

מבוא לתכנון VLSI

מטלה 2

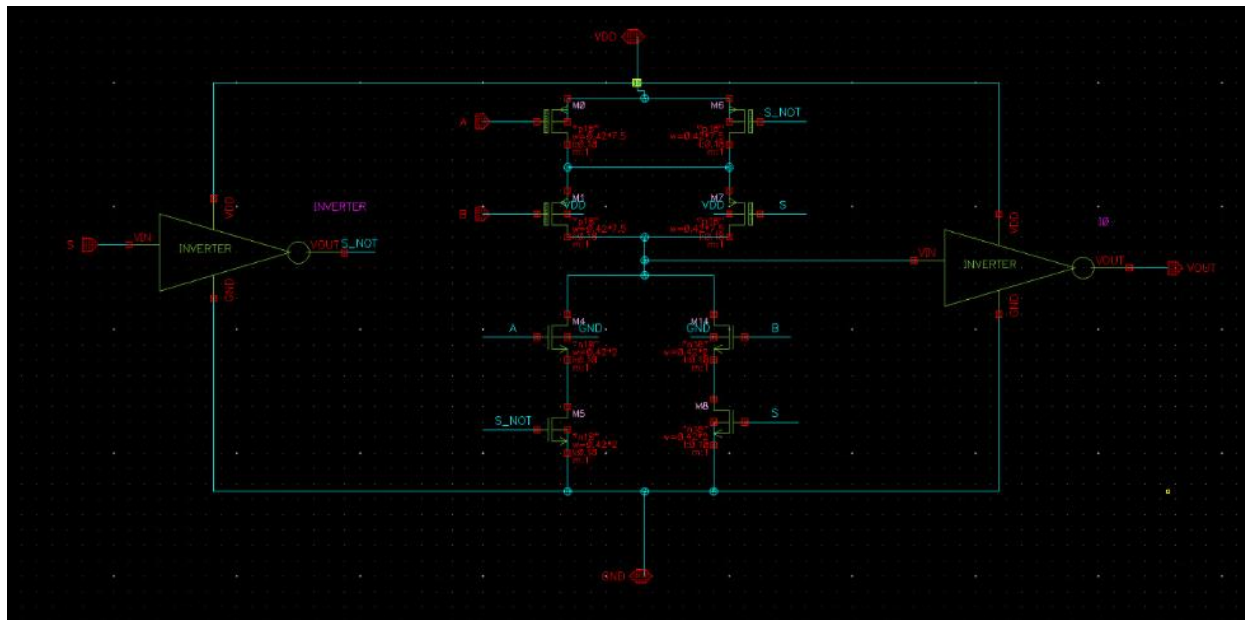
זוג 22

מגישים: יעקב קוזמינסקי 206511966 , זהר שורק 205888035

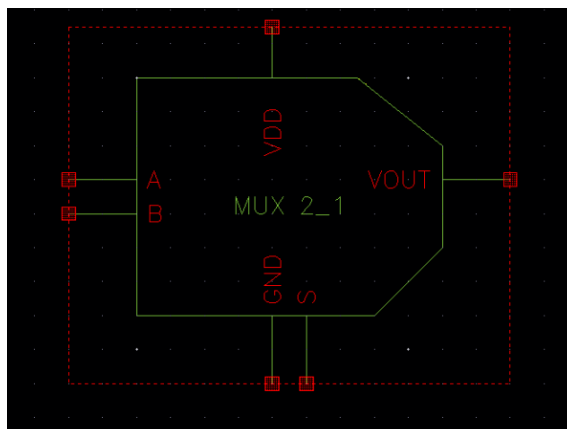
## חלק א' - בניית MUX

(1.1)

נתחיל בלבנות את הסכמה של הMUX נשתמש ברכיב האינורטר שבנינו בעבודה הקודמת עם הבטא האופטימלית שכבר מצאנו.

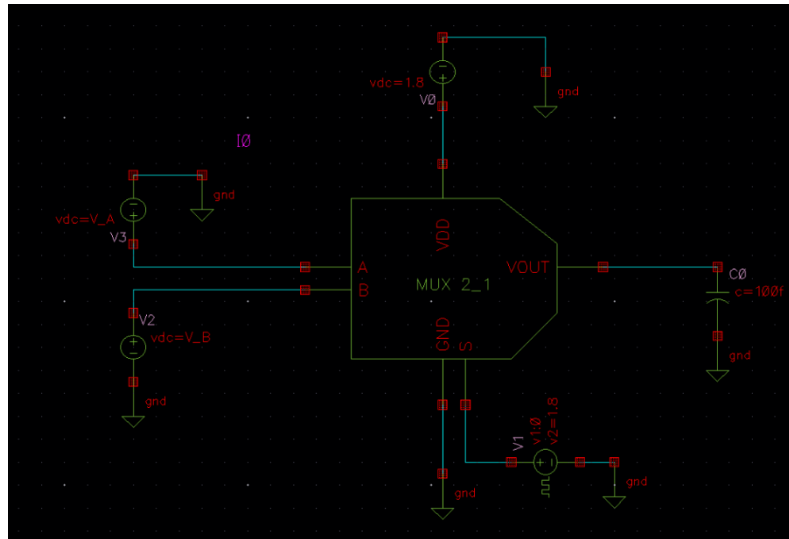


בעצם ייצרנו 2 אינורטרים כדי לייצר את כניסה של S\_NOT וקישרנו ביניהם ע"י קריאה ללייבלים על החוטים כדי שהסכמה תהיה יותר אסטטית.

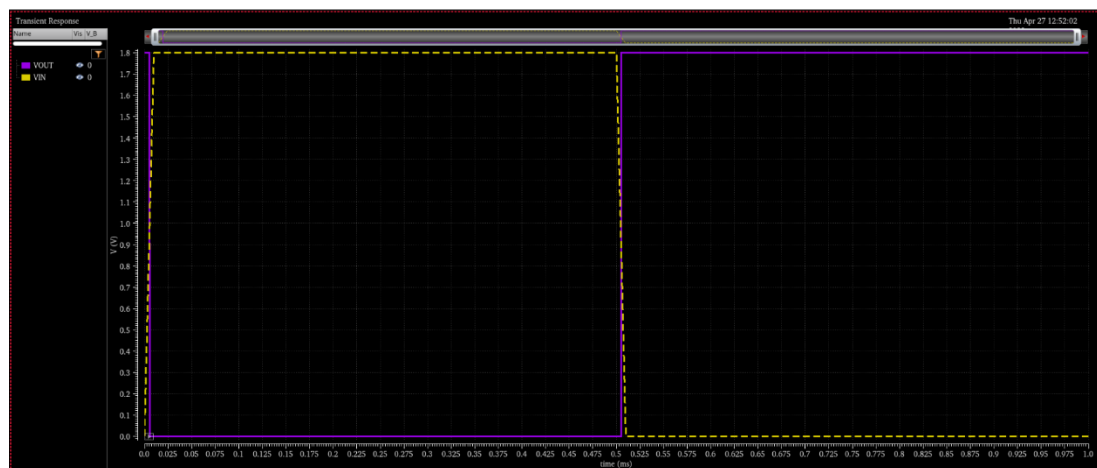


לאחר מכן ייצרנו סימבול, כאשר שמנו את הכניסות A ו B משמאל ואילו את הכניסת סלקטור למטה יחד עם האדמה:

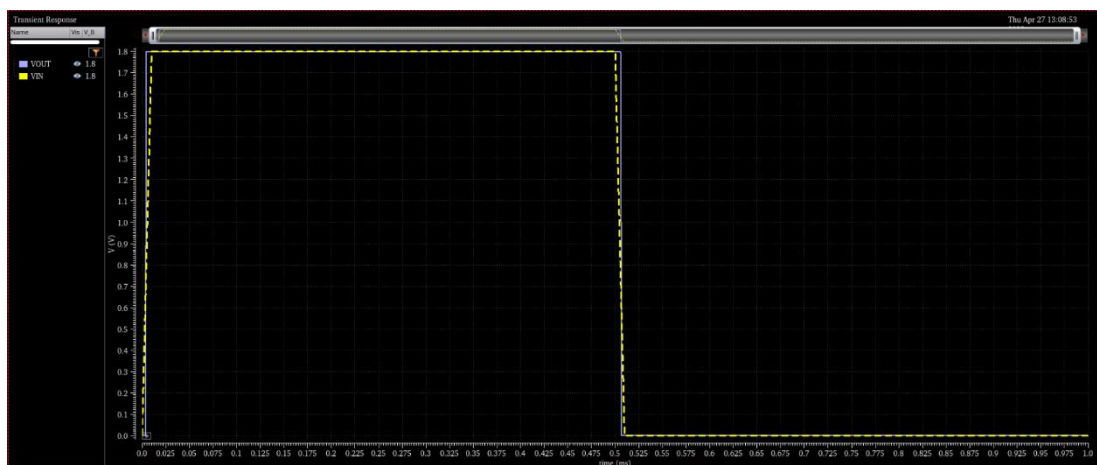
1.2) כעת, נוכל לייצר TB עבור הרכיב שלנו, לחבר את הקבל האהוב עלינו בן ה 100 פמטו ולהריץ סימולציות בADEL עבור כניסות שונות של  $I_A$  ו- $B$ .



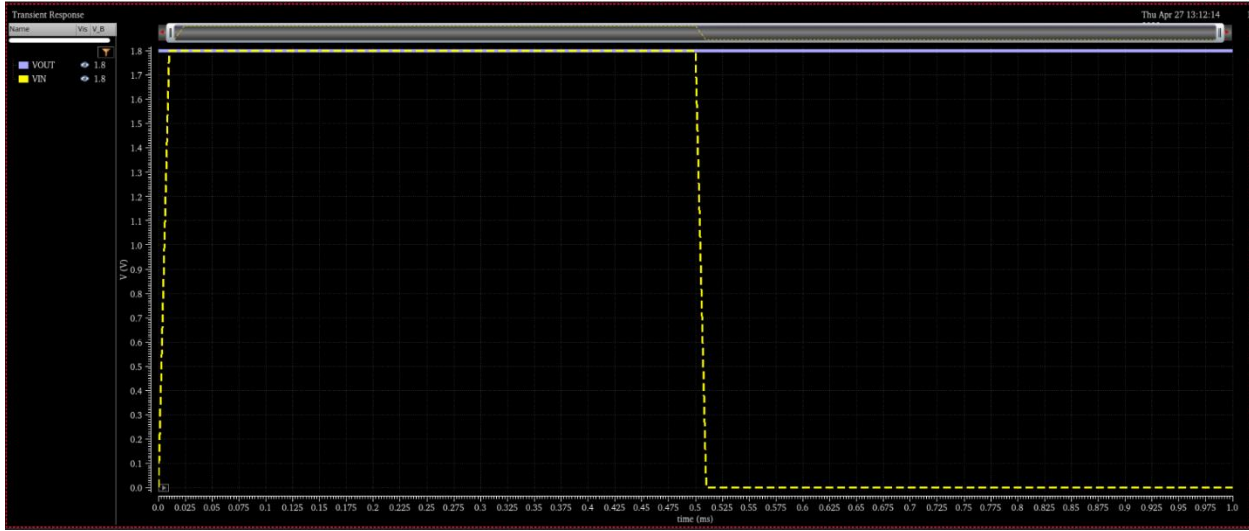
וכעת לתוצאות ההרצה:



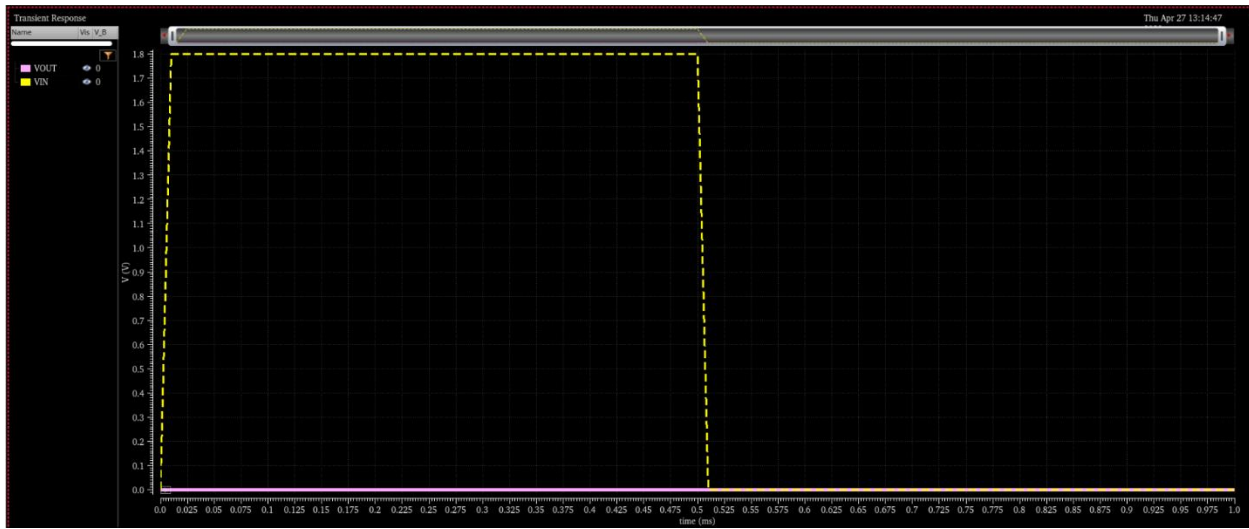
:A=1, B=0



:A=0, B=1



:A=1, B=1



:A=0, B=0

נסתכל על טבלת האמת של הרכיב :

Select (S)	Input1 (A)	Input2 (B)	Output
0	A	B	A
1	A	B	B

ואכן, מהסימולציות נבחין כי כאשר  $V_{in} = S = 1 \rightarrow V_{out} = B$  וכאשר  $V_{in} = S = 0 \rightarrow V_{out} = A$ . כלומר, קיימת התאמה בין טבלת האמת לבין התנהגות הרכיב.

(1.3)

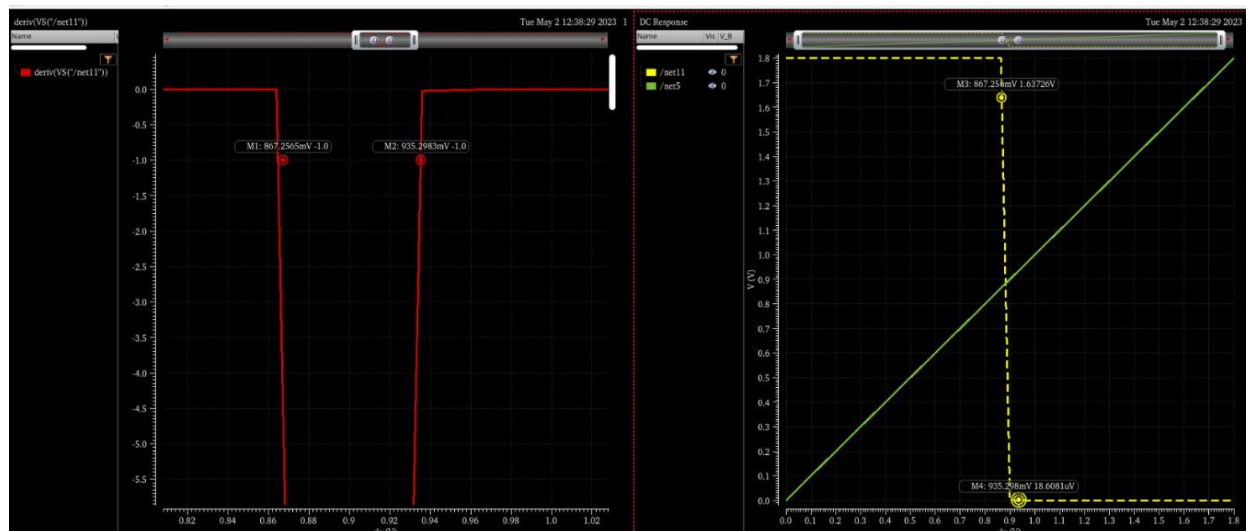
נביט בפונקציה הבוליאנית של הMUX:

$$A \cdot \bar{S} + B \cdot S$$

נוכל לראות שהכניסת סלקטור S בעצם בוררת לנו בין 2 מצבים בהם הרכיב עובד: מהפך ובאפר.

כדי לחשב את זמני TPD וTCO, נשתמש בהגדרות מהקורס מעגלים ספרתיים ונמצא אותם בעזרת  $V_{OH}$ ,  $V_{OL}$ ,  $V_{OH}$ ,  $V_{IL}$ . ואז נחשב בדרכ הבאה:

נריך סימולציה ראשונה עבור  $V_A = 1$  ו  $V_B = 0$ , ונשנה את S מ 0 ל 1:



לפי מה שלמדנו בספרתיים, נוכל למדוד את הנק' בהם הנגזרת שווה ל -1 וככה למצוא את נקודות ה  $V_{oh\_min}$  ו  $V_{ih}$ . להן בהתאמה את  $V_{IL}$  ו  $V_{OL\_MAX}$ , באמצעות ערכי הזמן שמצאנו בסימולציית TRAN:

VOH_MIN	1.63V
VIL	867.265mV
VOL_MAX	18.6uV
VIH	935.298mV



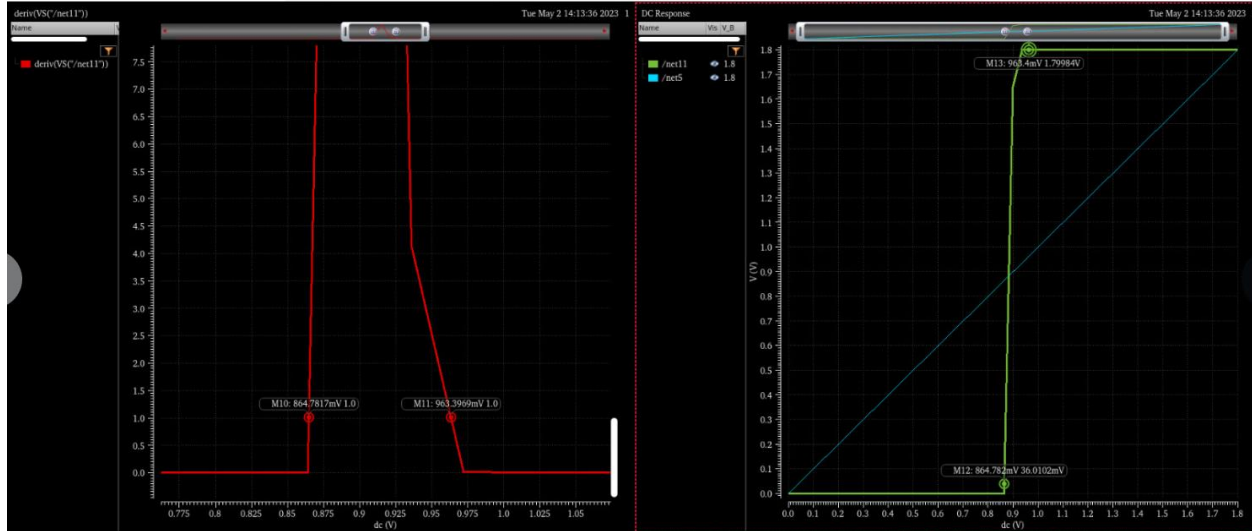
TCD- הזמן הקצר ביותר בין שינוי הכניסה -כלומר VIH עד לתחילת שינוי המוצא – כלומר VOL\_MAX.

$$t_{cd} = 505.481 - 504.8 = 0.681ns$$

לגבי tpd- זה הזמן בין שינוי הכניסה ל- VIL ועד התייצבות מוצא עד 1 – VOH\_MIN.

$$t_{pd} = 506.224 - 505.18 = 1.04ns$$

כעת נריץ עבור A=0 ו B=1:

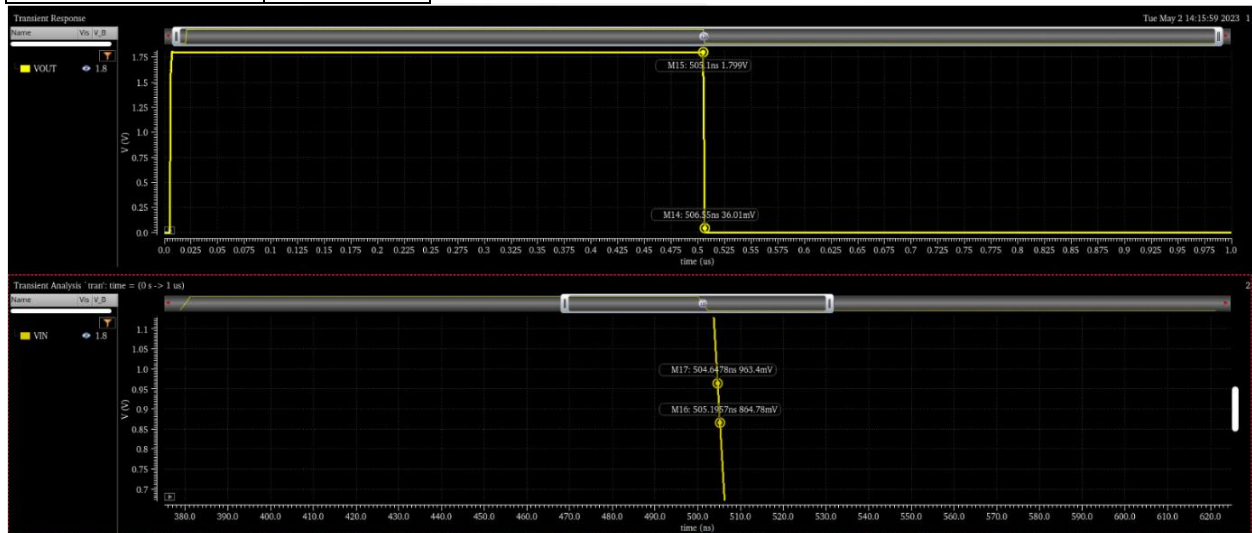


1.799V	VOH_MIN
864.78mV	VIL
36.01mV	VOL_MAX
963.4 mV	VIH

באותה דרך ע"י השוואה פונקציית הנגזרת נמצא את הנק'.

נרצה לחשב את הזמנים, באמצעות ערכי הזמן שמצאנו

בסימולציית TRAN:



כעת הרכיב משמש כ-"באפר", מכאן שהחישוב המתאים הוא:

$$t_{pd} = t(VOL\_MAX) - t(VIL) = 506.55 - 505.195 = 1.35ns$$

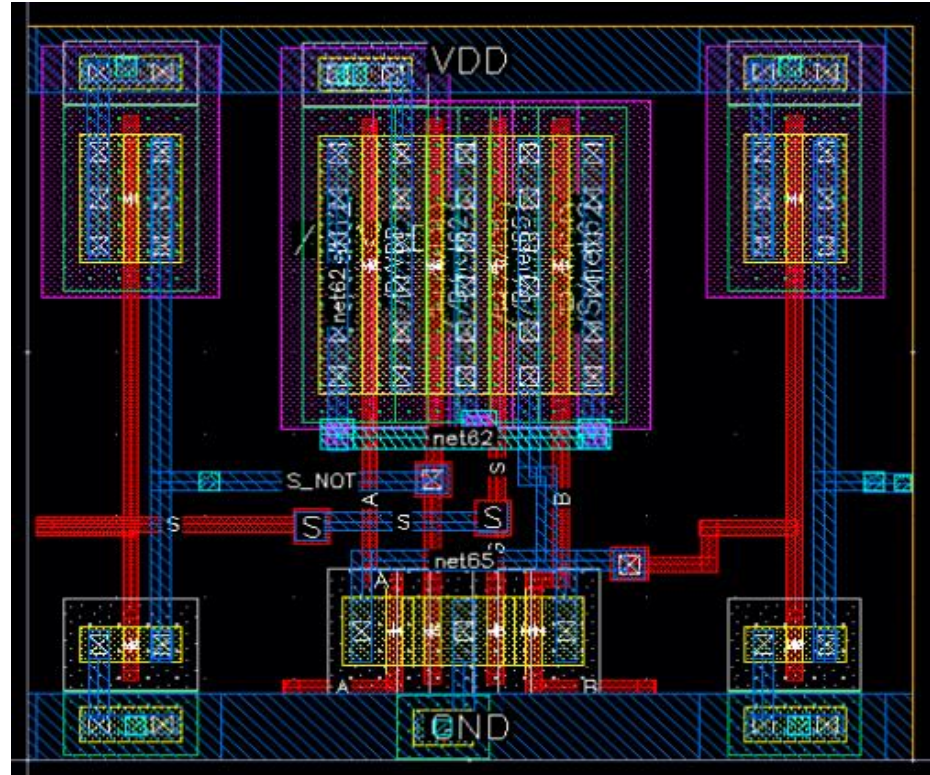


עבור הTCD נחשב -  $t_{cd} = t(VOH\_MIN) - t(VIH) = 505.1 - 504.64 = 0.46ns$

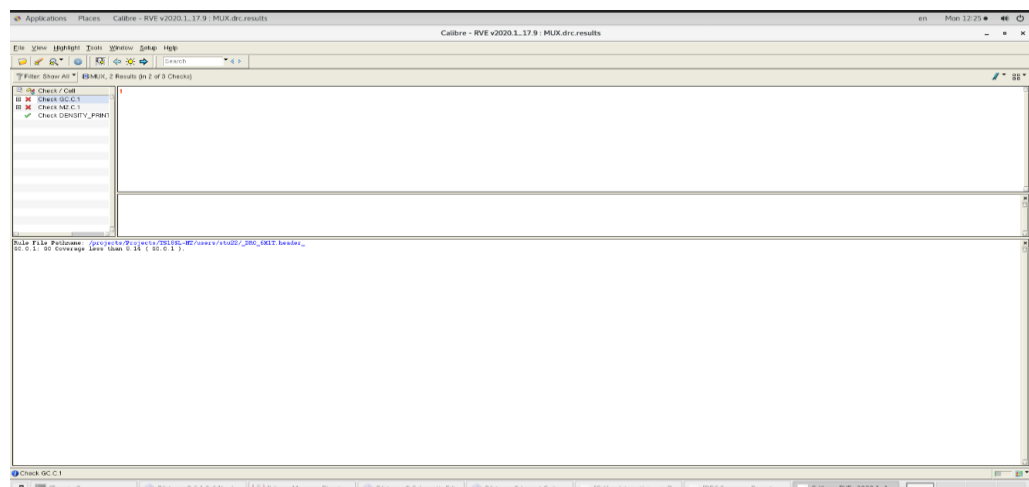
לסיכום, נבחר את ה - TPD המקסימלי ואת ה- TCD המינימלי משתי המדידות ולכן –  
 $T_{cd} = 0.46ns$  –  $T_{pd} = 1.35ns$

## 2. תכנון LAYOUT של השער ובדיקתו:

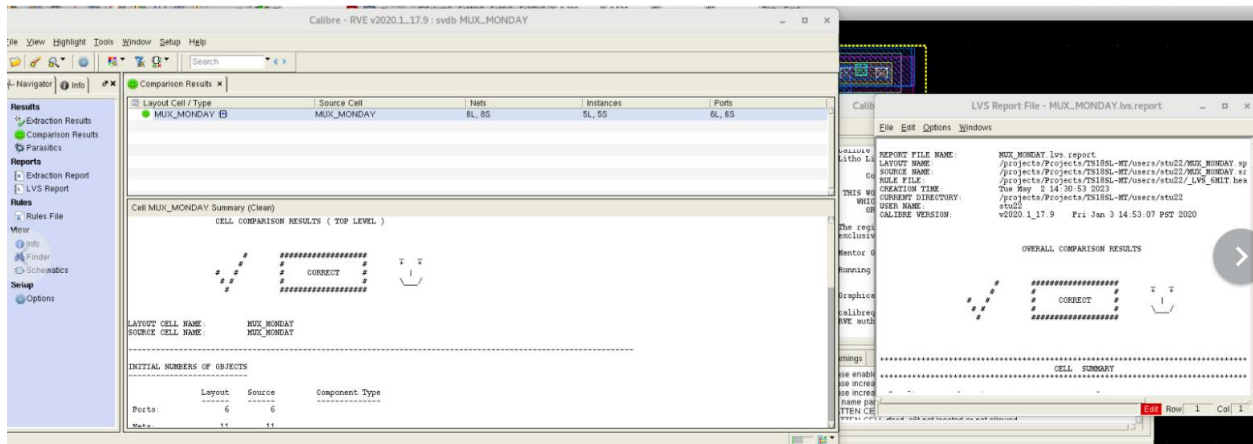
להלן ה- Layout של הרכיב –



להלן מעבר בדיקת DRC למעט שגיאת Coverage –

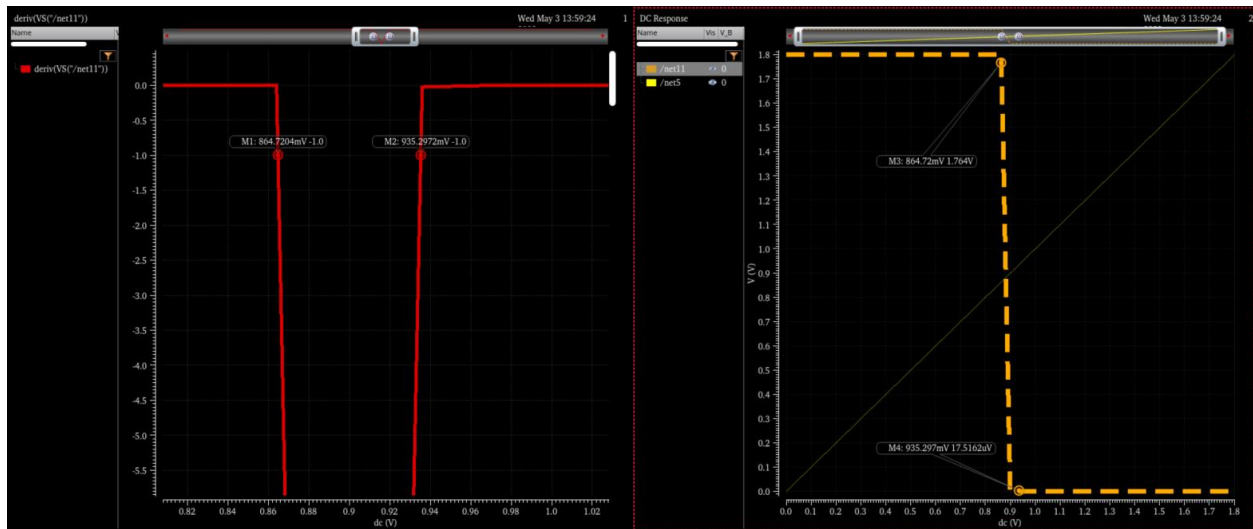


## להלן מעבר בדיקת LVS –



2.5) כעת נטען את קובץ הפרזיטיקות ונריץ שוב את אותה סימולציה כמקודם:

עבור B=0: A=1



1.764V	VOH_MIN
864.72mV	VIL
17.5162uV	VOL_MAX
963.297 mV	VIH

נרצה לחשב את הזמנים, באמצעות ערכי הזמן שמצאנו

בסימולציית TRAN:

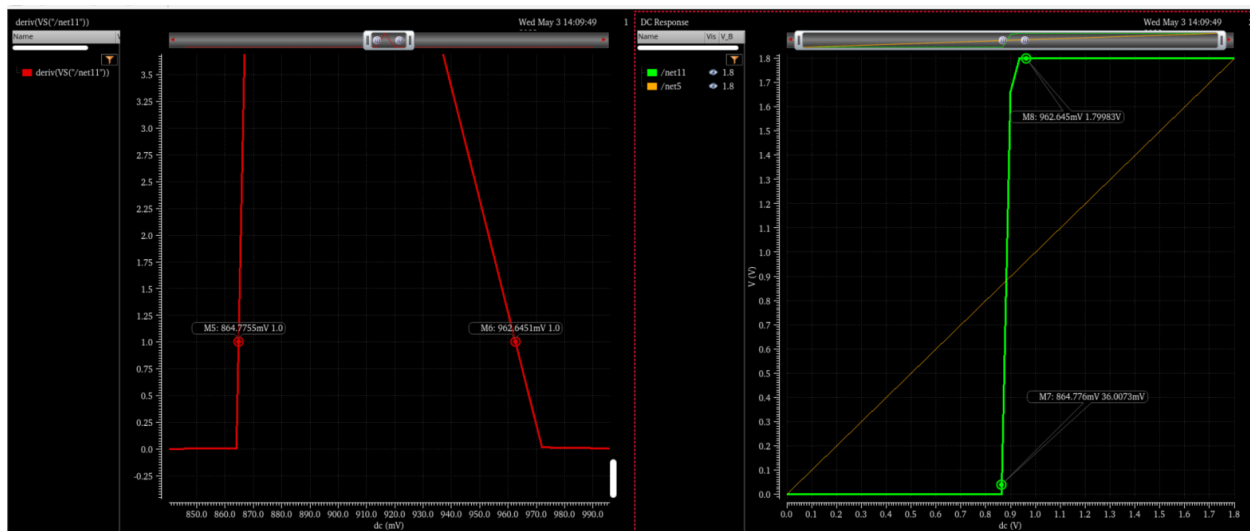
$$t_{pd} = t(VOH\_MIN) - t(VIL) = 506.577 - 505.196 = 1.381ns$$

$$t_{cd} = t(VOL\_MAX) - t(VIH) = 505.54 - 504.64 = 0.9ns$$





עבור  $A=0$   $B=1$ :



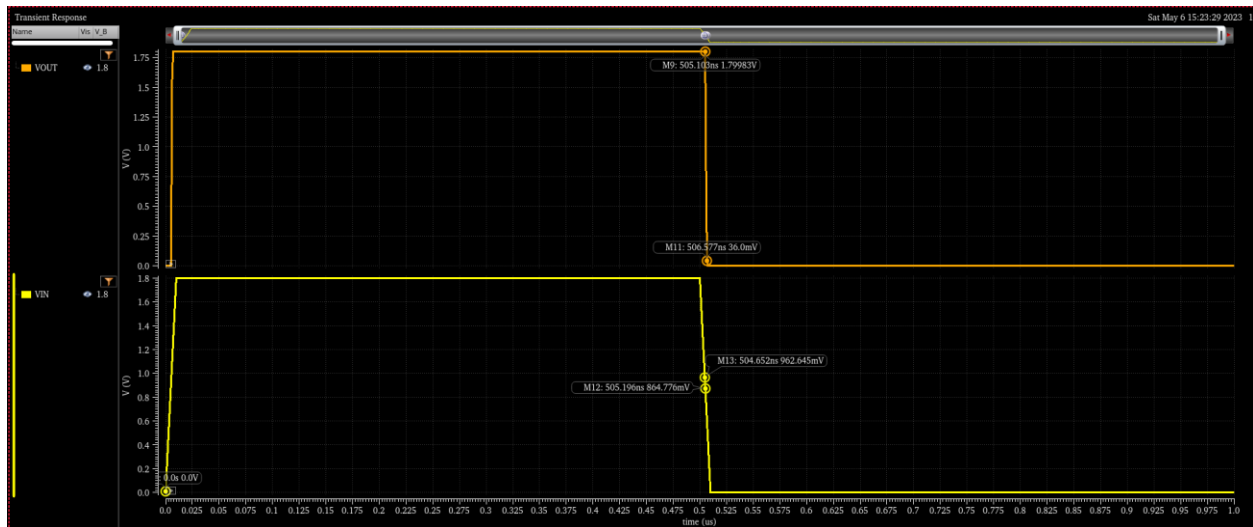
1.79983V	VOH_MIN
864.776mV	VIL
36mV	VOL_MAX
962.645 mV	VIH

נרצה לחשב את הזמנים, באמצעות ערכי הזמן שמצאנו

בסימולציית TRAN:

$$t_{pd} = t(VOL\_MAX) - t(VIL) = 506.577 - 505.196 = 1.381ns$$

$$t_{cd} = t(VOH\_MIN) - t(VIH) = 505.1 - 504.65 = 0.45ns$$

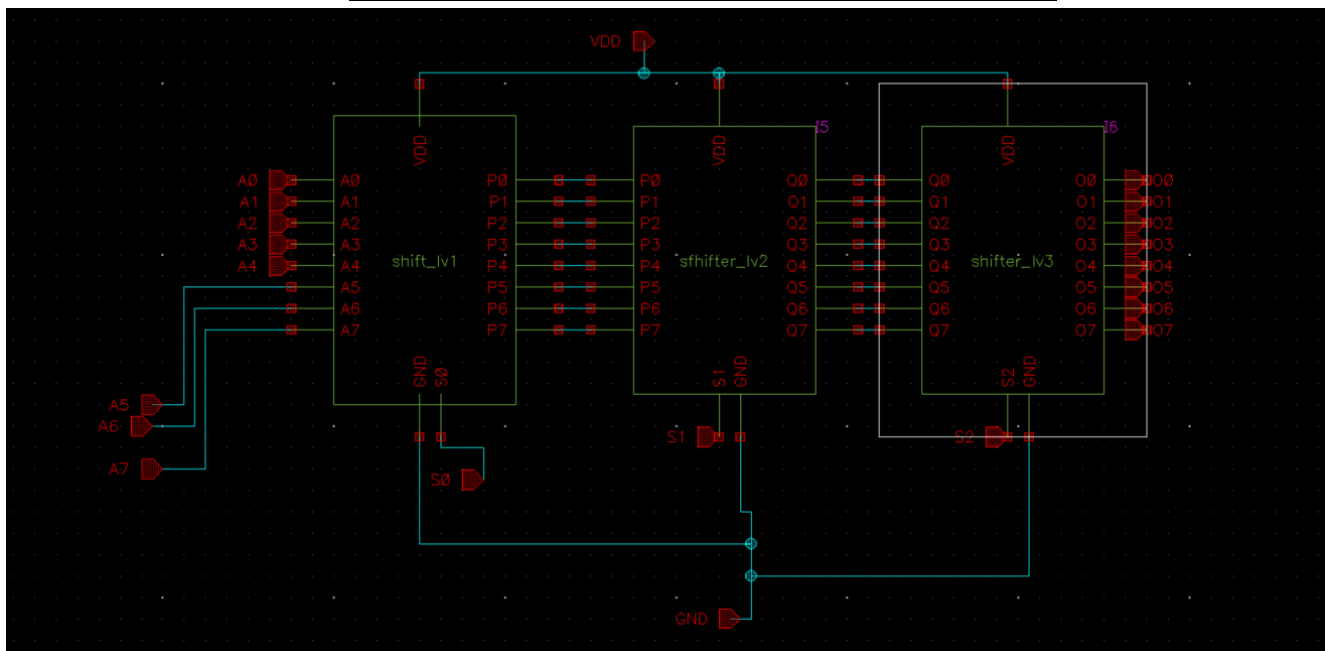
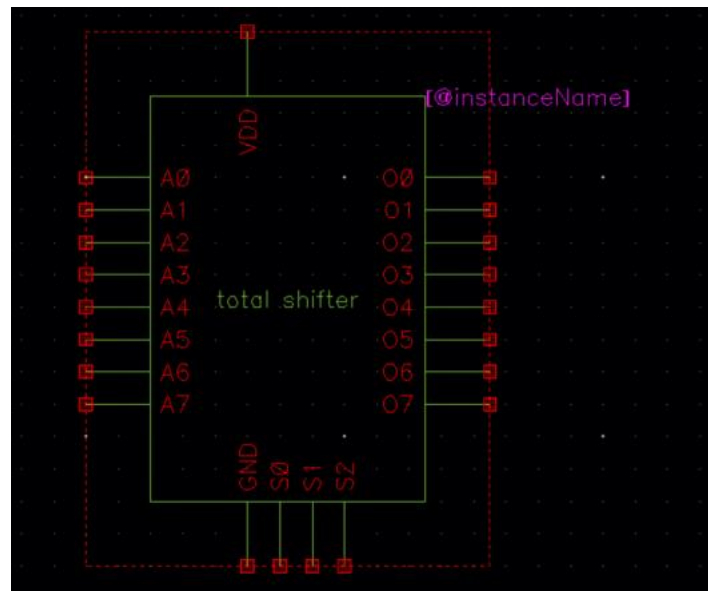


לסיכום, נבחר את ה – TPD המקסימלי ואת ה- TCD המינימלי משתי המדידות ולכן –  
 $T_{cd} = 0.45ns$  –  $T_{pd} = 1.381ns$

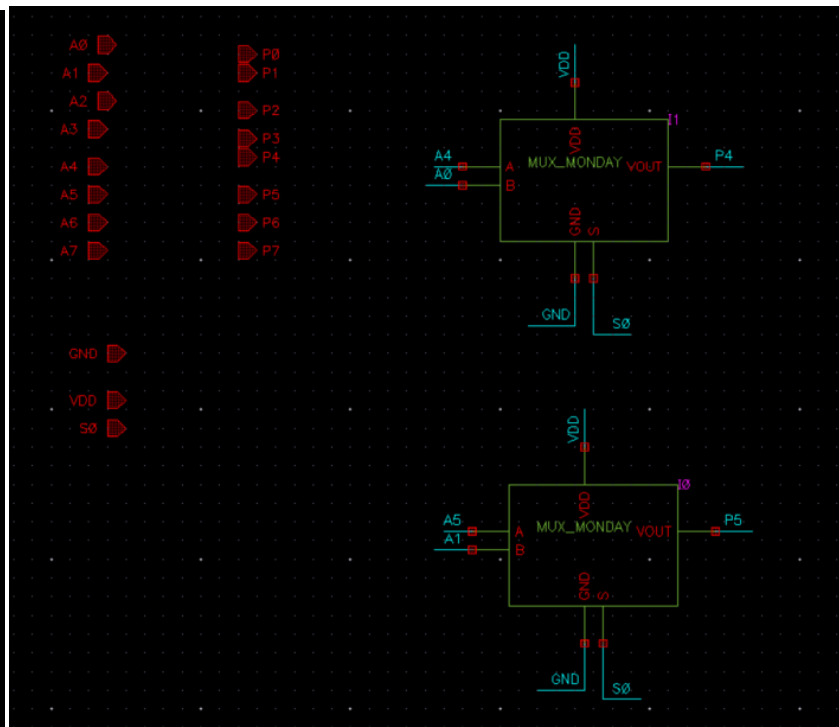
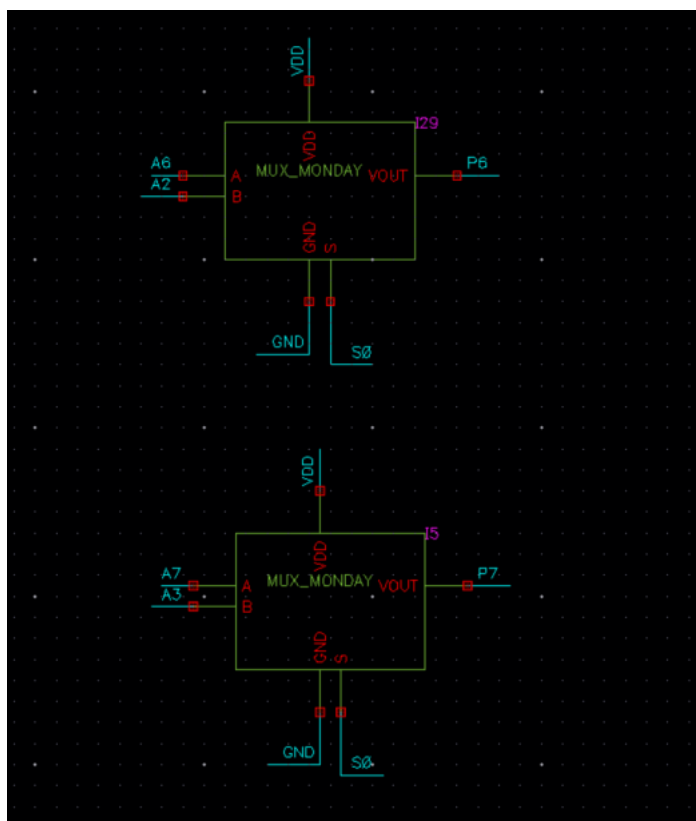
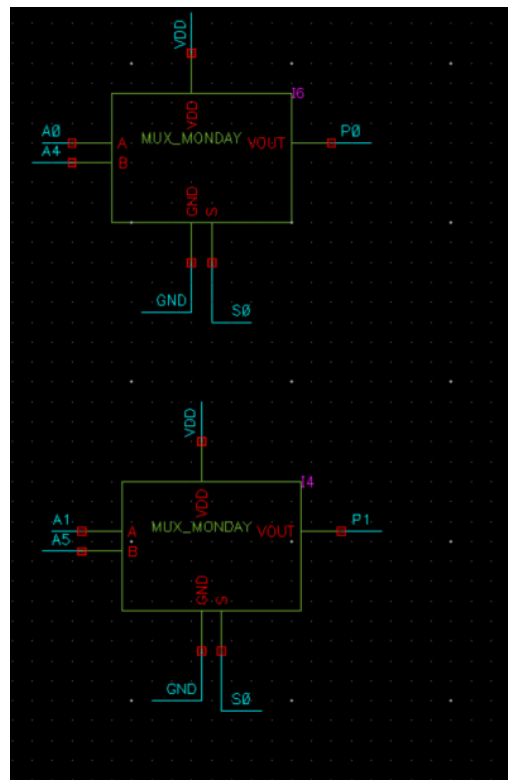
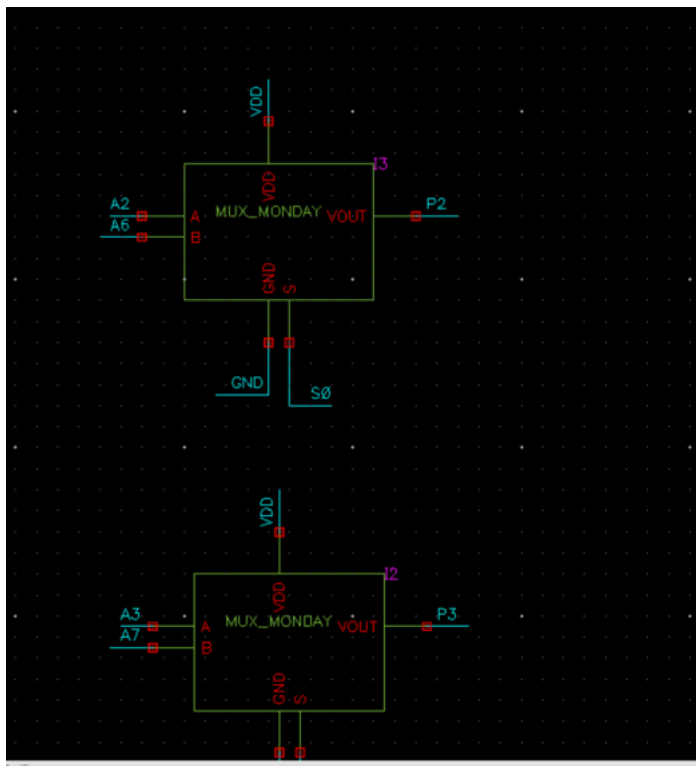
נבחין שבהתחשב בפרזיטיקות קיבלנו TPD גדול מהמקרה שבלי הפרזיטיקות. הסיבה לכך היא שטעינת קבלים פרזיטים נוספים מאריכה את זמן התייצבות המוצא על הערך הרצוי. עם זאת, זמן ה – TCD לא השתנה.

## חלק ב

2.1+2.2 ) נתחיל מלבנות את הסכמה של הרכיב. נבנה את הרכיב ע"י שימוש ב 24 מוקסים של  $2 \times 1$  כאשר נחלק את הרכיב ל3 "שכבות". בשכבה הראשונה יכנס אות המוצא בן 8 ביטים והSELECTOR יחליט האם אנחנו מוציאים את האות כפי שהוא (אם יקבל 0) או עבור כניסה של 1 הוא יזיז את האות ב4 סיביות קדימה. השכבה השנייה תקבל את אות המוצא מהשכבה הראשונה וע"י ה selector נבחר אם להזיז את הביט ב2 או להשאירו כפי שהוא. והשכבה האחרונה תעבוד באותה דרך כאשר היא מזיזה בביט אחד קדימה. להלן הסכימה והסימבול ממבט מאקרו למיקרו:

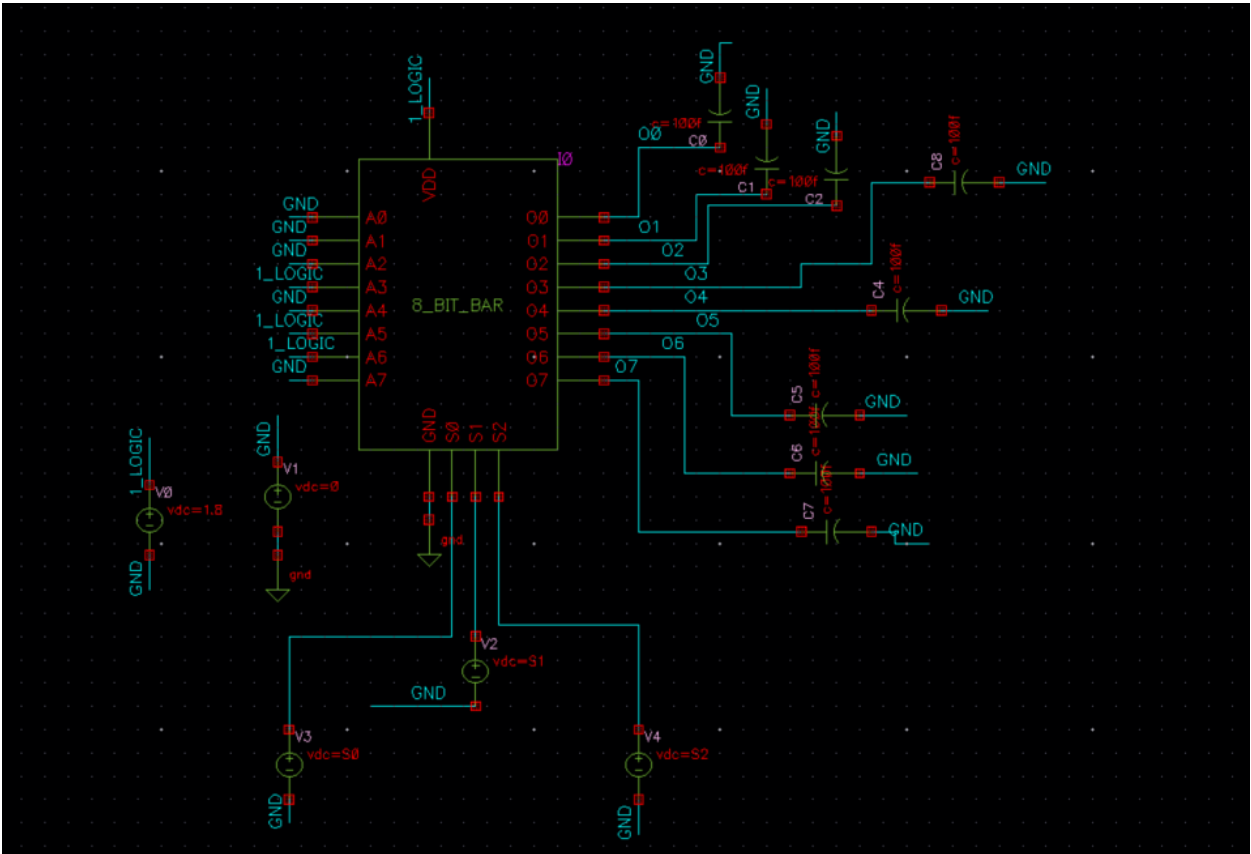


שלושת השכבות בנויות באותה צורה עד כדי הפינים השונים והכניסות השונות, לכן נראה שרטוט של אחת השכבות:



ניתן לראות שזו השכבה הראשונה שכן ההבדל בכניסות הוא ב4 ביטים. בשכבה השנייה נראה הבדל ב2 ביטים ובשלישית ב1.

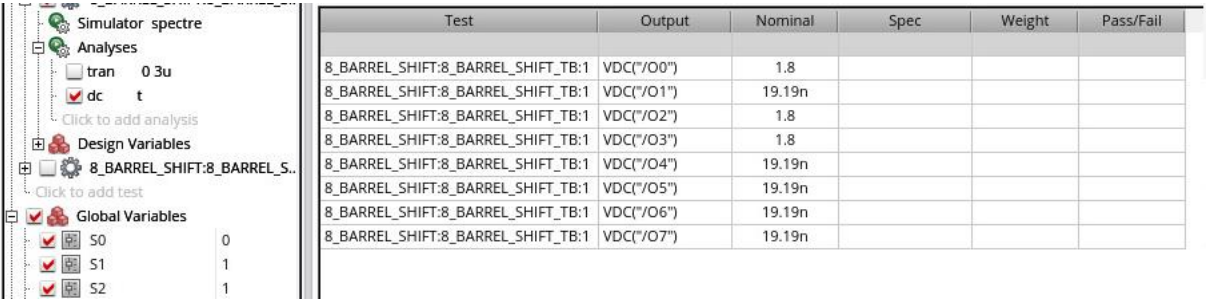
2.3) ניצור סכמת TB וככניסה נכניס את מספר הקבוצה שלנו בבינארי 22=00010110. נריץ סימולציות DC ונצפה לראות ערכים של 1 לוגי = 1.8v בכניסות המתאימות לערך הבינארי של הסיבוב שאותו נרצה.



נכניס אות של S=011 ז"א סיבוב של 3 ביטים ונצפה לקבל

0	1	2	3	4	5	6	7	Idx
0	0	0	1	0	1	1	0	IN
1	0	1	1	0	0	0	0	OUT

ואחר הרצה אכן נקבל:



נכניס אות של S=111 ז"א סיבוב של 7 ביטים ונצפה לקבל

0	1	2	3	4	5	6	7	Idx
0	0	0	1	0	1	1	0	IN
0	0	0	0	1	0	1	1	OUT

ואכן התוצאה לאחר הרצה:

Test	Output	Nominal	Spec
8_BARREL_SHIFT:8_BARREL_SHIFT_TB:1	VDC("/O0")	19.19n	
8_BARREL_SHIFT:8_BARREL_SHIFT_TB:1	VDC("/O1")	19.19n	
8_BARREL_SHIFT:8_BARREL_SHIFT_TB:1	VDC("/O2")	19.19n	
8_BARREL_SHIFT:8_BARREL_SHIFT_TB:1	VDC("/O3")	19.19n	
8_BARREL_SHIFT:8_BARREL_SHIFT_TB:1	VDC("/O4")	1.8	
8_BARREL_SHIFT:8_BARREL_SHIFT_TB:1	VDC("/O5")	19.19n	
8_BARREL_SHIFT:8_BARREL_SHIFT_TB:1	VDC("/O6")	1.8	
8_BARREL_SHIFT:8_BARREL_SHIFT_TB:1	VDC("/O7")	1.8	

נכניס אות של S=100 ז"א סיבוב של 4 ביטים ונצפה לקבל:

0	1	2	3	4	5	6	7	Idx
0	0	0	1	0	1	1	0	IN
0	1	1	0	0	0	0	1	OUT

ואכן לאחר הרצה נקבל:

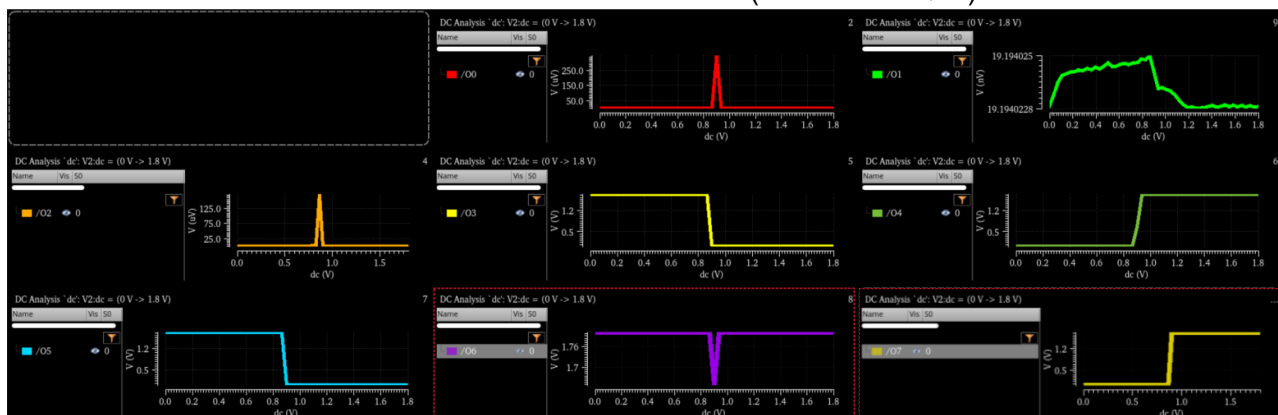
Test	Output	Nominal	Spec	Weight	Pass/Fail
8_BARREL_SHIFT:8_BARREL_SHIFT_TB:1	VDC("/O0")	19.19n			
8_BARREL_SHIFT:8_BARREL_SHIFT_TB:1	VDC("/O1")	1.8			
8_BARREL_SHIFT:8_BARREL_SHIFT_TB:1	VDC("/O2")	1.8			
8_BARREL_SHIFT:8_BARREL_SHIFT_TB:1	VDC("/O3")	19.19n			
8_BARREL_SHIFT:8_BARREL_SHIFT_TB:1	VDC("/O4")	19.19n			
8_BARREL_SHIFT:8_BARREL_SHIFT_TB:1	VDC("/O5")	19.19n			
8_BARREL_SHIFT:8_BARREL_SHIFT_TB:1	VDC("/O6")	19.19n			
8_BARREL_SHIFT:8_BARREL_SHIFT_TB:1	VDC("/O7")	1.8			

כאשר בסעיף זה המתחים המאוד קטנים יחשבו כ0 לוגי(ברוך בורא התכנון הדיגיטלי).

(2.4

כעת נמדוד את ה TCD וה TPD של הרכיב כולו. מאיר שתכננו את הרכיב אנו יודעים שהוא ממומש ע"י רכיבי מוקס זחים שלכל אחד מדדנו את הזמנים שלו בנפרד בחלק א' של העבודה. התבקשנו מדוד את הזמנים עבור מצב בו כל הסיים מקוצרים ולכן כל הרכיבים עובדים באותה דרך. ז"א שנשארו עם 2 אפשרויות כאשר רכיב יעבוד כבאפר או כמהפך. שכן אם רכיב החזיק ערך לוגי מסוים בתחילת ההרצה של המתחים ואותו ערך לוגי בסוף אז חישוב הזמנים לא רלוונטי שכן לא פעפע דרכו כלום(זאת עד כדי סיכון סטטי!).

נעבוד באותה שיטה כמו שעבדנו בחלק הראשון של העבודה. ראשית נריץ VDC על כל הכניסות ונראה אילו כניסות בכלל רלוונטיות לנו: (S עולה ל0 ל לוגי)

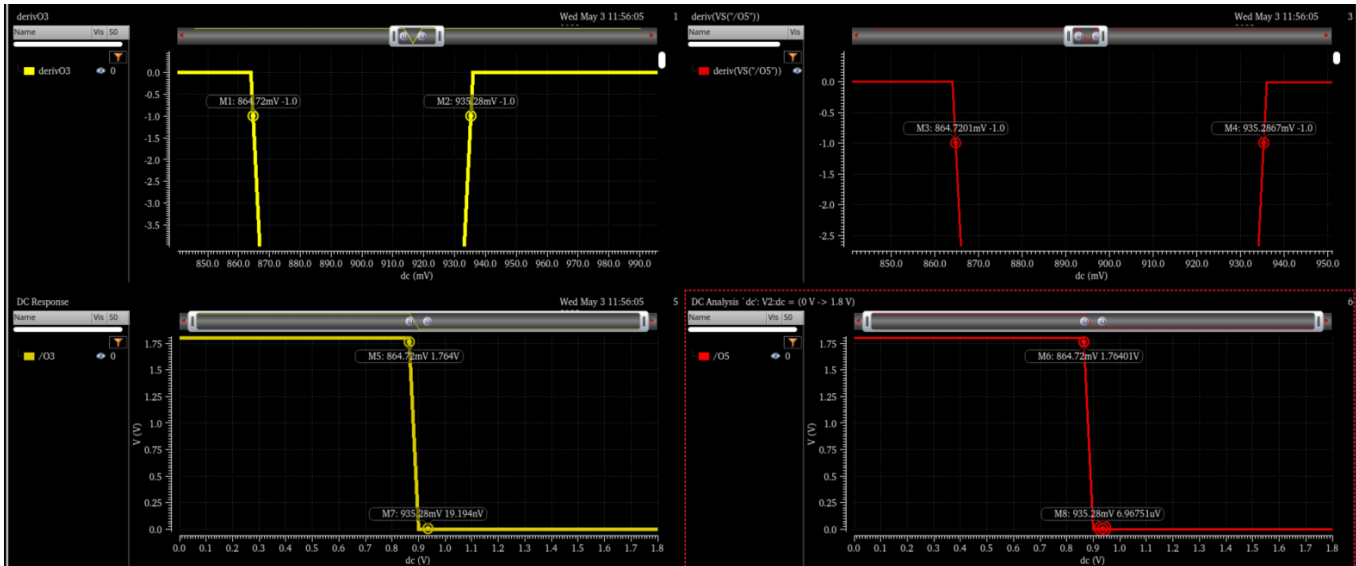




ננתח כניסה כניסה:

- 0- ערך הוולטים הוא במיקרו ויש קפיצה הנובעת מסיכון סטטי.
- 1- ערך המוצא הוא בנאנו! ולכן מתייחס אליו כ-0 לוגי אך גם בו יש הפרעה
- 2- זהה לניתוח כניסה 0
- 3- התנהגות של באפר, ערך הוולטים בסקלה רגילה כאשר מתחילה ב1 ונגמרת ב0 לוגי
- 4- התנהגות של מהפך, ערך הוולטים בסקלה רגילה כאשר מתחילה ב0 ונגמרת ב1 לוגי
- 5- זהה לניתוח כניסה 3
- 6- זהה לניתוח כניסה 0
- 7- זהה לניתוח כניסה 4

נתייחס כרגע רק לכניסות שערכיהן בסקאלה של ערכים לוגים יציבים ז"א יציאות : 3,4,5,7. מכיון שהרכיבים זהים נניח כי ערכי המתחים אותם עלינו למצוא כדי למצוא את הזמנים זהים, (כבר נראה דוגמא לכך שזה אכן מתקיים) לכן נוכל לצמצם את הניתוח שלנו לכניסה אית שמתנהגת כבאפר ואחת כמהפך. שכן את המתחים זהים אז גם הזמנים יהיו זהים. ז"א שסהכ ננתח את כניסות 3 ו 4. ראשית נראה השוואה של המתחים הזהים עבור כניסות 3 ו 5 ו 4 ו 7 שמתנהגות זהה:

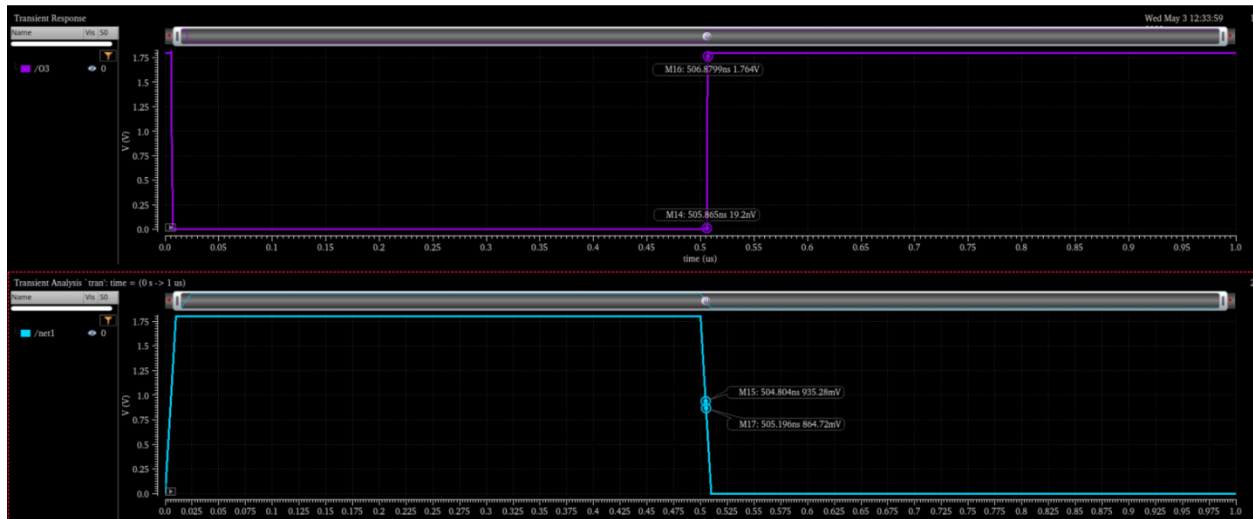


ניתן לראות שהמתחים זהים מאד. ובאותה צורה ניתן להראות גם עבור הסט השני של הכניסות שמתנהגות כבאפר.

נסיק מפה את הערכים הרלוונטיים:

1.764V	VOH_MIN
864.72mV	VIL
19.2nV	VOL_MAX
935.28 mV	VIH

כעת נמצא את הזמנים בעזרת המתחים עבור אחת הכניסות, נביט בכניסה 3:

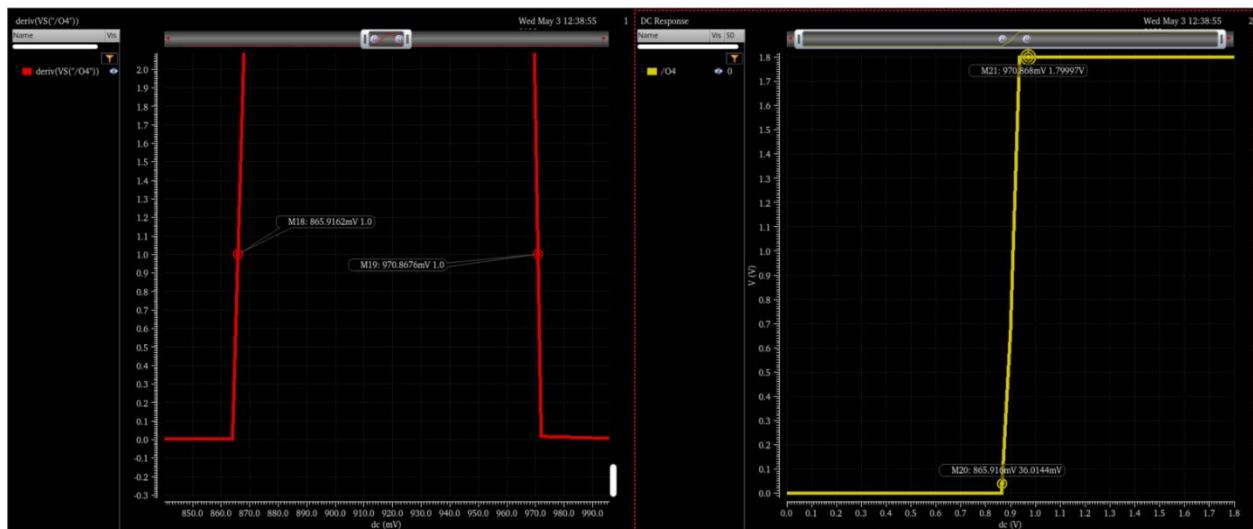


נחשב זמנים לפי הנוסחא של חלק א':

$$t_{cd} = V_{ol\_max} - V_{IH} = 505.865 - 504.804 = 1.106ns$$

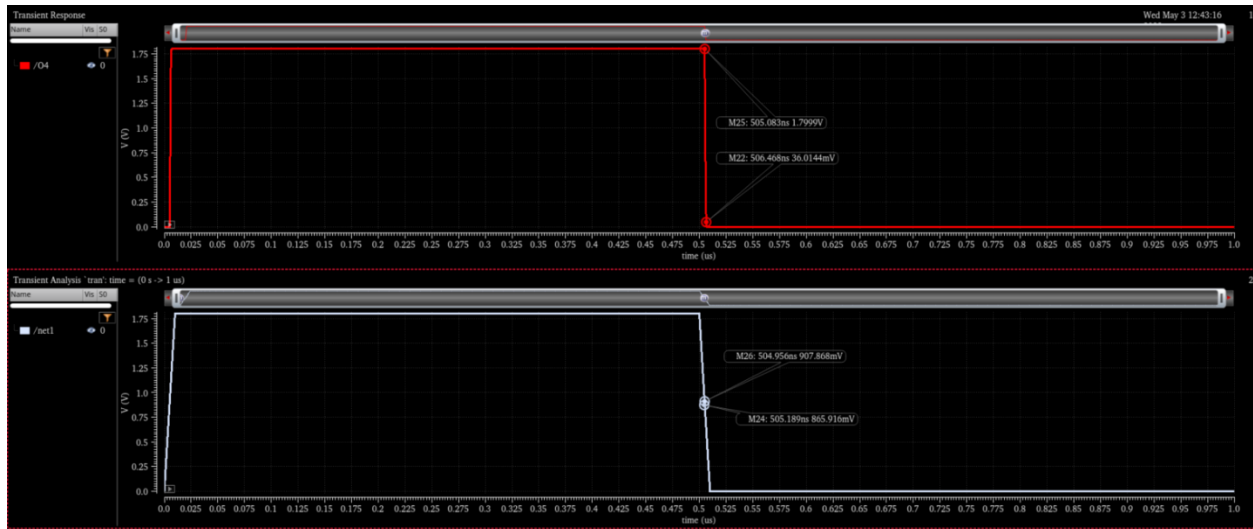
$$t_{pd} = V_{OH\_MIN} - V_{IL} = 506.88 - 505.196 = 1.684ns$$

כעת נריץ סימולציה זהה רק עבור כניסה 4 שכן ערכי כניסה 7 יהיו מאד דומים.



1.7999V	VOH_MIN
865.916mV	VIL
36.0144mV	VOL_MAX
907.868 mV	VIH

וכעת נחשב את הזמנים:



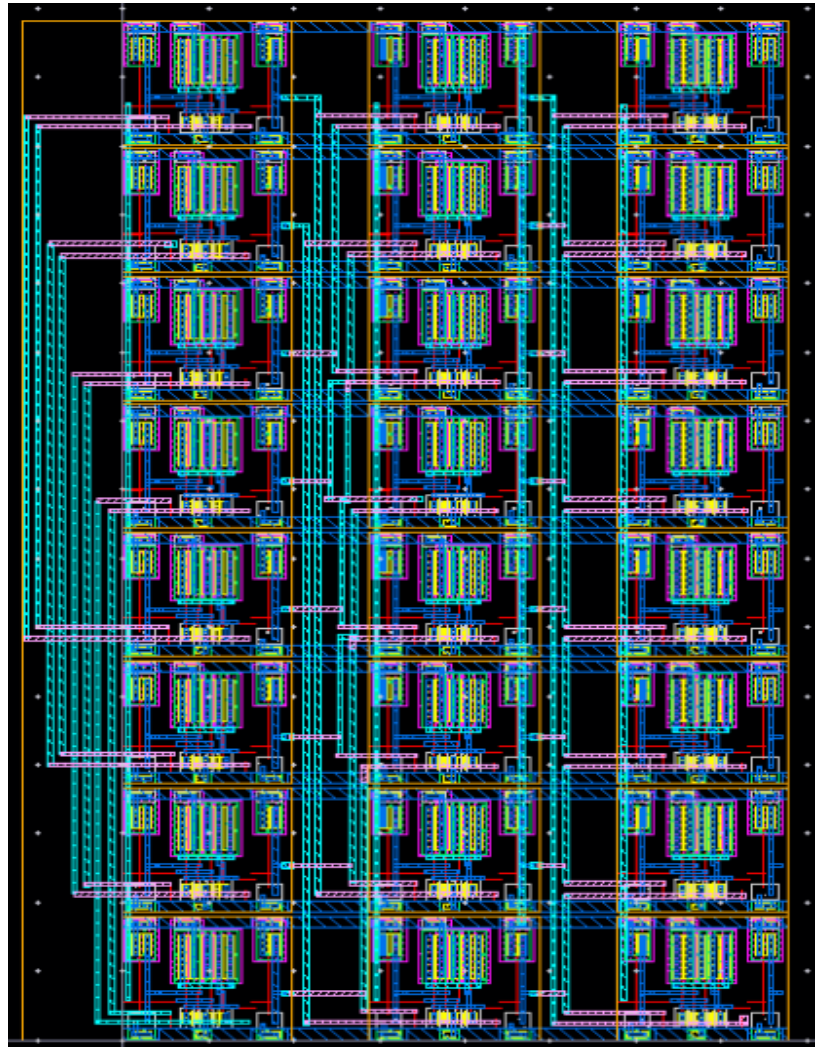
$$T_{pd} = V_{OL\_max} - V_{IL} = 506.468 - 505.189 = 1.279ns$$

$$T_{cd} = V_{oh\_min} - V_{IH} = 505.083 - 504.956 = 0.127ns$$

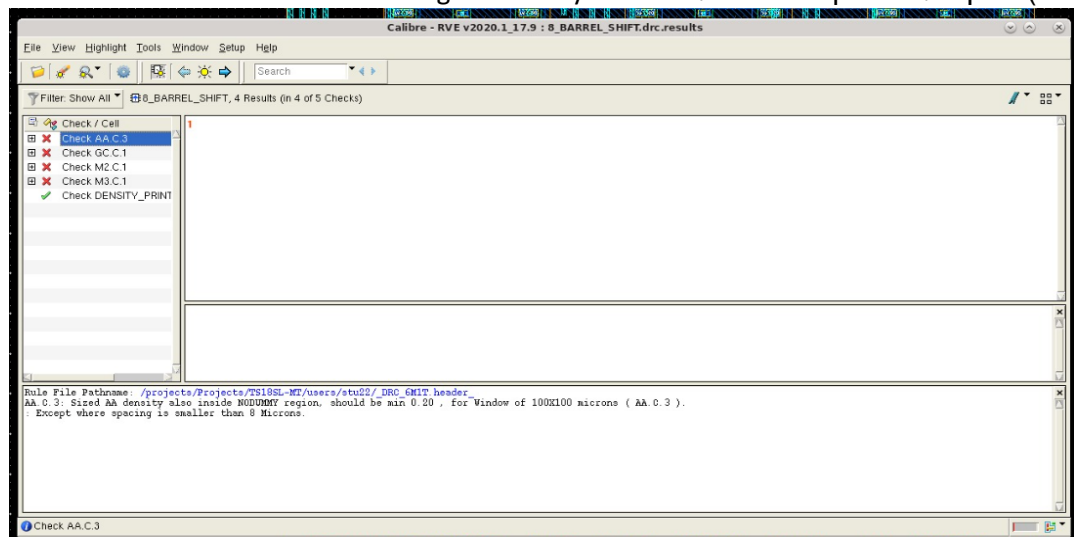
לבסוף נחבר את הTPD המקסימלי והTCD המינימלי ולכן:

$$TPD = 1.684ns, TCD = 0.127ns$$

3.1 (להלן שרטוט ה – Layout של ה – 8-bit barrel shifter שתכננו:



3.2 (להלן מעבר בדיקת DRC למעט שגיאות Coverage & density:



לא הצלחנו להעביר את הרכיב LVS ולכן לא הצלחנו לייבא קובץ PEX ולהריץ שוב את הסימולציות עם הפרזיטיקות.  
אם היינו מצליחים, היינו מצים לקבל TPD ארוך יותר במעט שכן כעת ישנם קיבולים פרזיטים אותם עלינו לטעון ולפרוק- מה שמאריך את זמן הפעפוע. ואילו הTCD יהי בערך אותו דבר- כדומה לתצאה שכן קיבלנו בMUX הבודד.