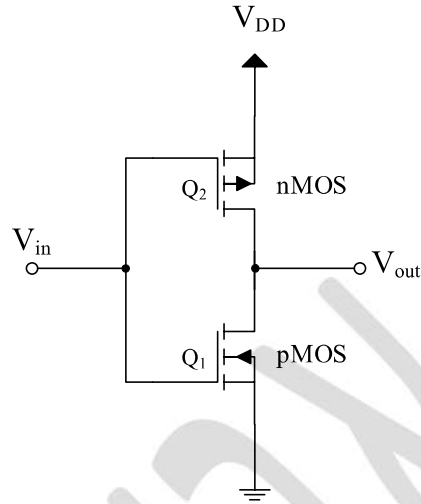


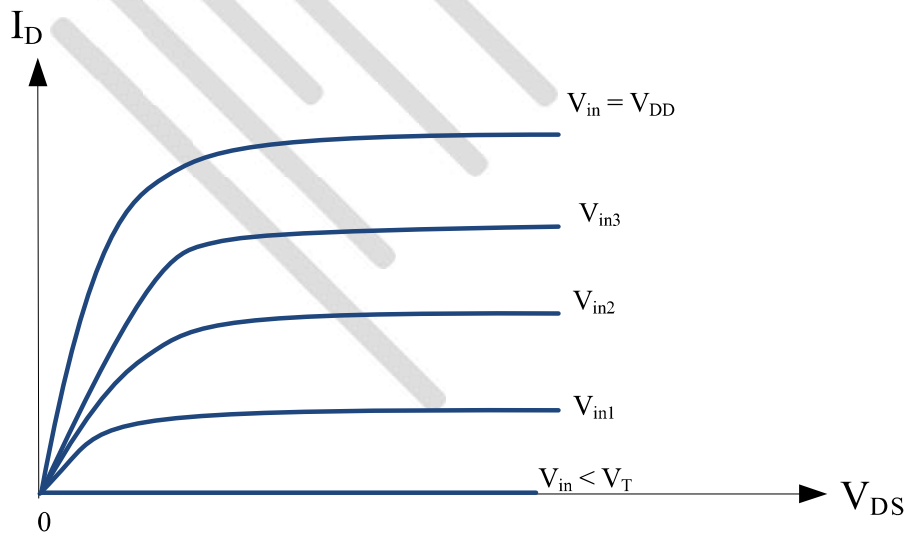
CMOS - מהפך

מבנה שער מהפך CMOS



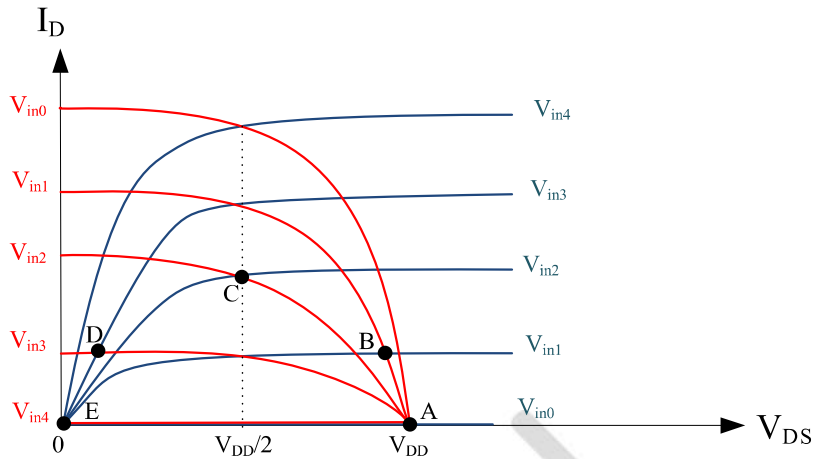
אופיין nMOS מסוג Enhancement

הקשר בין המוצא לכניסה תלוי במצב הטרנזיסטורים בכל תחום מתח הכניסה כל טרנזיסטור יכול להימצא במצב רוויה, התנגדות או קטעון לפי האופיין הבא:



אופיין עבור nMOS מערך 0 עד VDD

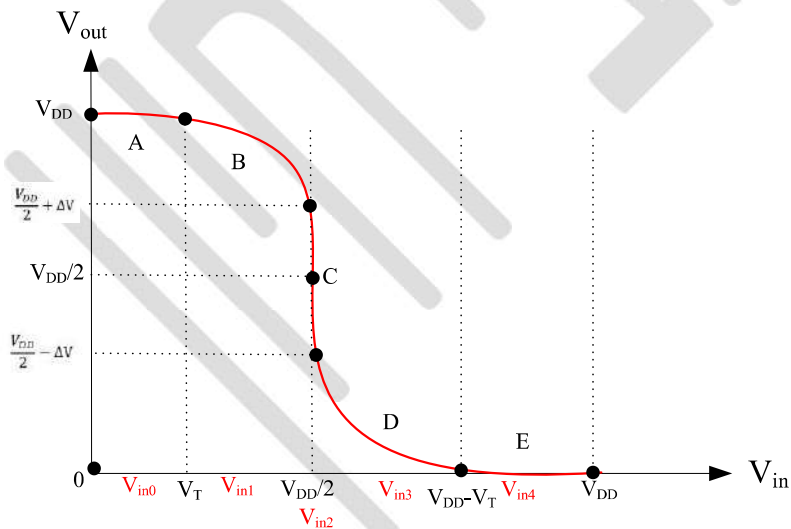
אם נשלב את שני האופייניים של הטרנזיסטורים – nMOS, pMOS מסוג Enhancement נקבל:



בנקודה C שני הטרנזיסטורים במצב רוויה ומתח המוצא שווה למתח הכניסה $V_{DD}/2$

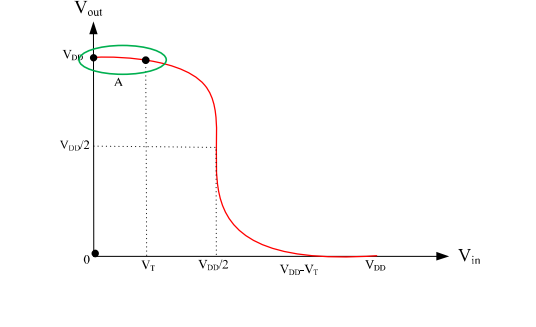
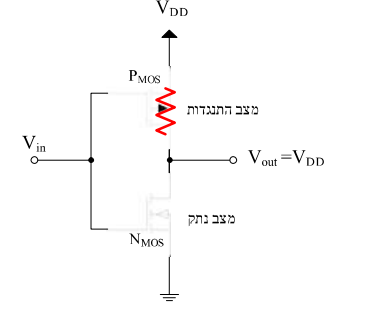
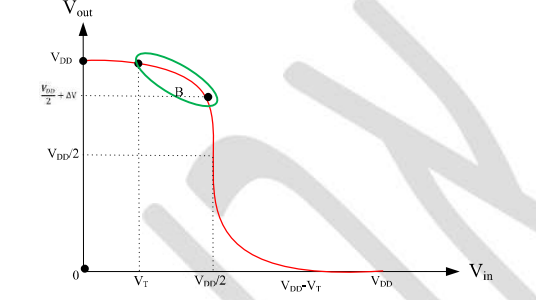
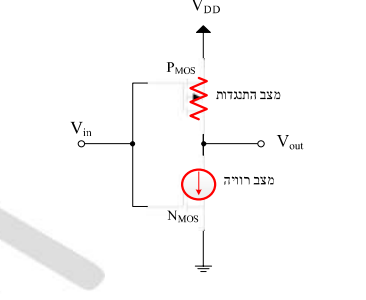
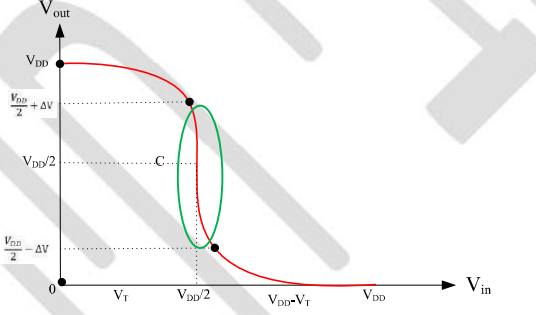
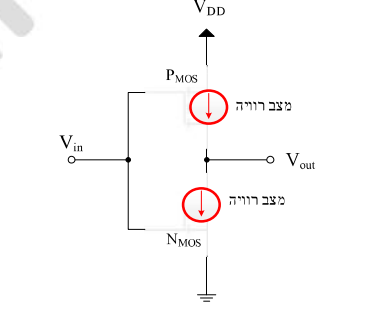
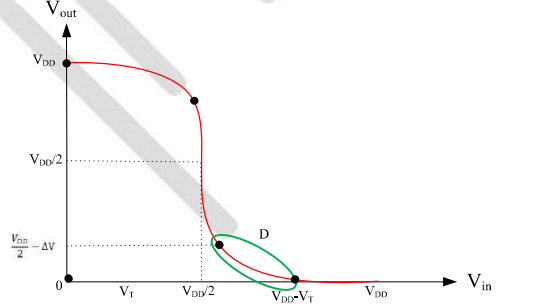
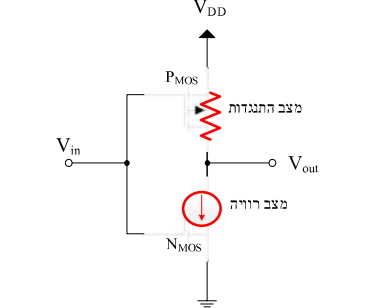
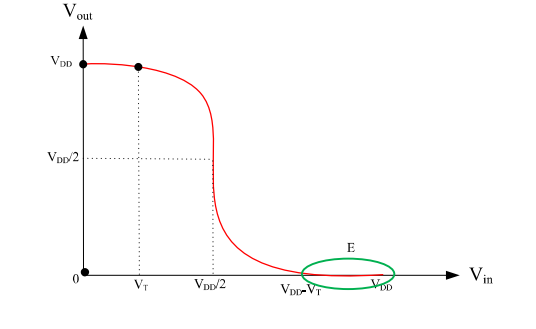
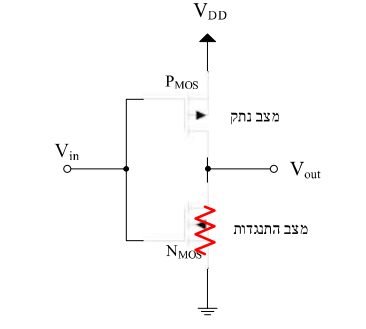
הערה: למרות שיש תחום רוויה משותף עם מתחים VGS שונים (אי ודאות לגבי הזרם של שני מקורות זרם שונים בטור) בד"כ יש התנגדות למקור זרם שזה השיפוע של גרף הרוויה ולכן הדבר אפשרי.

אופיין מעבר



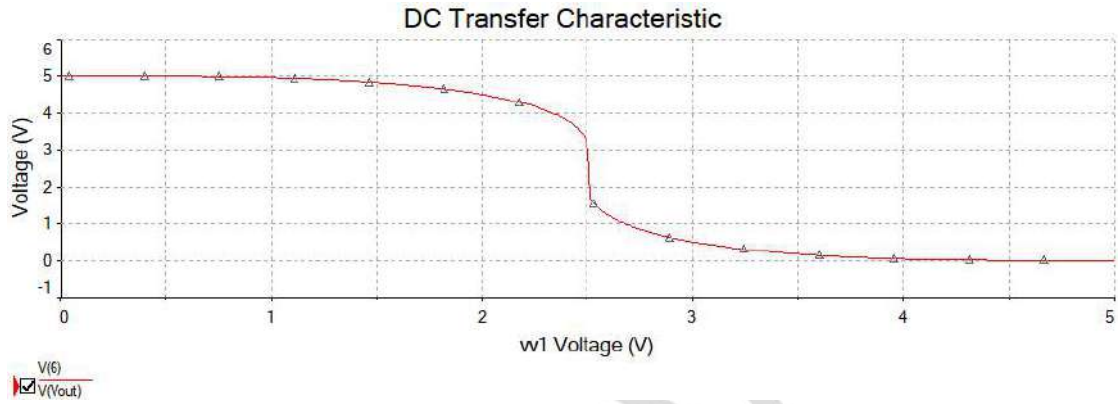
מצב	V_{in}	nMOS	pMOS	V_{out}
A	$V_{in0} < V_T$	קטעון	התנגדות	$\approx V_{DD}$
B	V_{in1}	רוויה	התנגדות	$\approx \left(\frac{V_{DD}}{2} + \Delta V\right) \div \frac{V_{DD}}{2}$
C	V_{in2}	רוויה	רוויה	$\frac{V_{DD}}{2} \pm \Delta V$
D	V_{in3}	התנגדות	רוויה	$0 \div \left(\frac{V_{DD}}{2} - \Delta V\right)$
E	$V_{in4} > V_{DD} - V_T$	התנגדות	קטעון	≈ 0

תיאור מצב הטרגזיסטורים בכל קטע מהאופיין

תחום	אופיין	מעגל
<p>מצב A</p> <p>$V_{in} < V_T$</p> <p>$V_{out} \approx V_{DD}$</p>		
<p>מצב B</p> <p>$V_T < V_{in} < \approx \frac{V_{DD}}{2}$</p> <p>$V_{out} \approx \left(\frac{V_{DD}}{2} + \Delta V\right) \div \frac{V_{DD}}{2}$</p>		
<p>מצב C</p> <p>$V_{in} \approx \frac{V_{DD}}{2}$</p> <p>$V_{out} = \frac{V_{DD}}{2} \pm \Delta V$</p>		
<p>מצב D</p> <p>$\approx \frac{V_{DD}}{2} < V_{in} < V_{DD} - V_T$</p> <p>$V_{out} \approx 0 \div \left(\frac{V_{DD}}{2} - \Delta V\right)$</p>		
<p>מצב E</p> <p>$V_{in} > (V_{DD} - V_T)$</p> <p>$V_{out} \approx 0$</p>		

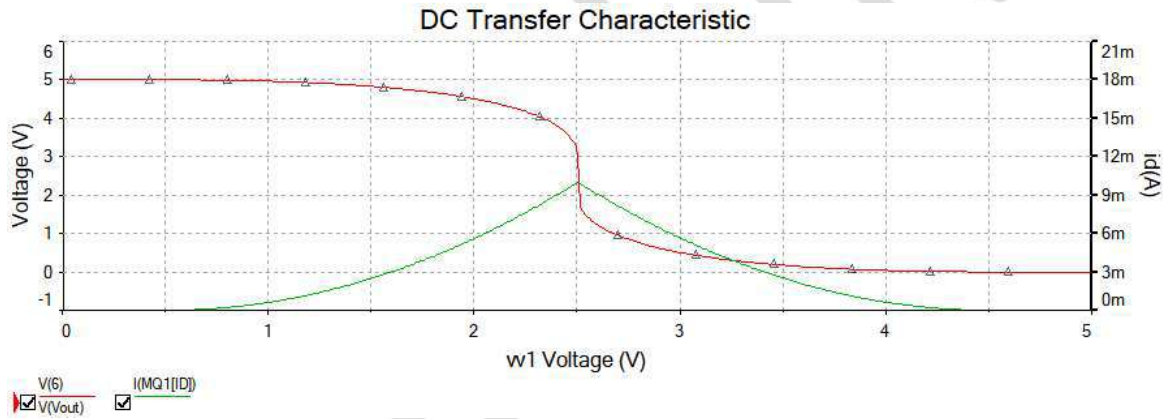
סימולציה

תוצאת אופיין מעבר מסימולטור עבור שני טרנזיסטורים עם $V_T = 0.5V$ $K = \frac{K_P}{2} = 2.5m$

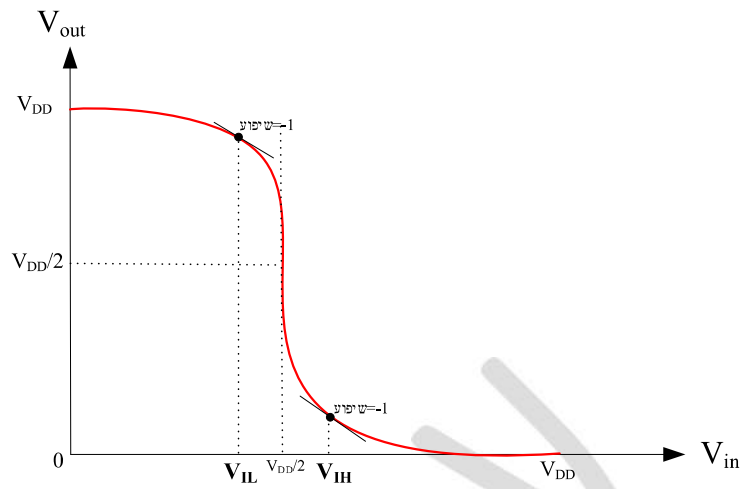


הזרם מכסימלי כאשר $V_{in} = V_{DD}/2$ ושווה ל-10mA

$$I_D = K(V_{GS} - V_T)^2 = 2.5m(2.5 - 0.5)^2 = 10mA$$

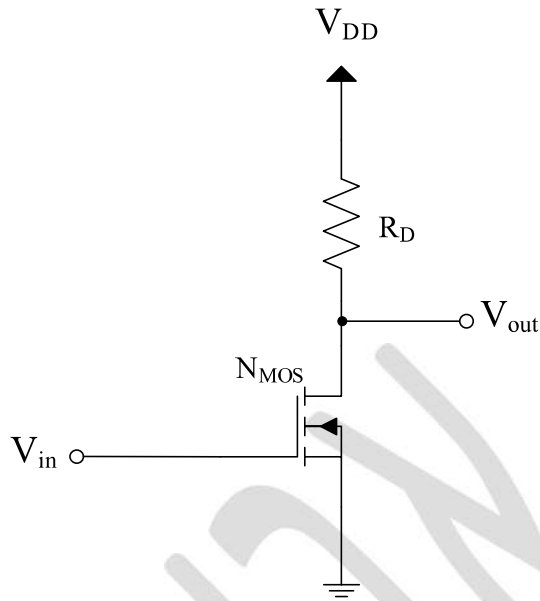


רמות לוגיות של כניסת שער CMOS

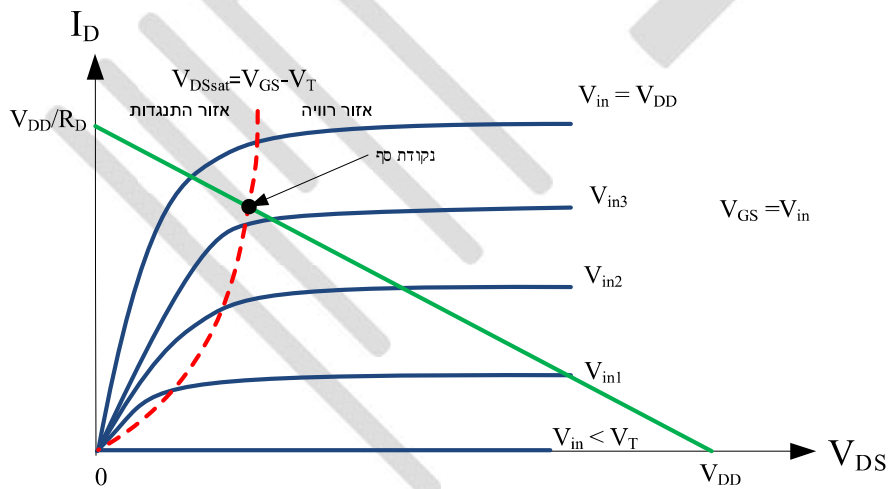


שתי הרמות לוגיות V_{IL} ו- V_{IH} מוגדרות כאשר השיפוע (הנגזרת) של אופיין המעבר הוא -1-

שער מהפך עם טרנזיסטור $nMOS$ מסוג Enhancement עם נגד $Pull Up$



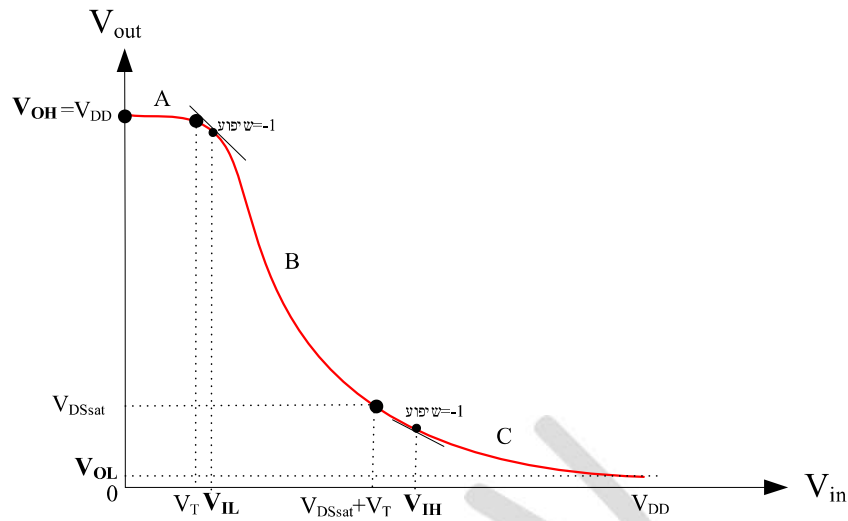
אופיין המעגל



קו העבודה תלוי במקור V_{DD} ובנגד R_D

כאשר מתח הכניסה עולה מערך 0 הטרנזיסטור באזור הרוויה עד לנקודת הסף, משם הטרנזיסטור עובר למצב התנגדות.

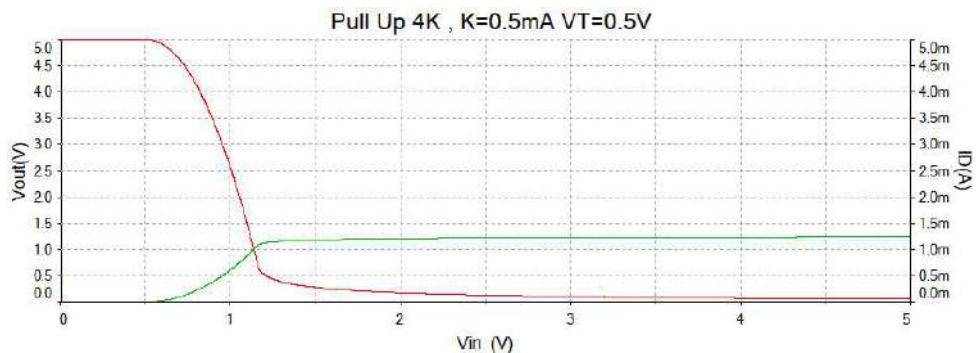
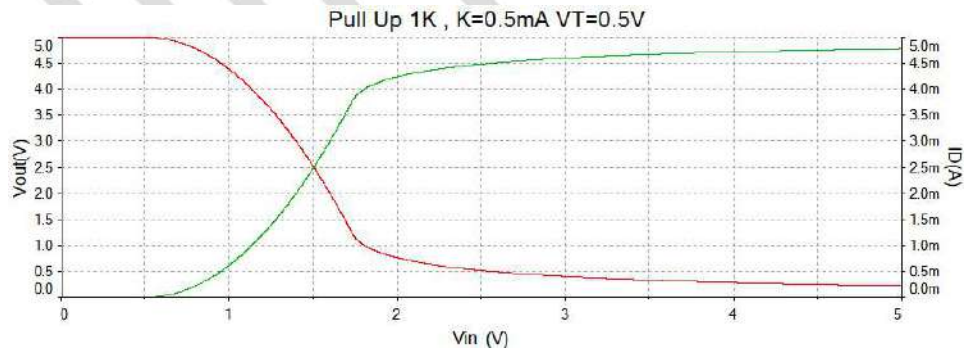
אופיין מעבר



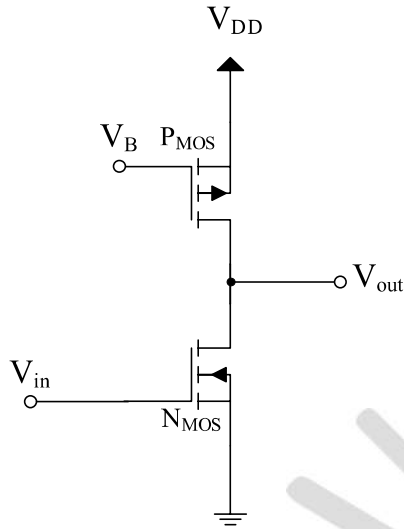
מצב	V_{in}	nMOS	V_{out}
A	$V_{in} < V_T$	קטעון	$\approx V_{DD}$
B	$V_{insat} > V_{in} > V_T$	רוויה	$V_{DSSat} \div V_{DD}$
C	$V_{in} > V_{insat}$	התנגדות	$> V_{DSSat}$

סימולציה

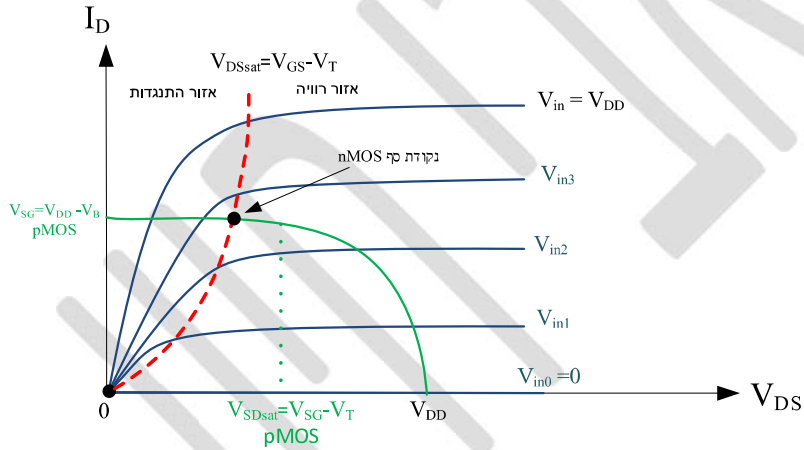
תוצאת אופיין מעבר מסימולטור עבור עומס של 1K ו-4K $K = \frac{K_P}{2} = 2.5m$ ו- $V_T = 0.5V$



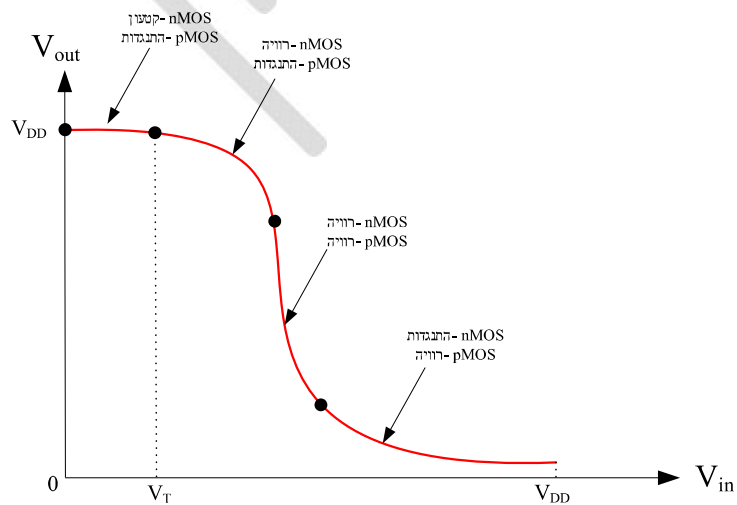
שער מהפך עם $pMOS$ מסוג Enhancement המשמש כ- $Pull Up$ או מקור זרם



מתח V_B קובע את מתח V_{SG} של ה- $pMOS$ וערכו צריך להיות קטן ב- V_T לפחות מ- V_{DD}



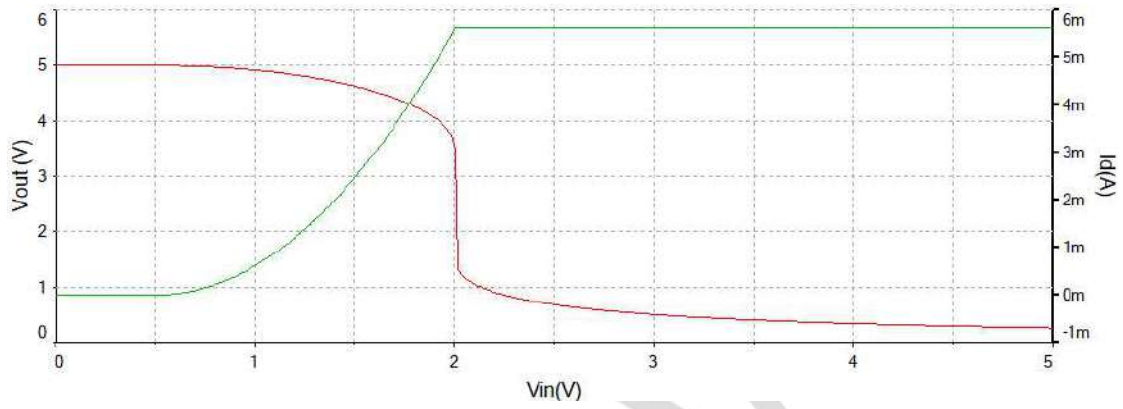
אופיין מעבר



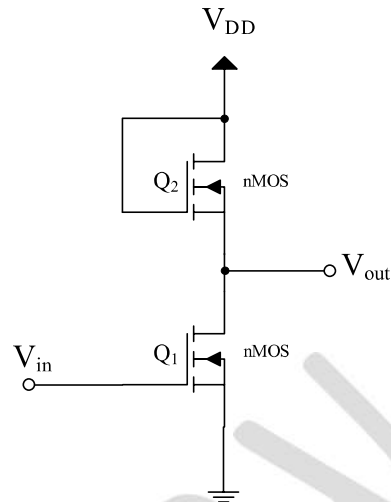
סימולציה

תוצאת אופיין מעבר מסימולטור עבור שני הטרנזיסטורים $V_B=3V$

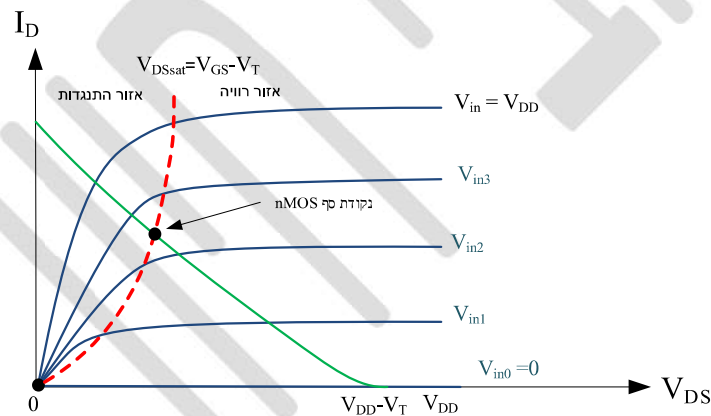
$$|V_T| = 0.5V \quad K = \frac{K_P}{2} = 2.5m$$



שער מהפך עם nMOS מסוג Enhancement המשמש כ - Pull Up (מקור זרם)



מתח $V_{GS}=V_{DS}$ של טרנזיסטור העומס, לכן תמיד מתקיים: $V_{DS} > V_{DSsat}=V_{GS}-V_T$ ואז טרנזיסטור העומס Q2 תמיד במצב רוויה.



טרנזיסטור העומס Q2 קובע את הזרם של Q1 וכאשר שני הטרנזיסטורים במצב רוויה :

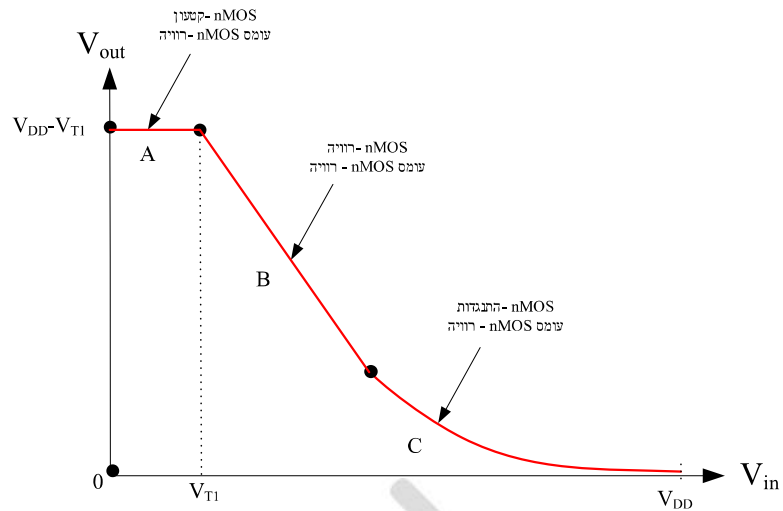
$$I_{D1} = I_{D2}$$

$$K_1(V_{GS1} - V_{T1})^2 = K_2(V_{GS2} - V_{T2})^2$$

$$K_1(V_{in} - V_{T1})^2 = K_2(V_{DS2} - V_{T2})^2$$

$$K_1(V_{in} - V_{T1})^2 = K_2(V_{DD} - V_{out} - V_{T2})^2$$

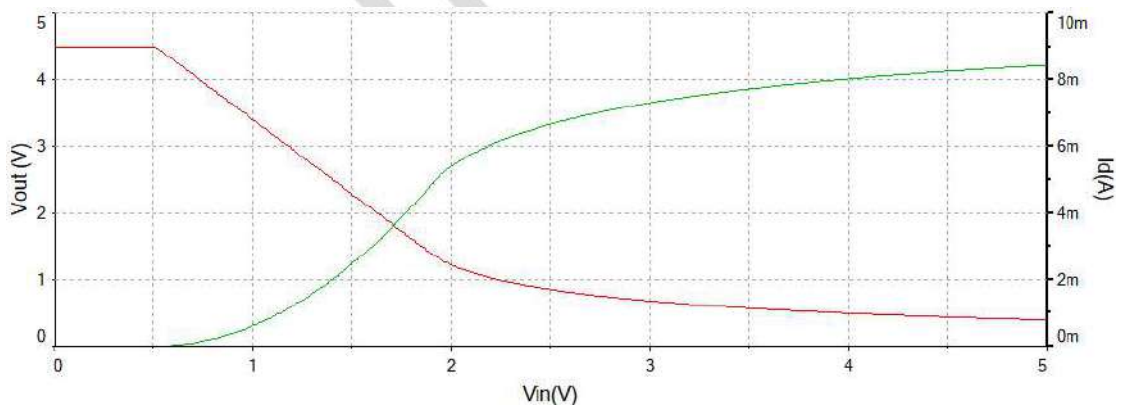
$$V_{out} = V_{DD} - V_{T2} - \sqrt{\frac{K_1}{K_2}}(V_{in} - V_{T1})$$



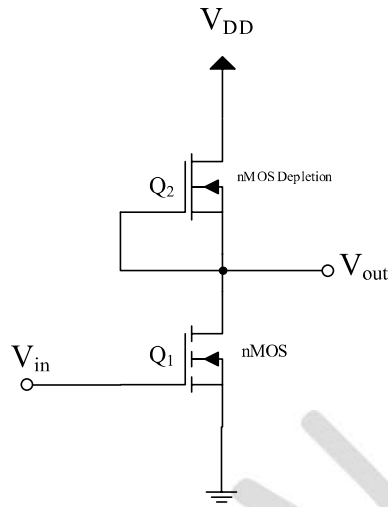
מצב	V_{in}	nMOS- Q1	Nmos – Q2 עומס	V_{out}
A	$V_{in} < V_{T1}$	קטעון	רוויה	$V_{DD} - V_{T1}$
B	V_{inB}	רוויה	רוויה	$V_{out} = V_{DD} - V_{T2} - \sqrt{\frac{K_1}{K_2}} (V_{in} - V_{T1})$
C	V_{inC}	התנגדות	רוויה	

סימולציה

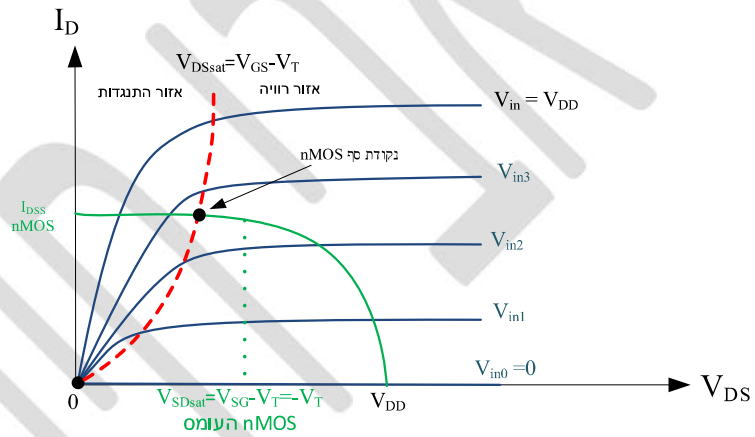
תוצאת אופיין מעבר מסימולטור עבור: $V_{T1} = V_{T2} = 0.5V$ $K_1 = 2.5m$ $K_2 = 0.5m$



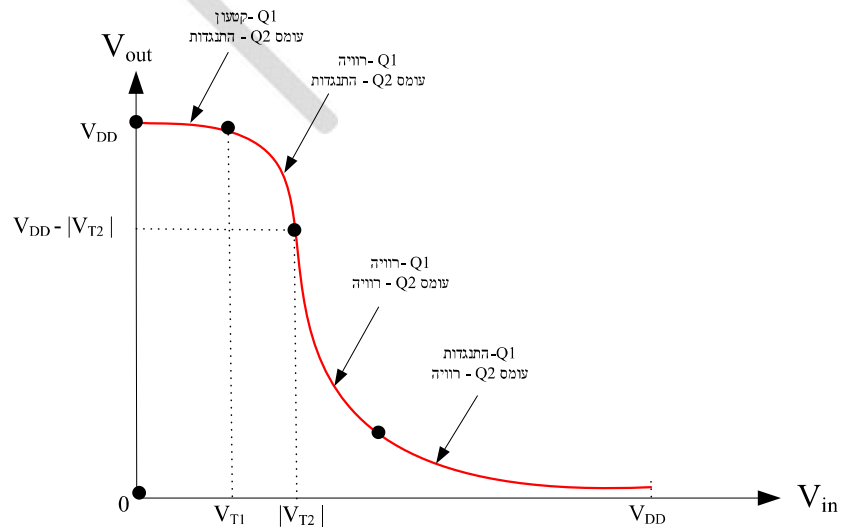
שער מהפך עם עומס $nMOS$ מסוג Depletion המשמש כ- $Pull Up$ או מקור זרם



מתח של טרנזיסטור העומס $V_{GS}=0$

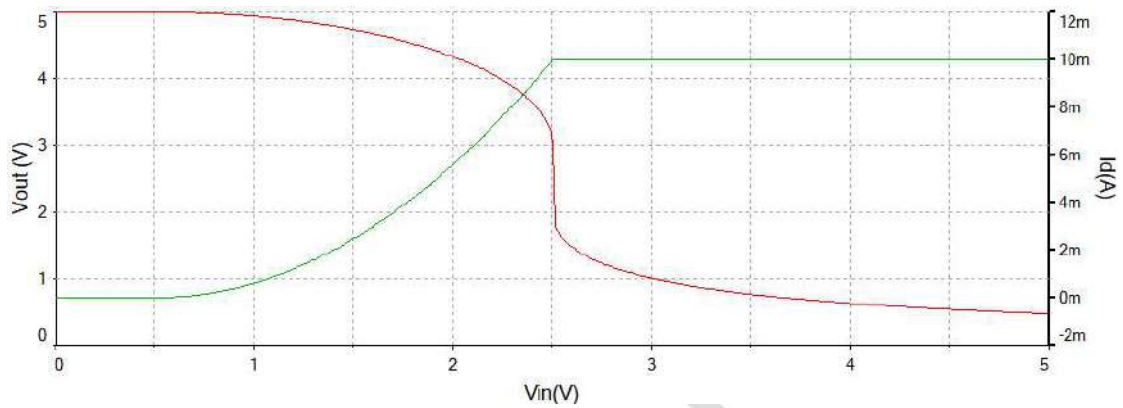


אופיין מעבר



סימולציה

תוצאת אופיין מעבר מסימולטור עבור : $V_{T1} = 0.5V$ $V_{T2} = -2V$ $K_1 = 2.5m$ $K_2 = 2.5m$



תוצאת אופיין מעבר מסימולטור עבור : $V_{T1} = 0.5V$ $V_{T2} = -2V$ $K_1 = 2.5m$ $K_2 = 1.25m$

