



## Проектиране на вградени автомобилни електронни системи

### Лабораторно упражнение №14

Работа с Xilinx Vivado и Vitis. Споделяне на външна DDR RAM памет в многопроцесорна система.

=====

1. Превключете джъмпера вдясно на платката на позиция JTAG. Свържете  $\mu$ USB кабел към PROG/UART USB куплунга. Включете платката от ключа ON/OFF.
2. От страничния панел на Ubuntu изберете бутон "Show Applications", след което в полето "Type to search" напишете Vivado и натиснете с ляв бутон на мишката иконката на програмата.
3. Create Project → Next → Project name: 14\_shared\_ram → Next → RTL Project + "Do not specify sources at this time" → Next → таб Boards: избира се Zybo (не Zybo Z7-10, не Zybo Z7-20, а само Zybo) → Next → Finish.
- ЗАБЕЛЕЖКА:** работната маса с платка Zybo Z7-10 (вдясно на Етернет куплунга трябва да има 2 HDMI конектора; ако има един HDMI и един VGA значи, че е само Zybo) трябва да избере Zybo Z7-10 от това меню.
4. Вляво → Flow navigator → Create block design → OK.
5. Вдясно → Diagram → right-click → Add IP → Search → ZYNQ7 Processing System → double click.
6. Вдясно → Diagram → натиска се и се задържа ляв бутон върху FCLK\_CLK0 сигнала и се свързва с M\_AXI\_GP0\_ACLK, след това се пуска левия бутон.
7. Вдясно → Diagram → right-click → Add IP → Search → Processor System Reset → double click.
8. Вдясно → Diagram → зелена лента → Designer Assistance available → Run Block Automation → Слага се отметка на "All Automation".
9. Вдясно → Diagram → right-click → Add IP → Search → MicroBlaze → double click.
10. Вдясно → Diagram → зелена лента → Designer Assistance available -> Run Block Automation → Слага се отметка на "microblaze\_0". В полето Options се

избира Local memory: 64 kB и Cache configuration: None. Натиска се OK.

11. Щракнете два пъти върху блока MicroBlaze → Predefined configurations → Select Configuration: Microcontroller preset → OK [1].

12. Щракнете два пъти върху блока ZYNQ7 → "Page navigator" → PS-PL Configuration → GP Slave AXI Interface → сложете отметка на S AXI GP0 interface [2]. "Page navigator" → MIO Configuration → махат се отметките в раздел I/O Peripherals на ENET0, USB0, SD0. На UART1 се проверяват връзките MIO48 ↔ tx, MIO49 ↔ rx. Натиска се OK.

13. Вдясно → Diagram → right-click → Add IP → Search → AXI Interconnect → double click.

14. Щракнете два пъти върху блока AXI Interconnect → Number of Slave Interfaces = 1 → Number of Master Interfaces = 1 → OK.

15. Натиска се и се задържа ляв бутон върху M\_AXI\_DP порта и се свързва с порта S00\_AXI на AXI Interconnect блокът, след това се пуска левия бутон. Аналогично се свързва портът M00\_AXI с порта S\_AXI\_GP0 порта на ZYNQ7 блокът.

16. Вдясно → Diagram → зелена лента → Designer Assistance available -> Run Connection Automation → Слага се отметка на "All Automation". Натиска се OK.

17. В основния прозорец на Vivado, до таб Diagram, се избира Address Editor → натиска се бутон Assign All.

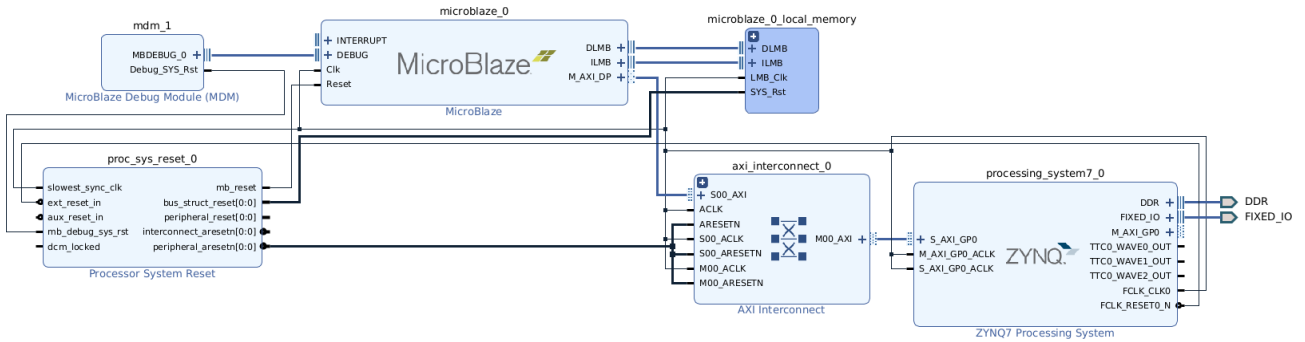
18. Подрежда се блоковата схема с бутон Regenerate Layout.

19. Вдясно → Diagram → лента с бутони → Validate Design (F6) → "Validation successful. There are no errors or critical warnings in this design." → OK.

В някои версии на Vivado е възможно да се появят предупредителни съобщения, относно отрицателни стойности на параметрите DDR\_DQS\_TO\_CLK\_DELAY\_x, но те могат да се игнорират в конкретния дизайн.

20. Централно → в Block design прозореца, натиска се таб-а Sources → Design sources → right-click на design\_1.bd → Create HDL Wrapper (създава Verilog описание на новосъздадената система) → Let Vivado manage wrapper and auto-update → OK

Блоковата схема на системата е показана по-долу.



21. Вляво → Flow navigator → Generate bitstream → Yes → ОК → изчаква се няколко минути (докато завърши синтеза) → View reports → ОК

**ВНИМАНИЕ:** долу, централно, в таб Log може да наблюдавате съобщенията от синтеза. Най-горе, вдясно на Vivado прозореца ще видите иконка на въртящ се зелен часовник. Докато тя е видима, значи трябва да се изчака.

22. File → Export → Export hardware → Next → Include bitstream → Next → Next  
→ Finish

=====

=====

23. От страничния панел на Ubuntu изберете бутон “Show Applications”, след което в полето “Type to search” напишете Vitis Classic и натиснете с ляв бутон на мишката иконката на програмата.

24. Избира се път до workspace за фирмуерния проект → Launch

**ВНИМАНИЕ:** възможно е да има останали фърмуерни проекти от минали групи. В таб-а Explorer на средата Vitis със задържане на CTRL от клавиатурата изберете с ляв бутон на мишката всички проекти, след което натиснете десен бутон на мишката и Delete. Ако проектите ще се използват, махнете отметката от “Delete project contents on disk (cannot be undone)” и натиснете OK.

25. File → New → Platform project → Platform project name: 14\_shared\_ram\_mb\_pla → Next → таб "Create new platform from hardware" → Browse → избира се пътя до проекта 14\_shared\_ram, създаден от Vivado → design\_1\_wrapper.xsa → Open → Поле Software specification → Operating system: standalone (това означава bare-metal firmware) и Processor: microblaze\_0 → Finish.

26. Вляво → Project explorer → избира се 14\_shared\_ram\_mb\_pla → right-click → Build Project.

27. File → New → Application project → Next → "Select a platform from repository" → Избира се 14\_shared\_ram\_mb\_pla → Next → Application project name: 14\_shared\_ram\_mb\_app → Next → Next → "Empty application (C)" → Finish.

28. File → New → Application project → Next → "Select a platform from repository" → Избира се 14\_shared\_ram\_mb\_pla → Next → Application project name: 14\_shared\_ram\_mb\_app → Next → Next → "Hello World" → Finish.

29. Щраква се двукратно с ляв бутон върху директорията src в проекта 14\_shared\_ram\_mb\_app\_system/ 14\_shared\_ram\_mb\_app → src → helloworld.c

```
#include <stdio.h>
#include <string.h>
#include <stdint.h>
#include "platform.h"
#include "xil_printf.h"
#include "sleep.h"

//For Zybo Z7-10 use 0x200000000
volatile uint32_t *ddr_start_register = (volatile uint32_t *)0x10000000;

int main(){
    init_platform();

    while(1){
        strcpy((char *)ddr_start_register, "Hello, this is MicroBlaze!\n\r");
        usleep(1000000);
        strcpy((char *)ddr_start_register, "The messages are in the shared DDR
SDRAM.\n\r");
        usleep(1000000);
        strcpy((char *)ddr_start_register, "The example is not safe, we have no
mutex.\n\r");
        usleep(1000000);
    }

    cleanup_platform();

    return 0;
}
```

30. Вляво → Project explorer → избира се 14\_shared\_ram\_mb\_pla → директория hw → щраква се двукратно върху design\_1\_wrapper.xsa. Разгледайте картата на паметта и се уверете, че началният адрес на DDR е 0x10000000. Ако това не е така, коригирайте адреса на указателя ddr\_start\_register [3], [4], [5].

## Hardware Platform Specification

### Design Information

Target FPGA Device: 7z010  
Part: xc7z010clg400-1  
Created With: Vivado 2022.2  
Created On: Wed Sep 27 23:30:48 2023

Note: To view ip parameters, double-click on the cell containing ip name in any of the below tables.

### Address Map for processor microblaze\_0

Filter:  Search:  7 Loaded - 7 Shown - 0 Selected - [Custom: -- Table Default --]

Cell	Base Address	High Address	Slave Interface	Addr Range Type
ps7_dds_0	0x10000000	0x1fffffff	S_AXI_GP0	memory
ps7_uart_1	0xe0001000	0xe0001fff	S_AXI_GP0	register
ps7_m_axi_gp0	0x40000000	0x7fffffff	S_AXI_GP0	register
ps7_gpio_0	0xe000a000	0xe000afff	S_AXI_GP0	register
ps7_qspi_0	0xe000d000	0xe000dfff	S_AXI_GP0	register
microblaze_0_local_memor	0x00000000	0x0000ffff	SLMB	memory
ps7_qspi_linear_0	0xfc000000	0xfcffffff	S_AXI_GP0	flash

### Address Map for processor ps7\_cortexa9[0-1]

Filter:  Search:  31 Loaded - 31 Shown - 0 Selected - [Custom: -- Table Default --]

Cell	Base Address	High Address	Slave Interface	Addr Range Type
ps7_intc_dist_0	0xf8f01000	0xf8f01fff	-	register
ps7_gpio_0	0xe000a000	0xe000afff	-	register

Console Problems Vitis Log Guidance Search

Build Console [14\_shared\_ram\_mb\_app, Debug]

31. Вляво → Project explorer → избира се 14\_shared\_ram\_mb\_app → right-click → Build Project.

32. Вляво → Project explorer → избира се 14\_shared\_ram\_mb\_app\_system → right-click → Build Project.

33. File → New → Platform project → Platform project name: 14\_shared\_ram\_cortex\_pla → Next → таб "Create new platform from hardware" → Browse → избира се пътя до проекта 14\_shared\_ram, създаден от Vivado → design\_1\_wrapper.xsa → Open → Поле Software specification → Operating system: standalone и Processor: ps7\_cortexa9\_0 → Finish.

34. Вляво → Project explorer → избира се 14\_shared\_ram\_cortex\_pla → right-click → Build Project.

35. File → New → Application project → Next → "Select a platform from repository" → Избира се 14\_shared\_ram\_cortex\_pla → Next → Application project name: 14\_shared\_ram\_cortex\_app → Next → Next → "Hello World" → Finish.

36. Щраква се двукратно с ляв бутон върху директорията src в проекта 14\_shared\_ram\_cortex\_app\_system/ 14\_shared\_ram\_cortex\_app → src → helloworld.c

37. В текстовия редактор на Vitis и във файла helloworld.c на ARM Cortex A9 фърмуера се въвежда следната програма:

```
#include <stdio.h>
#include "platform.h"
#include "xil_printf.h"
#include "sleep.h"
#include "xil_cache.h"

//For Zybo Z7-10 use 0x200000000
volatile uint32_t *ddr_start_register = (volatile uint32_t *)0x10000000;

int main(){
    init_platform();

    Xil_DCacheDisable();

    usleep(100000);

    print("Starting ...\n\r");

    while(1){
        xil_printf("The message: %s\n\r", ddr_start_register);
        usleep(200000);
    }

    cleanup_platform();

    return 0;
}
```

38. Вляво, Project explorer → избира се 14\_shared\_ram\_cortex\_app → right-click → Build project.

39. Вляво, Project explorer → избира се 14\_shared\_ram\_cortex\_app\_system → right-click → Build project.

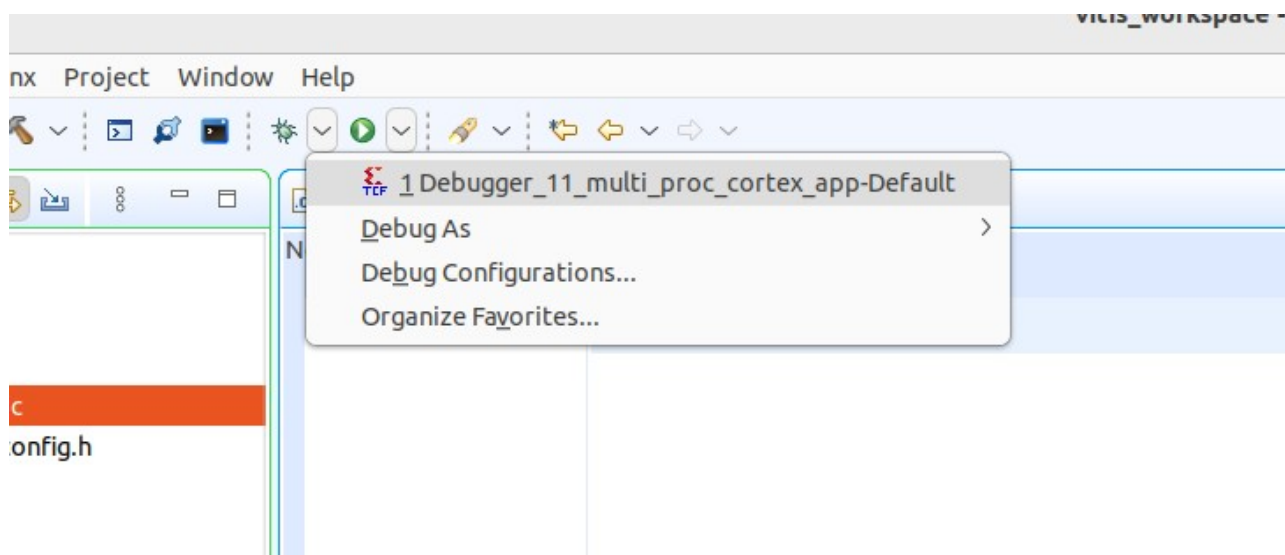
40. В основния прозорец на Vitis до бутонът Debug има стрелка надолу → натиска се → Debug configurations ... → щраква се двукратно върху Single Application Debug → вдясно ще се появи нова конфигурация на дебъг сесия. Избира се таб Application и се слагат отметки на двата процесора: microblaze\_0 и ps7\_cortexa9\_0. Проверяват се полетата Application, указващи фърмуерния .elf файл за всеки процесор. Полето на MicroBlaze може да бъде празно. Затова с

ляв бутон в полето Summary се избира целият ред на microblaze\_0 и се натиска бутон Search срещу полето Application. Средата Vitis ще предложи всички .elf файлове, които са достъпни. С ляв бутон се натиска двукратно върху съответния файл на MicroBlaze (14\_shared\_ram\_cortex\_app.elf). Сега в полетата Application на Summary трябва да се вижда:

microblaze_0	Debug/14_shared_ram_mb_app.elf
ps7_cortexa9_0	Debug/14_shared_ram_cortex_app.elf

Натиска се Apply → Debug

**ВНИМАНИЕ:** Всяко следващо стартиране на Debug сесия може да стане с бутон надолу до Debug бутона от основния прозорец на Vitis, при условие, че поне веднъж е била стартирана дебъг сесия от Debug configurations... прозореца (в конкретния случай това е станало, когато сме натиснали Apply → Debug).



**ВНИМАНИЕ:** не трябва да се натиска самият бутон Debug понеже това създава нова дебъг сесия, която по подразбиране зарежда фърмуер само на едно Cortex A9 ядро.

**ВНИМАНИЕ:** при промяна на сорс кода трябва да се натисне Build на фърмуерния проект (\_app) и на системния проект (\_app\_system), иначе дебъг сесията ще зареди старата версия на .elf файлът.

41. Дебъгването на отделните микропроцесори става като се избере с ляв бутон съответния процесор от таб Debug. Дебъг бутоните и всички дебъг табове се присвояват автоматично на избрания процесор, т.е. въпреки че процесорите са два, наборът от дебъг инструменти е един.

42. Отваря се терминал в Ubuntu с CTRL + ALT + T → Пише се ls /dev/tty и се натиска tab → "Display all 100 possibilities? (y or n)" въвежда се 'y' → **търси се системния файл, отговарящ на виртуалния RS232 порт** за дебъг съобщения.

Сега се търси номера на виртуалния порт на USB-UART конвертора. След като се намери, в същия терминал се стартира RS232 терминал чрез командата:

cutecom

43. В cutecom → Device: избира се съответния порт за дебъг съобщения /dev/ttyUSBx → Settings → 115200-8-N-1, no flow control -> Open

44. Във Vitis: натиска се бутон Resume (F8) за MicroBlaze.

45. Във Vitis: натиска се бутон Resume (F8) за Cortex A9 (ядро 0). След това в Cutecom трябва да се изпише:

Starting ...

The message: Hello, this is MicroBlaze!

The message: Hello, this is MicroBlaze!

The message: Hello, this is MicroBlaze!

The message: Hello, this is MicroBlaze!

The message: Hello, this is MicroBlaze!

The message: The messages are in the shared DDR SDRAM.

The message: The messages are in the shared DDR SDRAM.

The message: The messages are in the shared DDR SDRAM.

The message: The messages are in the shared DDR SDRAM.

The message: The messages are in the shared DDR SDRAM.

The message: The example is not safe, we have no mutex.

The message: The example is not safe, we have no mutex.

The message: The example is not safe, we have no mutex.

The message: The example is not safe, we have no mutex.

The message: The example is not safe, we have no mutex.

46. За да спрете debug сесията във Vitis, натиснете Disconnect.

47. Закоментирайте редът Xil\_DcacheDisable(); от фърмуера на ARM Cortex A9. Пуснете отново дебъг сесия. Наблюдавайте в терминала Cutecom некохерентността на кеша.

48. Използвайки функциите в xil\_cache.h напишете програма, която използва кеш на ARM Cortex A9 и работи правилно (като в точка 45).

49. Напишете програма, която принуждава ARM Cortex A9 ядрото да чака, докато не получи стартов сигнал от MicroBlaze микропроцесора.



\*

\*

\*

[1] Caglayan Dokme, “A Shared BRAM Example with Microblaze and Zynq SOC”, online, <https://medium.com/@caglayandokme/a-shared-bram-example-with-microblaze-and-zynq-soc-949495b5f540> , 2021.

[2] Adam Taylor, “MicroZed Chronicles: Combining MicroBlaze & the Zynq MPSoC”, online, <https://www.hackster.io/news/microzed-chronicles-combining-microblaze-the-zynq-mpsoc-94501295dd3> , 2018.

[3] Sandeep Gundlupet Raju, “Accessing BRAM in Linux”, online, <https://xilinx-wiki.atlassian.net/wiki/spaces/A/pages/18842412/Accessing+BRAM+In+Linux> , 2020.

[4] "Zynq UltraScale+ MPSoC: Embedded Design Tutorial: A Hands-On Guide to Effective Embedded System Design", User's Guide, Xilinx Inc, UG1209 (v2018.3), 2018.

[5] John McDougall, “Simple AMP: Zynq SoC Cortex-A9 Bare-Metal System with MicroBlaze Processor”, Xilinx Application Note, XAPP1093 (v1.0.1), 2014.

доц. д-р инж. Любомир Богданов, 2024 г.