



מערכות ספרתיות ומבנה המחשב (044252)

סמסטר חורף תשפ"א

בחינה סופית – מועד א

4 בפברואר 2021

טור 1

--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

מספר סטודנט

משך המבחן: 3 שעות (180 דקות). **תכננו את זמנכם היטב.**

חומר עזר: אין להשתמש בכל חומר עזר בכתב, מודפס או אלקטרוני, פרט לדפי העזר ולמחשבון.

הנחיות והוראות:

- יש לענות על הבחינה במערכת המודל בשני חלקים נפרדים - חלק אמריקאי וחלק לשאלות הפתוחות. בנוסף יש לענות על הבחינה כגיבוי המערכת הטפסים של מייקרוסופט - קישור באתר המודל. יש להעלות קובץ המכיל את טיוטת הפתרון לאתר המודל.
- במבחן זה ישנן 15 שאלות. 10 שאלות אמריקאיות, ו-5 שאלות פתוחות מרובות סעיפים.
- לא מורדות נקודות (אין "קנס") בגין תשובה שגויה. לכן, בשאלות האמריקאיות, כדאי לסמן תשובה כלשהי לכל שאלה.
- בסיומו של המבחן יינתנו 15 דקות לצורך ביצוע סריקה של טיוטת הבוחן.
- אסור שימוש בכל חומר חיצוני מלבד מחשבון ודפי העזר. אסורה העברת חומר כלשהו בין הנבחנים, ואסורה כל תקשורת עם אנשים אחרים או כל מקור מידע. האיסור חל על כל צורות התקשורת – מילולית, חזותית, כתובה, אלקטרונית, אלחוטית, או אחרת. בפרט, אין להשתמש בטלפון הסלולרי לכל שימוש שאינו צילום מסך המחשב, סריקת המבחנים או התנהלות מול הסגל והמשגיחים.
- עליכם להשאיר את המצלמה אשר מצלמת את פניכם במצב פעיל לאורך כל שלבי הבחינה.
- עליכם להשאיר את המצלמה אשר מצלמת את מסך המחשב במצב פעיל לאורך כל שלבי הבחינה.
- עליכם להשאיר את השמע של המחשב פעיל לכל אורך הבחינה.
- שימוש בטלפון הנייד יתאפשר לצורך וידוא נהלים/פתרון בעיות על ידי משגיח/איש סגל, לצורך ביצוע סריקות של מחברת הבחינה/טייטה ולצורך צילום מסך המחשב בלבד. כל שימוש אחר בטלפון נייד בזמן הבחינה הוא אסור. בזמן הבחינה מכשיר הטלפון הנייד צריך להיות על מצב רטט.

בהצלחה!



שאלה 1 (5 נקודות)

נתונים שני הרכיבים הבאים func1, func2:

```
module func1 (  
    input logic clk,  
    output logic [5:0] a,  
    output logic [1:0] b  
);  
  
    always_ff @(posedge clk) begin  
        {a[1],a[4]} <= a[2:3];  
        a[2:3] <= {a[0],a[5]};  
        {a[0],a[5]} <= {a[1],a[4]};  
    end  
  
    assign b = {a[0],a[5]};  
  
endmodule  
  
module func2 (  
    input logic clk,  
    output logic [5:0] a,  
    output logic [1:0] b  
);  
  
    always_ff @(posedge clk) begin  
        {a[1],a[4]} = a[2:3];  
        a[2:3] = {a[0],a[5]};  
        {a[0],a[5]} = {a[1],a[4]};  
    end  
  
    assign b = {a[0],a[5]};  
  
endmodule
```

מעוניינים להשוות בין הפעולה של שני הרכיבים בנפרד. קובעים ערך התחלתי של הווקטור a , ומחכים לעליית שעון אחת. לפני עליית השעון ערך a הינו קבוע, ידוע וזהה לשני הרכיבים. עבור איזה ערך של a , נקבל בכל רכיב מוצא b שונה לאחר עליית השעון?

א. $a = 6'd0$

ב. $a = 6'd25$

ג. $a = 6'd44$

ד. $a = 6'd7$

ה. ערך היציאה b בשני הרכיבים תמיד יהיה זהה לאחר עליית השעון, לכל ערך של a לפני עליית השעון.



שאלה 2 (5 נקודות)

נתונים שני מספרים המיוצגים בשיטת FP, כאשר $B = 127$ (ראה דפי עזר).
מצא את סכומם $a + b$, כאשר:

$$a = 0x41840000$$

$$b = 0xC1000000$$

א. $0x02840000$

ב. $0xF2840000$

ג. $0x41080000$

ד. $0x41000000$

ה. $0x41C40000$

שאלה 3 (5 נקודות)

עליכם לתכנן מערכת עקיבה מסוג Mealy בעלת כניסה יחידה ומוצא יחיד z .
המערכת תפיק $z=1$ כאשר המספר שנכנס עד כה החל מה MSB (כולל
הכניסה הנוכחית המהווה את סיבית ה-LSB של המספר) הוא זוגי והכניסה
הנוכחית, x_i , זהה לכניסה אשר התקבלה שני מחזורי שעון קודם לכן (כלומר
כאשר $x_i = x_{i-2}$).

הניחו כי לפני שהתקבלה הכניסה הראשונה כל הכניסות היו בעלות הערך 0.
התייחסו למספר 0 כאל מספר זוגי.

כמה מצבים קיימים במכונה המצומצמת אשר מקיימת את הדרישות?

א. 4

ב. 8

ג. בין 9 ל-15

ד. 16

ה. לא ניתן לממש מכונה זו בעזרת מספר מצבים סופי



שאלה 4 (5 נקודות)

נתונה הפונקציה: $f(x, y, z) = \text{and}(g_1(x, y, z), g_2(x, y, z))$.

כאשר: $g_1(x, y, z) = xz + y'z' + xyz'$

כאשר: $g_2(x, y, z) = y'z + yz'$

טענה A: ניתן לממש את הפונקציה $f(x, y, z)$ באמצעות בורר $1 \rightarrow 2$ יחיד, שער XOR (של שתי כניסות) והקבועים 0 ו 1 בלבד.

טענה B: ניתן לממש את הפונקציה $f(x, y, z)$ באמצעות בורר $1 \rightarrow 4$ יחיד, והקבועים 0 ו 1 בלבד.

טענה C: ניתן לממש את הפונקציה $f(x, y, z)$ באמצעות בורר $1 \rightarrow 8$ יחיד והקבועים 0 ו 1 בלבד.

הערה: כלל הבוררים ללא רגלי Enable.

בחרו את המשפט הנכונה:

א. טענות A, B, C נכונות

ב. טענות B, C נכונות וטענה A אינה נכונה.

ג. טענות A, C נכונות וטענה B אינה נכונה.

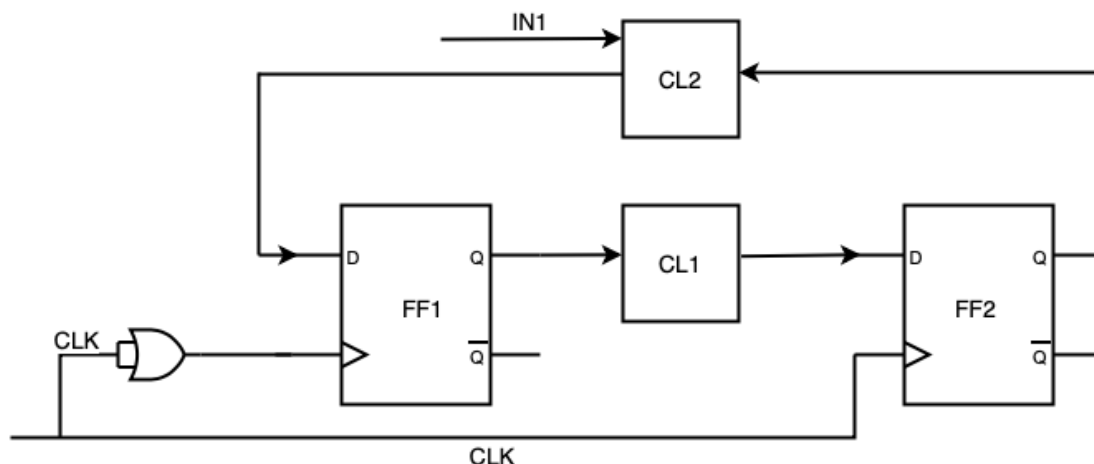
ד. טענה C נכונה וטענות A, B אינן נכונות.

ה. טענות A, B, C אינן נכונות



שאלה 5 (5 נקודות)

נתונה דיאגרמת המעגל הבאה:



זמן מחזור השעון במערכת T , הוא $26ns$.

הרכיבים הם בעלי הפרמטרים הבאים:

	t_{cd}/t_{ccq}	t_{pd}/t_{pcq}	t_{hold}	t_{su}
FF1	?	?	$1ns$	$2ns$
FF2	$13ns$	$18ns$	$1ns$	$2ns$
CL1	$5ns$	$7ns$		
CL2	$4ns$	$6ns$		
OR	$2ns$	$2ns$		

נתון בנוסף שהמסלול $IN1 \rightarrow FF1$ עומד בתנאי hold ו- setup של FF1.

מהם טווחי ה- t_{pcq} וה- t_{ccq} של FF1 אשר יאפשרו פעילות תקינה של המעגל?

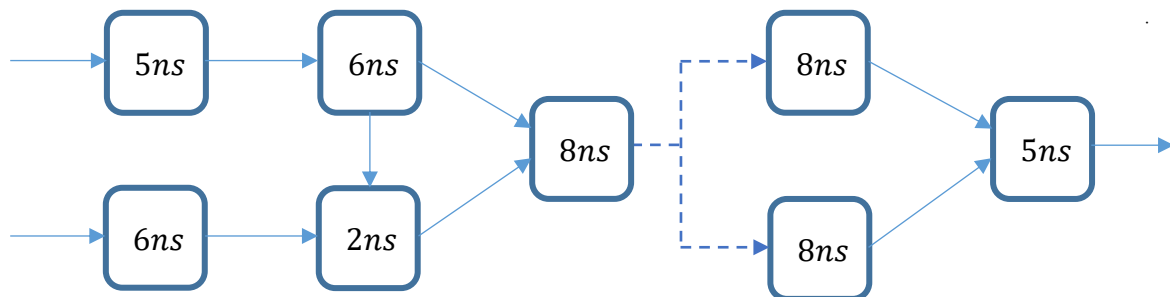
- $-4ns \leq t_{ccq} \leq t_{pcq} \leq 14ns$
- $-6ns \leq t_{ccq} \leq t_{pcq} \leq 15ns$
- $-2ns \leq t_{ccq} \leq t_{pcq} \leq 19ns$
- $9ns \leq t_{ccq} \leq t_{pcq} \leq 33ns$
- המעגל אינו פועל כשורה



שאלה 6 (5 נקודות)

עליכם לצנר את המערכת הבאה כאשר $throughput$ גבוה ככול הניתן הוא בעדיפות עליונה ומספר רגיסטרים נמוך ככול הניתן הוא בעדיפות שנייה. זמני ההשהיה של כל רכיב רשומים בתוכו.

הערה: שימו לב כי הקו המקווקו מחזיק ערך זהה.



מהו מספר הרגיסטרים אשר דרוש לצורך צינור המערכת על פי סדר העדיפות הנתון?

- א. 7 רגיסטרים
- ב. 8 רגיסטרים
- ג. 9 רגיסטרים
- ד. 10 רגיסטרים
- ה. 11 רגיסטרים

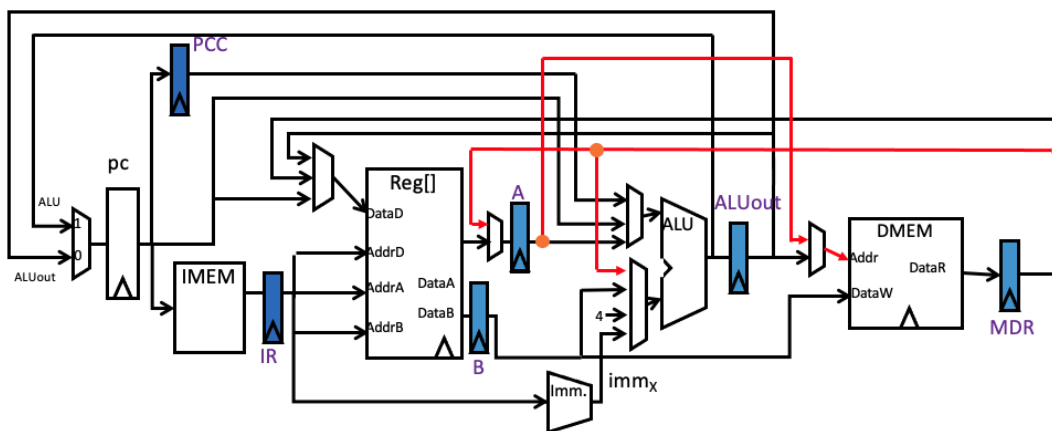
שאלה 7 (5 נקודות)

נתון מעבד מסוג Multi-Cycle RISC-V כפי שנלמד בקורס. סטודנט בקורס מעוניין לממש פקודה שתבצע את הפעולות הבאות:

AddMem rd, rs1, imm

$$\text{Reg}[rd] = \text{Mem}[\text{Reg}[rs1]] + \text{Mem}[\text{Reg}[rs1] + \text{imm}]$$

לצורך ביצוע הפקודה, הסטודנט שינה את ה-Datapath של המעבד באופן הבא:



שימו לב לשינויים המודגשים באדום:

1. נוסף בורר הכניסה לרגיסטר A, המקבל בנוסף את המידע שיוצא מרגיסטר MDR.
2. נוסף בורר בכניסת ה-addr של ה-DMEM, המקבל בנוסף את יציאת רגיסטר A.
3. נוספה כניסה לבורר שמחובר לקלט התחתון של ה-ALU. כניסה זו מקבלת את פלט ה-MDR.

מה מספר המחזורים המינימלי הדרושים על מנת להריץ את הפקודה על המעבד?

- א. 3
- ב. 4
- ג. 5
- ד. 6

ה. התשובות א' – ד' אינן נכונות.



שאלה 8 (10 נקודות)

נתונה טבלה המעברים של מערכת בעלת כניסה אחת X ושתי יציאות Z . המסומנות ב Z .

<i>Present State</i>	$X = 0$		$X = 1$	
	<i>Next State</i>	Z	<i>Next State</i>	Z
A	A	00	C	10
B	F	01	D	11
C	C	01	H	11
D	B	00	A	10
E	F	00	A	10
F	B	01	G	11
G	B	00	A	10
H	A	00	B	10

כמה מחלקות השקילות מתקבלות מצמצום מכונת המצבים הנתונה?

- א. 2
- ב. 3
- ג. 4
- ד. 5
- ה. 6



שאלה 9 (5 נקודות)

במעבד Multicycle RISC-V המצורף בנספח הבחינה מעוניינים להוסיף תמיכה בחריגת גישה (קריאה או כתיבה) לכתובת לא חוקית בזכרון (Instruction / Data), אשר יכולה להתרחש בכל שימוש של הזכרון, ומתגלה בעת הגישה לזיכרון. הבקר ממומש באמצעות Dispatch ROM כפי שנלמד בקורס.
על מנת לתמוך בחריגת הגישה הלא חוקית ניתן לשנות Dispatch קיים או להוסיף חדש בעת הצורך. לא ניתן לשנות את מספרי המצבים.

כמה Dispatch ROM חדשים יש להוסיף?

- א. יש צורך להוסיף Dispatch יחיד.
- ב. יש צורך להוסיף שני Dispatch.
- ג. יש צורך להוסיף שלושה Dispatch.
- ד. יש צורך להוסיף ארבעה Dispatch.
- ה. אין צורך בהוספת Dispatch נוספים.

שאלה 10 (5 נקודות)

אחת החברות המובילות בייצור מעבדי RISC-V Multi Cycle החליטה להוסיף תמיכה בפקודה חדשה הנקראת *swi*. הפקודה שומרת לתוך הזיכרון את תוצאה המכפלה של רגיסטר וקבוע ונראית כך:

$swi\ rd, imm(rs1)$

ומבצעת את הפעולה הבאה:

$Mem[Reg[rd]] = Reg[rs1] * imm$

בחרו בתשובה הנכונה ביותר:

- א. ניתן לתמוך בפקודה ללא הוספת / שינוי מצבים ושינויים ב *datapath*.
- ב. ניתן להוסיף תמיכה בפקודה באמצעות הוספת מצב יחיד למכונת המצבים וללא שינויים ב *datapath*.
- ג. ניתן להוסיף תמיכה בפקודה באמצעות הוספת ארבעה מצבים חדשים למכונת המצבים וללא שינויים ב *datapath*.
- ד. ניתן להוסיף תמיכה בפקודה באמצעות שינויים ב *datapath* ו/או במכונת המצבים.
- ה. לא ניתן להוסיף תמיכה בפקודה כלל.



החל מהעמוד הבא מתחיל החלק של השאלות פתוחות (שאלות 11 – 15)

**שימו לב להגיש את טופס ה- template במודל בלבד, ולא
את קובץ הבחינה.**



שאלה 11 (12 נקודות)

נתונה הפונקציה הבאה הכתובה בשפת C המקבלת מערך, מבצעת עליו פעולה ושומרת במערך נוסף:

```
void apply(int arr[],int target[], int size){
    target[0] = arr[0];
    for (int i=1; i<size; i++){
        target[i] = target[i-1] + arr[i];
    }
}
```

מהנדס חרוץ מימש את הפונקציה באסמבלי, אך לרוע המזל, קבוצת האקרים הצליחו לפרוץ למחשבי החברה ולמחוק חלק מהקוד. עליכם לעזור למהנדס להשלים את הקוד.

ניתן להניח כי `int` תופס 4 בתים בזיכרון. כמו כן:

$s1 \leftarrow arr; s2 \leftarrow target; a0 \leftarrow size$

סעיף א' (7 נקודות):

השלימו את הקוד:

```
0x1AA0 0000  main :  lw t2, 0(s1)
0x1AA0 0004          sw t2, 0(____)
0x1AA0 0008          addi t0, a0, -1
0x1AA0 000C          addi t1, x0, 0
0x1AA0 0010  loop:  add a1, t1, (____)
0x1AA0 0014          lw t2, 0(____)
0x1AA0 0018          addi t1, ____, 4
0x1AA0 001C          add a1, t1, (____)
0x1AA0 0020          lw t3, ____ (____)
0x1AA0 0024          add ____, t2, t3
0x1AA0 0028          add a1, (____), (____)
0x1AA0 002C          sw t2, 0(____)
0x1AA0 0030          addi t0, t0, -1
0x1AA0 0034          bne t0, x0, loop
0x1AA0 0038  exit:
```



סעיף ב' (5 נקודות):

כעת אנחנו רוצים לבדוק את התוכנית. לשם כך, נתון מעבד pipelined RISC-V בעל מנגנון forwarding מלא ($WB \rightarrow DEC, MEM \rightarrow EXE, WB \rightarrow EXE$) ו- $\text{hazard detection unit}$ כפי שנלמדו בכיתה.

המעבד מניח כי פקודות הקפיצה אינן נלקחות, ומבצע flush אחרת. ההחלטה על הקפיצה מתבצעת בשלב ה-MEM. המהנדס הראשי ביקש מכם לחשב מהו מספר מחזורי השעון שיעברו עד סיום ריצת התוכנית (עד יציאת הפקודה בכתובת $0x1AA00010$ משלב ה-WB בפעם האחרונה).

נתון כי $size = 10$.

מלאו במלבן הבא את מספר מחזורי השעון:

--



שאלה 12 (8 נקודות)

עליכם לתכנן פונקציה המקבלת 4 משתנים בינאריים : w, x, y, z המתארים ספרה בבסיס 11, $digit = wxyz$.

לפונקציה יציאה בעלת ביט יחיד אשר מוציאה 1 עבור ספרות זוגיות, ו 0 אחרת.
א. מלאו את מפת קרנו של הפונקציה (יש לציין don't care במידה ויש):

wx	00	01	11	10
yz				
00				
01				
11				
10				

ב. מה הביטוי המינימלי כסכום מכפלות של פונקציה זו?

ג. כעת ניתן להביע את הפונקציה באמצעות הפעולות: $nand, nor, xor$ (בנוסף לפעולות: and, or, not).

האם ניתן לקבל ביטוי מינימלי יותר (פחות משתנים ופחות פעולות) מהתשובה לסעיף ב'?

כן / לא



שאלה 13 (10 נקודות)

שני מהנדסים מעוניינים לתקשר ביניהם בעזרת מנגנון UART כפי שנלמד בקורס, עם ההבדל היחיד שמשודרות X סיביות מידע במקום 8. אין שינוי בסיביות ההתחלה והסיום.

קצב השעון הפנימי של המקלט עובד בקצב 2.5MHz , אך קצב השעון הפנימי של המשדר וקצב השידור המקסימלי הנדרש על קו התקשורת הינו 0.3MHz . את סיבית ההתחלה מזהה המקלט מיידית.

א. מה יהיה ההיסט המתקבל בקליטת סיבית המידע הראשונה D_0 במקלט?

ב. כעת נתון שהתשובה לסעיף א' הינה α . מה יהיה ההיסט המתקבל בקליטת סיבית המידע D_1 כפונקציה של α ?

ג. כעת נתון שהתשובה לסעיף א' הינה α והתשובה לסעיף ב' הינה β . מצאו חסם הדוק ביותר על המספר המקסימלי של סיביות מידע שניתן לשדר ללא שגיאה כפונקציה של α ו- β . שימו לב שנרצה לקלוט גם את סיבית הסיום ללא שגיאה.



שאלה 14 (10 נקודות)

סטודנט חרוץ החליט לערוך השוואה בין מעבד RISC-V Single Cycle ובין מעבד RISC-V Multi Cycle. לצורך ההשוואה הוא פנה לחברה מוכרת וביקש מהם לקבל את שני המעבדים. זמן המחזור של מעבד ה Single Cycle RISC-V הוא $T_s = 250ns$. ואילו זמני ההשהיה של השלבים השונים של מעבד ה RISC-V Multi Cycle נתונים בטבלה הבאה:

<i>IF</i>	<i>ID</i>	<i>EXE</i>	<i>MEM</i>	<i>WB</i>
40ns	60ns	70ns	80ns	60ns

הסטודנט החליט להשוות בין זמני הריצה של שני המעבדים השונים, הוא החליט להריץ תוכנית זהה על שני המעבדים. הפקודות שיתבצעו בפועל על המעבד הן:

פקודה	כמות
<i>JAL</i>	12
<i>BEQ</i>	15
<i>SW</i>	5
<i>LW</i>	3
<i>ADD</i>	6

בשלושת הסעיפים הבאים ניתן להוסיף חישוב באורך של שורה אחת בלבד.

א. מהו זמן הריצה הכולל של התוכנית במעבד ה RISC-V Single Cycle?

ב. מהו זמן המחזור של מעבד ה RISC-V Multi Cycle?

ג. מהו זמן הריצה הכולל של התוכנית במעבד ה RISC-V Multi Cycle?



שאלה 15 (10 נקודות)

נתון מעבד מסוג *Pipelined RISC-V*. המעבד בעל יחידת *Hazard Detection Unit* כפי שנלמד בכיתה ובעל מנגנון forwarding מלא
($WB \rightarrow DEC, MEM \rightarrow EXE, WB \rightarrow EXE$)

יחידת ה-*Branch comparator* במעבד זה ממוקמת בשלב ה-*DEC*. בכדי לתמוך בשינוי זה, מתכנני המעבד הוסיפו *Adder* בשלב ה-*Dec* אשר מסייע לחישוב כתובת הקפיצה במידה ויש בכך צורך. המעבד מניח תמיד כי הקפיצה לא נלקחת ומבצע *flush* במידה ומתברר כי יש לבצע את פקודת הקפיצה.

נתון קוד האסמבלי הבא:

הניחו כי בתוכנית לא מתרחשות חריגות.

```

0x00001000    lw t2,0(s0)
0x00001004    addi t2,x0,5
0x00001008    lw s3,0(s1)
0x0000100C    add s3,s3,s3
0x00001010    add t1,x0,x0
0x00001014    sub s4,s3,s4
Loop: 0x00001018    lw s1,0(s0)
0x0000101C    addi s2,s1,1
0x00001020    addi t2,t2,-1
0x00001024    addi s3,s3,1
0x00001028    mul s2,s2,s3
0x0000102C    bne t1,t2,Loop
0x00001030    NOP
0x00001034    NOP
0x00001038    NOP

```

(המשך בעמ' הבא)



א. ציינו את מספר מקרי ה- fw מכל סוג בטבלה הבאה:

$WB \rightarrow DEC$	$MEM \rightarrow EXE$	$WB \rightarrow EXE$

ב. מרגע כניסת הפקודה הראשונה לשלב ה- $Fetch$, כמה מחזורי שעות יעברו עד לסיום ריצת התוכנית (כלומר עד לרגע יציאת הפקודה בשורה $0x0000102C$ בפעם האחרונה משלב ה- WB)?
יש לפרט את החישוב בקצרה (לא יותר מ-2 שורות).