

פרויקט מסכם:

בפרויקט הסיום בנינו MCU עם ליבת מעבד MIPS single cycle, רכיבי זיכרון I/O ויכולות פסיקה.

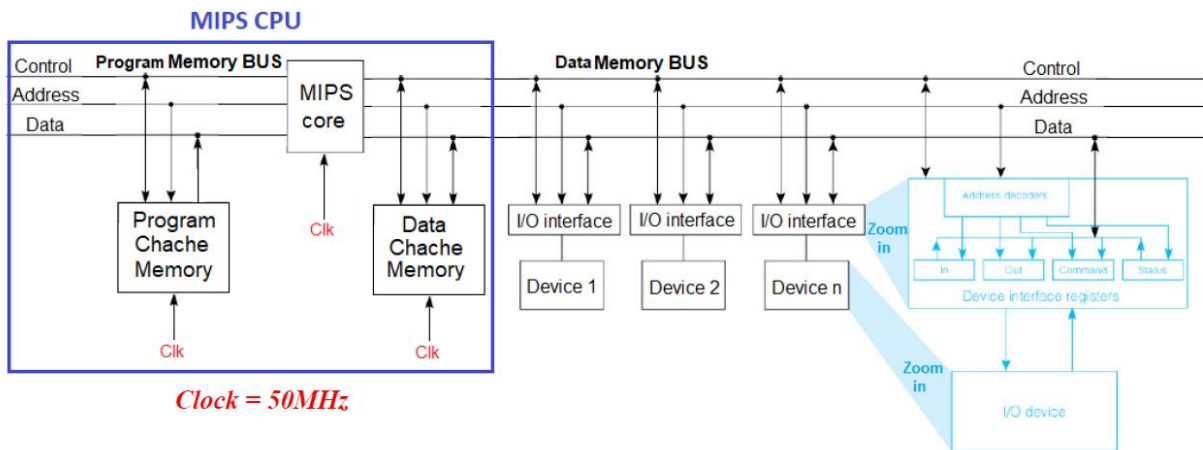
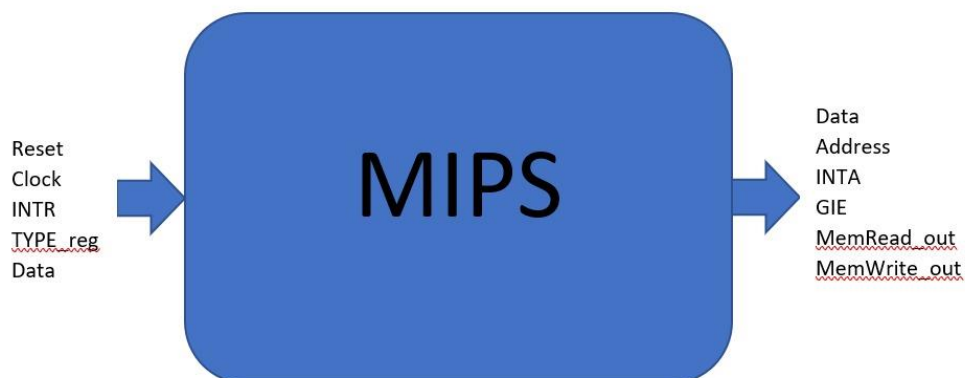


Figure 1 : MCU System architecture

לפנינו פירוט של כל רכיב:

MIPS- יחידת העיבוד המרכזית, מעבד single cycle שבנינו בניסוי 5:



Port name	Direction	size	functionality
Reset	In	1	Reset
Clock	In	1	Clock
INTR	In	1	Interrupt flag
TYPE_reg	In	8	Register of type of interrupt
Data	Inout	32	Data
Address	out	32	Address
INTA	out	1	Handled interrupt flag
GIE	out	1	Global interrupt enable flag
MemRead_out	out	1	MemRead control flag
MemWrite_out	out	1	MemWrite control flag

INT_CTL - יחידת השליטה בפסיקות והטיפול בהן, כולל היררכיה, העלאת והורדת דגלים:



Port name	Direction	size	functionality
Clock	In	1	Clock
Reset	In	1	Reset
address	In	12	address
GIE	In	1	Global <u>interrupt</u> enable
<u>MemRead</u>	In	1	<u>MemRead</u> control flag
<u>MemWrite</u>	In	1	<u>MemWrite</u> control flag
<u>Data</u>	<u>InOut</u>	32	<u>Data</u>
<u>Clr_irq</u>	In	1	Reset IFG correctly after handling interrupt
<u>BT_int</u>	In	1	Timer interrupt flag
<u>KEY1_int</u>	In	1	KEY1 interrupt flag
<u>KEY2_int</u>	In	1	KEY2 interrupt flag
<u>KEY3_int</u>	In	1	KEY3 interrupt flag
<u>INTR_out</u>	Out	1	Interrupt flag
<u>KEY1_fb</u>	Out	1	KEY1 feedback
<u>KEY2_fb</u>	Out	1	KEY2 feedback
<u>KEY3_fb</u>	Out	1	KEY3 feedback
<u>BT_fb</u>	Out	1	Timer feedback
<u>TYPE_reg</u>	Out	8	Type of interrupt register

GPIO - רכיבי זיכרון הפריפריה לקריאה וכתובת מידע. מתחברים ללדים, הקסות, כפתורים וסוויצ'ים.



Port name	Direction	size	functionality
SW	In	8	Switches input
KEY1	In	1	Push button 1 input
KEY2	In	1	Push button 2 input
KEY3	In	1	Push button 3 input
address	In	12	Address
KEY1_fb	In	1	KEY1 feedback
KEY2_fb	In	1	KEY2 feedback
KEY3_fb	In	1	KEY3 feedback
Data	InOut	32	Data
MemRead	In	1	MemRead control flag
MemWrite	In	1	MemWrite control flag
HEX0	Out	4	Write to HEX0
HEX1	Out	4	Write to HEX1
HEX2	Out	4	Write to HEX2
HEX3	Out	4	Write to HEX3
HEX4	Out	4	Write to HEX4
HEX5	Out	4	Write to HEX5
LEDR	Out	8	Write to LEDR
KEY1_int	Out	1	KEY1 interrupt flag
KEY2_int	Out	1	KEY2 interrupt flag
KEY3_int	Out	1	KEY3 interrupt flag

GPO_INTERFACE - יחידה אשר יושבים שכפולים שלה בתוך רכיב הGPIO. כל יחידה כזו הינה ממשק עם רכיבי הכתיבה לזיכרון, דהיינו הלדים וההקסות.



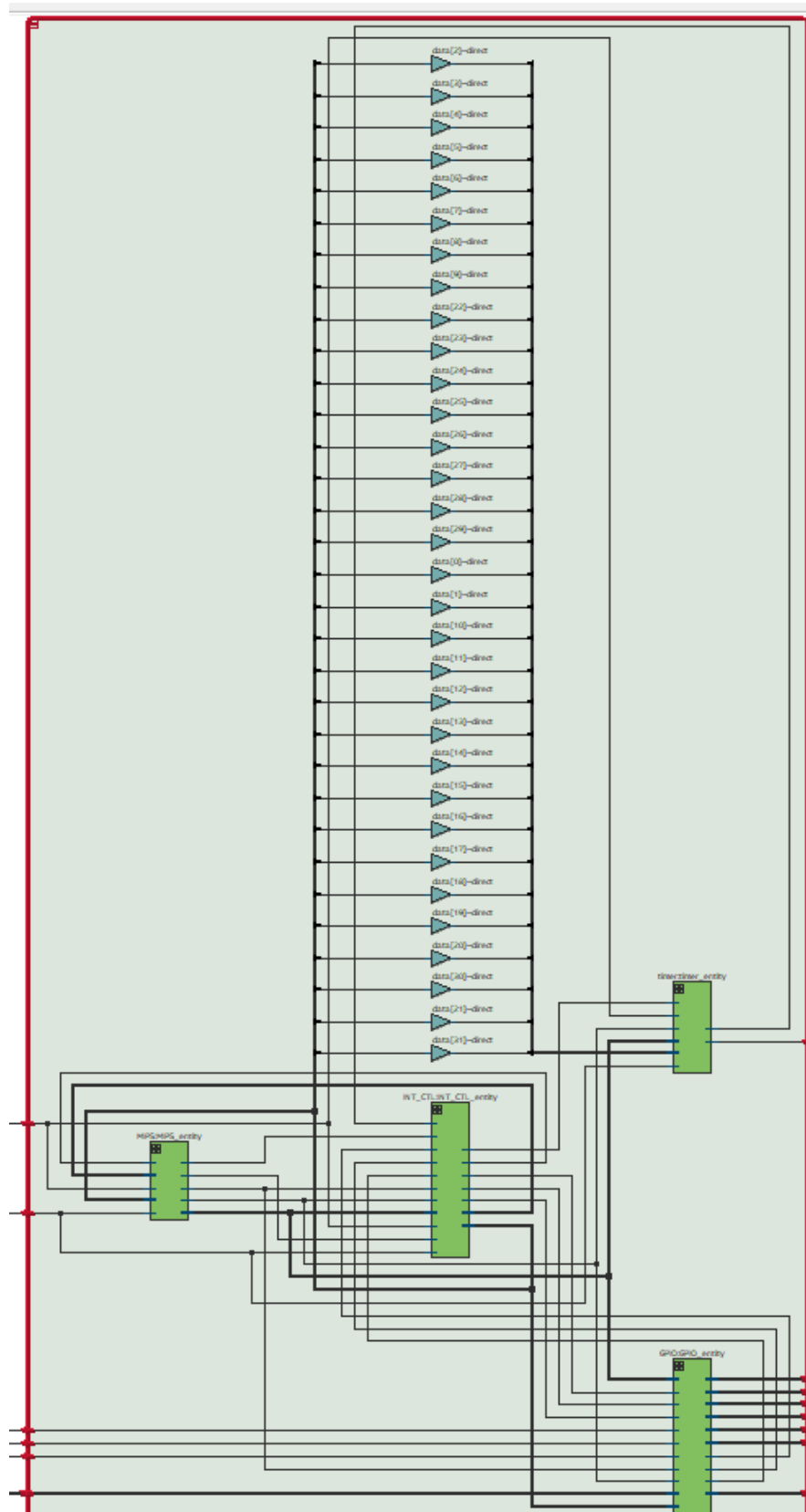
Port name	Direction	size	functionality
Data	InOut	4/8	Data
MemRead	In	1	MemRead control flag
MemWrite	In	1	MemWrite control flag
address	In	12	address
GPO_OUT	out	4/8	GPO_OUT

TIMER- רכיב פריפריאלי היודע לייצא אות PWM וגם פסיקות בכל פרק זמן קצוב:

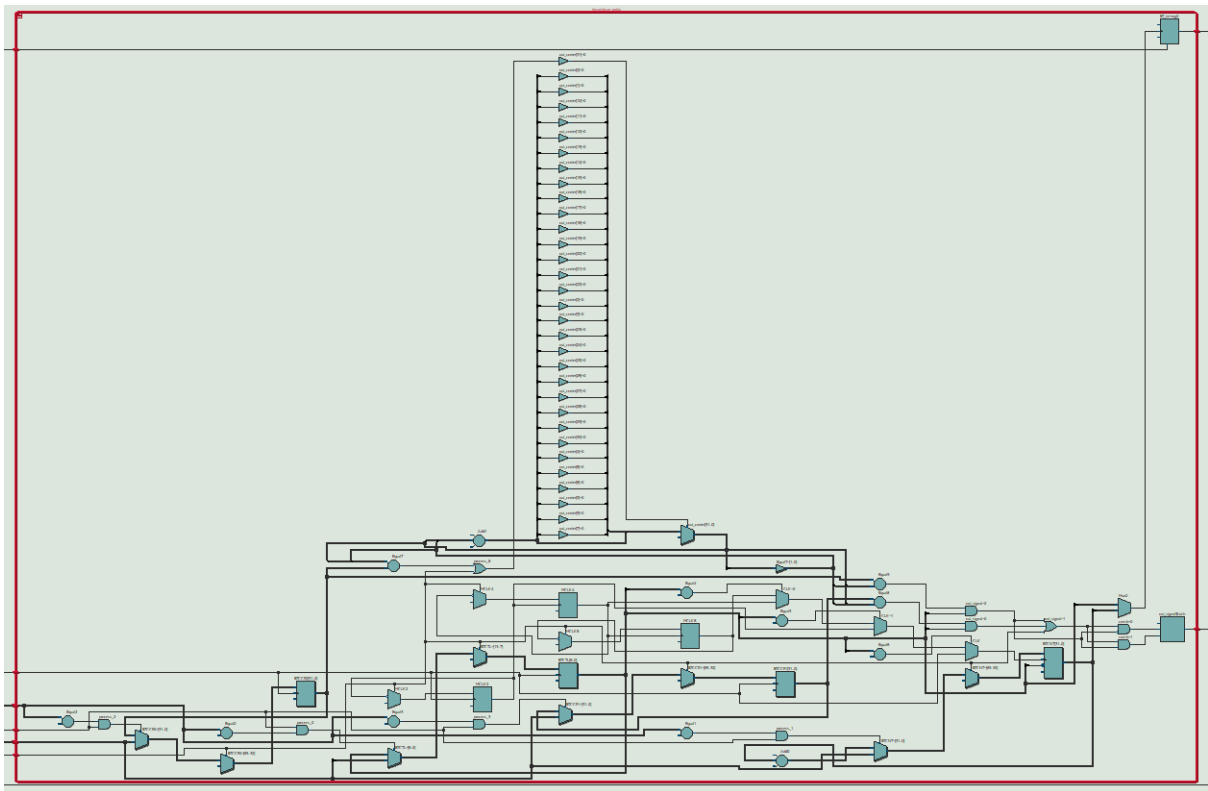


Port name	Direction	size	functionality
MCLK	In	1	Clock
Reset	In	1	Reset
<u>BT_fb</u>	In	1	Timer interrupt feedback
Data	In	32	data
address	In	12	address
<u>MemWrite</u>	In	32	<u>MemWrite</u> control flag
<u>BT_int</u>	out	1	Timer interrupt flag
<u>out_signal</u>	out	1	Out signal

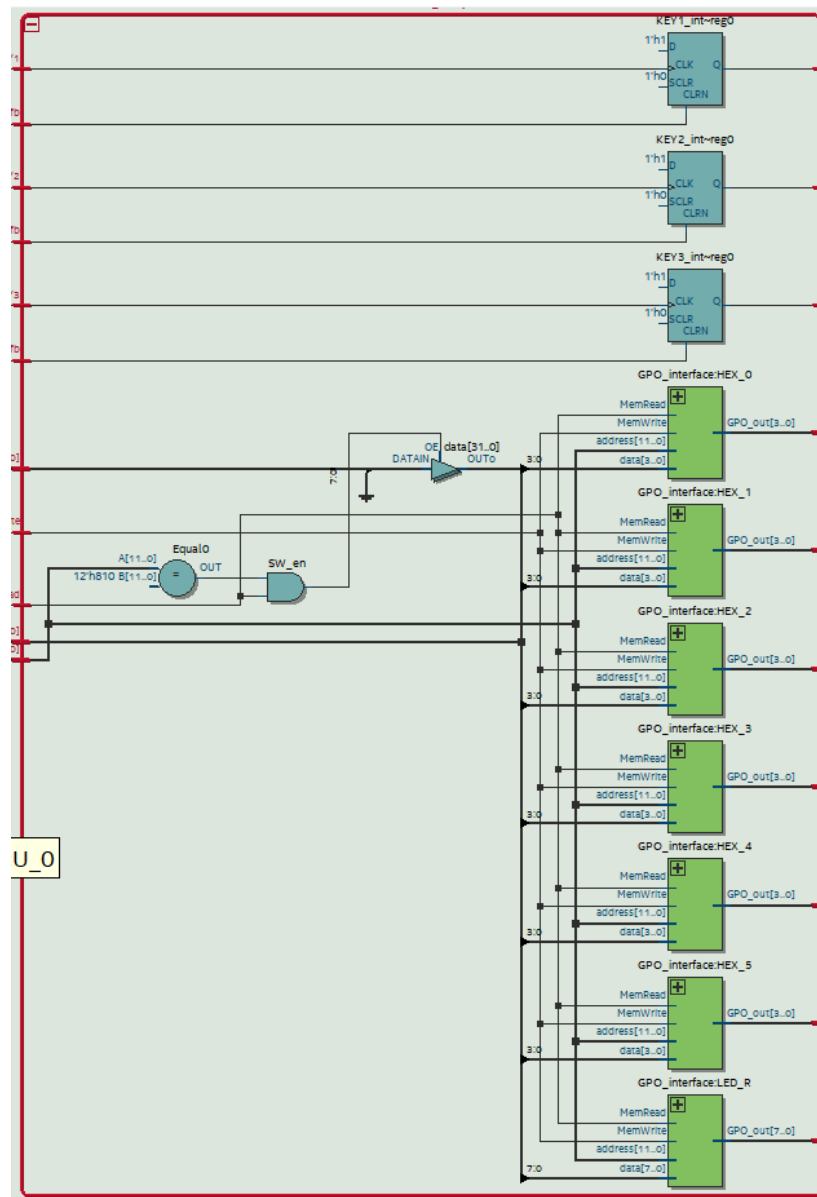
TOP:



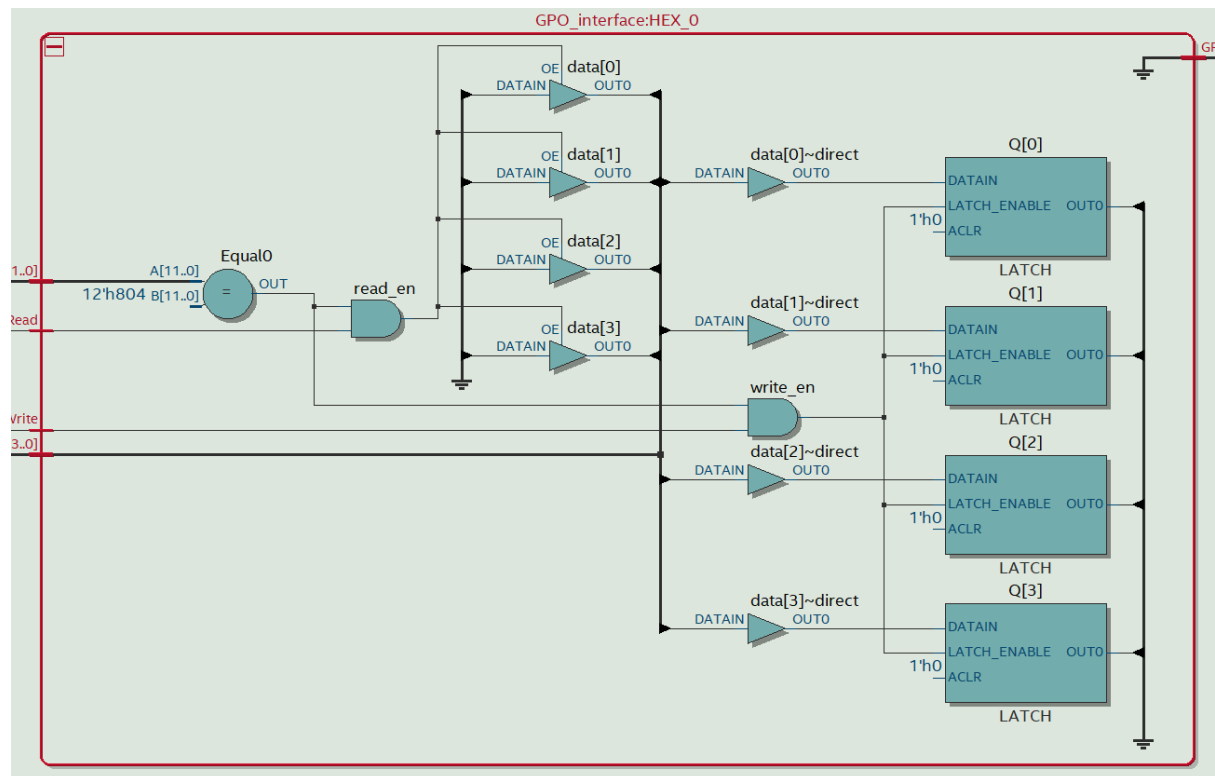
timer:



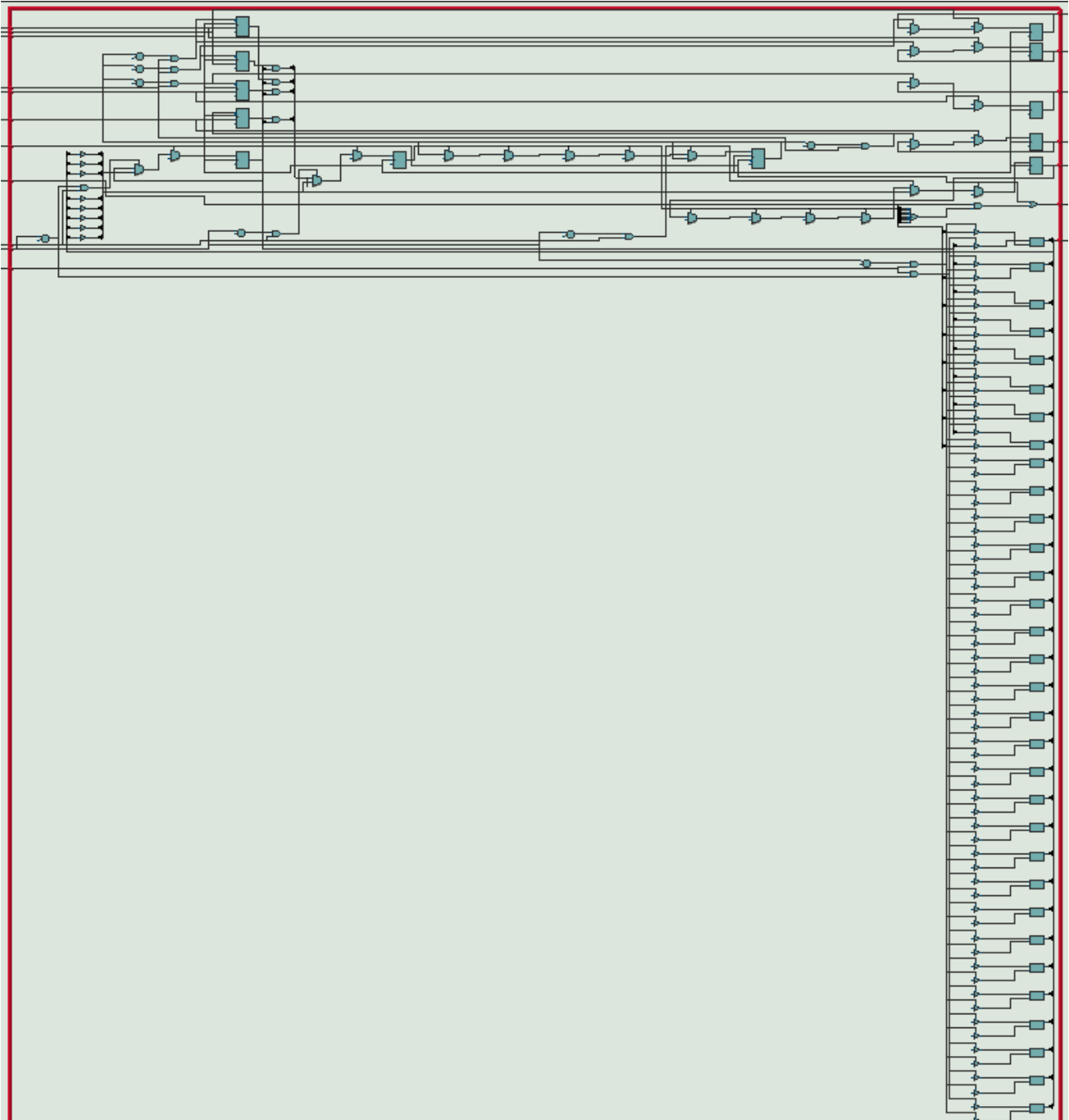
GPIO:



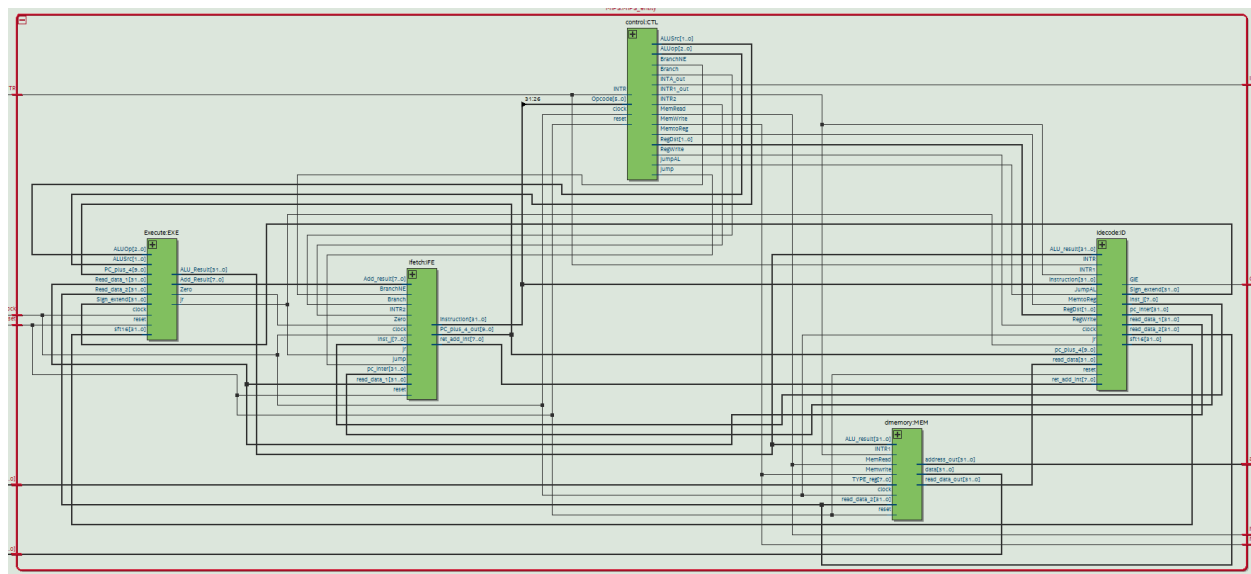
GPO_interface:




INT_CTL:




MIPS:



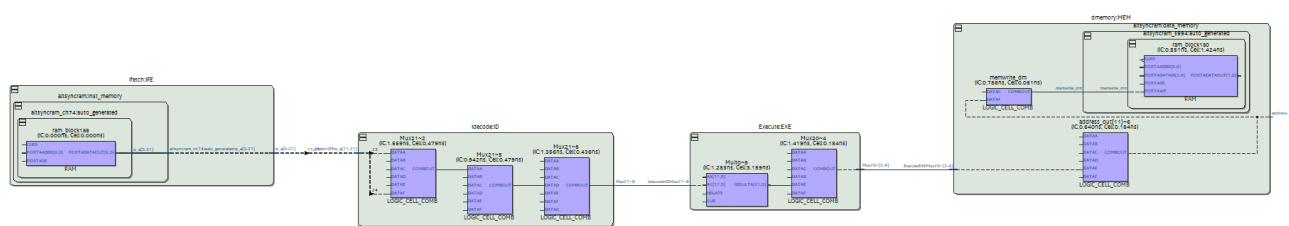
הFmax של המערכת הוא:

Slow 1100mV 85C Model Fmax Summary				
 <<Filter>>				
	Fmax	Restricted Fmax	Clock Name	
1	31.76 MHz	31.76 MHz	clock	
2	66.88 MHz	66.88 MHz	altera_reserved_tck	

וה-logic usage report הוא:

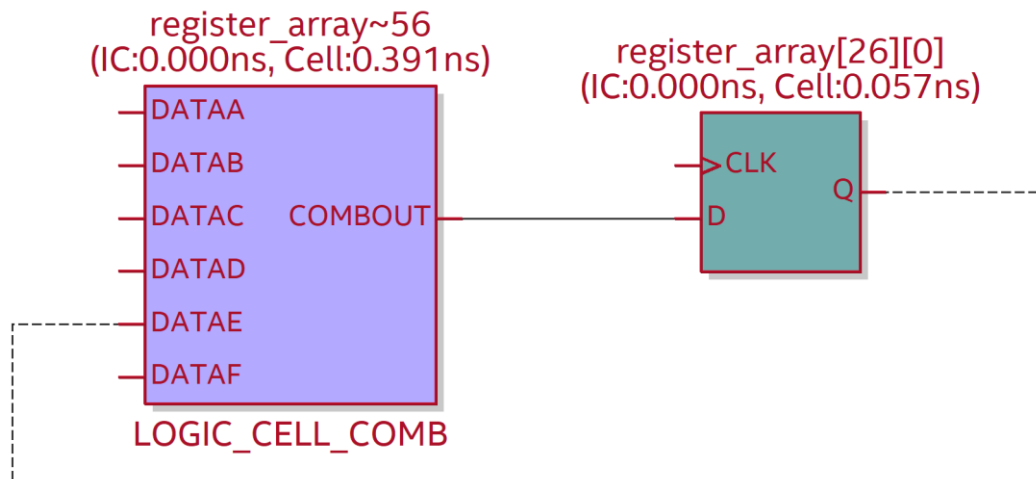
Analysis & Synthesis Resource Utilization by Entity						
 <<Filter>>						
	Compilation Hierarchy Node	Combinational ALUTs	Dedicated Logic Registers	Pins	Block Memory Bits	DSP Blocks
1	▼ fpga_conc	2396 (50)	2393 (0)	64	323584	2
1	▼ ▼ TOP:U_0	1891 (97)	1150 (0)	0	65536	2
1	▼ ▼ ▼ GPIO:GPIO_entity	54 (7)	3 (3)	0	0	0
1	▼ ▼ ▼ GPO_interface:HEX_0	5 (5)	0 (0)	0	0	0
2	▼ ▼ ▼ GPO_interface:HEX_1	8 (8)	0 (0)	0	0	0
3	▼ ▼ ▼ GPO_interface:HEX_2	6 (6)	0 (0)	0	0	0
4	▼ ▼ ▼ GPO_interface:HEX_3	7 (7)	0 (0)	0	0	0
5	▼ ▼ ▼ GPO_interface:HEX_4	6 (6)	0 (0)	0	0	0
6	▼ ▼ ▼ GPO_interface:HEX_5	5 (5)	0 (0)	0	0	0
7	▼ ▼ ▼ GPO_interface:LED_R	10 (10)	0 (0)	0	0	0
2	▼ INT_CTL:INT_CTL_entity	40 (40)	36 (36)	0	0	0
3	► MIPS:MIPS_entity	1568 (0)	1010 (0)	0	65536	2
4	► timer:timer_entity	132 (132)	101 (101)	0	0	0

כעת נבחן את המסלול הקריטי:



כפי שניתן לראות, המסלול הקריטי הוא המסלול המבצע פעולה עם הזיכרון (lw או sw). הדבר הגיוני מכיוון שפעולה זו עוברת בכל שכבות המעבד ונכנסת לזיכרון RAM ולכן היא הארוכה ביותר.

המסלול הקצר ביותר:



לפנינו דוגמת קוד בדיקה שהרצנו, ואחריה תוצאות ה testbench ב modelsim:

```
.text
main:  addi $sp,$zero,0x800 # $sp=0x800
      sw  $0,0x820        # BTCNT=0
      sw  $0,0x82C        # IE=0
      sw  $0,0x82D        # IFG=0
      addi $t0,$zero,0xFFFF
      sw  $t0,0x824        # BTCCR0 = 0x10
      addi $t0,$zero,0x5
      sw  $t0,0x828        # BTCCR1 = 0x5
      addi $t0,$zero,0x47
      sw  $t0,0x81C
      addi $t0,$zero,0x3C
      sw  $t0,0x82C        # IE=0x3C
      ori  $k0,$k0,0x01    # EINT, $k0[0]=1 uses as GIE

      lw  $t0,0x810        # read the state of PORT_SW[7-0]
L:     j   L               # infinite loop
```

```

KEY1_ISR: sw    $t0,0x804 # write to PORT_HEX0[7-0]
          sw    $t0,0x805 # write to PORT_HEX1[7-0]

          lw    $t1,0x82D # read IFG
          andi  $t1,$t1,0xFFF7
          sw    $t1,0x82D # clr KEY1IFG
          jr    $k1      # reti

KEY2_ISR: sw    $t0,0x808 # write to PORT_HEX2[7-0]
          sw    $t0,0x809 # write to PORT_HEX3[7-0]

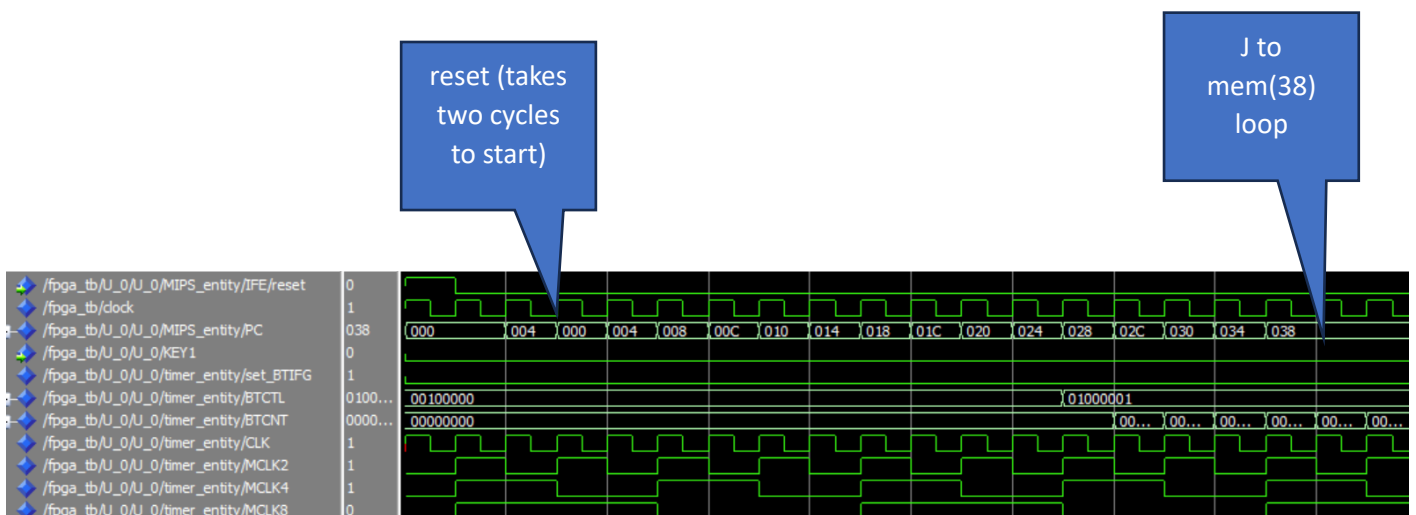
          lw    $t1,0x82D # read IFG
          andi  $t1,$t1,0xFFEF
          sw    $t1,0x82D # clr KEY2IFG
          jr    $k1      # reti

KEY3_ISR: sw    $t0,0x80C # write to PORT_HEX4[7-0]
          sw    $t0,0x80D # write to PORT_HEX5[7-0]

          lw    $t1,0x82D # read IFG
          andi  $t1,$t1,0xFFDF
          sw    $t1,0x82D # clr KEY3IFG
          jr    $k1      # reti

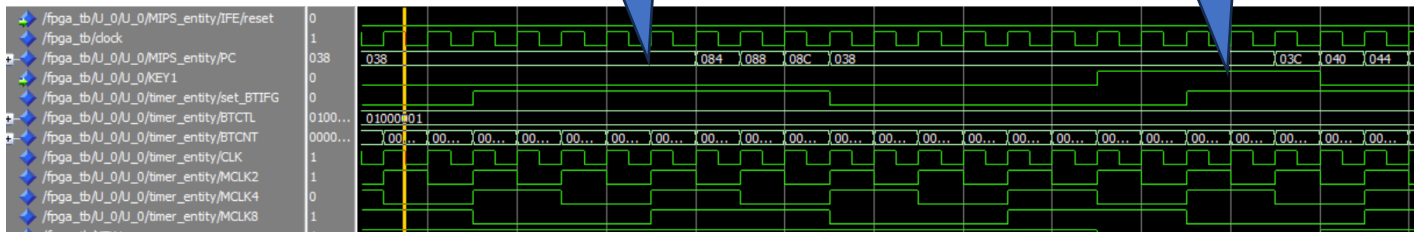
BT_ISR:  addi  $t0,$t0,1  # $t1=$t1+1
          sw    $t0,0x800 # write to PORT_LEDR[7-0]
          jr    $k1      # reti

```



BT ISR

KEY1 ISR



לפנינו תמונה של הרצת quartus signal tap, עבור הרצת קוד האסמבלי של test 3 לאחר לחיצה על reset:

Type	Alias	Name	-512	-256	0	256	512	768	1024	1280	1536	1792	2048	2304
		reset												
		KEY1												
		KEY2												
		KEY3												
		out signal												
		* HEX0 out[6..0]									1000000b			
		* HEX1 out[6..0]			0010010b							1000000b		
		* HEX2 out[6..0]			0001110b							1000000b		
		* HEX3 out[6..0]			0001110b							1000000b		
		* HEX4 out[6..0]			0001110b							1000000b		
		* HEX5 out[6..0]			0100100b							1000000b		
		* LEDR[7..0]			00000101b							0000000b		
		* SW[7..0]										00000000b		

ולאחר לחיצה על key1:

log: Trig @ 2023/08/06 12:48:31 (0:0)			click to insert time bar										
Type	Alias	Name	-512	-256	0	256	512	768	1024	1280	1536	1792	2048
		reset											
*		KEY1											
*		KEY2											
*		KEY3											
		out signal											
out	*	HEX0 out[6..0]	0010010b								0000110b		
out	*	HEX1 out[6..0]	0010010b								0000110b		
out	*	HEX2 out[6..0]									0000000b		
out	*	HEX3 out[6..0]									0000000b		
out	*	HEX4 out[6..0]									1000110b		
out	*	HEX5 out[6..0]									1000110b		
out	*	LEDR[7..0]	11101110b								00000000b		
out	*	SW[7..0]									00000000b		

