

Національний університет "Львівська політехніка"
Кафедра електронних обчислювальних машин (ЕОМ)

Автоматизоване проектування комп'ютерних та кіберфізичних систем

спеціальність 123 "Комп'ютерна інженерія"
спеціалізація 123.04 "Кіберфізичні системи"
4-ий курс

Лекція 7. Високорівневі засоби системного проектування (5)

2021

01.1. Організація комунікації по шині AMBA АНВ.

Кожен запит на шині AMBA АНВ складається з фази адреси і фази даних. На відміну, наприклад, від шини PCI, шина AMBA передбачає використання окремих ліній адреси і даних. Тому на шині AMBA АНВ фаза адреси наступного запиту перекривається фазою даних попереднього запиту, що збільшує пропускну здатність шини. Таким чином, можливі ситуації, коли шини даних використовуються одним MASTER-пристроєм, а шини адреси і управління - іншим. Фаза адреси триває протягом одного такту і не може бути розширена. Тривалість фаз даних може управлятися SLAVE і MASTER пристроями, які беруть участь в обміні.

01.2. Організація комунікації по шині AMBA АНВ.

Після настання висхідного фронту тактового сигналу MASTER-пристрій, якому надано право використання шини, виставляє дійсну адресу і команду управління на відповідні шини.

За наступного висхідному фронту тактового сигналу SLAVE-пристрій запам'ятовує адресу і команду управління. Власне обмін даними виконується, починаючи з наступного такту, відповідно до виставленої командою управління.

01.3. Організація комунікації по шині AMBA AHB.

MASTER-пристрій визначає кількість слів даних, що входять в поточний запит. Для цього він використовує сигнал HBURST. Можуть бути запити до одиночного слову або пакетні запити. Пакетні запити, в свою чергу, можна розділити на запити з заздалегідь визначеною кількістю слів - запити певної довжини, і запити невизначеної довжини. Якщо виконання пакетного запиту не повинно перериватися (ведучий пристрій виставляє сигнал HLOCK), то запит є запитом з блокуванням.

01.4. Організація комунікації по шині AMBA AHB.

Для зазначення характеру виконуваних дій MASTER-пристрій використовує лінії htrans. Якщо MASTER-пристрій не вимагає від SLAVE-пристрою виконання будь-яких операцій, він виставляє htrans = idle. Як правило, це використовується, якщо MASTER-пристрій отримало шину як MASTER-пристрій за умовчанням, проте, в даний момент йому не потрібно використовувати її. Якщо MASTER-пристрою необхідно вставити порожні такти в середині запиту, він виставляє htrans = busy. Це може використовуватися, наприклад, в тому випадку, якщо MASTER-пристрій не встиг обробити дані, прийняті від SLAVE-пристрою. Якщо MASTER-пристрій виконує перший обмін в пакеті або одиночний обмін, він виставляє на ці лінії htrans = nonseq. Це дозволяє вказати SLAVE-пристрою, що отримана ним адреса і управління не пов'язані з попереднім обміном. Якщо MASTER-пристрій виконує черговий обмін в рамках пакетного обміну, він виставляє на лінії htrans сигнал seq. Це вказує SLAVE-пристрою, що йде послідовна передача, адреса пов'язана з попередньою, а керуюча інформація та ж, що і в попередньому обміні.

01.5. Організація комунікації по шині AMBA AHB.

SLAVE-пристрій може впливати на виконання запиту наступним чином. SLAVE-пристрій може вказати на необхідність додаткових тактів в фазі даних сигналом HREADY. Інтерпретація значення цього сигналу MASTER-пристроєм і арбітром виконується в поєднанні з інтерпретацією сигналу HRESP. Для SLAVE-пристрою можливі різні сценарії поведінки. SLAVE-пристрій може опрацювати поточний обмін даними протягом одного такту або йому для цього може знадобитися кілька тактів. SLAVE-пристрій може виявитися не в змозі виконати обмін з яких-небудь причин - в цьому випадку обмін завершується з помилкою, і на лінії HRESP має виставлятися сигнал ERROR. Якщо всередині SLAVE-пристрою для виконання певного типу обміну буде необхідно багато тактів роботи, він може відпрацьовувати необхідні дії не блокуючи шину AMBA AHB протягом цього проміжку часу. Це дозволяє збільшити реальну пропускну здатність шини. Для цього SLAVE-пристрій може скористатися механізмом повторних передач або механізмом розщеплення транзакції.

01.6. Організація комунікації по шині AMBA AHB.

Механізм *повторних передач* використовується, як правило, в тих випадках, коли на момент звернення до SLAVE-пристрою він зайнятий виконанням неперервних внутрішніх функцій і не може відповісти на запит від MASTER-пристрою негайно, або йому на обробку запиту потрібно багато часу. При цьому, протягом цього періоду, SLAVE-пристрій також не зможе обробляти запити від інших MASTER-пристроїв. Арбітр при отриманні від SLAVE-пристрою підтвердження, що вказує на використання механізму повторної передачі (HRESP = RETRY), може надати шину іншому MASTER-пристрою, якщо в системі є запити на шину. В цьому випадку арбітр обробляє так звану нормальну схему пріоритетів, коли право використовувати шину може отримати тільки MASTER-пристрій, пріоритет якого вище пріоритету того пристрою, у відповідь на запит якого було отримано HRESP = RETRY. MASTER-пристрій, до запиту якого був застосований механізм повторних передач, продовжує запитувати шину. Коли він отримує її знову, то може продовжити виконання запиту з того місця, на якому він був перерваний.

01.7. Організація комунікації по шині AMBA AHB.

Механізм *розщеплених транзакцій (split transaction)* використовується в тому випадку, якщо SLAVE-пристрою для обробки заданого запиту потрібно багато часу, але він при цьому може виконувати запити від інших MASTER-пристроїв. Арбітр, при отриманні від SLAVE-пристрою підтвердження, що вказує на використання цього механізму (HRESP = SPLIT), надає шину іншому MASTER-пристрою, який в даний момент запитує шину, або MASTER-пристрою за умовчанням, якщо в даний момент жоден інший MASTER-пристрій її не запитує. MASTER-пристрій, транзакція якого була розщеплена, позбавляється можливості використовувати шину до тих пір, поки сам SLAVE-пристрій не покаже сигнал готовності завершити розщеплену транзакцію. SLAVE-пристрій, який ініціював виконання розщепленої транзакції, може обробляти запити від інших MASTER-пристроїв, але не завершити розпочату розщеплену транзакцію.

01.8. Організація комунікації по шині AMBA AHB.

При проектуванні SLAVE-пристроїв і системи в цілому необхідно враховувати, що SPLIT і RETRY можуть призвести до блокування шини. Одиночна передача не може привести до блокування, оскільки SLAVE-пристрої повинні проектуватися таким чином, щоб завершити передачу за скінченну кількість циклів. При SPLIT і RETRY MASTER-пристрій практично блокується, причому в загальному випадку на невизначений час.

01.9. Організація комунікації по шині AMBA AHB.

Обробка сигналу скидання HRESETn.

Цей сигнал є сигналом скидання для всіх елементів шини.

Активним рівнем сигналу скидання є низький рівень. Сигнал може виставлятися асинхронно, але відпрацьовуватися повинен синхронно, по висхідному фронту тактового імпульсу. За цим сигналом всі провідні пристрої повинні виставити на лінії адреси і управління дійсні значення. HTRANS[1: 0] повинен бути встановлений в IDLE.

02.1. Керування доступом до шини AMBA АНВ. Арбітр шини AMBA АНВ.

Механізм арбітражу зазвичай повинен гарантувати, що в один момент часу тільки один MASTER-пристрій буде працювати з шиною. Функції арбітра на шині AMBA АНВ дещо ширші:

- вибір MASTER-пристрою, з яким буде надана шина;
- вибір SLAVE-пристрою, який братиме участь в обміні;
- контроль обмінів з блокуванням, завершення виконання запитів зі статусом RETRY і ERROR, розщеплених транзакцій зі статусом SPLIT.

02.2. Керування доступом до шини AMBA АНВ. Арбітр шини AMBA АНВ. Вибір MASTER-пристрою, якому буде надана шина.

Розглянемо, як здійснюється вибір MASTER-пристрою, якому буде надана шина. Як правило, арбітр надає шину наступному MASTER-пристрою тільки по завершенні попереднього обміну.

Наступний MASTER-пристрій отримує право використовувати лінії адреси і управління під час виконання останньої фази даних попереднього обміну. Можливість використовувати лінії даних він отримає після завершення останньої фази даних попереднього обміну. Однак арбітр може завершити пакетний обмін і за своєю ініціативою, раніше, ніж це зробив би MASTER-пристрій, - в тому випадку, якщо арбітр отримує запит шини від MASTER-пристрою з більш високим пріоритетом. Таке дострокове, примусове завершення пакетного обміну неприпустимо тільки в разі, якщо виконується запит, для якого виставлено сигнал HLOCK.

02.3. Керування доступом до шини AMBA АНВ. Арбітр шини AMBA АНВ. Вибір MASTER-пристрою, якому буде надана шина.

Таким чином, арбітр повинен відслідковувати стан виконуваного запиту. Арбітр аналізує значення сигналу HBURST. Якщо виконується одиночна передача, арбітр відразу ж (в ході виконання фази адреси поточного обміну) може визначити MASTER-пристрій, якому буде надана шина для наступного обміну.

Якщо виконується запит фіксованої довжини, то арбітр рахує кількість виконаних передач. При виконанні передостанньої передачі запиту він визначає MASTER-пристрій, якому буде надана шина для наступного обміну. Під час виконання останньої передачі, лінії адреси і управління надаються наступного MASTER-пристрою.

02.4. Керування доступом до шини AMBA АНВ. Арбітр шини AMBA АНВ. Вибір MASTER-пристрою, якому буде надана шина.

Якщо MASTER-пристрій виконує запит невизначеної довжини, то він повинний тримати сигнал запиту шини до початку останньої передачі. Зняття цього сигналу вказує арбітру, що він може приступити до визначення MASTER-пристрою для наступного обміну даними.

Арбітр вважає, що чергова передача закінчена, якщо SLAVE-пристрій встановлює сигнал HREADY в '1'.

Далі розглянемо послідовність дій, які виконуються при наданні шини чергового MASTER-пристрою.

02.5. Керування доступом до шини AMBA AHB. Арбітр шини AMBA AHB. Вибір MASTER-пристрою, якому буде надана шина.

MASTER-пристрій, якому необхідно використовувати шину, може виставити сигнал запиту HBSREQx в будь-який момент часу. Якщо цей запит має бути з блокуванням(його виконання не повинно перериватися), то, одночасно з цим сигналом, MASTER-пристроєм повинен виставлятися сигнал HLOCKx. Арбітр, визначивши, що далі шина може бути надана наступного MASTER-пристрою, по висхідному фронту тактового сигналу переглядає наявні запити. Арбітр використовує певний алгоритм арбітражу, що не специфікується стандартом на шину AMBA AHB, для вибору MASTER-пристрою, якому буде надана шина. Для цього MASTER-пристрою арбітр виставляє сигнал HGRANTx. При нормальній схемі арбітражу(арбітр не перериває обмінів за своєю ініціативою) HGRANTx виставляється наступного MASTER-пристрою, коли поточний MASTER-пристрій виставляє адресу останнього слова в обміні. Якщо жоден з MASTER-пристроїв не запитує шину, арбітр надає її пристрою, що є MASTER-пристроєм за замовчуванням. Тому важливо, щоб усі MASTER-пристрої, які не запитують шину, виставляли на HTRANS тип IDLW. Тоді, якщо MASTER-пристрій в даній системі є MASTER-пристроєм за замовчуванням, отримання ним шини за замовчуванням не спровокує обміну даними, запиту якого він не виконував.

02.6. Керування доступом до шини AMBA АНВ. Арбітр шини AMBA АНВ. Вибір MASTER-пристрою, якому буде надана шина.

MASTER-пристрій може вважати, що йому надані лінії адреси і управління, коли по передньому фронту сигналу тактування $HGRANT_x=1$ і $HREADY=1$, що вказує на закінчення передостанньої фази попереднього запиту. В цей же момент арбітр повинен виставити на $HMASTER[3..0]$ ідентифікатор MASTER-пристрою, який отримав шину (лінії $HMASTER[3..0]$ можуть використовуватися для управління мультиплексорами шин адреси і управління). Якщо MASTER-пристрій, якому надаються шини адреси і управління, виставив сигнал $HLOCK$, то, одночасно з установкою сигналу $HMASTER$, арбітр повинен виставити сигнал $HMASTLOCK$, який вказує на те, що буде виконуватися послідовність передач з блокуванням.

Однак шини даних поки що надані попереднього MASTER-пристрою. Ними йде передача останнього слова в обміні. Вже отримавши права на шину адреси і управління, перш ніж використовувати ще і лінії даних, MASTER-пристрій має знову дочекатися появи сигналу $HREADY=1$, що вказує на закінчення останньої фази попереднього запиту.

02.7. Керування доступом до шини AMBA AHB. Арбітр шини AMBA AHB. Вибір SLAVE-пристрою, який братиме участь в обмін.

На шині AMBA AHB арбітр виконує також декодування адреси і визначає SLAVE-пристрій, який братиме участь в обміні. Ці дії виконуються на початку кожного нового запиту на шині. Кожний SLAVE-пристрій пов'язаний з арбітром окремою виділеною лінією HSELx, по якій він отримує сигнал дозволу роботи. В декодуванні беруть участь старші розряди адреси. Мінімальна адресний простір, яке може відповідати одному SLAVE-пристрою - 1 Кбайт. Робота MASTER-пристроїв при виконанні пакетних запитів повинна бути організована таким чином, щоб в ході пакетного обміну вони не переходили через кордон в 1 Кбайт, щоб не виникло ситуації, коли SLAVE-пристрій змінюється в середині пакетного запиту. Якщо система організована таким чином, що використовується не весь адресний простір, вона повинна містити деякий SLAVE-пристрій за умовчанням, який би видавав відповіді при зверненні до неіснуючих адрес. Функції цього SLAVE-пристрою можуть бути покладені на арбітра. Якщо за неіснуючою адресою виконується запит типу NONSEQUENTIAL або SEQUENTIAL, SLAVE-пристрій за умовчанням має видати підтвердження типу ERROR. Якщо запит мав тип BUSY або IDLE, то повинно бути видано підтвердження OKAY при нульовому стані очікування.

02.8. Керування доступом до шини AMBA АНВ. Арбітр шини AMBA АНВ. Вибір SLAVE-пристрою, який братиме участь в обмін.

SLAVE-пристрій при отриманні сигналу HSEL_x має затригерити адресу і керуючу інформацію в тому такті, в якому SLAVE-пристрій, який брав участь в попередньому обміні, виставив '1' на лінії HREADY, що вказувало, що обмін завершений.

02.9. Керування доступом до шини AMBA АНВ. Арбітр шини AMBA АНВ. Контроль виконання обміну з блокуванням.

Якщо при запиті шини MASTER-пристрій виставив сигнал HLOCKx, це вказує арбітру на те, що виконання запитаного обміну не може бути перервано з моменту початку до моменту скидання цього сигналу. Після того, як обмін з блокуванням завершено, арбітр повинен зберегти шину за тим же MASTER-пристроєм на додатковий обмін. Це необхідно для того, щоб гарантувати, що завершено обробку даних, що відповідає останній фазі даних обміну з блокуванням, і що не з'явиться відповідь типу SPLIT або RETRY. Тому рекомендується (це не обов'язкова вимога), щоб MASTER-пристрій, після обміну даними з блокуванням, вставляв один обмін з типом IDLE. Арбітр також відповідальний за формування сигналу HMASTLOCK, який повинен виставлятися тоді ж, коли і сигнал адреси та управління.

02.10. Керування доступом до шини AMBA АНВ. Арбітр шини AMBA АНВ Контроль виконання обміну з блокування.

Розглянемо, як арбітр обробляє завершення обмінів, в яких SLAVE-пристрій на лінії HRESP виставив підтвердження, відмінне від OKAY. Завершення обміну з підтвердженням OKAY займає один такт, у всіх інших випадках - два такти. У першому з цих тактів MASTER-пристрій повинен виставити відповідний сигнал підтвердження та HREADY=0. У другому такті - виставити HREADY=1 для відображення стану завершення обміну; HRESP[1..0] при цьому повинен залишатися без змін.

02.11. Керування доступом до шини AMBA АНВ. Арбітр шини AMBA АНВ Контроль виконання обміну з блокування.

Якщо $HRESP=ERROR$ - виникла помилка. Для наступного запиту арбітр може надати шину будь-якому MASTER-пристрою, в тому числі і тому, запит якого щойно закінчився з помилкою (якщо він продовжує виставляти сигнал запиту шини).

Якщо $HRESP=RETRY$, для наступного обміну шина може бути надана тільки MASTER-пристрою, пріоритет якого вищий, ніж пріоритет пристрою, який отримало підтвердження $RETRY$. Якщо жодний з MASTER-пристроїв з більш високим пріоритетом не запитує шину, то вона залишається за колишнім MASTER-пристроєм (який отримав підтвердження $RETRY$).

02.12. Керування доступом до шини AMBA АНВ. Арбітр шини AMBA АНВ Розщеплені транзакції.

SLAVE-пристрій, для виконання розщепленої транзакції, виставляє на лінії підтвердження HRESP сигнал SPLIT. Після отримання такого коду стану арбітр повинен заблокувати сигнал запиту шини від MASTER-пристрою, до тих пір, поки SLAVE-пристрій не покаже сигнал готовності завершити розщеплену транзакцію на відповідний розряд сигналу HSPLIT. Як правило, для цих цілей арбітр містить спеціальний регістр маски, кожний біт якого відповідає одному MASTER-пристрою. При виникненні цієї ситуації арбітр повинен визначити MASTER-пристрій, якому буде надана шина для наступного запиту. Це може бути будь-який MASTER-пристрій, для якого зараз немає розщеплених транзакцій.

03.1. Керування доступом до шини AMBA АНВ. Арбітр шини AMBA АНВ. Модель поведінки MASTER-пристрою.

Якщо MASTER-пристрою необхідно використовувати шину, він виставляє сигнал запиту шини HBUSREQx. Цей сигнал виставляється асинхронно і може бути виставлений в будь-який момент часу. Якщо повинен бути виконаний обмін з блокуванням, то одночасно з HBUSREQx повинен бути виставлений сигнал HLOCKx. Після того як ведучий пристрій отримує сигнал HGRANTx, перш ніж почати фазу адреси, він повинний дочекатися установки сигналу HREADY в '1', що вказує на завершення останньої фази адреси попереднього запиту. Після цього починається перша фаза адреси нового обміну. Оскільки виходи MASTER-пристроїв підключаються на шину через мультиплексор, керований арбітром, MASTER-пристрій може виставляти адресу і відповідні йому сигнали управління одночасно з сигналом запиту шини HBUSREQx. Перша фаза адреси триває до тих пір, поки не буде завершена остання фаза даних попереднього запиту (до тих пір, поки сигнал HREADY в черговий раз не буде встановлений в 1). Потім починається перший обмін даними нового запиту. Тепер MASTER-пристрій може скинути сигнал запиту шини HBUSREQx, якщо він виконує обмін одиночним словом даних або пакетним обміном фіксованої довжини (HBURST≠INSR). В іншому випадку сигнал HBUSREQx повинен залишатися активним до початку останньої фази обміну даними. Якщо MASTER-пристрій має намір виконати ще один запит після того, який виконується в даний момент, він повинний знову виставити сигнал запиту шини HBUSREQx протягом виконання поточного запиту.

03.2. Керування доступом до шини AMBA АНВ. Арбітр шини AMBA АНВ. Модель поведінки MASTER-пристрою.

Розглянемо, як виконується один обмін даними в ході виконання запиту. Адреса і керуючі сигнали для цього обміну були виставлені MASTER-пристроєм і прочитані SLAVE-пристроєм в попередньому такті (в останньому такті попереднього обміну даними). У першому такті поточного обміну даними MASTER-пристрій виставляє адресу і керуючі сигнали для наступного обміну даними, якщо поточний обмін даними не останній в цьому запиті. Якщо в ході поточного обміну повинний бути виконаний запис даних в SLAVE-пристрій, MASTER-пристрій виставляє дані. Далі, по висхідному фронту тактового імпульсу, MASTER-пристрій аналізує значення сигналів HRESP і HREADY від SLAVE-пристрою. Якщо HRESP=OKAY і HREADY='1' - поточний обмін вважається успішно завершеним. Якщо це був запис даних в SLAVE-пристрій, то дані успішно записані; якщо це було читання даних з SLAVE-пристрою, то він виставив дійсні дані на шину, і з даного переднього фронту тактового імпульсу вони можуть бути записані MASTER-пристроєм.

03.3. Керування доступом до шини AMBA АНВ. Арбітр шини AMBA АНВ. Модель поведінки MASTER-пристрою.

Якщо HRESP=OKAY і HREADY='0', - значить, SLAVE-пристрій запитує додаткові такти для завершення поточного обміну даними. У цьому випадку MASTER-пристрій має залишити всі виставлені їм сигнали без змін.

Якщо HRESP=ERROR, то MASTER-пристрій має виконати свій алгоритм обробки помилки. При виникненні такої ситуації, в залежності від використовуваної в системі схеми арбітражу, арбітр може надати шину іншому MASTER-пристрою, але може і залишити шину за попереднім MASTER-пристроєм, якщо він продовжує виставляти сигнал запиту шини.

03.4. Керування доступом до шини AMBA АНВ. Арбітр шини AMBA АНВ. Модель поведінки MASTER-пристрою.

При HRESP=SPLIT або HRESP=RETRY MASTER-пристрій має виконувати однакову послідовність дій, він повинно продовжувати вимагати шину до тих пір, поки обмін не буде завершеним нормально(з підтвердженням OKAY) або з помилкою(з підтвердженням ERROR). Після того як цей MASTER-пристрій знову отримає шину, він повинний продовжити виконання запиту з того місця, на якому був перерваний. Повинна бути повторена фаза адреси для того обміну даними, виконання якого в попередній раз закінчилося підтвердженням SPLIT або RETRY. Однак значення керуючих сигналів при повторенні можуть бути іншими. Це можна проілюструвати наступним прикладом. Нехай запит фіксованої довжини з 8 слів був перерваний при передачі четвертого слова(повністю оброблені передачі трьох слів). У цьому випадку, коли MASTER-пристрій знову отримає шину, він може виконати або пакетну передачу невизначеної довжини з п'яти слів або пакетну передачу невизначеної довжини з одного слова, і потім - пакетну передачу фіксованої довжини з чотирьох слів. У будь-якому з цих варіантів, значення HBURST буде відрізнятися від виставленого MASTER-пристроєм спочатку.

03.5. Керування доступом до шини AMBA AHB. Арбітр шини AMBA AHB. Модель поведінки MASTER-пристрою.

Протокол шини AMBA AHB дозволяє кожному MASTER-пристрою мати по одній незакінченій транзакції. Якщо фізичний пристрій, що працює як MASTER-пристрій на AMBA AHB, може мати більшу кількість незакінчених транзакцій, то такий пристрій повинен мати відповідну кількість інтерфейсів MASTER-пристрою на шині (один фізичний пристрій може мати кілька інтерфейсів).

Далі розглядається використання MASTER-пристрій сигналу HTRANS. Якщо MASTER-пристрій отримало шину як MASTER-пристрій за умовчанням, але йому не потрібно її використовувати, то HTRANS=IDLE. Це вказує SLAVE-пристрою, що йому не потрібно виконувати жодних дій. Тому, якщо MASTER-пристрій не виконує запит на шині, то він повинний на HTRANS виставляти IDLE; при цьому неважливо, які сигнали будуть присутні на інших лініях.

03.6. Керування доступом до шини AMBA АНВ. Арбітр шини AMBA АНВ. Модель поведінки MASTER-пристрою.

Якщо MASTER-пристрою необхідно вставити порожні такти в ході виконання запиту (наприклад, в результаті того, що він не встигає підготувати дані для пересилання), то він виставляє HTRANS=BUSY. При цьому на лінії адреси і на інші лінії управління MASTER-пристрій повинен виставляти адресу і сигнали управління, відповідні наступному обміну.

Коди сигналів HTRANS дозволяють також MASTER-пристрою вказати SLAVE-пристрою, чи є поточний обмін першим (HTRANS=NONSEQ) або він є черговим в пакеті (HTRANS=SEQ) (його адреса пов'язана з адресою попереднього обміну, а сигнали управління повністю збігаються). Це може бути корисним для таких SLAVE-пристрою, як пам'ять.

Якщо MASTER-пристрій виконував запит з блокуванням, рекомендується (це не обов'язкова вимога), щоб MASTER-пристрій після обміну даними з блокуванням вставляв один обмін з типом IDLE. Це необхідно для того, щоб, якщо SLAVE-пристрій при виконанні останнього обміну виставив підтвердження, відмінне від OKAY, MASTER-пристрій не втратив би право на використання шини, що в даному випадку може призвести до переривання виконання запиту з блокуванням.

04.1. Керування доступом до шини AMBA АНВ. Арбітр шини AMBA АНВ. Модель поведінки SLAVE-пристрою.

Якщо SLAVE-пристрій отримав від арбітра сигнал HSELx, значить, він обраний для участі в наступному обміні даними. В цьому випадку SLAVE-пристрій повинен запам'ятати адресу і сигнали управління при HREADY=1. Після цього він повинний почати обробку першого слова даних запиту (виконання першого обміну даними).

SLAVE-пристрій може завершити обмін одним із таких способів:

- завершити обмін негайно - в першому ж такті обміну;
- вставити один або кілька станів очікування для отримання додаткового часу для завершення запиту;
- ініціювати виконання повторення або розщеплення транзакції для того, щоб звільнити шину для інших обмінів;
- завершити обмін з помилкою.

04.2. Керування доступом до шини AMBA АНВ. Арбітр шини AMBA АНВ. Модель поведінки SLAVE-пристрою.

Якщо SLAVE-пристрій готовий завершити обмін негайно, то він встановлює HREADY='1' і HRESP=OKAY. Якщо виконується операція записи, це означає, що SLAVE-пристрій записав дані. Якщо виконується операція читання, це означає, що він виставив актуальні дані на шину.

Якщо SLAVE-пристрою необхідно вставити один або кілька тактів очікування, то в цих тактах він виставляє HREADY='0' і HRESP=OKAY. Розробникам необхідно враховувати, що всі такти, коли HREADY='0' і HRESP=OKAY, шина AMBA АНВ простоює. Тому рекомендується, щоб SLAVE-пристрій не вставляв більше 16-ти тактів очікування поспіль.

Як вже зазначалося раніше, виставлення підтвердження, відмінного від OKAY, має виконуватися протягом двох тактів. Тому, якщо SLAVE-пристрій вимагає виконання повторення або розщеплення транзакції або повідомляє про завершення запиту з помилкою, воно в першому такті виставляє HREADY='0', HRESP=RETRY, HRESP=SPLIT або HRESP=ERROR відповідно. У другому такті він виставляє HREADY='1', а HRESP залишається без змін.

04.3. Керування доступом до шини AMBA АНВ. Арбітр шини AMBA АНВ. Модель поведінки SLAVE-пристрою.

Якщо SLAVE-пристрій виставив HRESP=ERROR, тип помилки інтерпретується в залежності від виконуваного типу обміну (наприклад, спроба запису в привілейовану область пам'яті в режимі користувача). Ніякі спеціальні засоби для зазначення типу помилки SLAVE-пристроєм не визначені.

Якщо SLAVE-пристрій виставив HRESP=RETRY, від нього не вимагається виконання будь-яких додаткових дій. Дії по завершенню обробки розщепленої транзакції розглянуті далі.

04.4. Керування доступом до шини AMBA АНВ. Арбітр шини AMBA АНВ. Модель поведінки SLAVE-пристрою.

Розглянемо поведінку SLAVE-пристрою, здатного виконувати розщеплені транзакції. Такий SLAVE-пристрій на початку кожного обміну має запам'ятовувати не тільки адресу, за якою йде звернення, а й ідентифікатор MASTER-пристрою (HMASTER), що ініціював обмін. Якщо в ході обміну з цим MASTER-пристроєм SLAVE-пристрій ініціював розщеплення транзакції, то для того, щоб потім завершити цю транзакцію, він повинний виставити '1' на відповідній лінії HSPLITx. Кожному *i*-му MASTER-пристрою відповідає окрема лінія HSPLIT[i]. Сигнал на HSPLIT повинен утримуватися SLAVE-пристроєм протягом одного такту. Цей сигнал обробляється арбітром, після чого відповідний MASTER-пристрій, в свою чергу, отримує можливість використовувати шину для завершення розщепленої транзакції. Якщо система містить кілька SLAVE-пристроїв, що підтримують розщеплені транзакції, то сигнали HSPLITx, що йдуть від цих пристроїв, можуть об'єднуватися за допомогою монтажного АБО.

04.5. Керування доступом до шини AMBA АНВ. Арбітр шини AMBA АНВ. Модель поведінки SLAVE-пристрою.

SLAVE-пристрій може мати кілька незакінчених транзакцій від різних MASTER-пристроїв. При цьому SLAVE-пристрій може не запам'ятовувати адресу відкладеного звернення і команду управління, а тільки ідентифікатор MASTER-пристрою. Коли SLAVE-пристрій буде готовий до роботи з конкретним MASTER-пристроєм, він зможе виставити відповідний сигнал HSPLITx, і MASTER-пристрій на початку обміну, в будь-якому випадку, має повторити і адресу звернення, і команду для чергового обміну в транзакції.

Якщо SLAVE-пристрій видав підтвердження SPLIT для кількох MASTER-пристроїв, в подальшому він може завершувати транзакції в будь-якому порядку. Однак якщо серед них була транзакція з блокуванням, вона повинна бути завершена в першу чергу.

04.6. Керування доступом до шини AMBA АНВ. Арбітр шини AMBA АНВ. Модель поведінки SLAVE-пристрою.

SLAVE-пристрій, який може виставляти RETRY, має в один момент часу опитуватися тільки одним MASTER-пристроєм. У більшості випадків SLAVE-пристрої, які здатні виставляти RETRY -- це будь-які приймально-передавальні пристрої, і те, що в один момент часу до них звертається тільки один MASTER-пристрій, відстежується на більш високих рівнях протоколу обміну. Передбачається, що коли SLAVE-пристрій виставляє сигнал RETRY, він запам'ятовує номер MASTER-пристрою. Між цим моментом часу і часом, коли даний запит буде успішно виконаний, цей SLAVE-пристрій всім іншим MASTER-пристроєм може видавати повідомлення про помилку.