

Лекція 2

2 СТРУКТУРА ТИПОВОГО МІКРОКОНТРОЛЕРА З ARM-ЯДРОМ

2.1. Загальні відомості

Мікроконтролерне ядро ARM було розроблене однойменною англійською компанією, яка була організована в 1990 році. Назва ARM походить від "Advanced RISC Machines". Слід зауважити, що компанія спеціалізується суто на розробці мікропроцесорних ядер і периферійних блоків, при цьому не має виробничих потужностей з випуску мікроконтролерів. Компанія ARM постачає свої розробки в електронній формі, на основі якої клієнти конструюють свої власні мікроконтролери. Клієнтами компанії є понад 60 компаній-виробників напівпровідників, серед яких можна виділити таких популярних виробників на ринку напівпровідникових компонентів країн СНД, як Altera, Analog Devices, Atmel, Cirrus Logic, Fujitsu, MagnaChip (Hynix), Intel, Motorola, National Semiconductor, Philips, ST Microelectronics, Texas Instruments і т. ін.

В даний час архітектура ARM займає лідируючі позиції і охоплює значну частину ринку 32-розр. вбудованих RISC-мікропроцесорів. Поширеність даного ядра пояснюється його стандартністю, що надає можливість розробником більш гнучко використовувати, як свої, так і сторонні програмні напрацювання, як при переході на нове процесорний ARM-ядро, так і при міграціях між різними типами ARM-мікроконтролерів.

Деякі компанії використовують розроблені ARM-процесори для спеціальних застосувань, проте більшості вони потрібні для мобільних телефонів, систем управління автомобільними двигунами, лазерних принтерів PostScript та інших пристроїв масового застосування. Для всіх цих пристроїв необхідні такі якості, як висока швидкодія, помірна ціна і низьке енергоспоживання.

Фірмою розроблено цілий ряд 32-розрядних RISC-процесорів з різними можливостями і різною продуктивністю, а її процесор ARM, який розроблено ще в 1994 році, використовується до теперішнього часу.

Сама фірма визначає процесор ARM7 як універсальне ядро 32-розрядного RISC-мікропроцесора з малим енергоспоживанням, яке призначене для використання в різних замовних і спеціальних ІС. Малі розміри RISC-ядра дозволяють успішно інтегрувати його в великі замовні схеми, які можуть містити RAM, ROM, DSP, додаткову логіку та інші елементи.

Основні характеристики ядра ARM7:

–32-розрядний RISC-процесор (32-розрядні шини даних і адреси) з продуктивністю 17 MIPS при тактовій частоті 25 МГц (пікова продуктивність 25 MIPS);

–32-розрядна адресація – лінійний адресний простір в 4 Гб – виключає потребу в сегментованій, розділеній на банки або оверлейній пам'яті;

– тридцять один 32-розрядний регістр загального призначення і шість регістрів стану;

–регістри адрес, запису і конвеєра;

–циклічний пристрій зі зсувом і перемножувач;

–трирівневий конвеєр (вибірка команди, її декодування і виконання);

–робочі режими Big Endian і Little Endian;

–напруга живлення 3,3 і 5 В;

–мале енергоспоживання 0,6 мА / МГц, при виготовленні за

– повністю статична робота, що дозволяє додатково знижувати споживання за рахунок зменшення тактової частоти, що ідеально для критичних до споживання застосувань;

–швидке реагування на переривання застосувань реального масштабу часу;

–підтримка систем віртуальної пам'яті;

–проста, але потужна система команд.

Розглянемо ядро ARM7 та мікроконтролери LPC2378, STM32, які використовують це ядро.

2.2. Мікроконтролер LPC2378

LPC2378 – один із старших контролерів свого сімейства. Йому притаманні такі основні особливості:

- 32 бітне ядро ARM7TDMI-S;
- тактова частота до 72 МГц;
- 512 КБ Flash + 58 КБ SRAM;
- Ethernet 10/100 MAC + DMA;
- USB 2.0 в режимі Full-speed;
- двоканальний CAN 2.0B;
- контролер DMA;
- I2S, три I2C, три SPI / SSP, чотири UART;
- можлива робота з зовнішніми картами SD / MMC;
- АЦП (8 каналів, 10 біт), ЦАП (1 канал, 10 біт);
- і т. ін.

Більш повний перелік периферії наведено в документі «LPC2378 Preliminary datasheet».

Контролер зазвичай упаковується виробником в 144-вивідний корпус TQFP, зовнішній вигляд якого наведено на рисунку 2.1.

Зовні контролер нічим не примітний, окрім як великою кількістю виводів. Для того щоб визначити функцію того чи іншого виводу необхідно звернутися до відповідної документації. На рисунку 2.2 наведено рекомендоване електричне підключення контролера.



Рисунок 2.1 – Зовнішній вигляд мікроконтролера LPC2378 (вид зверху)

Для того, щоб контролер запусився, необхідно забезпечити його якісним живленням 3,3В і поставити необхідні фільтруючі конденсатори. Для внутрішніх потреб контролера (для живлення ядра) потрібно джерело напруги 1,8В, але контролери цього сімейства мають вбудований перетворювач напруги і, тому, потрібні лише конденсатори (C47...C49). Для тактування контролера потрібно як мінімум один кварц на входи X1, X2 (основний вхід тактового генератора) або на входи R1TCX1 + R1TCX2 (вхід тактового генератора для годинника реального часу). Кварц можна і не ставити, скориставшись внутрішнім (вбудованим в чіп) генератором, але через його низьку точність, використовувати деяку периферію не вдасться (так, наприклад USB працювати не буде, оскільки йому потрібні тактові сигнали з точними інтервалами часу, які не може забезпечити мініатюрний кварц). Великий 20-контактний роз'єм (JTAG) зліва вгорі (рисунок 2.2) призначено для налагодження та програмування контролера. При необхідності до нього підключається штекер з шлейфом, що йде від відлагоджувача JTAG. З використанням відповідного програмного забезпечення, наприклад, що входить в IDE Keil for ARM7, в контролер записується програма, яку програміст (користувач) набрав і відкомпілював. Програми створюються з використанням модифікації мови C, що включає розширення для програмування контролерів.

Таблиця 2.1 – Характеристики мікроконтролерів LPC23xx

Table 2. LPC23xx features overview

Part	Local bus SRAM (kB)	Flash (kB)	EMC	USB/GP SRAM (kB)	USB device	USB host/OTG	Ethernet	Ethernet GP SRAM (kB)	CAN channels	SD/MMC	ADC channels	GPIO pins
LPC2361	8	64	no	8	yes	yes	no	16	2	no	6	70
LPC2362	32	128	no	8	yes	yes	yes	16	2	no	6	70
LPC2364	8	128	no	8	yes	no	yes	16	2	no	6	70
LPC2365	32	256	no	8	no	no	yes	16	-	no	6	70
LPC2366	32	256	no	8	yes	no	yes	16	2	no	6	70
LPC2367	32	512	no	8	no	no	yes	16	-	yes	6	70
LPC2368	32	512	no	8	yes	no	yes	16	2	yes	6	70
LPC2377	32	512	Mini	8	no	no	yes	16	-	yes	8	104
LPC2378	32	512	Mini	8	yes	no	yes	16	2	yes	8	104
LPC2387	64	512	no	16	yes	yes	yes	16	2	yes	6	70
LPC2388	64	512	Mini	16	yes	yes	yes	16	2	yes	8	104

З таблиці видно, що контролер відрізняється наявністю USB-інтерфейсу, але не може виступати в якості хосту USB (тобто не може до себе підключати пристрої USB). Також у контролера є Ethernet-контролер, 8 аналогових входів (АЦП), і 104 виводи загального призначення. Кількості швидкої пам'яті (ОЗП) на локальній шині 32 Кб достатньо для виконання більшості завдань автоматки, так само як і постійної пам'яті Flash, об'ємом 512 Кб. При необхідності користувач може підключати зовнішні мікросхеми пам'яті і, таким чином, збільшити об'єм пам'яті.

Для того, щоб більш детально ознайомитися з контролером, розглянемо його структурну схему (рисунок 2.3).

Структура досить складна, тому її умовно розділено червоною смугою на важливі складові контролера: ядро і швидкі пристрої та іншу периферію (нижче червоної смуги). З першого погляду видно, що на контролері присутні кілька шин даних (AHB, APB, Local Bus – на рисунку без назви).

Найголовніший блок – ARM7TDMI-S – це ядро мікроконтролера, до якого відносяться всі основні функції по керуванню пам'яттю, обчисленням, обробці програми і т.ін.

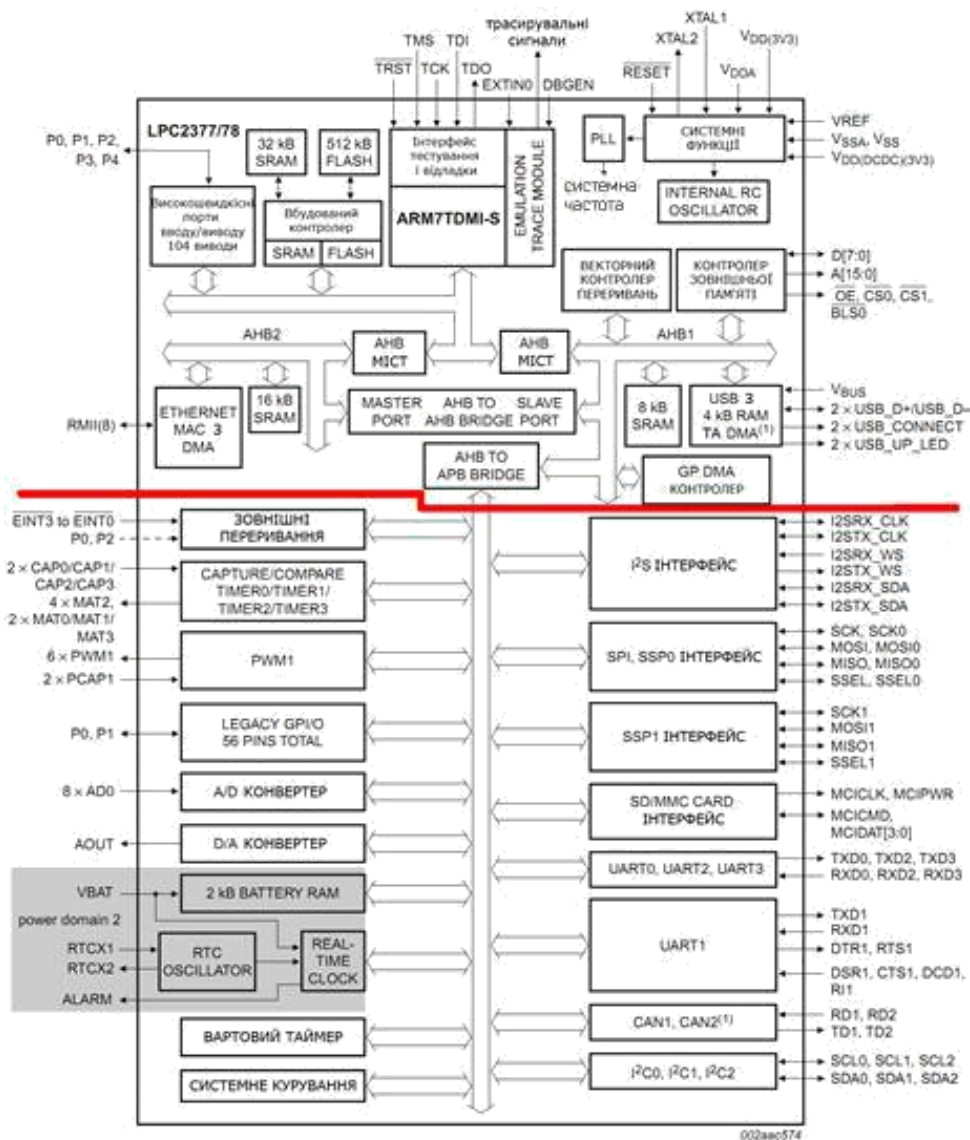


Рисунок 2.3 – Структурна схема мікроконтролера LPC2378

Блок System Functions (блок системних функцій) призначено для контролю роботи контролера, скидання (вхід RESET) та тактування (XTAL1, XTAL2). До блоку приєднано блоки вбудованого низькочастотного RC-осцилятора (Internal RC Oscillator), з якого здійснюється запуск контролера, а також фазового автопідстроювання частоти (PLL = Phase Locked Loop), що відповідає за розподіл частоти і тактування контролера. Не дивлячись на відсутність зв'язку на структурній схемі від ядра до цих блоків, існує можливість налаштувати їх роботу з програми через регістри (не обов'язково під час запуску контролера).

На рисунку 2.4 наведено ядро та швидкі пристрої з перекладом на українську мову деяких блоків.

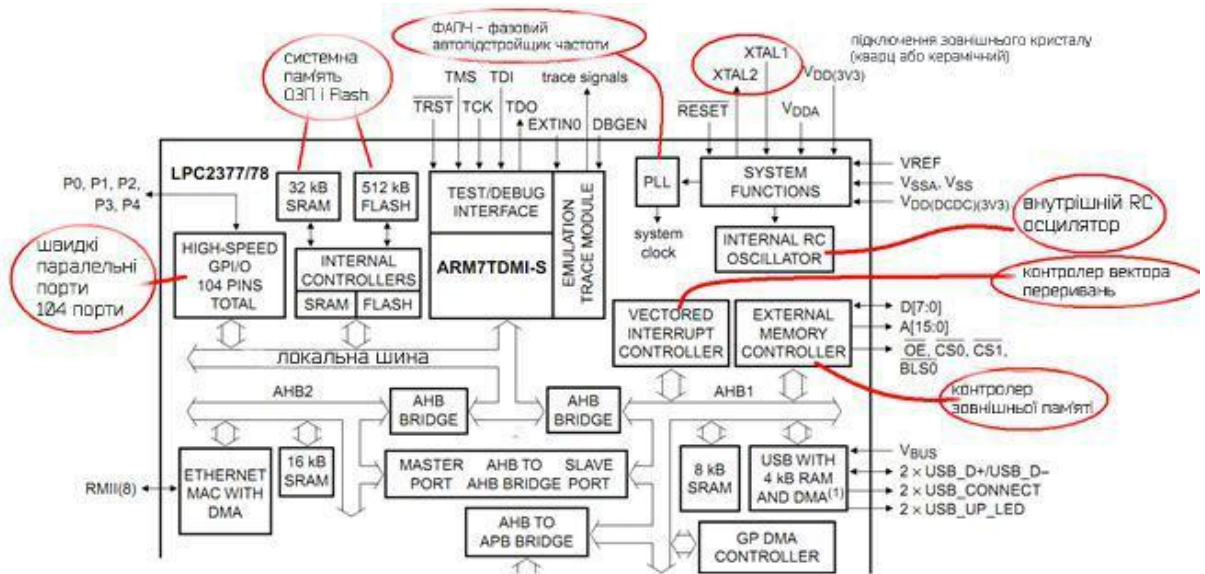


Рисунок 2.4 – Швидка периферія і ядро контролера LPC2378

Зв'язок з периферією проводиться за допомогою наступних спеціальних шин (рисунок 2.5):

- ARM7 local bus (локальна шина). Шина забезпечує швидкий доступ до пам'яті чіпа та швидкий обмін через паралельний порт (GPIO);

- AHB (Advanced High performance Bus – покращена високопродуктивна шина) – зв'язує ядро зі швидкістю периферією і зовнішню пам'яттю. На контролері є дві шини: AHB1 і AHB2;

- APB (Advanced Peripheral Bus – покращена периферійна шина) – зв'язує інші периферійні пристрої на чипі;

- Шина AHB1 – зв'язує ядро з:

- VIC (vector interrupt controller) – векторний контролер переривань (32 вектори) та контролер USB;

- GP DMA – контролер прямого доступу до пам'яті загального призначення (дозволяє скоротити кількість переривань при роботі з модулями, з

якими проводиться інтенсивний обмін даними через буфери, наприклад Ethernet, USB і т.ін.);

– EMC – контролер зовнішньої пам'яті. Забезпечує доступ до зовнішньої пам'яті (Flash) і різної зовнішньої периферії, яка є проєктована на адресний простір пам'яті.

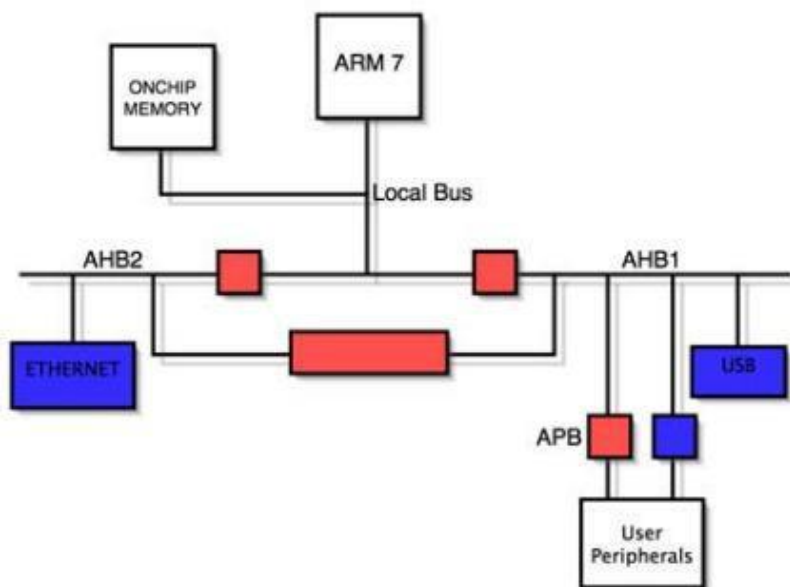


Рисунок 2.5 – Зв'язок шин даних контролера LPC2378

Шина АНВ2 – зв'язує тільки ядро і Ethernet модуль (в тому числі і внутрішню пам'ять Ethernet = 16 КБ SRAM). АНВ2 виділена в окрему шину, щоб не заважати роботі іншим пристроям, тому що обсяг даних, який передається через Ethernet може бути значним і повністю завантажити периферійну високопродуктивну шину даних.

Шини АНВ незалежні, але можуть бути підключені в режим Master–Slave (рисунок 2.6).

У такому разі:

- АНВ2 працює в режимі Master;
- АНВ1 – в режимі Slave;

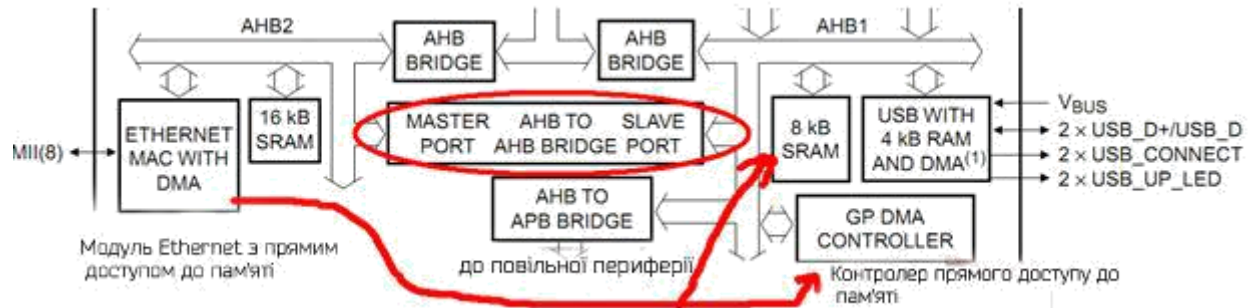


Рисунок 2.6 – З'єднання периферійних шин АНВ1 і АНВ2 через міст АНВ-to-АНВ

- АНВ2 може запитувати з основної пам'яті контролера чи зовнішньої пам'яті додаткове місце під буфер Ethernet;
- адресація шиною АНВ завжди 32-бітна, та прозора для програміста, тобто програміст напряму не працює з шиною;
- усім пристроям на шині АНВ виділяється адресний простір нижче адреси 4.0 Гб (0xFFFF FFFF);
- кожен пристрій отримує блок 16 Кб (рисунок 2.7).

Також важливо зазначити наступні моменти, які викликані такою конфігурацією шин даних:

- пам'ять SRAM буфера Ethernet 16 КБ і пам'ять SRAM, яка використовується контролером GP DMA = 8 КБ, також може бути використана для зберігання даних або коду;

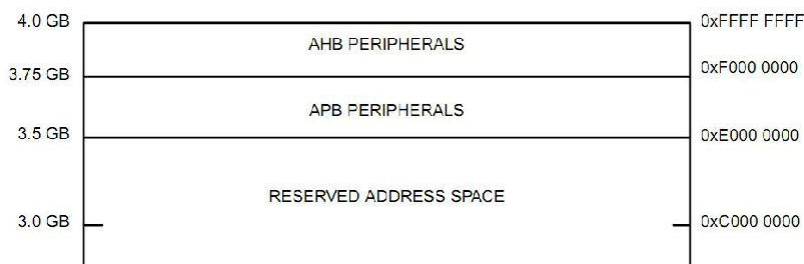


Рисунок 2.7 – Поділ на блоки адресного простору пристроїв шин АНВ і АРВ

–пам'ять 2 Кб годинника реального часу (RTC), можна використувати тільки для зберігання даних. Оскільки вона належить до повільної шини, зчитувати з неї код недоцільно, тому що це уповільнило б ядро контролера, який постійно очікує передачі нової порції коду;

–пам'ять годинника реального часу (RTC) можна використовувати в ролі NVRAM (Non-volatile random-access memory – енергонезалежної пам'яті), оскільки вона живиться від батарейки і її вміст зберігається у вимкненому стані.

– шина APB (Advanced Peripheral Bus – покращена периферійна шина) – призначена для розщеплення і з'єднання безлічі більш повільних периферійних пристроїв.

APB – ще більш повільна шина, ніж АНВ. Зв'язок з APB здійснюється за допомогою мосту АНВ–APB. Пристрої на шині APB також адресуються блоком, який лежить вище 3.5 Гб (рисунок 2.7). Блок займає 2 Мб. Кожен пристрій в блоці резервує за собою 16 Кб адресного простору із загального блоку (послідовно).

На рисунку 2.8 наведено пристрої, які з'єднуються шиною APB.

Кожний периферійний пристрій має по одній лінії, що сполучає його і VIC (векторний контролер переривань).

Будь-яка ніжка порту Port0 або Port2, незалежно від функцій, може бути запрограмована на генерацію переривань (сумарно 46 ніжок):

–за наростанням;

–за спаданням;

–за наростанням і спаданням вхідного сигналу.

Ці запити переривань будуть скомбіновані із запитом переривання EINT3.

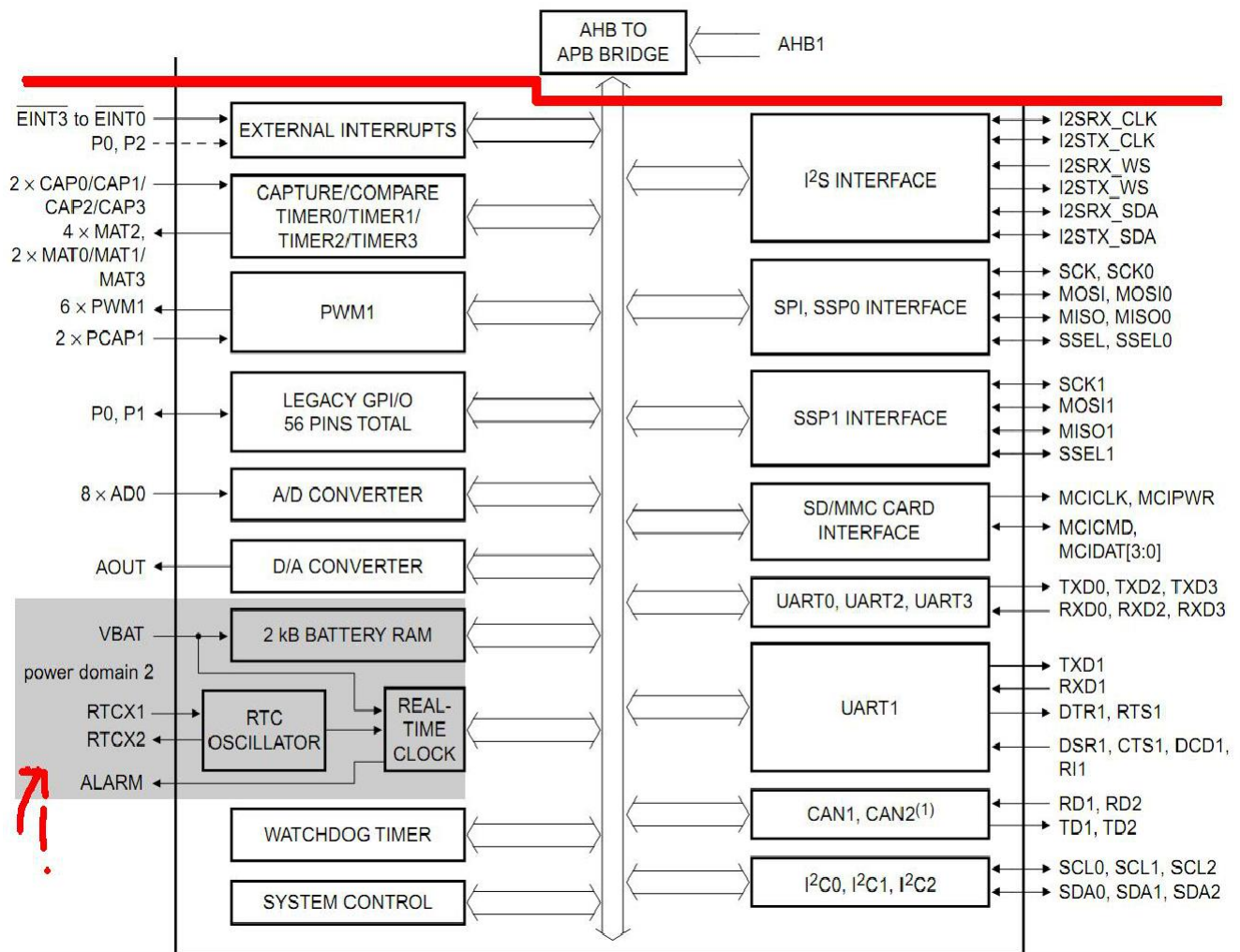


Рисунок 2.8 – Пристрої, які з'єднуються шиною APB

2.3. Мікроконтролер STM32

Враховуючи велику кількість компаній, що виробляють мікроконтролери архітектури ARM, велику кількість цих контролерів навіть у однієї компанії, коротко зупинимося на контролерах серії STM32 компанії STMicroelectronics.

STMicroelectronics – європейська мікроелектронна компанія, одна з найбільших, що займаються розробкою, виготовленням та продажем різних напівпровідникових електронних і мікроелектронних компонентів. Сьогодні штаб-квартира компанії знаходиться в Женеві, в той же час, її холдингова компанія STMicroelectronics NV зареєстрована в Амстердамі, однак компанія

історично пов'язана з Італією та Францією, де значно взаємодіє з ринком.

Компанія має представництва в США, Китаї та Японії.

Мікроконтролери STM32 використовують ядро Cortex–M3. Сімейство ARM Cortex – нове покоління процесорів, які виконані за стандартною архітектурою і відповідають різним технологічним вимогам. На відміну від інших ЦПП (цифровий процесорний пристрій) ARM, сімейство Cortex є завершеним процесорним ядром, яке об'єднує стандартне ЦПП і системну архітектуру. Сімейство Cortex доступно в трьох основних профілях: профіль А для високопродуктивних застосувань, профіль R для застосувань у реальному часі і профіль M для чутливих до вартості мікроконтролерних застосувань.

Мікроконтролери STM32 виконано на основі профілю Cortex–M3, яке спеціально розроблене для застосувань, де необхідні розвинені системні ресурси і, при цьому, мале енергоспоживання. Вони характеризуються настільки низькою вартістю, що можуть конкурувати з традиційними 8 і 16–бітними мікроконтролерами. І хоча ЦПП ARM7 і ARM9 були з успіхом інтегровані в стандартні мікроконтролери, в них все ж таки простежується початкова орієнтованість на системи на кристалі (SoC). Це особливо помітно за способами обробки виняткових ситуацій та переривань, тому у різних виробників мікроконтролерів ці способи обробки реалізовано різним чином. Cortex–M3 є стандартизованим мікроконтролерним ядром, яке крім ЦПП, містить всі інші основні елементи мікроконтролера (в т.ч. система переривань, системний таймер SysTick, відлагоджувальна система та карта пам'яті). 4 гігабайтний адресний простір Cortex–M3 розділено на чітко розподілені області коду програми, статичного ОЗП, пристроїв введення–виведення і системних ресурсів.

На відміну від ядра ARM7, Cortex–M3 виконано за Гарвардською архітектурою і, тому, має декілька шин, що дозволяють виконувати операції паралельно. Сімейство Cortex має можливість оперувати з фрагментованими даними (unaligned data), що також відрізняє його від попередніх архітектур ARM. Цим гарантується максимальна ефективність використання внутріш-

нього статичного ОЗП. Сімейство Cortex також підтримує можливості встановлення і скидання біт в межах двох областей пам'яті розміром 1 Мбайт за методом bit banding. Цей метод надає ефективний доступ до регістрів і прапорців ПБВ, розташованих в області статичного ОЗП, і виключає необхідність інтеграції повнофункціонального бітового процесора.

Основою STM32 є процесор Cortex–M3. Він являє собою стандартизований мікроконтролер, який інтегрує 32–бітний ЦПП, шинну структуру, блок вкладених переривань, відлагоджувальну систему і відповідну організацію пам'яті.

До появи STM32 компанія ST вже мала у своєму асортименті 4 сімейства мікроконтролерів на основі ядер ARM7 і ARM9, однак саме у мікроконтролерів STM32 було досягнуто суттєве поліпшення співвідношення вартості і робочих характеристик. Мікроконтролери STM32, ціна яких за штуку при покупці великих кількостей становить трохи більше одного Євро, кидають серйозний виклик існуючим 8–бітним мікроконтролерам. Мікроконтролери STM32, які спочатку випускалися в 14 різних варіантах, розділено на дві групи: Performance Line, до якої увійшли мікроконтролери з тактовою частотою ЦПП до 72 МГц, і Access Line (тактова частота до 36 МГц). Обидві групи мікроконтролерів сумісні за розташуванням виводів і програмному забезпеченню. Обсяг їх вбудованої Flash–пам'яті досягає 128 Кбайт, а статичного ОЗП – 20 Кбайт. З моменту появи перших мікроконтролерів STM32 їх асортимент був істотно розширений новими представниками з підвищеними розмірами ОЗП і Flash–пам'яті, а також з більш складними ПБВ.

Сімейство STM32 складається з двох груп. Група Performance Line працює на тактових частотах до 72 МГц й оснащена повним набором ПБВ, а група Access Line працює на частотах до 36 МГц та інтегрує обмежений набір ПБВ.

Сімейство STM32 – це не тільки мікроконтролери на ядрі Cortex–M3. Архітектура Cortex–M включає в себе також ядра Cortex–M0 і Cortex–M4.

Cortex-M0 – це Cortex-M3 з скороченим набором команд, призначено для більш дешевих і менш вимогливих з точки зору продуктивності рішень. Cortex-M0 дозволить замінити 16-бітові мікроконтролери і, в меншій мірі, 8-бітові мікроконтролери. Cortex-M4 – це Cortex-M3, збагачено новими командами для обробки даних і призначено для застосувань, що вимагають більш високої продуктивності, з більш складною обробкою сигналу (операції з плаваючою комою на апаратному рівні). Cortex-M4 можна буде використовувати в нижньому сегменті DSP-додатків.

Програмний код, що працює на ядрі Cortex-M0, буде в повному обсязі працювати і на ядрі Cortex-M3, оскільки для Cortex-M3 діють всі інструкції Cortex-M0. Програмний код, що працює на ядрі Cortex-M3, також буде працювати на Cortex-M4, оскільки для Cortex-M4 залишаються чинними всі інструкції Cortex-M3. Тобто, зробивши виріб на Cortex-M3, можна буде далі зробити його більш дешеві і прості варіанти на Cortex-M0 або більш дорогі і складні вироби на Cortex-M4 з мінімальними витратами на переробку програмного коду. Оскільки Cortex-M3 вже став світовим стандартом, і оскільки Cortex-M0 і Cortex-M4 є натуральними продовженнями Cortex-M3, нікого не здивує, якщо вони також стануть стандартами найближчим часом. Інші виробники також активно працюють у цьому напрямку (Texas Instruments, Freescale, NXP і т.ін.)

У підсумку можна сказати, що обираючи STM32, розробник обирає досить популярний мікроконтролер на Cortex-M3, з перспективою переходу на інші ядра Cortex-M, але при цьому не закриває двері для продукції інших виробників.

ПИТАННЯ ДЛЯ САМОКОНТРОЛЮ

- 1) Ким було розроблено мікроконтролерне ядро ARM?
- 2) Від чого походить назва ARM?
- 3) На чому спеціалізується компанія "Advanced RISC Machines"?
- 4) Які компанії є клієнтами компанії ARM?
- 5) Які основні характеристики ядра ARM7?
- 6) Назвіть основні особливості мікроконтролера LPC2378.
- 7) Опишіть відмінності мікроконтролера LPC2378 від інших мікроконтролерів ряду LPC23xx.
- 8) Охарактеризуйте детальніше такі особливості мікроконтролера LPC2378 як:
 - структурна схема;
 - швидка периферія і ядро контролера;
 - зв'язок з периферією;
 - шина АНВ1;
 - шина АНВ2;
 - міст АНВ-to-АНВ.
- 9) Чим займається компанія STMicroelectronics?
- 10) На основі якого ядра виконані мікроконтролери STM32?
- 11) Охарактеризуйте склад та основні характеристики мікроконтролера STM32.
- 12) За якою архітектурою виконано мікроконтролер STM32?
- 13) Опишіть сімейство STM32.