

## תרגיל רטוב #1

שם	ת.ז
נדב אשכנזי	313326811
אבן ברעז	205361199

שער	Tpd(LH)	Tpd(HL)
NAND2	B: 1	C: 3
OR2	D: 3	E: 2
XNOR2	F: 6	G: 8

2. מימוש בורר 4→1

2.1. מימוש בורר 2→1

טבלת אמת :

D0	D1	S	MUX 2->1
0	0	0	0
0	0	1	0
0	1	0	0
0	1	1	1
1	0	0	1
1	0	1	0
1	1	0	1
1	1	1	1

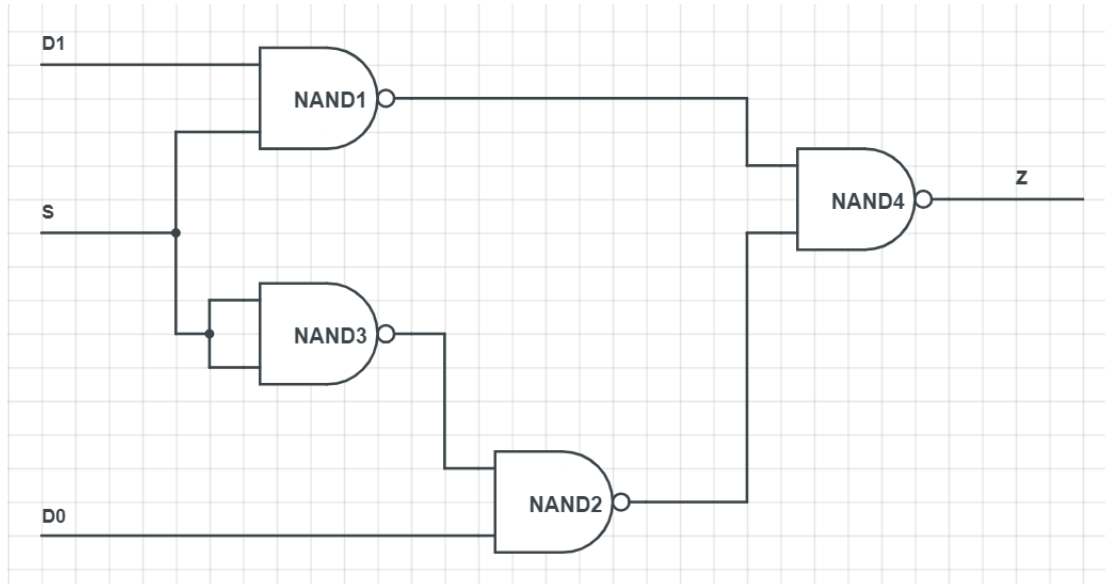
מפת קרנו :

D0 D1 \ S	00	01	11	10
0			1	1
1		1	1	

ולכן המשוואה היא :

$$\text{MUX } 2 \rightarrow 1: D_0 \cdot S' + D_1 \cdot S = [(D_0 \cdot S')' \cdot (D_1 \cdot S)']'$$

והמימוש הוא :



## Tpds

(D0 → Z)

$$\text{Tpdl}_{\text{LH}}(D_0:0 \rightarrow 1) = \text{Tpdl}_{\text{HL}}(\text{NAND}) + \text{Tpdl}_{\text{LH}}(\text{NAND}) = 3+1 = 4$$

$$\text{Tpdl}_{\text{HL}}(D_0:1 \rightarrow 0) = \text{Tpdl}_{\text{LH}}(\text{NAND}) + \text{Tpdl}_{\text{HL}}(\text{NAND}) = 1+3 = 4$$

(D1 → Z)

$$\text{Tpdl}_{\text{LH}}(D_1:0 \rightarrow 1) = \text{Tpdl}_{\text{HL}}(\text{NAND}) + \text{Tpdl}_{\text{LH}}(\text{NAND}) = 3+1 = 4$$

$$\text{Tpdl}_{\text{HL}}(D_1:1 \rightarrow 0) = \text{Tpdl}_{\text{HL}}(\text{NAND}) + \text{Tpdl}_{\text{LH}}(\text{NAND}) = 3+1 = 4$$

(S → Z)

$$\begin{aligned} \text{Tpdl}_{\text{LH}}(S:0 \rightarrow 1) &= \text{Tpdl}_{\text{HL}}(\text{NAND}) + \text{Tpdl}_{\text{LH}}(\text{NAND}) \\ &\quad + \text{Tpdl}_{\text{LH}}(\text{NAND}) = 3+1+1 = 5 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Tpdl}_{\text{HL}}(S:1 \rightarrow 0) &= \text{Tpdl}_{\text{HL}}(\text{NAND}) + \text{Tpdl}_{\text{LH}}(\text{NAND2}) \\ &\quad + \text{Tpdl}_{\text{HL}}(\text{NAND}) = 7 \end{aligned}$$

(D0 → Z)

$$\text{Tpdl}_{\text{LH}}(D_0:0 \rightarrow 1) = \text{Tpdl}_{\text{HL}}(\text{NAND2}) + \text{Tpdl}_{\text{LH}}(\text{NAND}) = 3+1 = 4$$

$$Tpd\_HL(D0:1 \rightarrow 0) = Tpd\_LH(NAND2) + Tpd\_HL(NAND) = 1 + 3 = 4$$

### Tpd (MUX 2→1)

$$Tpd\_LH = MAX\{4, 4, 4\} = 4$$

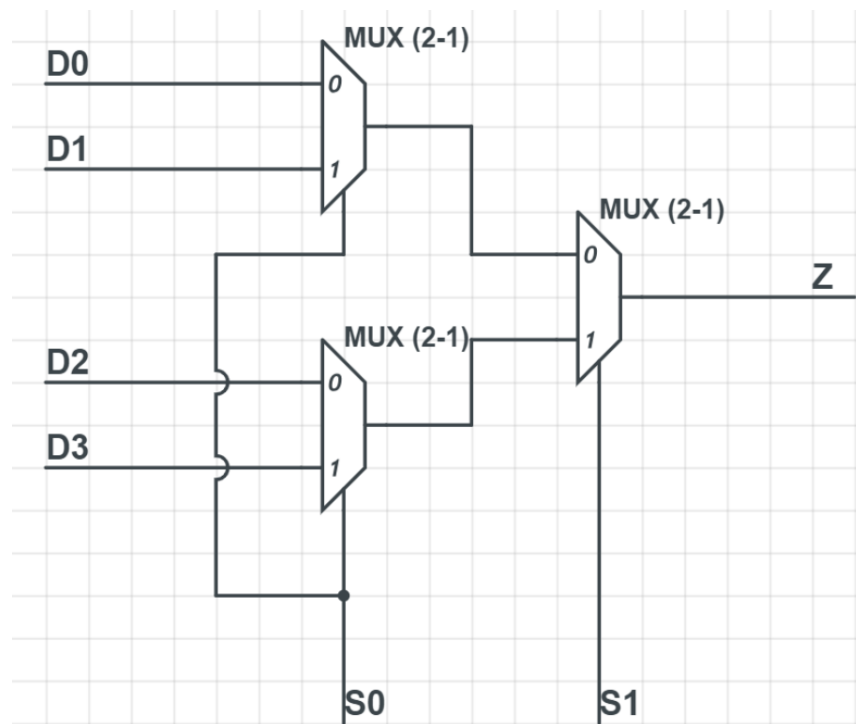
$$Tpd\_HL = MAX\{4, 7, 4\} = 7$$

### 2.2. מימוש בורר 4→1

טבלת אמת (מקוצרת):

S0	S1	Z
0	0	D0
0	1	D1
1	0	D2
1	1	D3

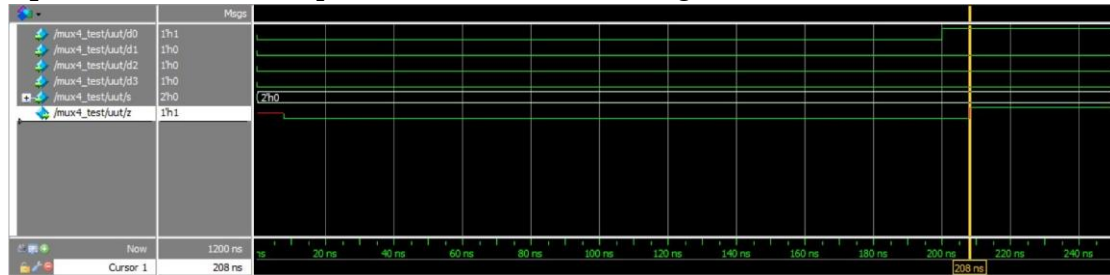
ולכן המימוש הוא:



## Tpds

(D0 → Z)

$$\text{Tpds\_LH (D0:0} \rightarrow \text{1)} = \text{Tpds\_LH(MUX 2} \rightarrow \text{1, D0 changes)} * 2 = 8$$



$$\text{Tpds\_HL (D0:1} \rightarrow \text{0)} = \text{Tpds\_HL(MUX 2} \rightarrow \text{1, D0 changes)} * 2 = 8$$

(D1 → Z)

$$\text{Tpds\_LH (D1:0} \rightarrow \text{1)} = \text{Tpds\_LH(MUX 2} \rightarrow \text{1, D0/D1 changes)} * 2 = 8$$

$$\text{Tpds\_HL (D1:1} \rightarrow \text{0)} = \text{Tpds\_HL(MUX 2} \rightarrow \text{1, D0/D1 changes)} * 2 = 8$$

(D2 → Z)

$$\text{Tpds\_LH (D2:0} \rightarrow \text{1)} = \text{Tpds\_LH(MUX 2} \rightarrow \text{1, D0/D1 changes)} * 2 = 8$$

$$\text{Tpds\_HL (D2:1} \rightarrow \text{0)} = \text{Tpds\_HL(MUX 2} \rightarrow \text{1, D0/D1 changes)} * 2 = 8$$

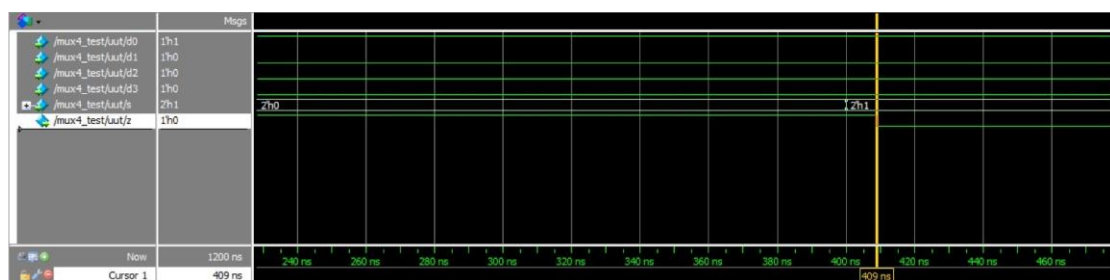
(D3 → Z)

$$\text{Tpds\_LH (D3:0} \rightarrow \text{1)} = \text{Tpds\_LH(MUX 2} \rightarrow \text{1, D1 changes)} * 2 = 8$$

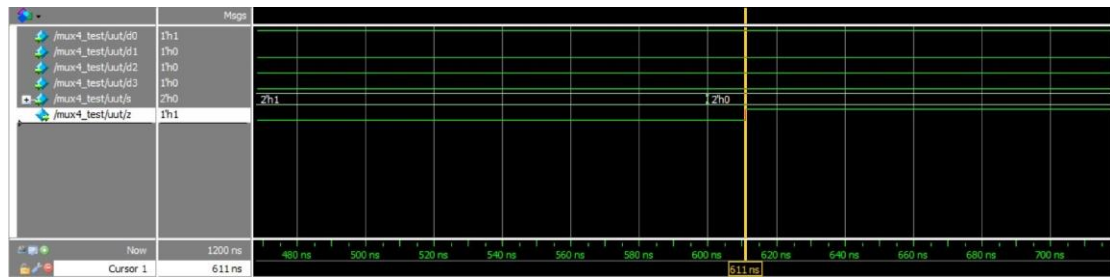
$$\text{Tpds\_HL (D3:1} \rightarrow \text{0)} = \text{Tpds\_HL(MUX 2} \rightarrow \text{1, D1 changes)} * 2 = 8$$

(S0 → Z)

$$\text{Tpds\_LH (S0:0} \rightarrow \text{1)} = \text{Tpds\_HL(MUX 2} \rightarrow \text{1, D0/D1 changes)} * 2 = 9$$

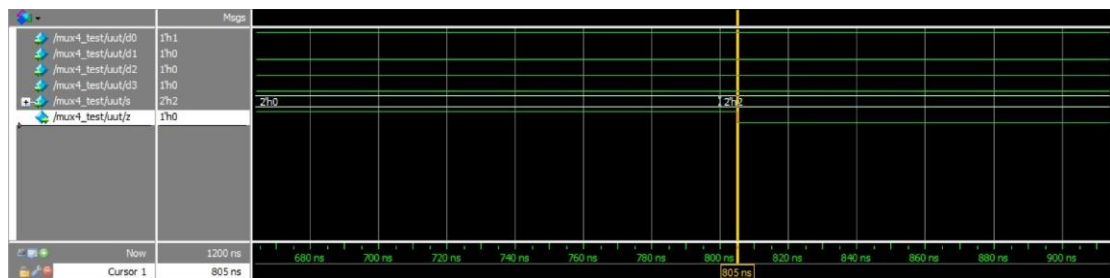


$$\begin{aligned} \text{Tpds\_HL (S0:1} \rightarrow \text{0)} &= \text{Tpds\_HL(MUX 2} \rightarrow \text{1, S changes)} \\ &+ \text{Tpds\_HL(MUX 2} \rightarrow \text{1, D0/D1 changes)} = 11 \end{aligned}$$

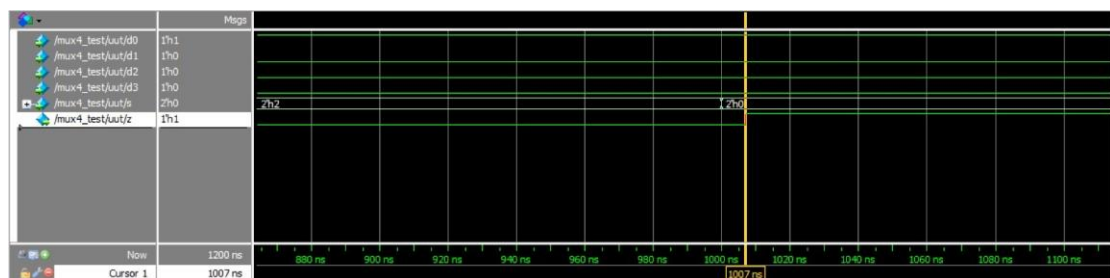


(S1 → Z)

**Tpd\_LH (S1:0→1) = Tpd\_IL(MUX 2→1, S changes) = 5**



**Tpd\_HL (S1:1→0) = Tpd\_HL(MUX 2→1, S changes) = 7**



**Tpd (MUX 4→1)**

**Tpd\_LH = 8**

**Tpd\_HL = 14**

### 3. מימוש Full Adder/Subtractor

טבלת אמת:

A_ns	A	B	Cin	Cout	S
0	0	0	0	0	0
0	0	0	1	1	1
0	0	1	0	1	1
0	0	1	1	1	0
0	1	0	0	0	1
0	1	0	1	0	0
0	1	1	0	0	0
0	1	1	1	1	1
1	0	0	0	0	0
1	0	0	1	0	1
1	0	1	0	0	1
1	0	1	1	1	0
1	1	0	0	0	1
1	1	0	1	1	0
1	1	1	0	1	0
1	1	1	1	1	1

מפות קרנו:

יציאה S

A_ns, A B, Cin	00	01	11	10
00		1	1	
01	1			1
11		1	1	
10	1			1

ולכן המשוואה היא:

$$\begin{aligned}
 S: A'B'Cin + AB'Cin' + ABCin + A'BCin' &= B'(A'Cin + ACin') + B(ACin + A'Cin') \\
 &= B'(\oplus ACin) + B(A \oplus Cin)' = (B \oplus (A \oplus Cin))' = (Cin \oplus (A \oplus B))'
 \end{aligned}$$

יציאה Cout

$A_nS, A$ $B, Cin$	00	01	11	10
00				
01	1		1	
11	1	1	1	1
10	1		1	

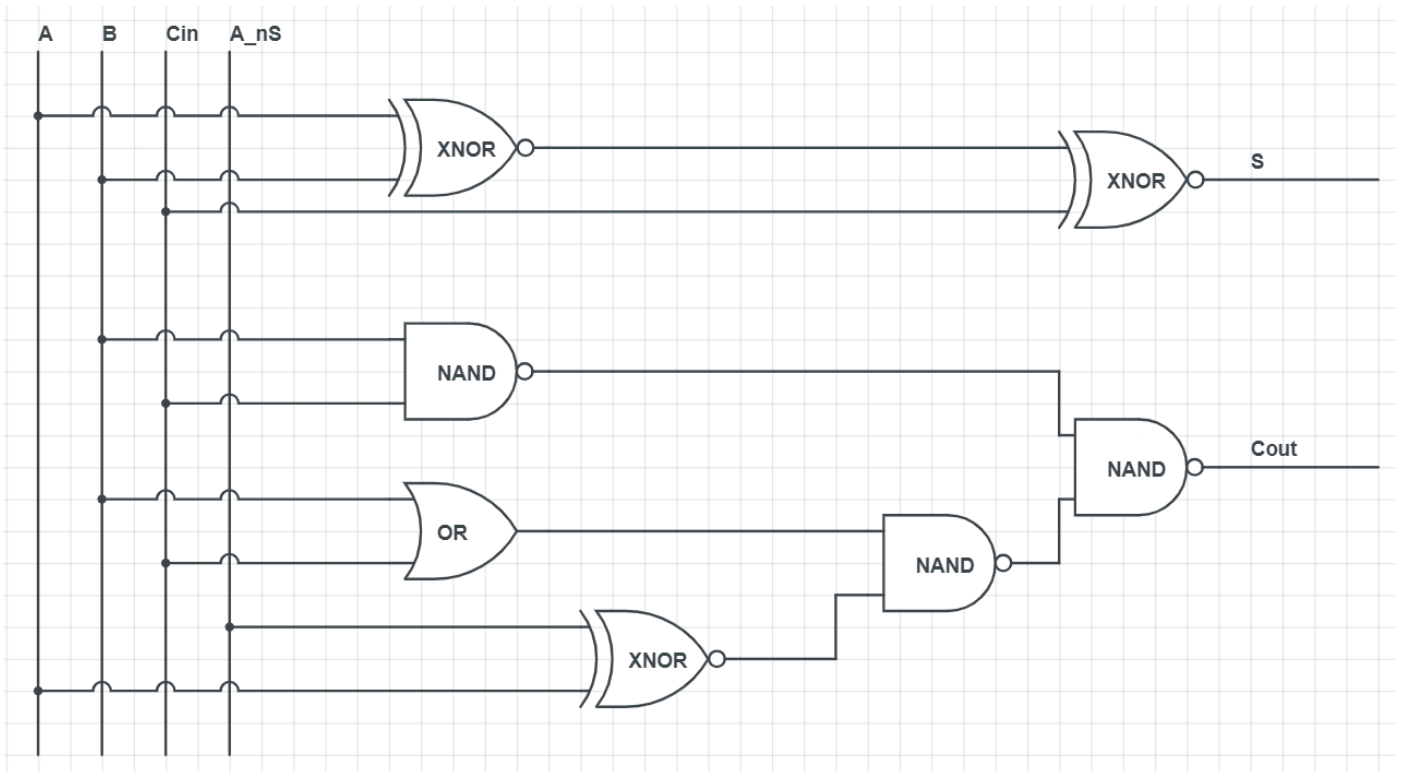
ולכן המשוואה היא :

$$\text{Cout: } BCin + A_nS'A'Cin + A_nSA'B + A_nSACin + A_nSAB$$

$$= BCin + A_nS'A'(B + Cin) + A_nS(B + Cin)$$

$$= BCin + (B + Cin)(\oplus A_nS)' = ((BCin)'((B + Cin)(A_nS \oplus A)'))'$$

והמימוש הוא :



## TPDs

יציאה S

(A, B  $\rightarrow$  S)

$\text{Tpdl}_{\text{LH}}(\text{A,B: } 0 \rightarrow 1, 1 \rightarrow 0) = \text{Tpdl}_{\text{LH}}(\text{XNOR}) + \text{Tpdl}_{\text{LH}}(\text{XNOR}) = 16$  מסלול קריטי



$$\begin{aligned} \text{Tpdl}_{\text{HL}} &= \text{MAX} \{ \text{Tpdl}_{\text{HL}}(\text{A,B: } 0 \rightarrow 1), \text{Tpdl}_{\text{HL}}(\text{A,B: } 1 \rightarrow 0) \} \\ &= \text{MAX} \{ \text{Tpdl}_{\text{LH}}(\text{XNOR}) + \text{Tpdl}_{\text{HL}}(\text{XNOR}), \text{Tpdl}_{\text{HL}}(\text{XNOR}) * 2 \} \\ &= \text{MAX} \{ 14, 12 \} = 14 \end{aligned}$$

(Cin  $\rightarrow$  S)

$\text{Tpdl}_{\text{LH}}(\text{Cin: } 0 \rightarrow 1, 1 \rightarrow 0) = \text{Tpdl}_{\text{LH}}(\text{XNOR}) = 8$

$\text{Tpdl}_{\text{HL}}(\text{Cin: } 0 \rightarrow 1, 1 \rightarrow 0) = \text{Tpdl}_{\text{HL}}(\text{XNOR}) = 6$

Tpd (FAS.S)

$$\text{Tpdl}_{\text{LH}} = \text{MAX} \{ 14, 8 \} = 14$$

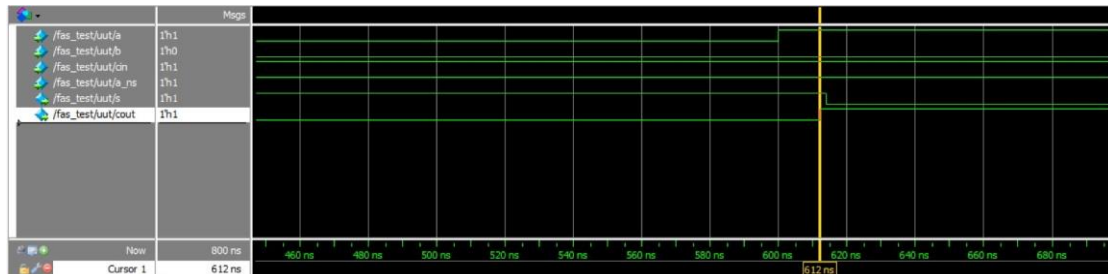
$$\text{Tpdl}_{\text{HL}} = \text{MAX} \{ 14, 12, 6 \} = 14$$



(A, A\_nS → Cout)

**Tpd\_LH (A,A\_nS: 0→1, 1→0)**

$$= \text{Tpd\_LH(XNOR)} + \text{Tpd\_HL(NAND)} + \text{Tpd\_LH(NAND)} = 12 \text{ מסלול קריטי}$$



**Tpd\_HL (A,A\_nS: 0→1, 1→0)**

$$= \text{Tpd\_HL(XNOR)} + \text{Tpd\_LH(NAND)} + \text{Tpd\_HL(NAND)} = 10$$

(B, Cin → Cout)

**Tpd\_LH (B,Cin: 0→1)**

$$= \text{MAX} \{ \text{Tpd\_LH(NAND)} + \text{Tpd\_HL(NAND)}, \\ \text{Tpd\_LH(OR)} + \text{Tpd\_LH(NAND)} + \text{Tpd\_HL(NAND)} \} = \text{MAX} \{ 4, 6 \} = 6$$

**Tpd\_HL (B,Cin: 1→0)**

$$= \text{MAX} \{ \text{Tpd\_LH(OR)} + \text{Tpd\_HL(NAND)} + \text{Tpd\_LH(NAND)}, \\ \text{Tpd\_HL(NAND)} + \text{Tpd\_LH(NAND)} \} = \text{MAX} \{ 6, 4 \} = 6$$

**Tpd (FAS.Cout)**

$$\text{Tpd\_LH} = \text{MAX} \{ 12, 6 \} = 12$$

$$\text{Tpd\_HL} = \text{MAX} \{ 10, 6 \} = 10$$

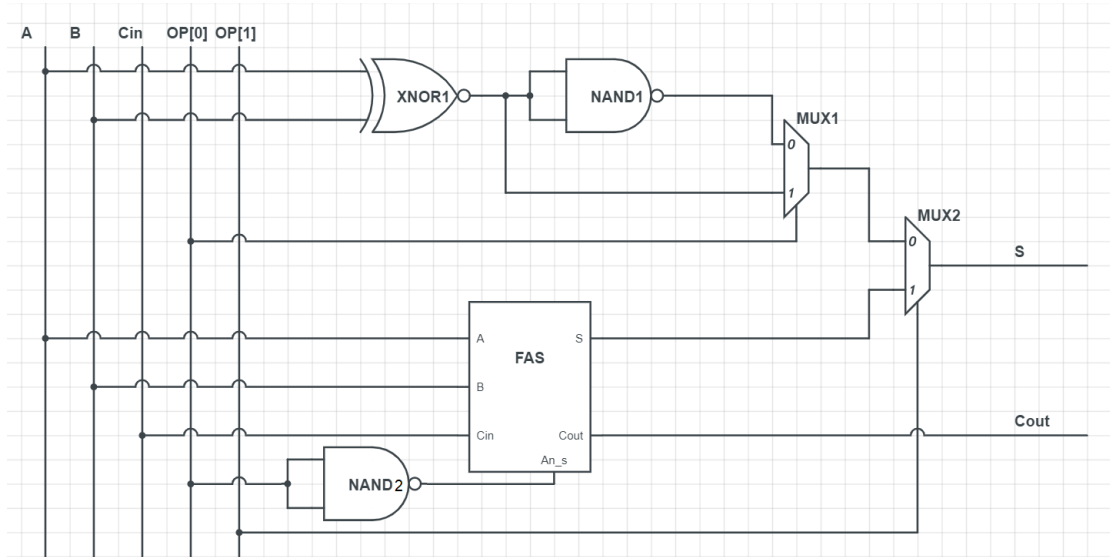
**Tpd (FAS)**

$$\text{Tpd\_LH} = \text{MAX} \{ 12, 14 \} = 14$$

$$\text{Tpd\_HL} = \text{MAX} \{ 10, 14 \} = 14$$

## 4. מימוש רכיב ALU

### 4.1. מימוש ALU1bit



## TPDs

### יציאה S

(A, B → S)

$$\begin{aligned} \text{Tpdl}_{\text{LH}} = & \text{MAX}\{\text{Tpdl}_{\text{HL}}(\text{XNOR}) + \text{Tpdl}_{\text{LH}}(\text{NAND}) + \text{Tpdl}_{\text{LH}}(\text{MUX } 2 \rightarrow 1, \\ & \text{D0/D1 changes}) * 2, \text{Tpdl}_{\text{LH}}(\text{XNOR}) + \text{Tpdl}_{\text{LH}}(\text{MUX } 2 \rightarrow 1, \text{D0/D1} \\ & \text{changes}) * 2, \text{Tpdl}_{\text{LH}}(\text{FAS.S, A changes}) + \text{Tpdl}_{\text{LH}}(\text{MUX } 2 \rightarrow 1, \\ & \text{D0/D1 changes})\} = \text{MAX}\{17, 14, 20\} = 20 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Tpdl}_{\text{HL}} = & \text{MAX}\{\text{Tpdl}_{\text{LH}}(\text{XNOR}) + \text{Tpdl}_{\text{HL}}(\text{NAND}) + \text{Tpdl}_{\text{HL}}(\text{MUX } 2 \rightarrow 1, \\ & \text{D0/D1 changes}) * 2, \text{Tpdl}_{\text{HL}}(\text{XNOR}) + \text{Tpdl}_{\text{HL}}(\text{MUX } 2 \rightarrow 1, \\ & \text{D0/D1 changes}) * 2, \text{Tpdl}_{\text{HL}}(\text{FAS, A changes}) + \text{Tpdl}_{\text{HL}}(\text{MUX } 2 \rightarrow 1, \\ & \text{D0/D1 changes})\} = \text{MAX}\{17, 14, 20\} = 20 \end{aligned}$$

מסלול קריטי

(Cin → S)

$$\text{Tp d\_LH} = \text{Tp d\_LH}(\text{FAS}, \text{Cin changes}) + \text{Tp d\_LH}(\text{MUX } 2 \rightarrow 1, \text{D1 changes}) = 10$$

$$\text{Tp d\_HL} = \text{Tp d\_HL}(\text{FAS}, \text{Cin changes}) + \text{Tp d\_HL}(\text{MUX } 2 \rightarrow 1, \text{D1 changes}) = 12$$

(OP[0] → S)

$$\text{Tp d\_LH} = \text{Tp d\_LH}(\text{MUX } 2 \rightarrow 1, \text{S changes}) + \text{Tp d\_LH}(\text{MUX } 2 \rightarrow 1, \text{D0 changes}) = 9$$

$$\text{Tp d\_HL} = \text{Tp d\_HL}(\text{MUX } 2 \rightarrow 1, \text{S changes}) + \text{Tp d\_HL}(\text{MUX } 2 \rightarrow 1, \text{D0 changes}) = 11$$

(OP[1] → S)

$$\text{Tp d\_LH} = \text{Tp d\_LH}(\text{MUX } 2 \rightarrow 1, \text{S changes}) = 5$$

$$\text{Tp d\_HL} = \text{Tp d\_HL}(\text{MUX } 2 \rightarrow 1, \text{S changes}) = 7$$

Tpd (ALU1bit.S)

$$\text{Tp d\_LH} = 20$$

$$\text{Tp d\_HL} = 20$$

יציאה Cout

(A → Cout)

$$\text{Tp d\_LH (A: } 0 \rightarrow 1, 1 \rightarrow 0)$$

$$= \text{Tp d\_LH}(\text{XNOR}) + \text{Tp d\_HL}(\text{NAND}) + \text{Tp d\_LH}(\text{NAND}) = 12 \text{ מסלול קריטי}$$

$$\text{Tp d\_HL (A: } 0 \rightarrow 1, 1 \rightarrow 0)$$

$$= \text{Tp d\_HL}(\text{XNOR}) + \text{Tp d\_LH}(\text{NAND}) + \text{Tp d\_HL}(\text{NAND}) = 10$$

(B, Cin → Cout)

$$\text{Tp d\_LH (B, Cin: } 0 \rightarrow 1)$$

$$= \text{MAX} \{ \text{Tp d\_LH}(\text{NAND}) + \text{Tp d\_HL}(\text{NAND}),$$

$$\text{Tp d\_LH}(\text{OR}) + \text{Tp d\_LH}(\text{NAND}) + \text{Tp d\_HL}(\text{NAND}) \} = \text{MAX} \{ 4, 7 \} = 7$$

$$\text{Tp d\_HL (B, Cin: } 1 \rightarrow 0)$$

$$= \text{MAX} \{ \text{Tp d\_LH}(\text{OR}) + \text{Tp d\_HL}(\text{NAND}) + \text{Tp d\_LH}(\text{NAND}),$$

$$\text{Tp d\_HL}(\text{NAND}) + \text{Tp d\_LH}(\text{NAND}) \} = \text{MAX} \{ 7, 4 \} = 7$$

(OP[0]→Cout)

$$\begin{aligned}\text{Tp d\_LH (OP[0]:0} \rightarrow \mathbf{1}, \mathbf{1} \rightarrow \mathbf{0}) &= \text{MAX} \{ \text{Tp d\_LH(NAND)} , \text{Tp d\_HL(NAND)} \} \\ &\quad \text{Tp d\_LH(XNOR)} + \text{Tp d\_HL(NAND)} + \text{Tp d\_LH(NAND)} \\ &= \text{MAX} \{ 3+12, 1+12 \} = 15\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Tp d\_HL (OP[0]:0} \rightarrow \mathbf{1}, \mathbf{1} \rightarrow \mathbf{0}) &= \text{MAX} \{ \text{Tp d\_LH(NAND)} , \text{Tp d\_HL(NAND)} \} + \\ &\quad \text{Tp d\_HL(XNOR)} + \text{Tp d\_LH(NAND)} + \text{Tp d\_HL(NAND)} \\ &= \text{MAX} \{ 3+10, 1+10 \} = 13\end{aligned}$$

OP[1] לא יכול לשנות את Cout.

Tpd (ALU1bit.Cout)

$$\text{Tp d\_LH} = 15$$

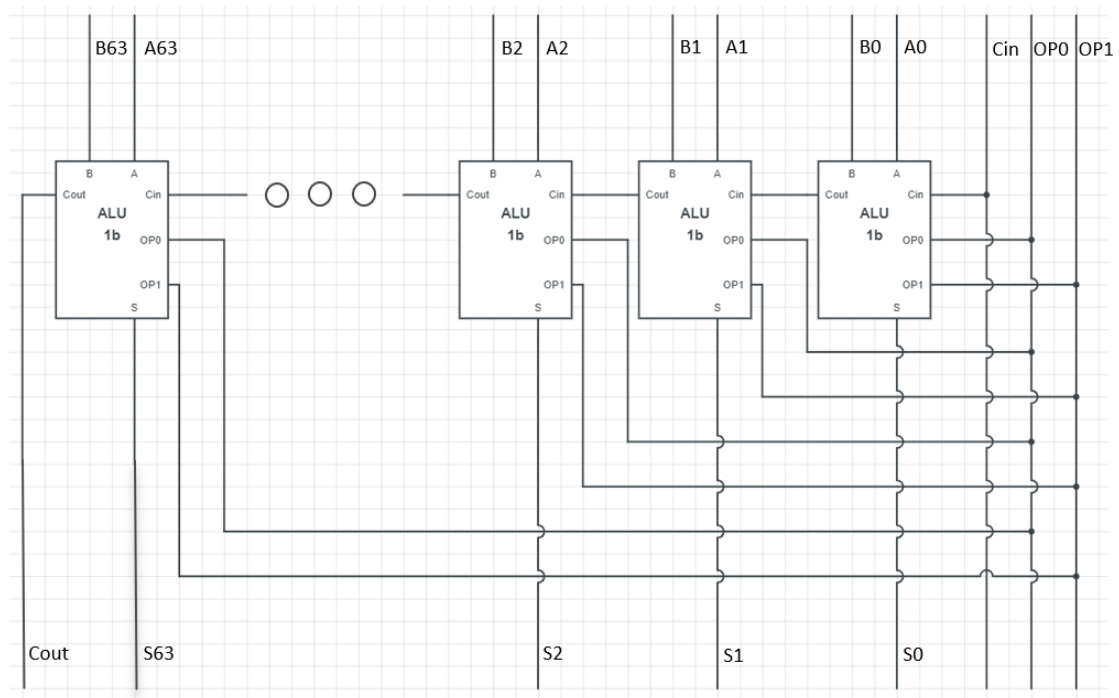
$$\text{Tp d\_HL} = 13$$

Tpd (ALU1bit)

$$\text{Tp d\_LH} = \text{MAX} \{ 18, 14 \} = 20$$

$$\text{Tp d\_HL} = \text{MAX} \{ 23, 14 \} = 23$$

## 4.2. מימוש ALU64bit



### מסלולים קריטיים

1.  $(A, B, Cin \rightarrow S, Cout)$  - שינוי יתגלגל דרך Cout של כל אחד מיחידות הALU.
2.  $(op[0] \rightarrow S, Cout)$ , כאשר  $op[1] = 1$  – שינוי יתחלחל דרך Cout של כל אחד מיחידות הALU.
3.  $(op[1] \rightarrow S)$ , כאשר  $op[1]$  משתנה מ0 ל1 שינוי יתחלחל דרך Cout של כל אחד מיחידות הALU.

## מסלול קריטי בהתחשב בהשהיות קיימות

כאשר כל כניסות A שוות 1, כל כניסות B שוות 0,  $Cin=0$ ,  $op[0]=1$ :

נשנה את  $B[0]$  ל-1 וכך נחלחל את המסלול הקריטי של ALU1bit מהיחידה הראשונה לאחרונה דרך Cout של כל יחידה.

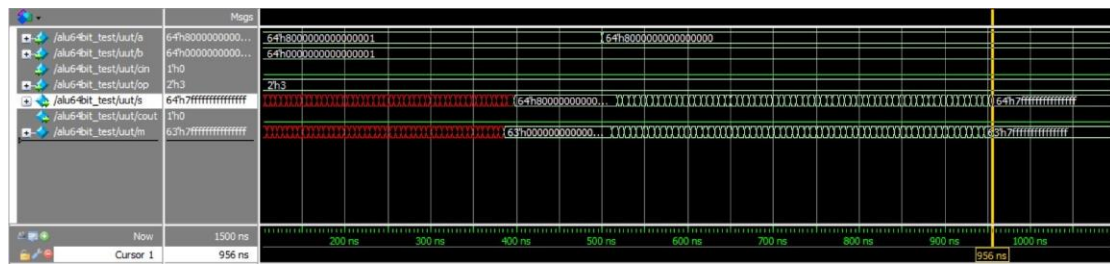
$$Tpd\_LH(A[0]: 0 \rightarrow 1) = Tpd\_HL(ALU1bit.Cout, A \text{ changes})$$

$$+ Tpd\_LH(ALU1bit.Cout, Cin \text{ changes}) * 62$$

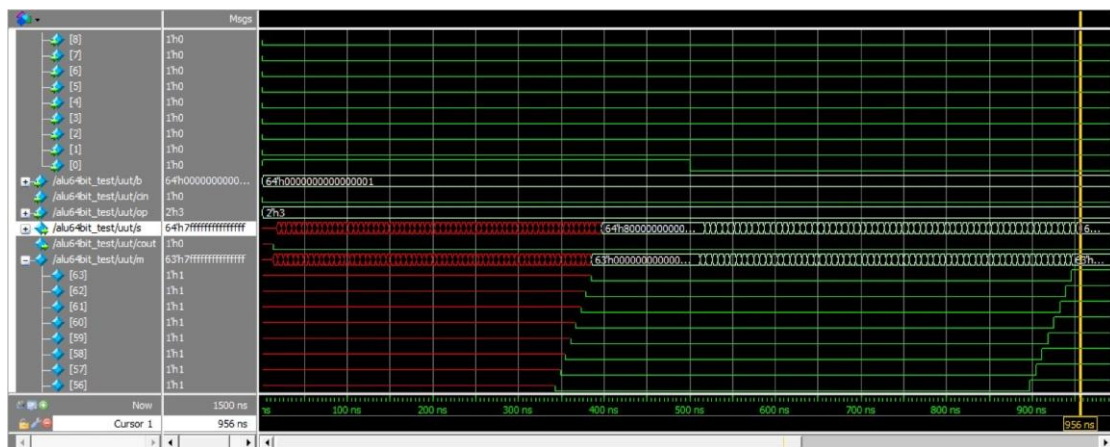
$$+ Tpd\_HL(ALU1bit.S, Cin \text{ changes})$$

$$= 10 + 7 * 62 + 12 = 496$$

באופן כללי :



השינוי בS :



החלחול ביציאות Cout (wire פנימי Mi)

