



## Проектиране на вградени автомобилни електронни системи

### Лабораторно упражнение №13

Работа с Xilinx Vivado и Vitis. Споделяне на модул посредством хардуерен мютекс (mutex) 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. Стартирайте терминал с CTRL + ALT + T и изпълнете командите:

```
source ~/programs/xilinx/Vivado/2020.2/settings64.sh  
vivado
```

3. Create Project → Next → Project name: 13\_mutex → 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.

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 → AXI Uartlite → double click.

10. Щракнете два пъти върху блока AXI Uartlite → Baudrate → 115200 → OK.

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

12. Щракнете два пъти върху блока AXI Interconnect → Number of Slave Interfaces = 2 → Number of Master Interfaces = 3 → OK.

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

14. 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.

15. Щракнете два пъти върху блока MicroBlaze → Predefined configurations → Select Configuration: Microcontroller preset → OK.

16. 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 на AXI Uartlite модула. Аналогично се свързва M\_AXI\_GP0 порта на ZYNQ7 блокът с порта S01\_AXI на AXI Interconnect блокът.

17. Вдясно → Diagram → right-click → Add IP → Search → Mutex → double click [1].

18. Натиска се и се задържа ляв бутон върху M01\_AXI порта на AXI Interconnect блокът и се свързва с порта S0\_AXI на mutex\_0 блока, след това се пуска левия бутон. Аналогично се свързва портът M02\_AXI с порта S1\_AXI на mutex\_0 .

19. Щраква се двукратно върху ZYNQ Processing System → "Page navigator" → MIO Configuration → махат се отметките в раздел I/O Peripherals на ENET0, USB0, SD0 и UART1. Натиска се OK.

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

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

22. Подрежда се блоковата схема с бутон Regenerate Layout.

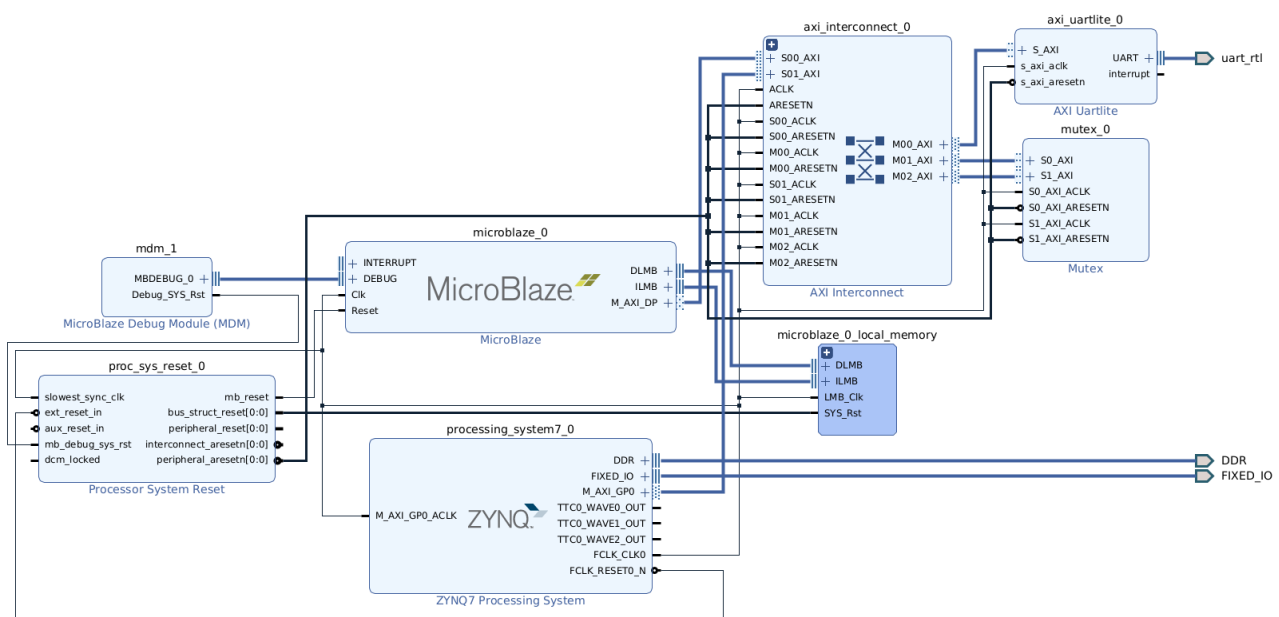
23. Вдясно → Diagram → лента с бутони → Validate Design (F6) → "Validation successful. There are no errors or critical warnings in this design." → OK

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.

24. 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

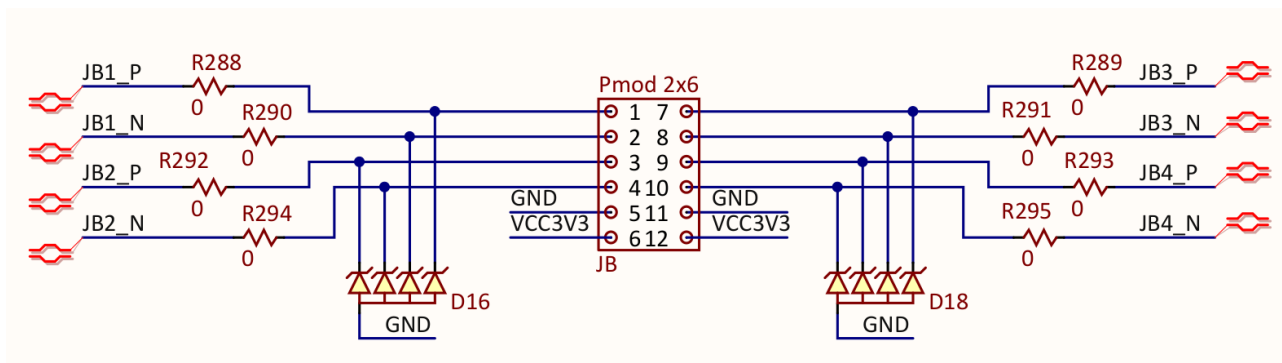
Блоковата схема на системата е показана по-долу.



25. File → Add Sources → Add or create constraints → Next → Add files → укажете пътя до 00\_ZYBO\_Master.xdc (има го в директорията на настоящото лабораторно) → OK → сложете отметка на “Copy constraints files into project” → Finish.

26. Горе, вляво → таб Sources → Constraints → constrs\_1 → щракнете двукратно върху 00\_ZYBO\_Master.xdc, за да се отвори constraints файла. В него се описват връзките между вътрешните сигнали на FPGA и изводите на корпуса на FPGA.

Гледайки принципната схема на ZYBO, трябва да се проследят връзките на порт JB с изводите на FPGA.



IO_L13P_T2_MRCC_34	P19	VGA_HS
IO_L13N_T2_MRCC_34	N20	VGA_G1
IO_L14P_T2_SRCC_34	P20	VGA_B0
IO_L14N_T2_SRCC_34	T20	JB1_P
IO_L15P_T2_DQS_34	U20	JB1_N
IO_L15N_T2_DQS_34	V20	JB2_P
IO_L16P_T2_34	W20	JB2_N
IO_L16N_T2_34	Y18	JB3_P
IO_L17P_T2_34		

В constraints файла се записват следните редове:

#UART TX

set\_property PACKAGE\_PIN T20 [get\_ports uart\_rtl\_txd]

set\_property IOSTANDARD LVCMOS33 [get\_ports uart\_rtl\_txd]

#UART RX

set\_property PACKAGE\_PIN U20 [get\_ports uart\_rtl\_rxd]

set\_property IOSTANDARD LVCMOS33 [get\_ports uart\_rtl\_rxd]

след което се натиска Ctrl + s от клавиатурата, за да се запазят промените.

**ВНИМАНИЕ!** Имената на сигналите в дадения constraints файл са примерни (uart\_rtl\_rxd, uart\_rtl\_txd). Реалните имена могат да се видят от Design Sources → design\_1\_wrapper → design\_1\_i → двукратно щракване върху design\_1.v

*Пример* – в настоящото упражнение Vivado е генерирал в wrapper-а следните сигнали:

```

module design_1
(DDR_addr,
 DDR_ba,
 DDR_cas_n,
 DDR_ck_n,
 DDR_ck_p,
 DDR_cke,
 DDR_cs_n,
 DDR_dm,
 DDR_dq,
 DDR_dqs_n,
 DDR_dqs_p,
 DDR_odt,
 DDR_ras_n,
 DDR_reset_n,
 DDR_we_n,
 FIXED_IO_dds_vrn,
 FIXED_IO_dds_vrp,
 FIXED_IO_mio,
 FIXED_IO_ps_clk,
 FIXED_IO_ps_porb,
 FIXED_IO_ps_srstb,
 uart_rtl_rxd,
 uart_rtl_txd);

```

затова четирите Tcl команди дадени като пример съдържат `get_ports` `uart_rtl_rxd` и `get_ports uart_rtl_txd`.

27. Свържете USB-UART конвертор към горния ред изводи на куплунга JB на Zybo платката.

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

**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.

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

```

=====
=====

```

30. Tools → Launch Vitis IDE

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

**ВНИМАНИЕ:** възможно е да има останали фирмуерни 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.

32. File → New → Platform project → Platform project name: 13\_mutex\_mb\_pla → Next → таб "Create new platform from hardware" → Browse → избира се пътя до проекта 13\_mutex, създаден от Vivado → design\_1\_wrapper.xsa → Open → Поле Software specification → Operating system: standalone (това означава bare-metal firmware) и Processor: microblaze\_0 → Finish.

33. Вляво → Project explorer → избира се 13\_mutex\_mb\_pla → right-click → Build Project.

34. File → New → Application project → Next → "Select a platform from repository" → Избира се 13\_mutex\_mb\_pla → Next → Application project name: 13\_mutex\_mb\_app → Next → Next → "Hello World" → Finish.

35. Вляво в таб Explorer → отваря се 13\_mutex\_mb\_app\_system / 13\_mutex\_mb\_app / src → щраква се двукратно върху helloworld.c.

36. В текстовия редактор на Vitis и във файла helloworld.c на MicroBlaze фърмуера се въвежда следната програма:

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

int main(){
    init_platform();

    while(1){
        print("MicroBlaze\n\r");
    }

    cleanup_platform();

    return 0;
}
```

37. Вляво → Project explorer → избира се 13\_mutex\_mb\_app → right-click → Build Project.

38. Вляво → Project explorer → избира се 13\_mutex\_mb\_app\_system → right-click → Build Project.

39. File → New → Platform project → Platform project name: 13\_mutex\_cortex\_pla → Next → таб "Create new platform from hardware" → Browse → избира се пътя до проекта 13\_mutex, създаден от Vivado → design\_1\_wrapper.xsa → Open → Поле Software specification → Operating system: standalone и Processor: ps7\_cortexa9\_0 → Finish.

40. Вляво → Project explorer → избира се 13\_mutex\_cortex\_pla → right-click → Build Project.

41. File → New → Application project → Next → "Select a platform from repository" → Избира се 13\_mutex\_cortex\_pla → Next → Application project name: 13\_mutex\_cortex\_app → Next → Next → "Hello World" → Finish.

42. Щраква се двукратно с ляв бутон върху директорията src в проекта 13\_mutex\_cortex\_app\_system/ 13\_mutex\_cortex\_app → src → helloworld.c

43. Пренасочва се printf библиотеката към Uartlite. За целта се отваря платформеният проект 13\_mutex\_cortex\_pla → двукратно щракване върху platform.spr → ще се отвори нов таб в Eclipse с настройки на платформения проект (исторически наричан още Board Support Package – BSP). В категорията Standalone on ps7\_cortexa9\_0 се щраква подкатегорията Board Support Package → Modify BSP Settings ... → категория Overview → standalone → поле Configuration for OS: → Value на категориите stdin и stdout се променя на axi\_uartlite\_0 → OK → затваря се табът.

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

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

int main(){
    init_platform();

    while(1){
        print("ARM Cortex A9\n\r");
    }

    cleanup_platform();

    return 0;
}
```

45. Вляво, Project explorer → избира се 13\_mutex\_cortex\_app → right-click → Build project.

46. Вляво, Project explorer → избира се 13\_mutex\_cortex\_app\_system → right-click → Build project.

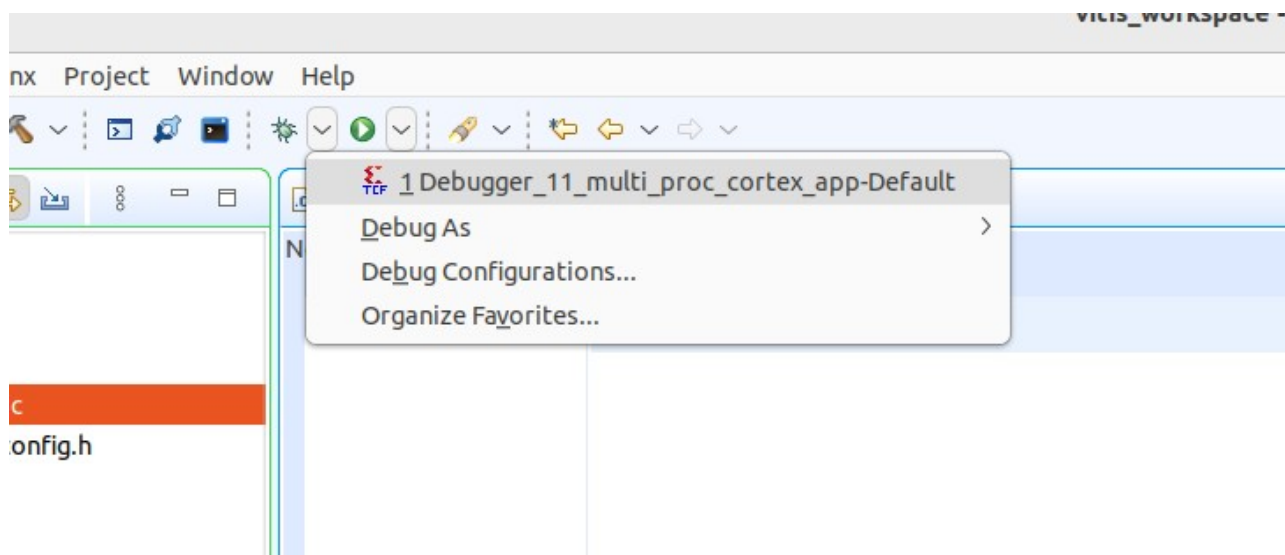
47. В основния прозорец на Vitis до бутонът Debug има стрелка надолу → натиска се → Debug configurations ... → щраква се двукратно върху Single Application Debug → вдясно ще се появи нова конфигурация на дебъг сесия. Избира се таб Application и се слагат отметки на двата процесора: microblaze\_0

и ps7\_cortexa9\_0. Проверяват се полетата Application, указващи фирмуерния .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 (11\_multi\_proc\_mb\_app.elf). Сега в полетата Application на Summary трябва да се вижда:

microblaze_0	Debug/13_mutex_mb_app.elf
ps7_cortexa9_0	Debug/13_mutex_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 фирмуер само на едно Cortex A9 ядро.

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

48. 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.

49. 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`

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

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

```
ARM Cortex A9
ARM Cortex A9
ARM Cortex A9
ARM Cortex A9
ARM Cortex A9
ARM Cortex A9
```

52. Във Vitis: натиска се бутон Resume (F8) за MicroBlaze. След това в Cutecom трябва да се изпише:

```
MicroBlaze
MicroBlaze
MicroBlaze
MicroBlaze
MicroBlaze
MicroBlaze
MicroBlaze
```

53. Натиснете бутон Suspend на ARM Cortex A9 ядрото. Cortex-ът би трябва да е зациклил във функцията `void Xil_DataAbortHandler(void *CallBackRef)` в `xil_exception.c` файла. Това е защото и двата процесора се опитват да достъпят един и същи ресурс едновременно.

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

55. Напишете програма, която защитава print съобщенията (и в MicroBlaze, и в ARM Cortex A9) с мютекс като първо заключите мютекса, после принтирате съобщението, после отключвате мютекса. Използвайте следните функции:

XMutex\_LookupConfig()  
XMutex\_CfgInitialize()  
XMutex\_Lock()  
XMutex\_Unlock()

**ВНИМАНИЕ:** хардуерният мютекс заключва и отключва ресурса като взима под внимание CPU\_ID-то на процесорът, който се опитва да отключи/заключи ресурса [2]. Проверете в хparameters.h и на двата процесора какво ID е дал Vivado като число. Ако ID-та са еднакви, мютексът няма да работи. Направете CPU\_ID на ARM Cortex-A9\_0 да е 0 (задължително), а CPU\_ID на MicroBlaze да е 1.

Ако успешно сте написали програмата, в терминала трябва да се виждат следните съобщения:

ARM Cortex A9  
MicroBlaze  
ARM Cortex A9  
MicroBlaze  
ARM Cortex A9  
MicroBlaze  
ARM Cortex A9  
MicroBlaze

56. Пренапишете програмата от миналата точка, но използвайте неблокиращата функция XMutex\_Trylock( ).

\*

\*

\*

[1] Adam Tylor, “MicroZed Chronicles: Inter Processor Communication (Part 3)”, online, <https://www.hackster.io/news/microzed-chronicles-inter-processor-communication-part-3-f007cddc3af5>, 2023.

[2] LogiCORE IP Product Guide, “Mutex v2.1”, PG117 (v2.1), Vivado Design Suite, November 21, 2019.

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