# סימולציה 1

**מגישים:**

| | |
|---|---|
| אביב ריכטר | 328274386 |
| אורי כשר חיטין | 215105321 |

<u>סעיף 2</u>

1. טבלת אמת:

| Sel | D0 | D1 | Z |
|---|---|---|---|
| 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0 | 0 | 1 | 0 |
| 0 | 1 | 0 | 1 |
| 0 | 1 | 1 | 1 |
| 1 | 0 | 0 | 0 |
| 1 | 0 | 1 | 1 |
| 1 | 1 | 0 | 0 |
| 1 | 1 | 1 | 1 |

מפת קרנו:

| Sel \ D0 D1 | 00 | 01 | 11 | 10 |
|---|---|---|---|---|
| 0 | | | 1 | 1 |
| 1 | | 1 | 1 | |

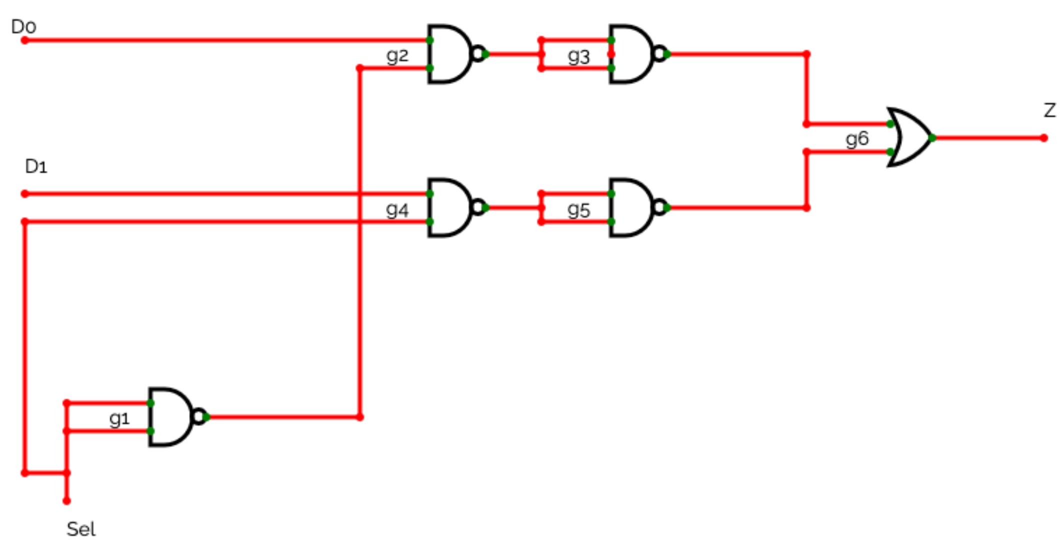
ולכן הביטוי הינו:

$$Z = \overline{Sel} * D0 + Sel * D1$$

ובעזרת השערים הנתונים:

$$Z = NAND[NAND(NAND(Sel, Sel), D0), NAND(NAND(Sel, Sel), D0)] + NAND[NAND(Sel, D1), NAND(Sel, D1)]$$

שרטוט (מימוש עם השערים הנתונים):



להלן טבלת האמת, ובה נסמן באותו הצבע זוג שורות ששינוי של אחת הכניסות (בלבד) משנה את המוצא.

| Sel | D0 | D1 | Z |
|---|---|---|---|
| 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0 | 0 | 1 | 0 |
| 0 | 1 | 0 | 1 |
| 0 | 1 | 1 | 1 |
| 1 | 0 | 0 | 0 |
| 1 | 0 | 1 | 1 |
| 1 | 1 | 0 | 0 |
| 1 | 1 | 1 | 1 |

זוגות נוספים:

| Sel | D0 | D1 | Z |
|---|---|---|---|
| 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0 | 0 | 1 | 0 |
| 0 | 1 | 0 | 1 |
| 0 | 1 | 1 | 1 |
| 1 | 0 | 0 | 0 |
| 1 | 0 | 1 | 1 |
| 1 | 1 | 0 | 0 |
| 1 | 1 | 1 | 1 |

כל זוג כזה נידרש לבדוק בשני כיוונים – מ- 0 ל- 1, ומ- 1 ל- 0.

ת״ז שלי היא 328274386, לכן, עבור סעיף 2.1 בלבד:

| | $T_{PDLH}$ | $T_{PDHL}$ |
|---|---|---|
| NAND2 | 2 | 7 |
| OR2 | 8 | 4 |
| XNOR2 | 2 | 3 |

נחשב את ההשהיות הבאות (נבחר מטבלת הצבעים את השורות המתאימות):

| PATH | DO | D1 | Sel | $T_{PD}$ |
|---|---|---|---|---|
| DO → g2 → g3 → g6 | 0 → 1 | Φ * | 0 | 17 |
| | 1 → 0 | Φ | 0 | 13 |
| D1 → g4 → g5 → g6 | Φ | 0 → 1 | 1 | 17 |
| | Φ | 1 → 0 | 1 | 13 |
| Sel → g4 → g5 → g6 | 0 | 1 | 0 → 1 | 17 |
| | 0 | 1 | 1 → 0 | 13 |
| Sel → g1 → g2 → g3 → g6 | 1 | 0 | 0 → 1 | 20 |
| | 1 | 0 | 1 → 0 | 19 |

*הסיבה שיש כאן don't care היא שהערך של d1 לא משפיע על ה- output. באופן דומה במקומות אחרים בטבלה.

$$t_{pdLH}(D0 \to \text{ Z}) \text{ [for } D0_{0\to1}] = t_{pdHL}(NAND) + t_{pdLH}(NAND) + t_{pdLH}(OR) = 7 + 2 + 8 = 17$$

(מקרה זה מתאים עבור $D0_{0\to1}$ משום שעבור השינוי במוצא מ- 0 ל- 1 מתקבל שיש שינוי מ- 0 ל- 1 ב- D0).

$$t_{pdHL}(D0 \to \text{ Z}) \text{ [for } D0_{1\to0}] = t_{pdLH}(NAND) + t_{pdHL}(NAND) + t_{pdHL}(OR) = 2 + 7 + 4 = 13$$

$$t_{pdLH}(D1 \to \text{ Z}) \text{ [for } D1_{0\to1}] = t_{pdHL}(NAND) + t_{pdLH}(NAND) + t_{pdLH}(OR) = 7 + 2 + 8 = 17$$

$$t_{pdHL}(D0 \to \text{ Z}) \text{ [for } D1_{0\to1}] = t_{pdLH}(NAND) + t_{pdHL}(NAND) + t_{pdHL}(OR) = 2 + 7 + 4 = 13$$

$$t_{pdLH}(\text{Sel } \to \text{ g4 } \to \text{ g5 } \to \text{ g6}) \text{ [for } D0 = 0, D1 = 1, Sel_{0\to1}] = t_{pdHL}(NAND) + t_{pdLH}(NAND) + t_{pdLH}(OR) = 7 + 2 + 8 = 17$$

$$t_{pdHL}(\text{Sel } \to \text{ g4 } \to \text{ g5 } \to \text{ g6}) \text{ [for } D0 = 0, D1 = 1, Sel_{1\to0}] = t_{pdLH}(NAND) + t_{pdHL}(NAND) + t_{pdHL}(OR) = 2 + 7 + 4 = 13$$

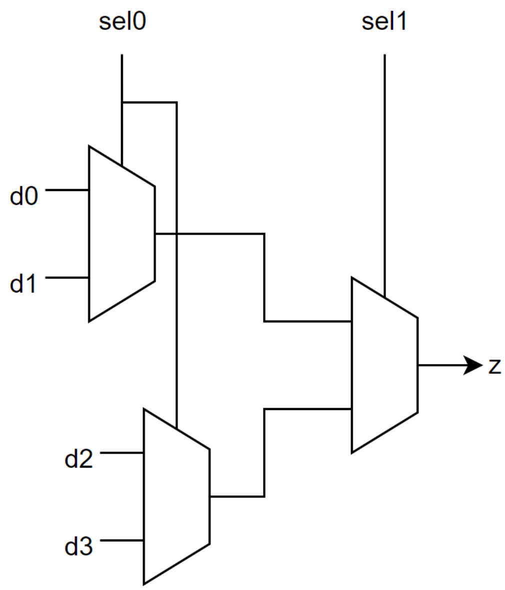
$$t_{pdHL}(\text{Sel } \to \text{ g1 } \to \text{ g2 } \to \text{ g3} \to \text{g6}) \text{ [for } D0 = 1, D1 = 0, Sel_{0\to1}] = t_{pdHL}(NAND) + t_{pdLH}(NAND) + t_{pdHL}(NAND) + t_{pdHL}(OR) = 7 + 2 + 7 + 4 = 20$$

$$t_{pdLH}(\text{Sel } \to \text{ g1 } \to \text{ g2 } \to \text{ g3} \to \text{g6}) \text{ [for } D0 = 1, D1 = 0, Sel_{1\to0}] = t_{pdLH}(NAND) + t_{pdHL}(NAND) + t_{pdLH}(NAND) + t_{pdLH}(OR) = 2 + 7 + 2 + 8 = 19$$

ערכי השהיות השערים לפי ת"ז: 215105321

| | $t_{pdlh}$ | $t_{pdhl}$ |
|---|---|---|
| NAND2 | 10 | 10 |
| OR2 | 5 | 5 |
| XNOR2 | 3 | 3 |

2. מימוש לבורר 4 ל-1:




נבחר עבור החישוב את הכניסה sel0 עם שינוי מ-0 ל-1 כאשר sel1=0, d1=d2=d3=0, d0=1.

נשים לב שלכל הרכיבים הנתונים (NAND, KNOR, OR) כעת מתקיים $t_{pdLH} = t_{pdHL}$.

לפיכך נקבל $t_{pdLH_{mux4}} = t_{pdHL_{mux4}}$.

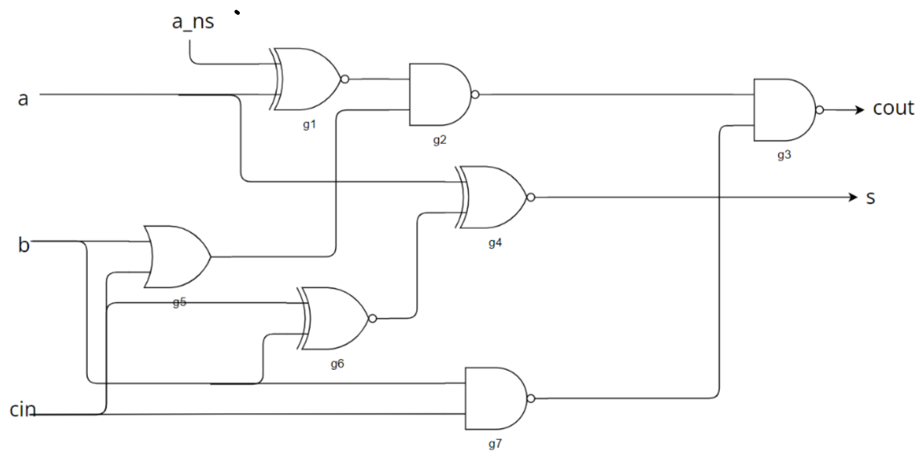
זמן השהייה מקסימלית עבור שינוי 0 ל-1:

$$t_{pdLH_{mux4}} = t_{pdLH_{mux2}}(sel \rightarrow z) + t_{pdLH_{mux2}}(d_0 \rightarrow z)$$
$$= \Big(t_{pd}[g1](NAND) + t_{pd}[g2](NAND) + t_{pd}[g3](NAND)$$
$$+ t_{pd}[g6](OR)\Big)$$
$$+ \Big(t_{pd}[g2](NAND) + t_{pd}[g3](NAND) + t_{pd}[g6](OR)\Big)$$
$$= 3 \cdot 10 + 5 + 2 \cdot 10 + 5 = 60$$

כאמור זהו גם זמן ההשהיה המקסימלית עבור שינוי מ-1 ל-0.

חישבנו השהיה מקסימלית באופן זה מכיוון ששינוי זה עובר את המסלול הארוך ביותר בMUX 2 ל-1, וכן את המסלול הארוך ביותר מכניסה ליציאה של MUX 2. זהו המסלול הארוך ביותר האפשרי ב-MUX 4 מכניסה ליציאה.

3. מימוש ל-FAS:




נבנה שתי טבלאות – אחת עבור כל מוצא. בכל שורה בטבלה ישנה כניסה משתנה אחת, ושאר הכניסות קבועות. בעמודה other inputs מוצגות כל הקומבינציות של ערכי הכניסות האחרות (הקבועות) כך שהמוצא אכן משתנה.

סה"כ, **זמן ההשהיה המקסימלי עבור cout הוא 25, ועבור s הוא 6.**

**טבלה עבור המוצא cout:**

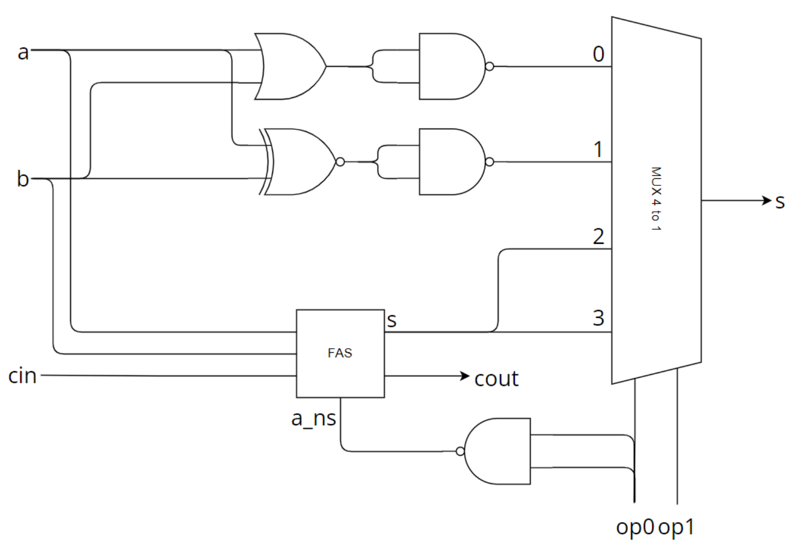
<table>
<tr><th>Input</th><th>path</th><th>Other inputs</th><th>$T_{pd}$</th><th>$max-T_{pd}$</th></tr>
<tr><td rowspan="2">a_ns<br>$0 \leftrightarrow 1$</td><td rowspan="2">a_ns → g1 → g2 → g3</td><td>a= Φ, b=1, cin = 0</td><td rowspan="2">$T_{pd}(XNOR)+T_{pd}(NAND)$<br>$+T_{pd}(NAND)$<br>$=3+10+10=23$</td><td rowspan="2">23</td></tr>
<tr><td>a= Φ, b=0, cin = 1</td></tr>
<tr><td rowspan="2">a<br>$0 \leftrightarrow 1$</td><td rowspan="2">a → g1 → g2 → g3</td><td>a_ns= Φ, b=1, cin = 0</td><td rowspan="2">$T_{pd}(XNOR)+T_{pd}(NAND)$<br>$+T_{pd}(NAND)$<br>$=3+10+10=23$</td><td rowspan="2">23</td></tr>
<tr><td>a_ns= Φ, b=0, cin = 1</td></tr>
<tr><td rowspan="4">b<br>$0 \leftrightarrow 1$</td><td rowspan="2">b → g5 → g2 → g3</td><td>a_ns=0, a=0, cin=0</td><td rowspan="2">$T_{pd}(OR)+T_{pd}(NAND)$<br>$+T_{pd}(NAND)$<br>$=5+10+10=25$</td><td rowspan="4">25</td></tr>
<tr><td>a_ns=1, a=1, cin=0</td></tr>
<tr><td rowspan="2">b → g7 → g3</td><td>a_ns=1, a=0, cin=1</td><td rowspan="2">$T_{pd}(NAND)+T_{pd}(NAND)$<br>$=10+10$<br>$=20$</td></tr>
<tr><td>a_ns=0, a=1, cin=1</td></tr>
</table>

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| cin $0 \leftrightarrow 1$ | cin $\rightarrow$ g5 $\rightarrow$ g2 $\rightarrow$ g3 | a_ns=0, a=0, b=0 | $T_{pd}(OR) + T_{pd}(NAND) + T_{pd}(NAND) = 5 + 10 + 10 = 25$ | 25 |
| | | a_ns=1, a=1, b=0 | | |
| | cin $\rightarrow$ g7 $\rightarrow$ g3 | a_ns=1, a=0, b=1 | $T_{pd}(NAND) + T_{pd}(NAND) = 10 + 10 = 20$ | |
| | | a_ns=0, a=1, b=1 | | |

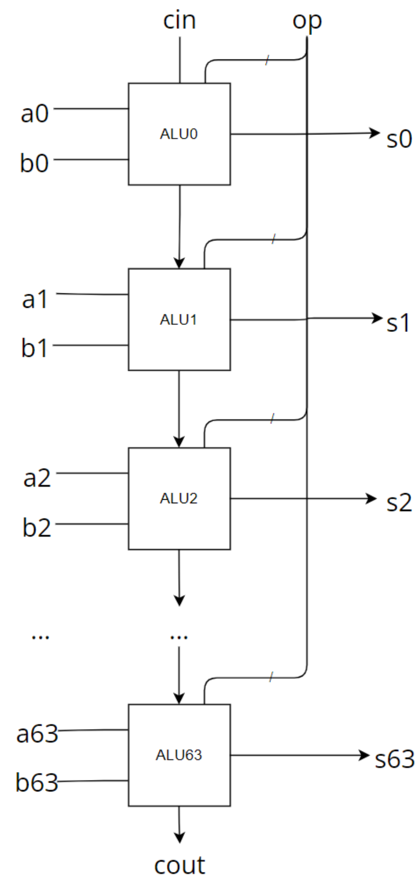
**טבלה עבור המוצא S:**

| Input | path | Other inputs | $T_{pd}$ | $max - T_{pd}$ |
|---|---|---|---|---|
| a $0 \leftrightarrow 1$ | a $\rightarrow$ g4 | a_ns=Φ, b= Φ, cin = Φ | $T_{pd}(XNOR) = 3$ | 3 |
| b $0 \leftrightarrow 1$ | b $\rightarrow$ g6 $\rightarrow$ g4 | a_ns=Φ, a= Φ, cin = Φ | $T_{pd}(XNOR) + T_{pd}(XNOR) = 3 + 3 = 6$ | 6 |
| cin $0 \leftrightarrow 1$ | cin $\rightarrow$ g6 $\rightarrow$ g4 | a_ns=Φ, a= Φ, b = Φ | $T_{pd}(XNOR) + T_{pd}(XNOR) = 3 + 3 = 6$ | 6 |

4. מימוש ל-1 ALU ביט:



5. מימוש ל-ALU 64 ביט:




נשים לב לפי סעיף קודם ולפי הגדרת ההשהיה על שערים:

$$T_{pd_{MUX4}}(d_{2\ or\ 3} \to z) = 2T_{pd}(NAND) + 2T_{pd}(NAND) + 2T_{pd}(OR) = 50$$
$$T_{pd_{ALU1}}(a \to cout) = T_{pd_{FAS}}(a \to cout) = 23$$
$$T_{pd_{ALU1}}(b \to cout) = T_{pd_{FAS}}(b \to cout) = 25$$
$$T_{pd_{ALU1}}(cin \to s) = T_{pd_{FAS}}(cin \to s) + T_{pd_{MUX4}}(d_{2\ or\ 3} \to z) = 6 + 50 = 56$$
$$T_{pd_{ALU1}}(cin \to cout) = T_{pd_{FAS}}(cin \to cout) = 25$$
$$T_{pd_{FAS}}(a\_ns \to cout) = 23$$

נסתכל על זמן ההשהיה המקסימלי עבור המסלול הארוך ביותר לכל כניסה ויציאה תוך התחשבות בסימטריה של המעגל ALU 64 ביט, וכן נשתמש בחישובים הנ"ל. נראה כי עבור המקסימלי קיימים ערכי כניסות מתאימים ושינוי מתאים של אחת הכניסות כך שהשהיה זו תתרחש:

- לכל כניסה $a_0 - a_{63}$ מתקיים:

$$\begin{aligned} T_{pd_{ALU64}}(a_i \to s_j) \le T_{pd_{ALU64}}(a_0 \to s_{63}) &= T_{pd_{ALU1}}(a \to cout) + 62 \cdot T_{pd_{ALU1}}(cin \to cout) \\ &+ T_{pd_{ALU1}}(cin \to s) = 23 + 62 \cdot 25 + 56 = 1629 \end{aligned}$$

$$T_{pd_{ALU64}}(a_i \rightarrow\ cout) \leq\ T_{pd_{ALU64}}(a_0 \rightarrow\ cout)$$
$$= T_{pd_{ALU1}}(a \rightarrow\ cout) + 63 \cdot T_{pd_{ALU1}}(cin \rightarrow\ cout) = 23 + 63 \cdot 25$$
$$= 1598$$

- לכל כניסה $b_0 - b_{63}$ מתקיים:

$$T_{pd_{ALU64}}\left(b_i \rightarrow s_j\right) \leq T_{pd_{ALU64}}(b_0 \rightarrow\ s_{63})$$
$$= T_{pd_{ALU1}}(b \rightarrow\ cout) + 62 \cdot T_{pd_{ALU1}}(cin \rightarrow\ cout)$$
$$+ T_{pd_{ALU1}}(cin \rightarrow\ s) = 25 + 62 \cdot 25 + 56 = 1631$$
$$T_{pd_{ALU64}}(b_i \rightarrow\ cout) \leq\ T_{pd_{ALU64}}(b_0 \rightarrow\ cout)$$
$$= T_{pd_{ALU1}}(b \rightarrow\ cout) + 63 \cdot T_{pd_{ALU1}}(cin \rightarrow\ cout) = 25 + 63 \cdot 25$$
$$= 1600$$

- עבור op מתקיים:

$$T_{pd_{ALU64}}(op_{0\ or\ 1} \rightarrow s_i) \leq T_{pd_{ALU64}}(op_0 \rightarrow\ s_{63})$$
$$= T_{pd_{ALU1}}(op_0 \rightarrow cout) + 62 \cdot T_{pd_{ALU1}}(cin \rightarrow cout)$$
$$+ T_{pd_{ALU1}}(cin \rightarrow s)$$
$$= \left(T_{pd}(NAND) + T_{pd_{FAS}}(a_{ns} \rightarrow\ cout)\right)$$
$$+ 62 \cdot T_{pd_{ALU1}}(cin \rightarrow cout) + T_{pd_{ALU1}}(cin \rightarrow s)$$
$$= 10 + 23 + 62 \cdot 25 + 56 = 1639$$
$$T_{pd_{ALU64}}(op_{0\ or\ 1} \rightarrow cout) \leq T_{pd_{ALU64}}(op_0 \rightarrow\ cout)$$
$$= T_{pd}(NAND) + T_{pd_{FAS}}(a\_ns \rightarrow\ cout) + 63 \cdot T_{pd_{ALU1}}(cin \rightarrow cout)$$
$$= 10 + 23 + 63 \cdot 25 = 1608$$

- עבור $cin$:

$$T_{pd_{ALU64}}(cin \rightarrow s_i) \leq T_{pd_{ALU64}}(cin \rightarrow s_{63})$$
$$= 63 \cdot T_{pd_{ALU1}}(cin \rightarrow\ cout) + T_{pd_{ALU1}}(cin \rightarrow\ s) =$$
$$= 63 \cdot T_{pd_{FAS}}(cin \rightarrow cout) + T_{pd_{ALU1}}(cin \rightarrow\ s) = 63 \cdot 25 + 6 + 50$$
$$= 1631$$
$$T_{pd_{ALU64}}(cin \rightarrow cout) = 64 \cdot T_{pd_{ALU1}}(cin \rightarrow\ cout) = 64 \cdot T_{pd_{FAS}}(cin \rightarrow cout) =$$
$$= 64 \cdot 25 = 1600$$

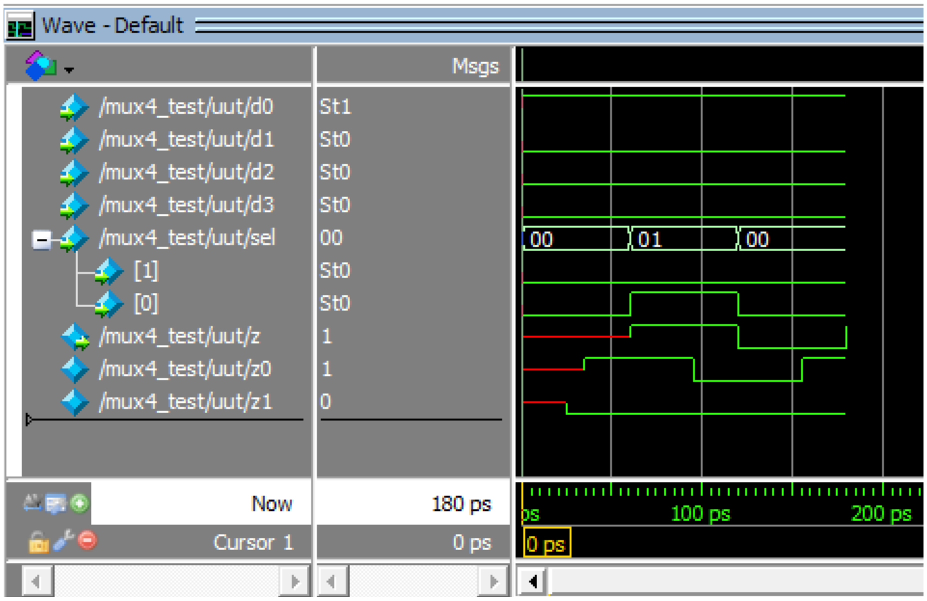
מצאנו כי המסלול הארוך ביותר הוא מ-op0 ל-s63. והשהיה אפשרית מקסימלית עבורו היא 1639. נראה כי קיימת השמה לכניסות כך ששינוי op0 ישנה את המוצא s63 ולכן המסלול ישיג:

| Inputs | | | | Outputs | |
|---|---|---|---|---|---|
| a | b | cin | Op | S | Cout |
| 0 | 1 | 0 | 10 | 1 | 0 |
| 0 | 1 | 0 | 11 | $(11 \dots 11)_2$ | 1 |

קיבלנו לפיכך שזהו המסלול שגורם להשהיה המקסימלית.

<u>סעיף 3</u>

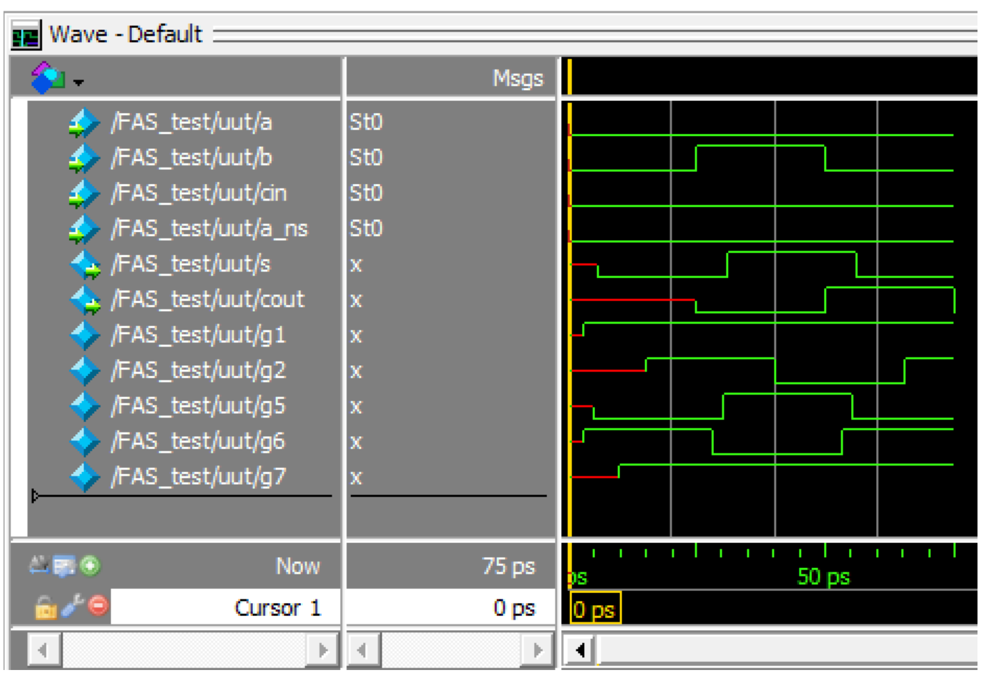
3) צילום סימולציית סעיף 3.3 עבור MUX4:




ניתן לראות כי קיימת השהיה של 60 (ps) מרגע תחילת הריצה עד שמייצבת היציאה Z. כמו כן, השהיה זו קיימת גם כאשר אנו עוברים מ-d0=0 ל-d0=1: לאחר 60 (ps) נוספות Z עובר מ-0 ל-1. כך גם עבור הירידה: $1 \to 0$ :d0.

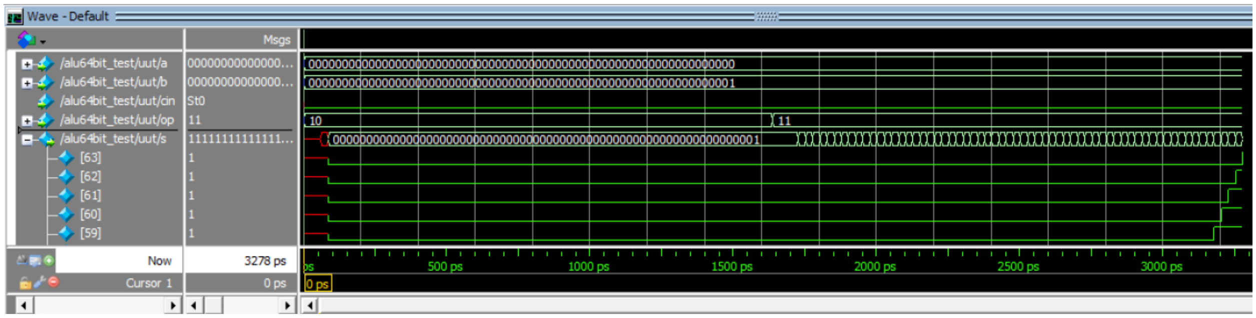
השהיה זו מתאימה לחישוב התיאורטי של סעיף 2.2 בו מצאנו שההשהיה היא 60.

5) צילום סימולציית סעיף 3.5 עבור FAS:

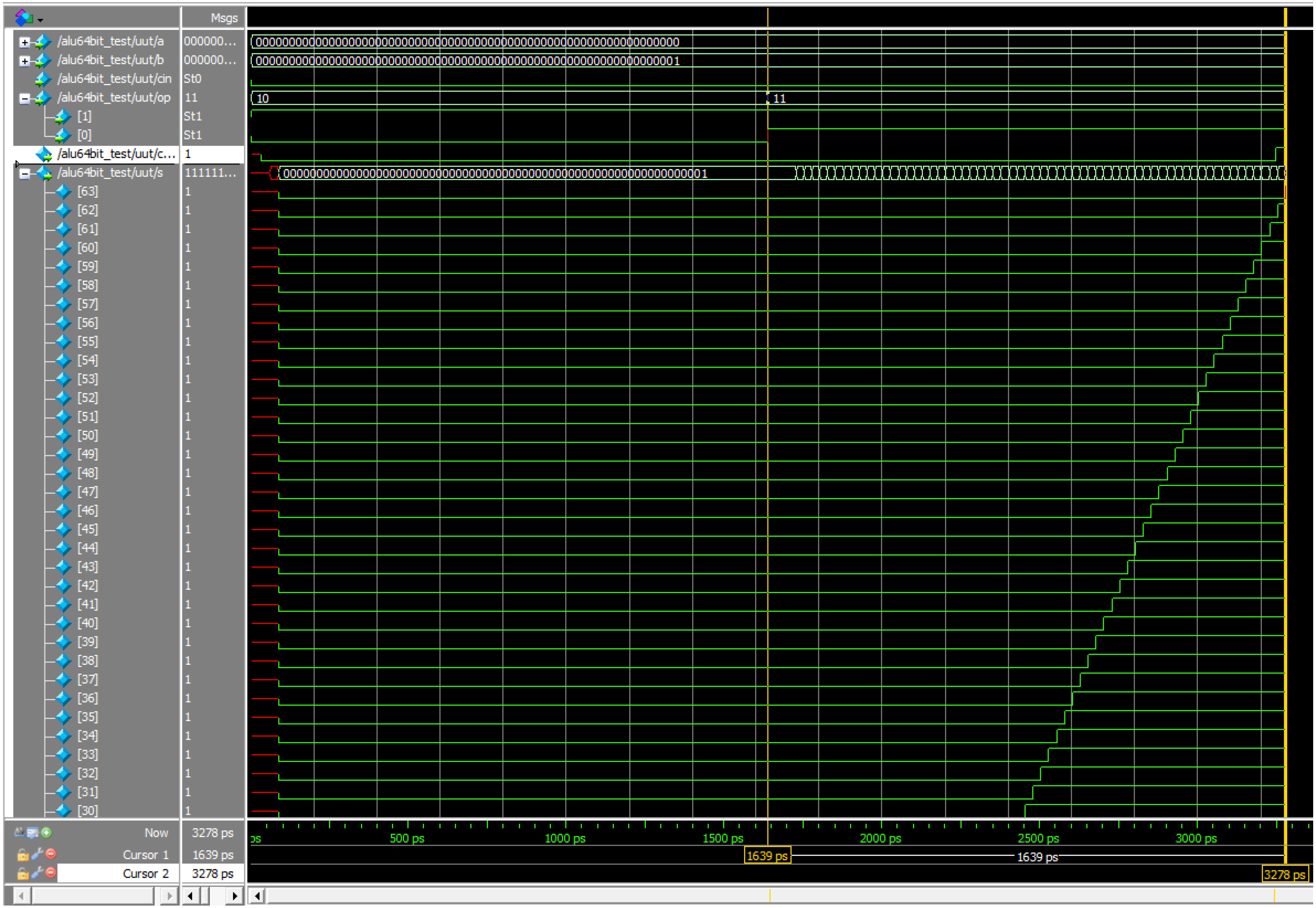


ניתן לראות כי קיימת השהיה של 25 (ps) מרגע תחילת הריצה עד שמתייצבת היציאה cout.
כמו כן השהיה זו קיימת גם כאשר אנו עוברים מ-B=0 ל-B=1: לאחר 25 (ps) נוספות cout
עובר מ-0 ל-1 בהשפעת השינוי הנ"ל בכניסה B. כך גם עבור הירידה: $B: 1 \rightarrow 0$.
השהיה זו מתאימה לחישוב התיאורטי של סעיף 3.2, בו מצאנו שההשהיה היא 25.

8) צילום סימולציית 3.8 של ALU 64 bit. מצורף בעמוד הבא צילום מלא של סימולציה.




ביצענו סימולציה עבור הכניסות המתוארות בסעיף 2.5. ניתן לראות כי מרגע אתחול הכניסות ועד התייצבות היציאה S63 עוברות 1639 (ps) וברגע זה גם הכניסה op0 משתנה מ-0 ל-1. כמו כן השהייה זהה מתרחשת מרגע השינוי הנ"ל ועד לרגע השתנות היציאה S63 (ברגע 3278 ps – 1639 PS מרגע השתנות op0). כמו כן, ניתן לראות שהשהיה זו היא הארוכה ביותר בגרף – זאת שכן השינוי ביציאה S63 הוא האחרון מבין כל השינויים המתרחשים בעקבות שינוי הכניסה op0. כלומר השהיה זו היא המקסימלית ומתאימה לחישוב מסעיף 2.5.


Msgs
/alu64bit_test/uut/a 000000...
/alu64bit_test/uut/b 000000...
/alu64bit_test/uut/cin St0
/alu64bit_test/uut/op 11
[1] St1
[0] St1
/alu64bit_test/uut/c... 1
/alu64bit_test/uut/s 111111...
[63] 1
[62] 1
[61] 1
[60] 1
[59] 1
[58] 1
[57] 1
[56] 1
[55] 1
[54] 1
[53] 1
[52] 1
[51] 1
[50] 1
[49] 1
[48] 1
[47] 1
[46] 1
[45] 1
[44] 1
[43] 1
[42] 1
[41] 1
[40] 1
[39] 1
[38] 1
[37] 1
[36] 1
[35] 1
[34] 1
[33] 1
[32] 1
[31] 1
[30] 1
0000000000000000000000000000000000000000000000000000000000000000
0000000000000000000000000000000000000000000000000000000000000001
10
11
0000000000000000000000000000000000000000000000000000000000000001
Now 3278 ps
Cursor 1 1639 ps
Cursor 2 3278 ps
ps
500 ps
1000 ps
1500 ps
2000 ps
2500 ps
3000 ps
1639 ps
1639 ps
3278 ps