрів, параметрами eFuse та режимом завантаження

БЕЗПЕЧНЕ ЗАВАНТАЖЕННЯ

Функція безпечного завантаження використовує апаратний корінь довіри, щоб гарантувати, що тільки підписане мікропрограмне забезпечення (з підписом RSA-PSS) може бути завантажене. Це забезпечує захист системи від запуску неавторизованого або шкідливого ПЗ.

ПРИСКОРЮВАЧ НМАС

Модуль НМАС (код аутентифікації повідомлень на основі хешу) в ESP32-S3 відповідає за обчислення кодів аутентифікації (MAC) із застосуванням хеш-алгоритму та ключів, згідно з RFC 2104. Прискорювач НМАС має такі можливості:

- Стандартний алгоритм НМАС-SHA-256: Забезпечує високу безпеку при генерації кодів аутентифікації.
- Обмежений доступ до хеш-результатів: Хеш-результати можуть бути доступні лише через налаштовувані апаратні периферійні пристрої в режимі downstream.
- Сумісність із алгоритмами аутентифікації запит-відповідь: Дозволяє інтегрувати НМАС у системи, що вимагають такого виду аутентифікації.
- Генерація ключів для цифрового підпису: Автоматично створює необхідні ключі для периферійного пристрою цифрового підпису в режимі downstream.
- Повторне включення програмно відключеного JTAG: Дозволяє повторно активувати JTAG, що було відключено, у режимі downstream.

КОНТРОЛЛЕР СИСТЕМИ СВІТУ

ESP32-S3 здатний розділяти апаратні та програмні ресурси на безпечний (Secure World) та небезпечний (Non-Secure World) світи для запобігання саботажу або доступу до інформації пристрою. Перемикання між цими двома світами виконується контролером світу, який має такі функції:

- Контроль перемикання ЦП між безпечним і небезпечним світами.
- Контроль 15 периферій DMA під час перемикання між безпечним і небезпечним світами.
- Запис журналів перемикання світу ЦП.
- Захист NMI переривання ЦП від небажаних впливів.

ПРИСКОРЮВАЧ SHA

ESP32-S3 має інтегрований акселератор SHA, апаратний модуль, що значно підвищує швидкість обчислення алгоритму SHA.

Акселератор SHA підтримує такі функції:

- Усі алгоритми хешування, наведені в специфікації FIPS PUB 180-4:
 - SHA-1
 - SHA-224
 - SHA-256
 - SHA-384
 - SHA-512
 - SHA-512/224
 - SHA-512/256
 - SHA-512/t
- Два робочі режими:
 - Типовий SHA
 - DMA-SHA
- Інтерлід-функція при роботі в режимі Типового SHA
- Функція переривання при роботі в режимі DMA-SHA

ПРИСКОРЮВАЧ AES

ESP32-S3 оснащено прискорювачем AES (Advanced Encryption Standard), що є апаратним пристроєм, який суттєво підвищує швидкість виконання алгоритму AES. Прискорювач AES підтримує такі функції:

- Типовий режим роботи AES:
 - Шифрування та розшифрування з використанням AES-128 та AES-256
- Режим роботи DMA-AES:
 - Шифрування та розшифрування з використанням AES-128 та AES-256
 - Режими блочного шифрування:
 - ECB (Електронна книга коду)
 - CBC (Ланцюгова обробка блоку шифрування)
 - OFB (Зворотний зв'язок по виходу)
 - CTR (Лічильник)
 - CFB8 (8-бітний зворотний зв'язок по шифруванню)
 - CFB128 (128-бітний зворотний зв'язок по шифруванню)
 - Переривання по завершенню обчислення

АКСЕЛЕРАТОР RSA

Прискорювач RSA забезпечує апаратну підтримку для високоточних обчислень, що використовуються в різних алгоритмах асиметричного шифрування RSA. Прискорювач RSA в ESP32-S3 підтримує такі функції:

- Велике модульне піднесення до степеня з двома варіантами прискорення
- Велике модульне множення
- Велике множення
- Операнди різних довжин
- Переривання по завершенню обчислення

ГЕНЕРАТОР ВИПАДКОВИХ ЧИСЕЛ

Генератор випадкових чисел в ESP32-S3 забезпечує створення справжніх випадкових чисел, які формуються на основі фізичних процесів, а не алгоритмічно. Всі числа, згенеровані в заданому діапазоні, мають однакову ймовірність появи, що гарантує їхню випадковість.

