

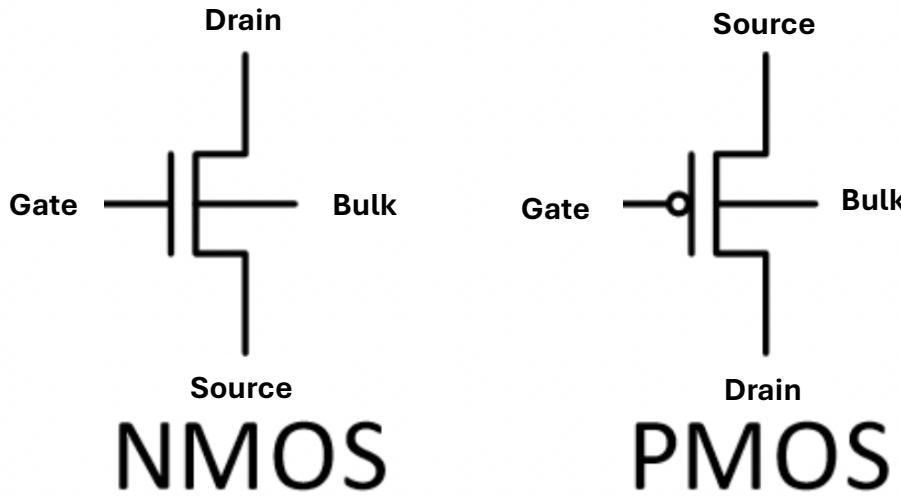
מעבדה במאובטח למעגלים דוח 4

Introduction to Transistors

שמות המציגים + TZ:
אורן ברימוק 314992447
הדו רם 214068843

תאריך הגשה:
15.05.2025

1. (10 pts) In the report, draw a symbol of an NMOS and a symbol of a PMOS transistors. Where are the Source, Drain, Gate and Bulk nodes?



.NMOS: חיבור מתח גבoga בDRAIN וchipor מתח נמוך בSOURCE.
.PMOS: חיבור מתח גבoga SOURCE וchipor מתח נמוך בDRAIN.

2. (10 pts) In this lab we would like to simulate transistors by themselves, but like they are used in a CMOS circuit. What node/s should be the input of the transistors? What node/s should be the output? What node/s should be fixed, and what are their voltage values (of the fixed node/s, in terms of VDD or 0)?

:NMOS
– מחובר לכינסה, ופתוח כאשר יש מספיק מתח חיובי $V_{GS} > V_{TH}$
– Gate
– מחובר להארקה GND [v] 0.
– Bulk
– מחובר למוצא.
– Drain
– מחובר להארקה GND [v] 0 – Source

:PMOS
– מחובר לכינסה, ופתוח כאשר יש מספיק מתח חיובי $|V_{GS}| > |V_{TH}|$
– Gate
– מחובר למתח Vdd (במעבדה שלנו [v] 1.8).
– Bulk
– מחובר למוצא.
– Drain
– מחובר למתח Vdd (במעבדה שלנו [v] 1.8) – Source

3. (15 pts) Create a test bench for the following devices: nmos 18, pmos 18. If the gate width you set is under the minimum, use the minimum width. Connect the transistor's terminals according to your answer on item 2.

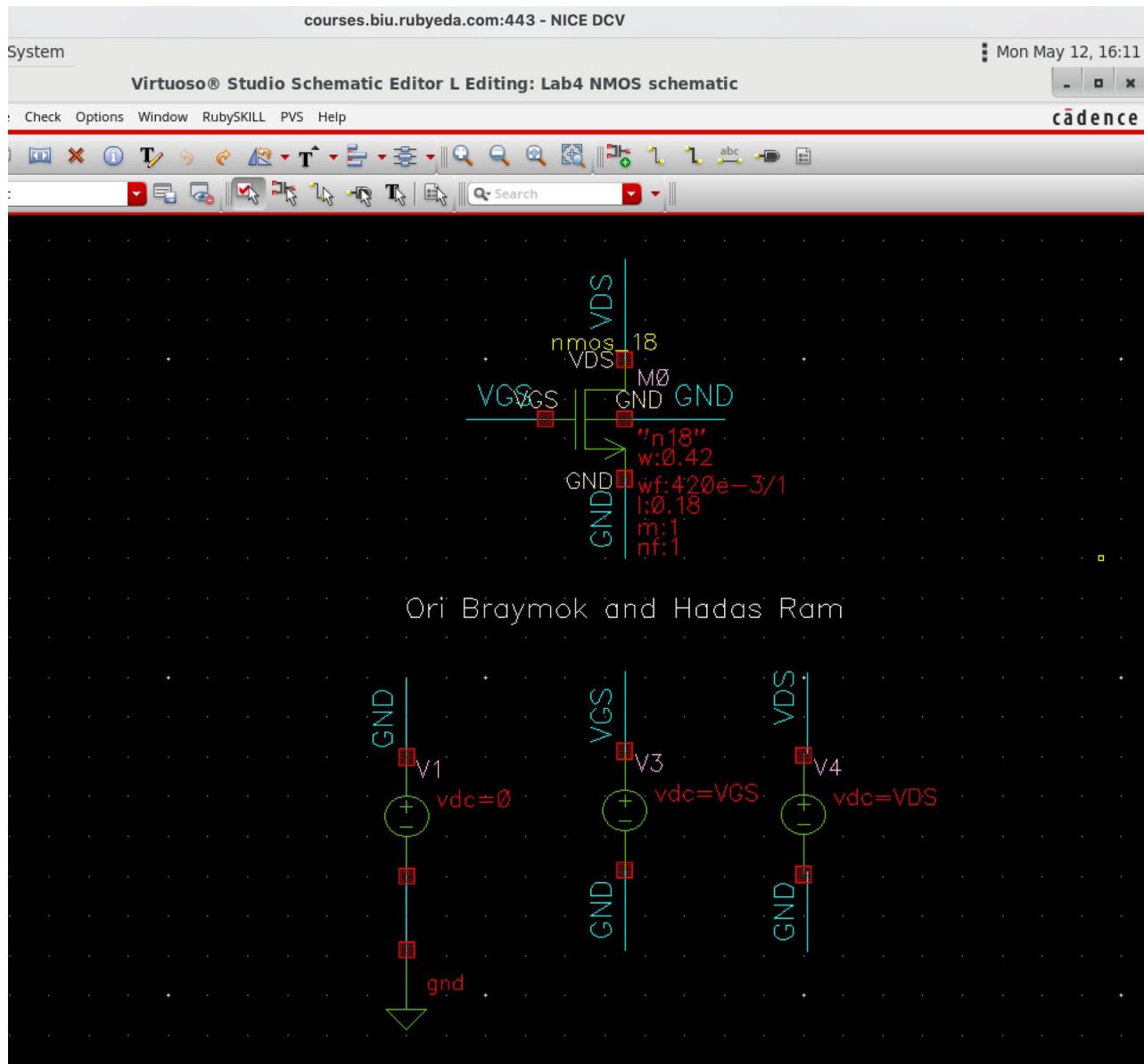
יצרנו בסוסו MOS, Virtuoso PMOS ו NMOS בעלי רוחב פס של $w=0.42[\mu\text{m}]$ (הערך המינימלי האפשרי, כיוון ש- $G=10$). ולכן הערך שלנו הוא $340[\text{nm}]$ שזה פחות מ $420[\text{nm}]$.

:NMOS

פתחנו בסוסו MOS קובץ בשם NMOS והשתמשנו ברכיב nmos_18.

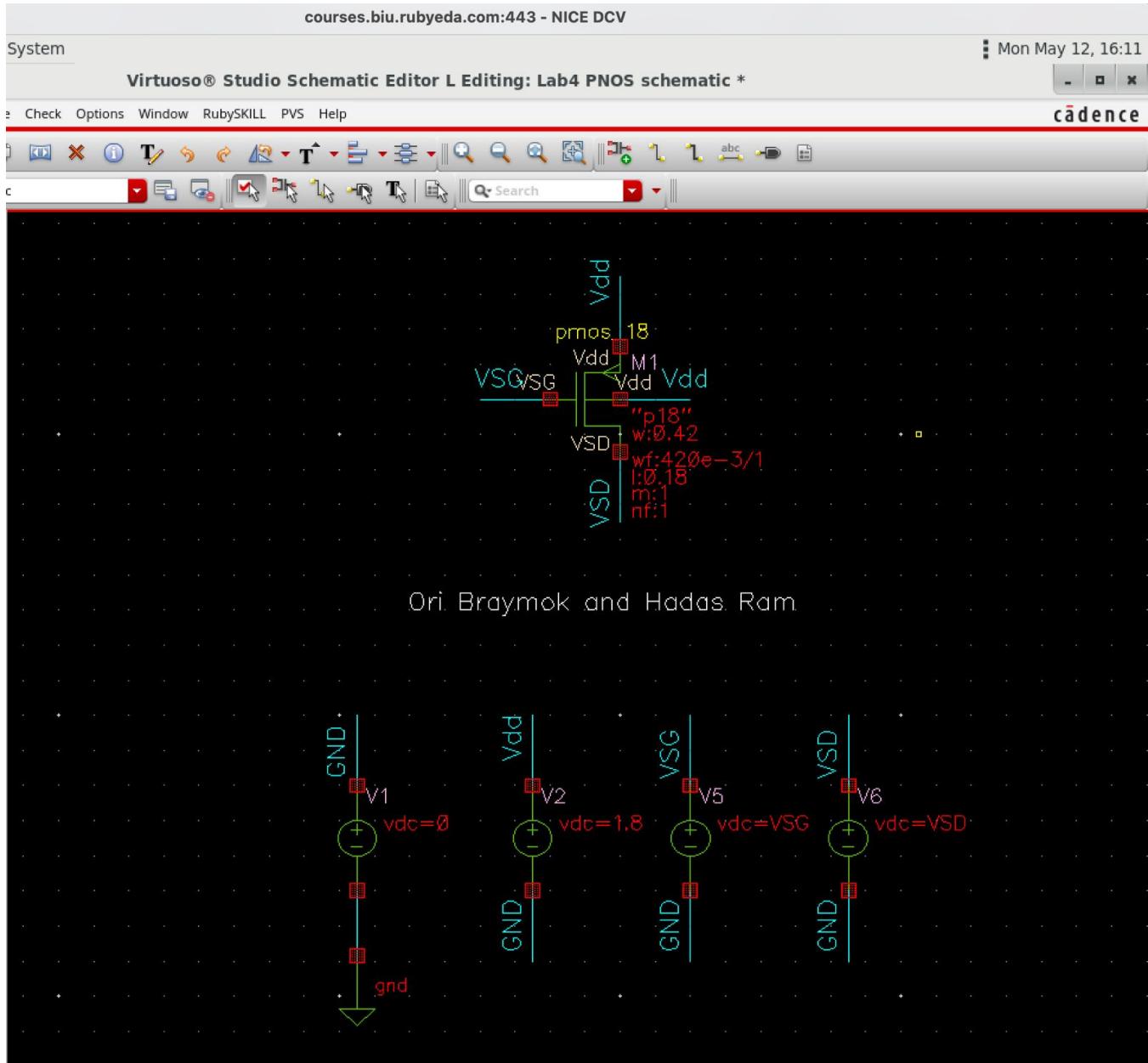
יצרנו מתחים של הארקה GND [v,0], וחיברנו אותו ל BULK ו SOURCE של הרכיב.

יצרנו מתח של V_{GS} הנכנס ל GATE, ומתוך V_{DS} הנכנס ל DRAIN.



:PMOS

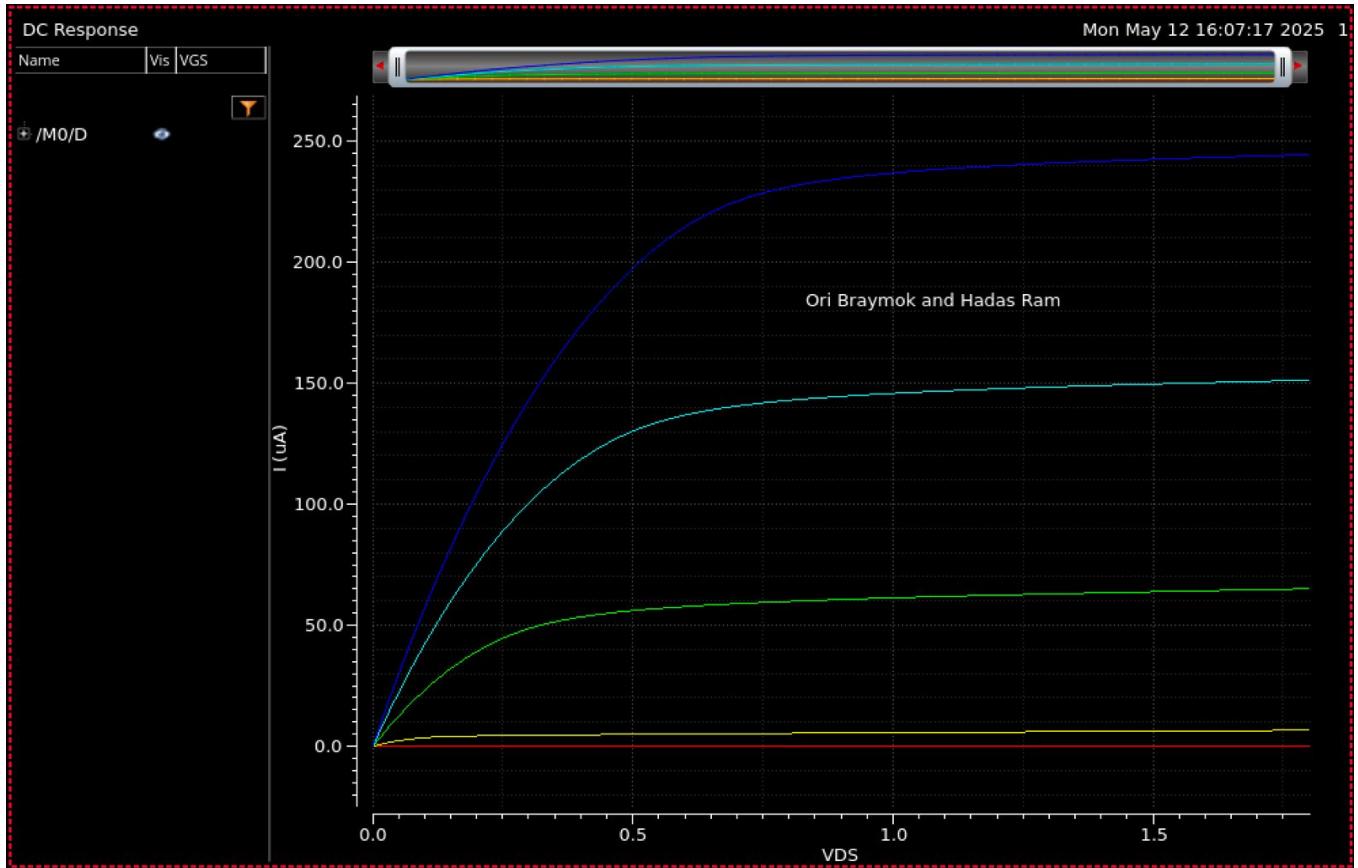
פתחנו בסוסו Virtuoso קובץ בשם PMOS והשתמשנו ברכיב 18.pmos. יצרנו מתח של $V_{DD} = 1.8$ וחברנו אותו ל-SOURCE ו-BULK של הרכיב. יצרנו מתח של V_{SG} הנקנו ל-GATE, ומתח V_{SD} הנקנו ל-DRAIN.



4. (25 pts) run a DC sweep simulation on VDS (For NMOS, VSD for PMOS) between 0 and VDD for 5 values of VGS (VSG) between $0.1 \cdot VDD$ and VDD. Show and explain the IDS (ISD) current of each transistor (including the different regions: cutoff, linear, saturation).

:NMOS

הרצינו סימולציה DC על המתח V_{DS} בין 0 ל 1.8 [V].
הגדכנו עבור V_{GS} חמישה ערכים בין 0.18 ל 1.8 בקצבות של 0.405.[0.18, 0.585, 0.99, 1.396, 1.8] נשים לב שנרצה את הזרם מה Drain לSource, לכן בחרנו את הנקודה של Drain כשרצנו את הסימולציה בסimu[Maestro].
יחידות המידה של הזרם בגרף [A] ושל המתח [V].



מחלק לתחומים:

:Cutoff

כאשר המתח של GATE קטן מתח הסף V_{TH} , יש רק זרמי זליגה נמוכים מאוד $I_{DS} = 0$.

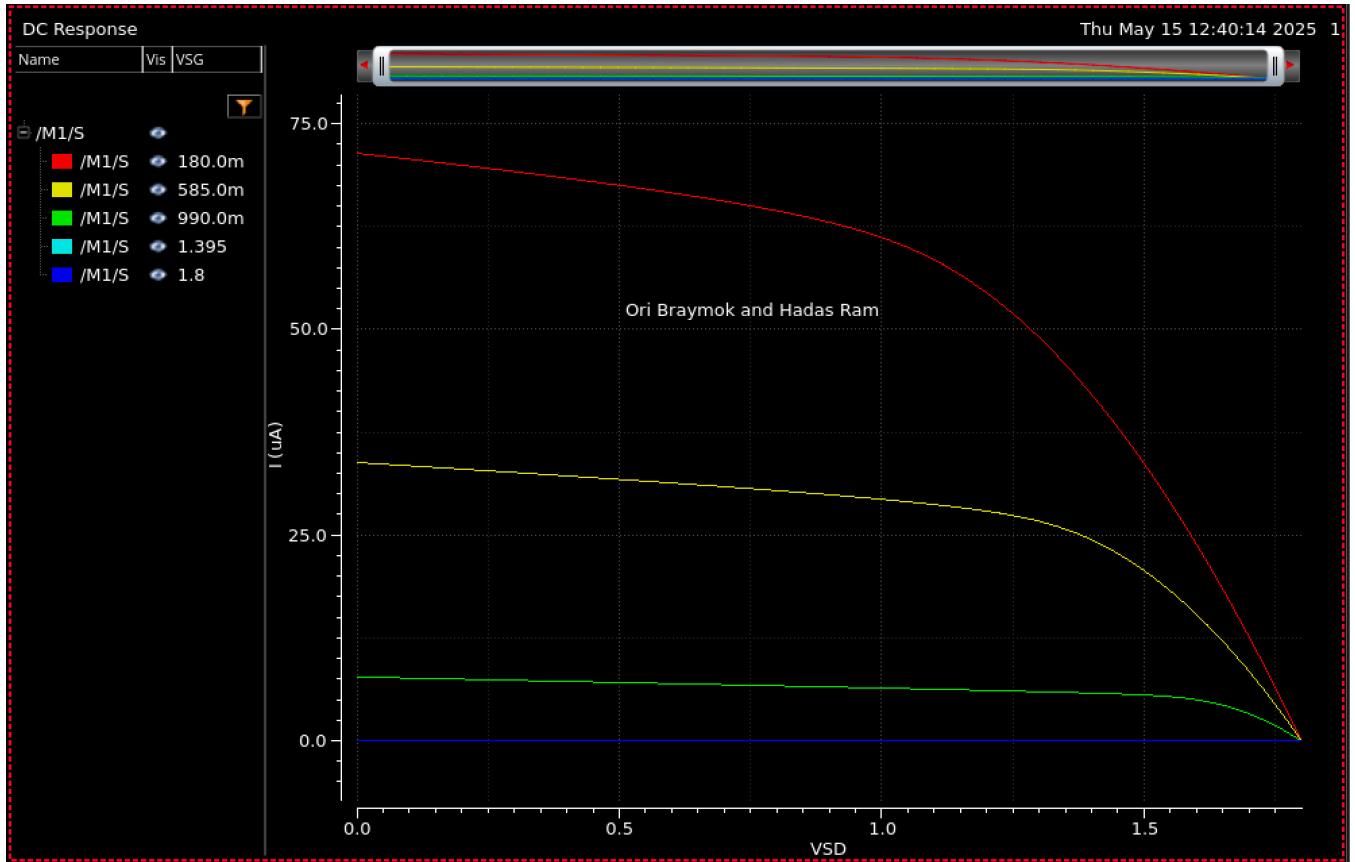
:Linear

כאשר המתח של GATE גדול מתח הסף $|V_{TH}|$, וכאשר מתקיים $V_{DSAT} < V_{DS} < V_{DSAT}$ (כאשר $V_{DS} = V_{DSAT}$), אז נמצאים באיזור הלינארי והזרם הוא $I_{DS} = K_n((V_{GS} - V_{TH})(V_{DS} - \frac{1}{2}V_{DS}^2))$ (כיוון ש $V_{DS} - V_{TH}$ קרוב ל-0 ניתן להזניח את החלק הריבועי).

:Saturation

כאשר המתח של GATE גדול ממתח הסף $|V_{TH}| < V_{GS} < V_{DSAT}$, וכאשר מתקיים $V_{DS} > V_{DSAT}$ כאשר $I_{DS} = \frac{1}{2} K_n (V_{GS} - V_{TH}) V_{SD}^2$, אנו נמצאים באיזור הסטורציה/רוויה והזרם מפסיק לעלות ונקבל:

:PMOS
הרצינו סימולציה DC על המתח V_{SD} בין $[0.18 \text{ V} \dots 1.8 \text{ V}]$.
הדרנו עבור V_{SG} חמשה ערכים בין $[0.18 \text{ V} \dots 1.8 \text{ V}]$ בקפיצות של 0.405. היצוא גרען של ISD כתלות במתח V_{SD} (נשים לב שנרצה את הזרם מה Drain לSource). הנקודה של Source כשהרצינו את הסימולציה בתוכנה Maestro. ייחidot הזרם בגרף הם mA , ויחידות V_{SD} הם V .



להלן לתוצאות:

:Cutoff

כאשר המתח של GATE קטן ממתח הסף $|V_{TH}| < V_{GS} < V_{DSAT}$, יש רק זרמי זליגה נמוכים מאוד $I_{SD} = 0$.

:Linear

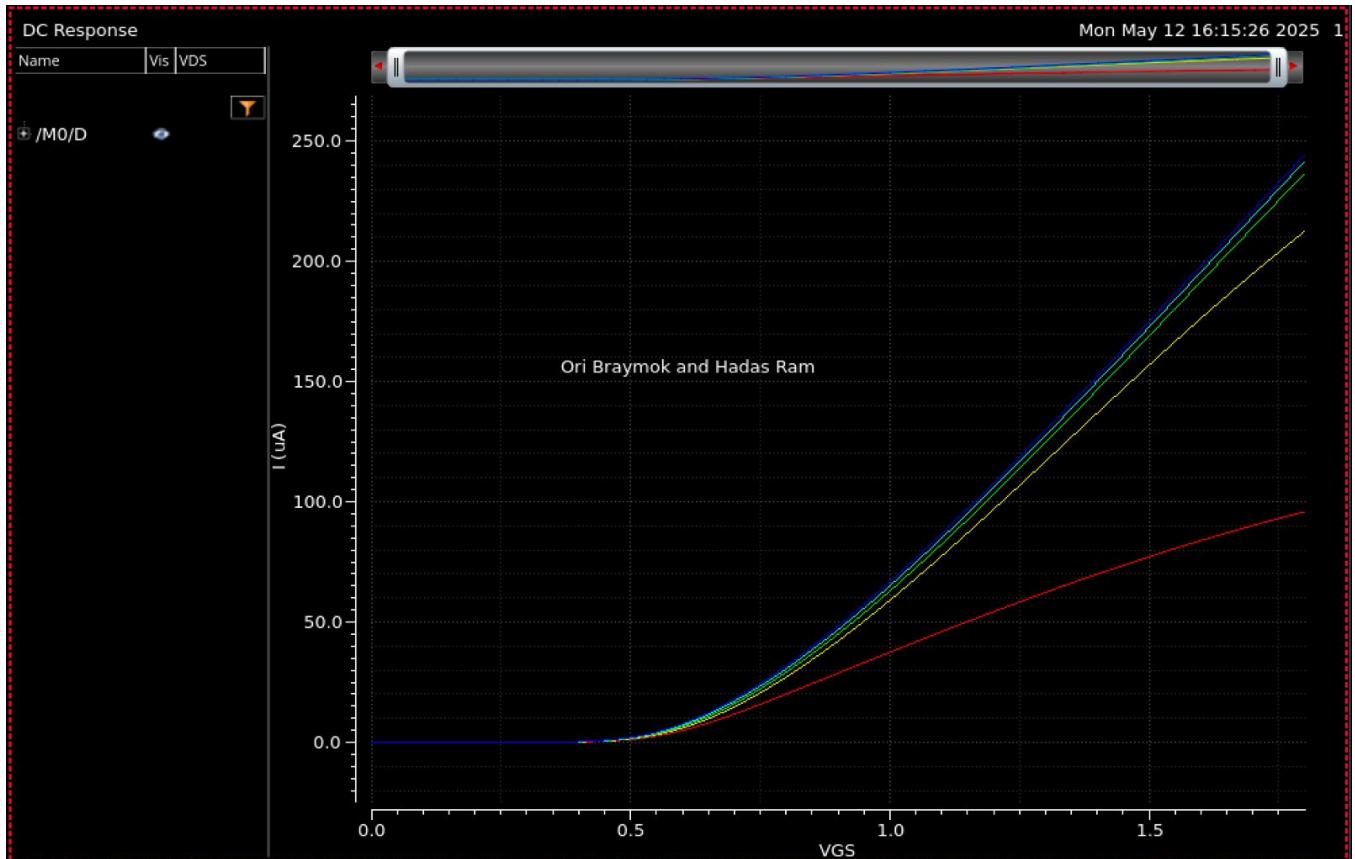
כאשר המתח של GATE גדול ממתח הסף $|V_{DSAT}| < V_{GS} < |V_{TH}|$, וכאשר מתקיים $V_{DS} < V_{DSAT}$ כאשר $I_{SD} = K_n ((V_{SG} - V_{TH}) V_{SD} - \frac{1}{2} V_{SD}^2)$, אנו נמצאים באיזור הלינארי והזרם הוא (כיוון ש $V_{SD} > V_{TH}$) קרוב ל-0 ניתן להזניח את החלק הריבועי).

:Saturation

כאשר המתח של ה GATE גדול ממתח הסף $|V_{SG}| > |V_{TH}|$, וכאשר מתקיים $V_{SD} > V_{DSAT}$ כאשר $I_{SD} = \frac{1}{2} K_n (V_{SG} - V_{TH})^2$ אנו נמצאים באיזור הסטורציה/רוייה והזרם מפסיק לגדול (להיות חזק יותר) ונקבל:

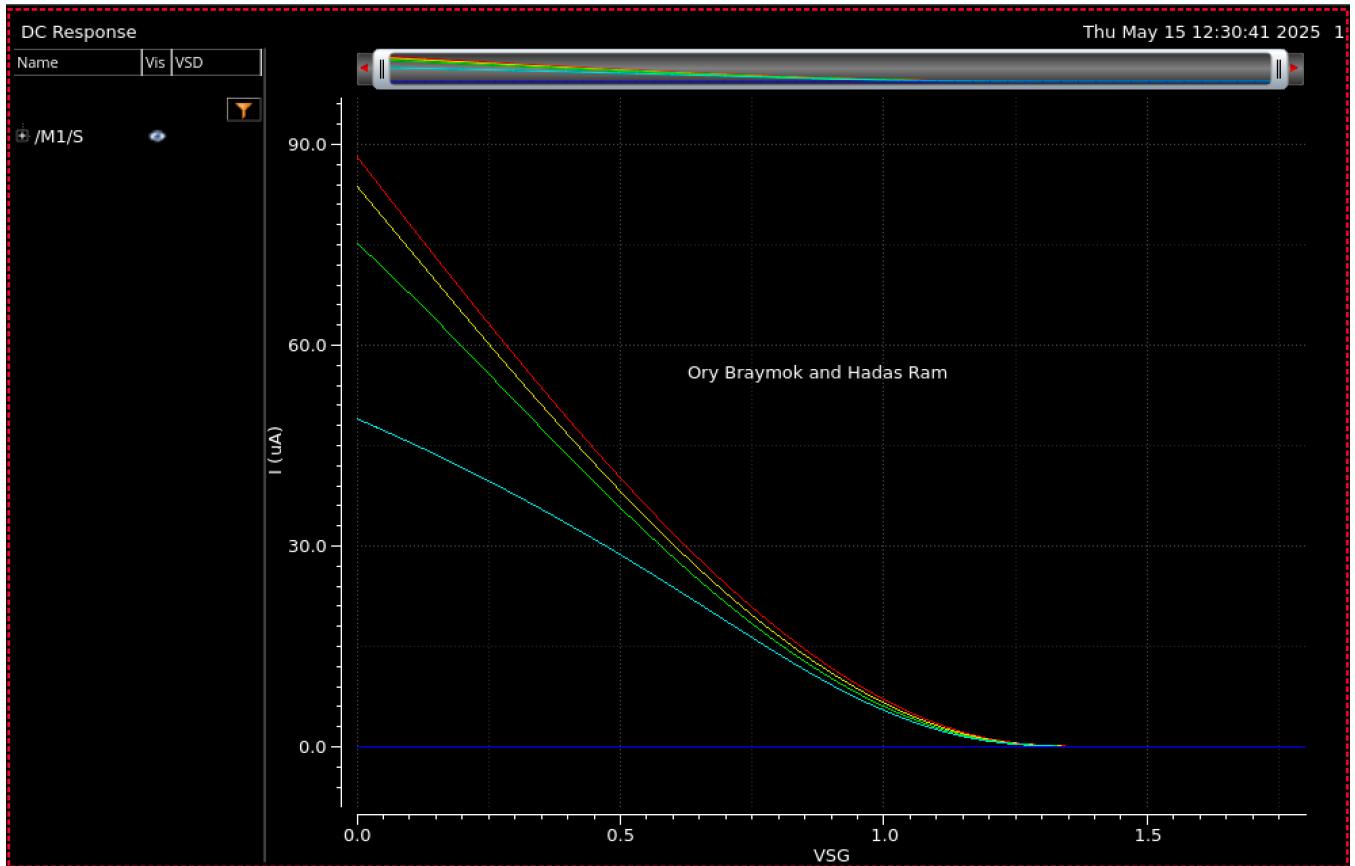
5. (25 pts) run a DC sweep simulation on VGS (VSG) between 0 and VDD for 5 values of VDS (VSD) between $0.1 \cdot VDD$ and VDD. Show and explain the IDS (ISD) current of each transistor.

הרצינו סימולציה DC על המתח V_{GS} בין $0 \text{ ל } 1.8 \text{ [V]}$.
הגדכנו עבור V_{DS} חמשה ערכים בין $0.18 \text{ ל } 1.8 \text{ [V]}$ בקפיצות של $0.405, 0.585, 0.99, 1.396, 1.8$:
הוצאנו גרף של I_{DS}/I_{SD} כתלות במתח V_{GS} . יחידות המידה של הזרם בגרף [μA] ושל המתח [V].

:NMOS

עבור $V_{GS} < V_{TH}$, נקבל $I_{DS} = 0$ וזה מצב cutoff.
עבור $|V_{GS}| > V_{TH}$, וכאשר מתקיים $V_{DS} < V_{DSAT}$ כש $V_{DSAT} = V_{DS} - V_{TH}$ אנו נמצאים באיזור הלינארי
והזרם הוא $I_{DS} = K_n ((V_{GS} - V_{TH})(V_{DS} - \frac{1}{2}V_{DS}^2))$ (כיוון ש V_{DS} מאוד קרוב ל-0 ניתן להזניח את החלק הריבועי).
עבור $|V_{GS}| > V_{TH}$, וכאשר מתקיים $V_{DS} > V_{DSAT}$ כasher $|V_{DS}| - |V_{TH}| > V_{DSAT}$, אנו נמצאים באיזור הסטורציה/רוייה והזרם מפסיק לעלות ונקבל: $I_{DS} = \frac{1}{2} K_n (V_{GS} - V_{TH})^2$

:PMOS



עבור $|V_{TH}| < V_{SD}$, קיבל $I = 0$, וזה מצב cutoff.
 עבור $|V_{TH}| > V_{SD}$, וכאשר מתקיים $|V_{DSAT}| = V_{SD} - V_{TH} < |V_{DSAT}| = V_{SD} - V_{DSAT}$ כאשר $V_{DSAT} = K_n((V_{SG} - V_{TH})(V_{SD} - \frac{1}{2}V_{SD}^2))$ והוא זרם הוא (כיוון ש V_{SD} מאוד קרוב ל-0 ניתן להזניח את החלק הריבועי).
 עבור $|V_{TH}| > V_{SD}$, וכאשר מתקיים $V_{SD} > V_{DSAT}$ כאשר $|V_{SD}| - |V_{TH}| = V_{DSAT}$, אנו נמצאים באיזור הסטורציה/רוייה והזרם מפסיק לגדול (להיות חזק יותר) ונקבל: $I_{SD} = \frac{1}{2}K_n(V_{SG} - V_{TH})^2$.

6. (15 pts) Evaluate the threshold voltage of each transistor and compare them in a table (according to the parameter extraction section in the lab's booklet).

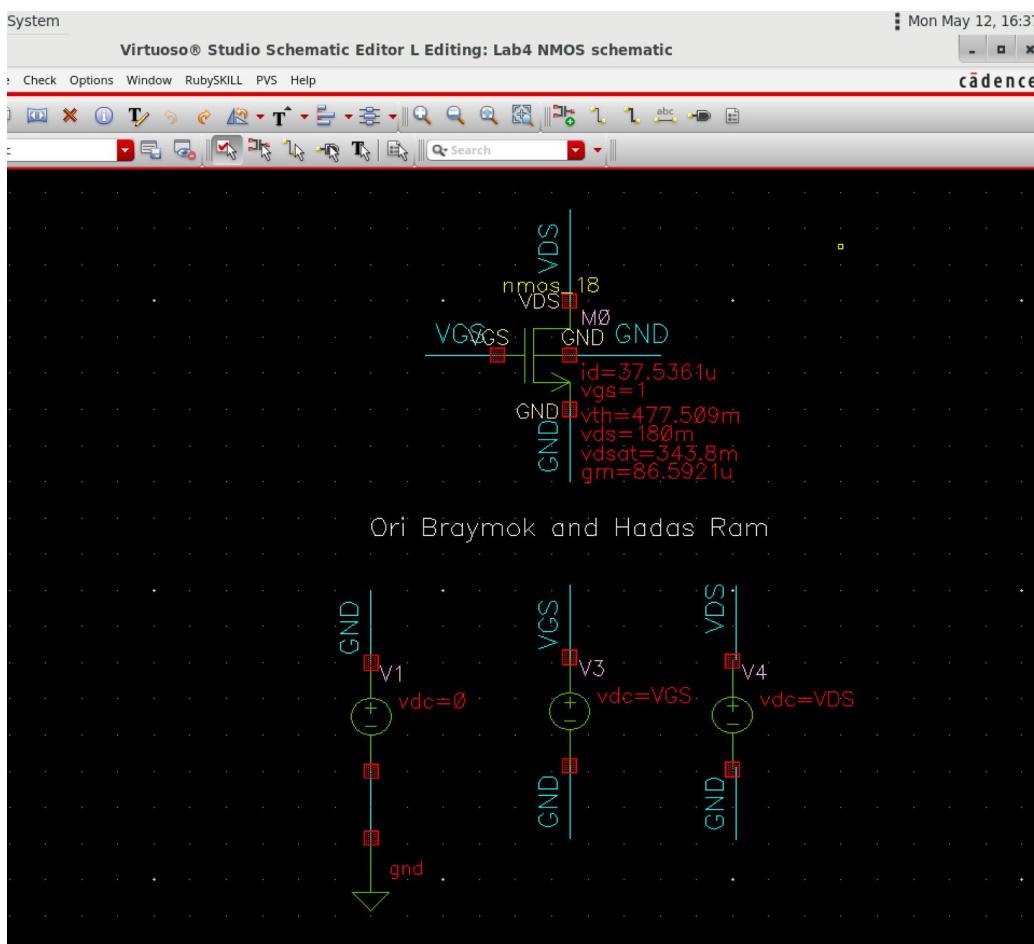
V_{TH} - מתח הסף, זה המתח המינימלי בו הטרנזיסטור מתחילה להוליך זרם כלומר יוצא ממצב cutoff ועובד למקבץ הנקודות linear.

הרצינו לפי הגדירה בשאלת 5 עבור כל אחד מהטרנזיסטורים. שמרנו את הנקודות (save dc operation point) annotation → dc operating points. לאחר מכן ימni על הטרנזיסטור, ולאחר מכן נקבעו את ערך הנקודות threshold points. קיבלנו את ערכי הטרנזיסטורים ובניהם גם את ערך הנקודות threshold points.

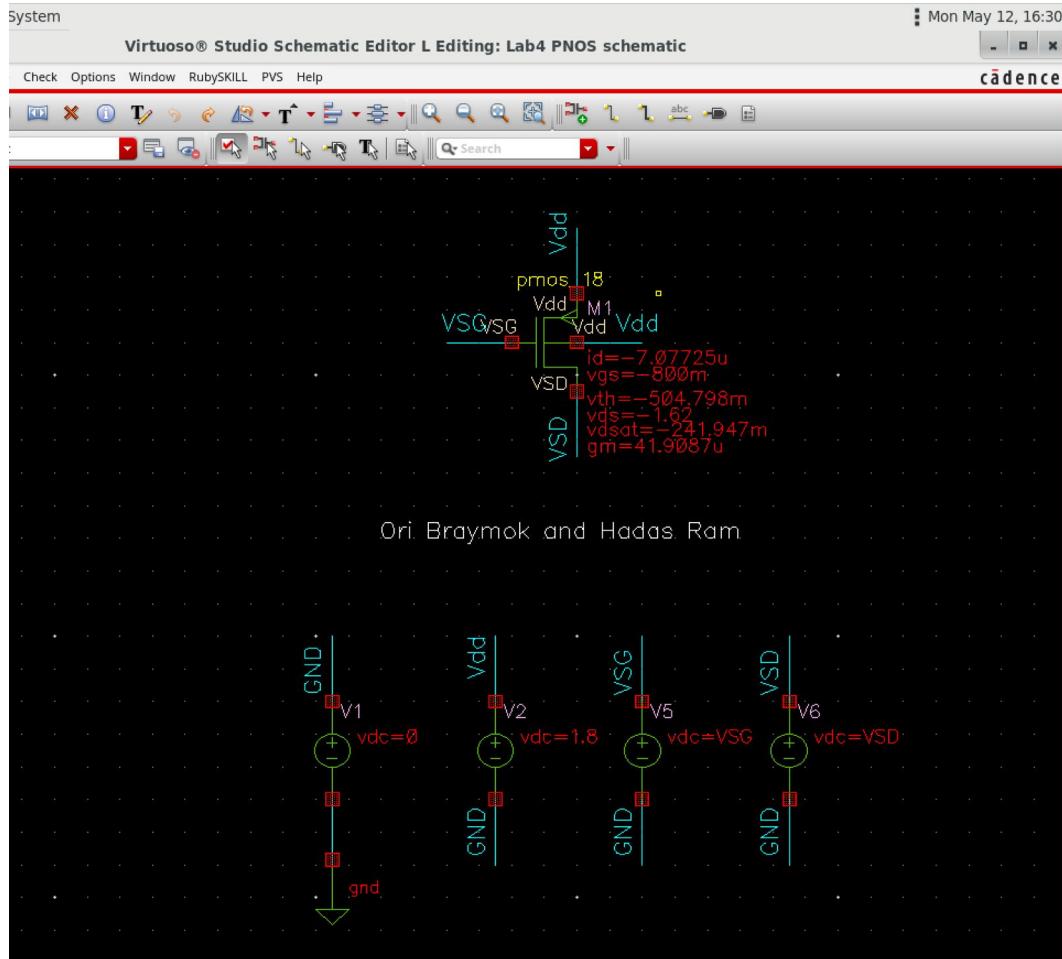
ערכים ה threshold שהתקבלו:

Transistor	Threshold
NMOS 18	477.509
PMOS 18	-504.798

:NMOS



NMOS Molir current increases with V_{GS} more than V_{TH} .

:PMOS

SMOS מוליך זרם כאשר מפעלים מתחת $|V_{TH}|$ הגדול יותר מ-.