The Andrew and Erna Viterbi Faculty of ELECTRICAL & COMPUTER ENGINEERING

Technion Israel Institute of Technology



מעבדה ב- VLSI אנלוגי - 0450110

חלק א'

ביצוע הניסוי

מגישים :

http://www.ee.technion.ac.il/vlsi/

הערות נא לשלוח ל-goel@ee

כל הערה תתקבל בברכה!

עדכון אחרון - 11: 36 07/10/2024

מסמך זה כתוב בלשון זכר ע"מ להקל על הכתיבה אך מתייחס לנשים ולגברים כאחד. עמכם הסליחה.

הערה : בשני הסעיפים הראשונים, בין היתר, נשווה את הדיוק של המודל האנליטי (תאורטי) מול הסימולציות.

1. טרנזיסטור NMOS

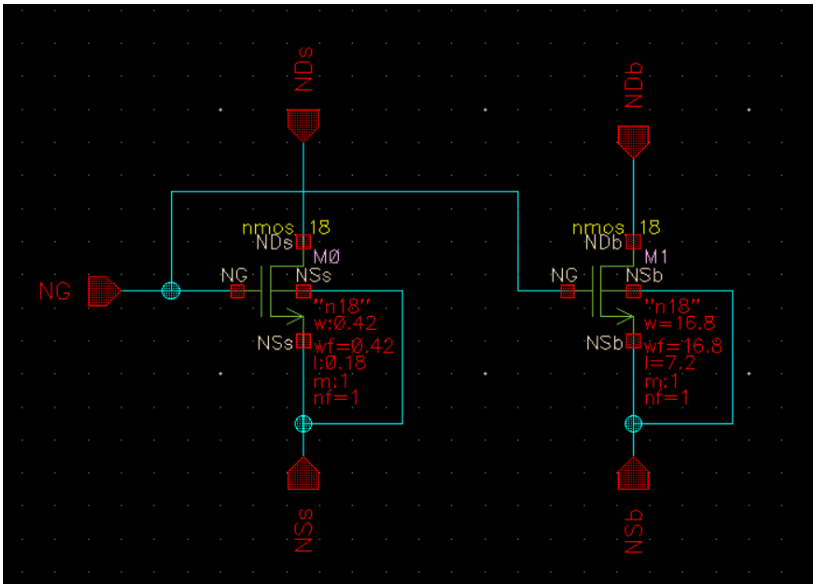
מטרות הסעיף:

שיחזור אופייני הטרנזיסטור והשוואה אותם עם החישוב התאורטי. אנו ננצל את הסעיף הזה על מנת ללמוד כיצד לצייר סכמת המעגל וסכמת לבדיקת המעגל. נשתמש בידע זה בכל יתר הסעיפים במהלך הניסוי. בנוסף נלמד כיצד מבצעים סימולציית DC Sweep.

ציור הסכמה :

בתא בשם Ntransistors (בספרית AnalogLab) צייר את הסכמה הבאה בהתאם להנחיות בחוברת הרקע. יש להשתמש במימדים שבסכמה. העזר בהסברים על כלי הפיתוח.

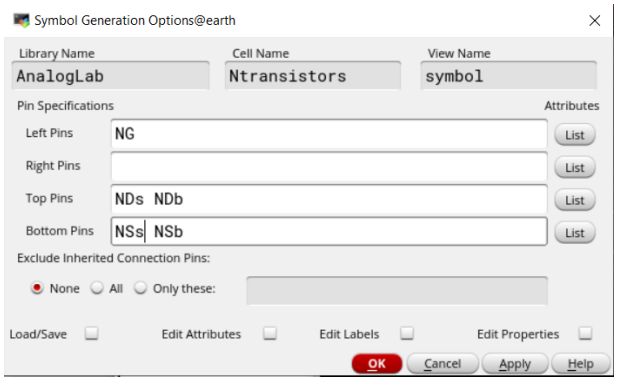
<u>חובה לבצע File->Check and Save בסיום ציור/עדכון כל סכמה.</u>



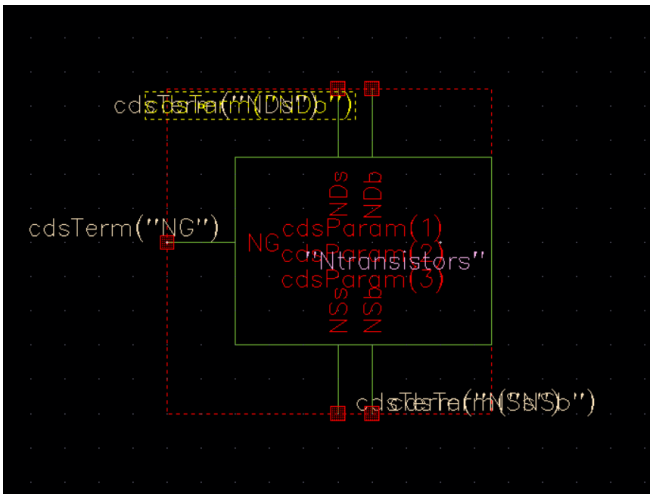
איור מס' 1: Ntransistors Schematic

יצירת Symbol של המעגל הנבדק:

ראשית נצור Symbol עבור המעגל שלנו. נבצע זאת עם Create->Cellview->From Cellview כפי שמוסבר בדפי ההסבר.



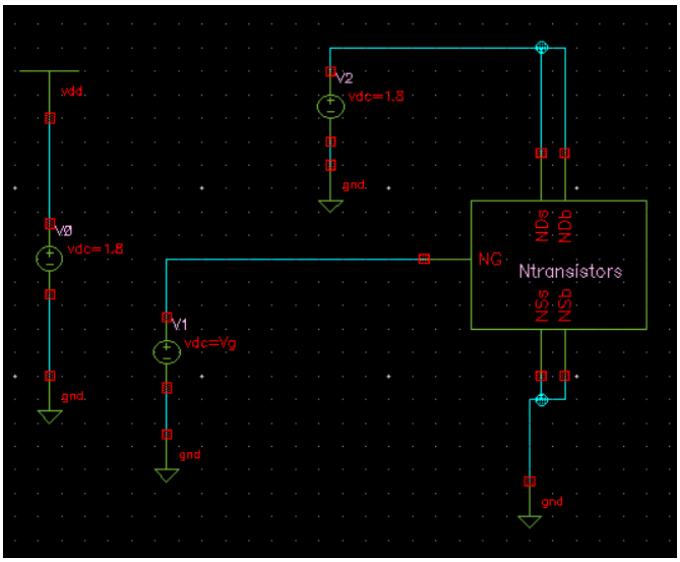
בעזרת Edit->Properties שנה את cdsName() לשם התא כלומר ל- "Ntransistors" (כולל הגרשיים) עבור המעגל הזה. הזז את השם למרכז המלבן.
מתקבל :



איור מס' 2 : Ntransistors Symbol

סכמה לבדיקת המעגל:

בתא בשם Ntransistors_Sim צייר את המעגל הבא :



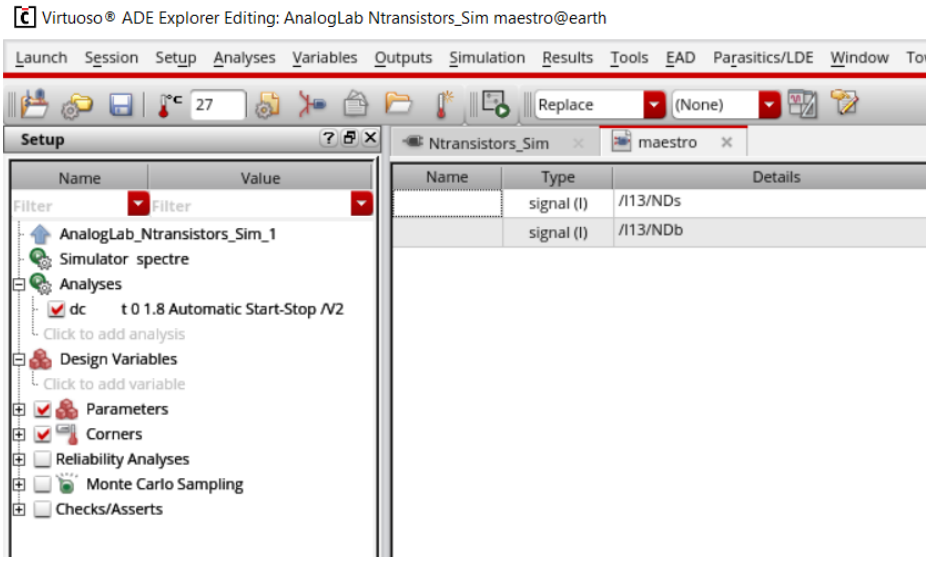
איור מס' 3 : Ntransistors_Sim Schematic

הערות :

- ערך המקור המחובר ל- NG = Vg. נגדיר אותו בהמשך.
- ערך המקור המחובר ל- Drain = 1.8V. אנו נשנה אותו בזמן סימולציה.
- כל הרשתות המחוברות ל-  או ל-  מקוצרות ביניהם בכל רמות ההיררכיה.
- קובעים את הערך של vdc ע"י בחירת המקור ושינוי ה- property עם לחיצה על RMB ו- Properties.

סימולציית המעגל :

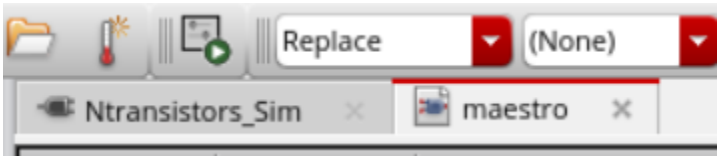
- הפעל את הכלי סימולציה בעזרת – Launch-> ADE Explorer ובחר באופציה Create New.



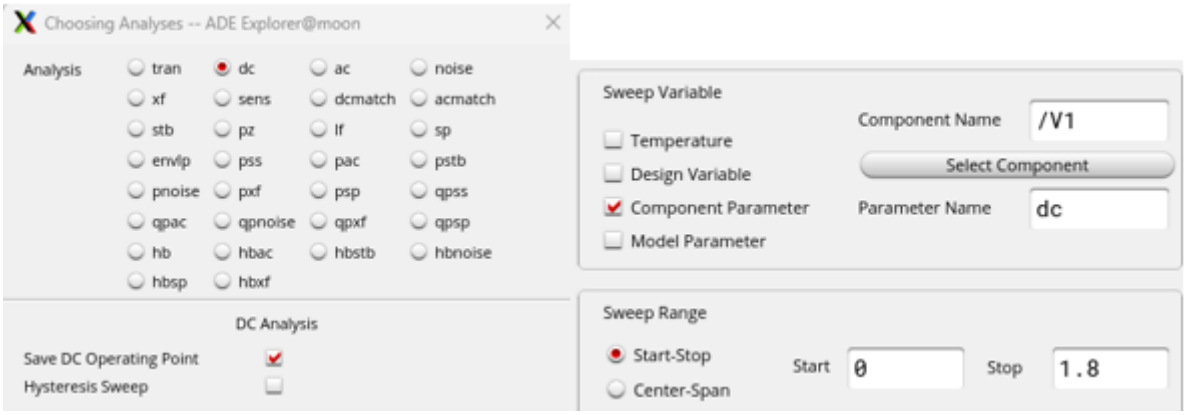
V_{GS} כפונקציה של I_{DS} - DC Sweep Analysis .1.1

- לחץ על הלשונית Ntransistors_sim.

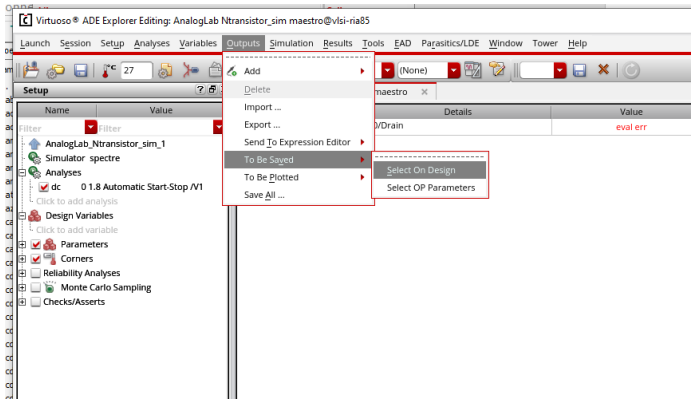
הערה : ניתן לעבור בין מסך ה-maestro לחלון ה- Schematic (Ntransistors_Sim) באמצעות הלשוניות :



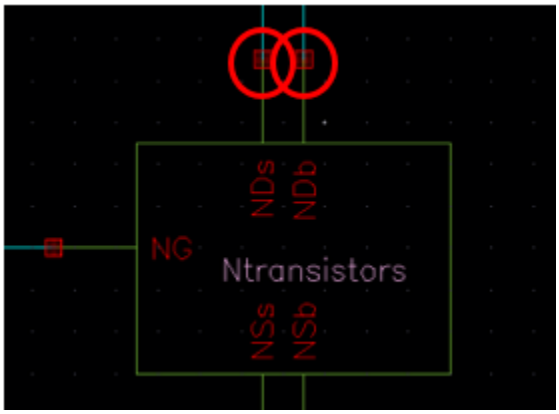
- לחץ על Analyses->Choose ואז על כפתור ה- dc.
- לחץ על Component Parameter ולחץ על Select Component ולחץ על המקור שמחובר ל – Gate. בחר ב dc ולחץ על OK. מלא את שאר הטופס בהתאם ל :



- לחץ על OK.
- לשמירת זרם ה- Drain לחץ על Outputs->To be Saved->Select on Design

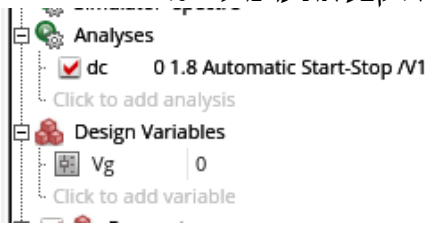


ולחץ על ההדקים NDs NDb (מסומנים בעיגולים אדומים):



איור מס' 4: Ntransistors_Sim Current Probes

- העבר את הסמן מעל Design Variable ולחץ על RMB (right mouse button). בחר ב- Copy From Cellview. יופיע המשתנה Vg. קבע את ערכו ל – 0.



- לחץ  לביצוע הסימולציה.

כאמור, סימולציה זאת מבצעת sweep analysis כלומר, משנה את מתח המקור מ- 1.8V ל- 0 ומציגה את הזרם כפונקציה של המתח.

- פתח חלון ה- calculator בעזרת Tools->Calculator.

- לחץ על is בחלון ה- calculator ובחר בהדק ה- NDs של הטרנזיסטור בסכמה. להדפסת הגרף, לחץ על  בחלון ה- calculator. חזור על הפעולה עבור NDb.

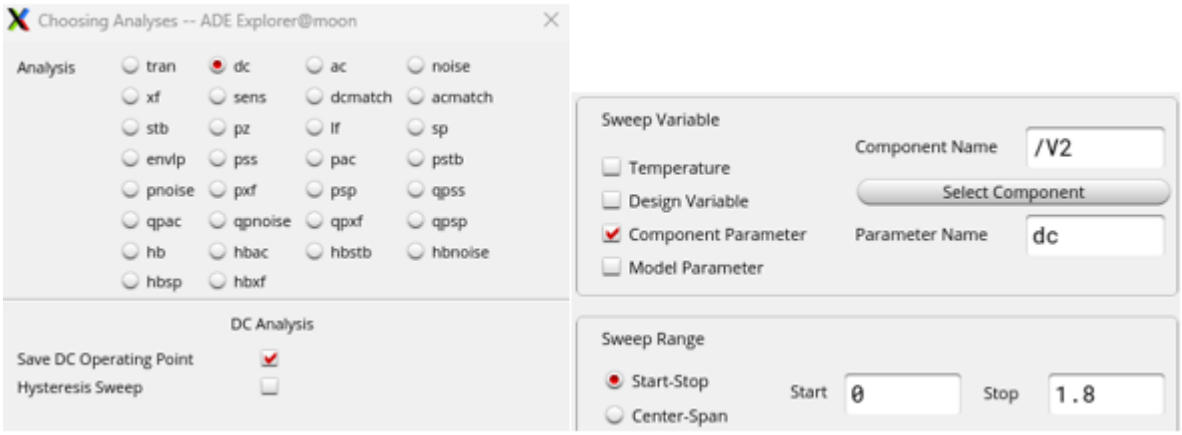
א. הוסף את הגרף לדו"ח.

ב. באיזה תחום נמצאים הטרנזיסטורים ?

- סגור את חלונות הסימולציה.

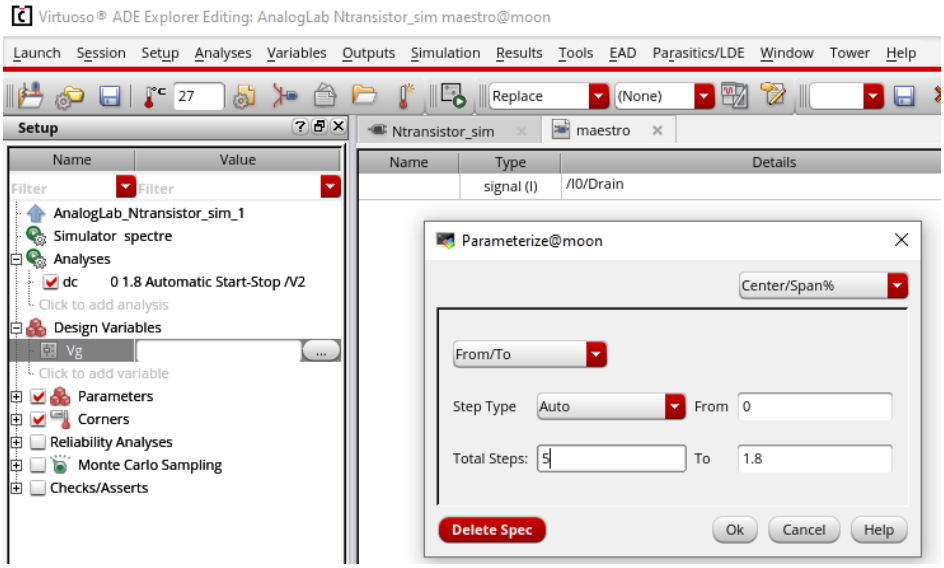
1.2. DC Sweep Analysis - I_{DS} כפונקציה של V_{DS}

- לחץ על Analyses->Choose ואז על כפתור ה- dc. שנה את הטופס כך ש ה- Sweep יתבצע על מתח ה- drain:



- לחץ על שלשת הנקודות שליד Vg ולמלא את החלון לפי הציור הבא ולחץ על OK.





לחץ על OK והרץ את הסימולציה.



- לחץ על is בחלון ה- calculator ובחר בהדק ה- NDs של הטרנזיסטור בסכמה. להדפסת הגרף, לחץ על בחלון ה- calculator.

א. הוסף את הגרף לדו״ח.

- חזור על הפעולה עבור NDb.

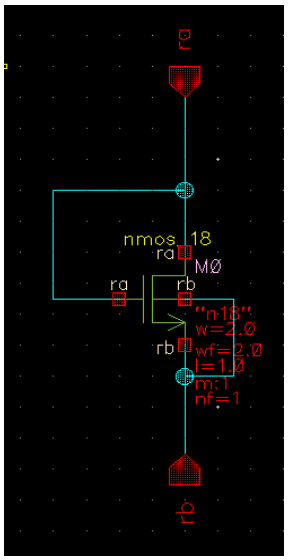
ב. הוסף את הגרף לדו"ח.
ג. באיזה תחום נמצאים הטרנזיסטורים ?
ד. רשום את ה- V_t שהתקבל עבור שני הטרנזיסטורים. להצגת ה- V_t לחץ על :
Results->Annotate->DC Operating Points
חשוב : פעולה זאת רושמת את נתוני ה- DC על הסכמה. ניתן לרדת לתוך המעגל ע"י בחירת Design->Hierarchy->Descend Edit (Shift E) בחירת ה- Ntransistors ולחיצה על OK. (חוזרים למעלה עם Design->Hierarchy->Return = Crtl E)

ה. עבור סעיף זה והקודם, השווה את התוצאה עם החישוב התאורטי עבור שני המקרים. שים לב שהיחס W/L עבור שני המקרים וגם עבור המקרה שבדו"ח ההכנה זהה. עבור אילו מימדים של הטרנזיסטור ערך הזרם בסימולציה קרוב יותר לערך הזרם התאורטי? הסבר מדוע.
- סגור את חלונות הסכמה הסימולציה.

2. נגד אקטיבי

I_{DS} - DC Sweep Analysis כפונקציה של V_{DS}

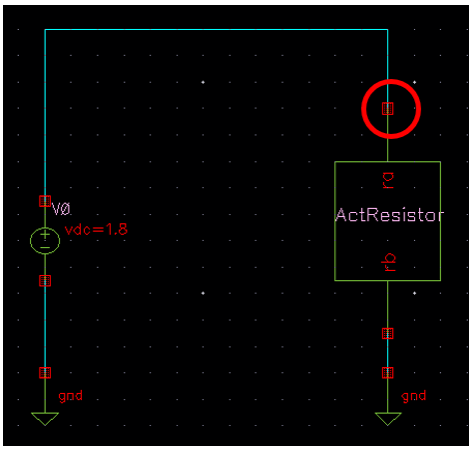
בסעיף הזה נממש "נגד" בעזרת טרנזיסטור. בתא בשם ActResistor צייר את הסכמה הבאה. שים לב ש : W/L = 2u/1u.



איור מס' 6: ActResistor Schematic

יצירת Symbol של המעגל הנבדק:
נבצע זאת עם Create->Cellview->From Cellview כפי שמוסבר בעמ' 3. עדכן את שם הרכיב.

סכמה לבדיקת המעגל:
בתא בשם ActResistor_Sim צייר את המעגל הבא :



איור מס׳ 7 :ActResistor_Sim Schematic

- הפעל את הכלי סימולציה בעזרת Launch->Explorer – ו- Create New
- לחץ על Analysis->Choose ואז על כפתור ה- dc. כפי שעשית בעמ׳ 4 הגדרה סימולציית sweep שבה המתח של VO משתנה מ -0 עד 1.8V.
- לחץ על OK.
- לשמירת זרם ה- Drain לחץ על Outputs->To be Saved->Select on Design ולחץ על ההדק של ה- ra.
- לחץ  לביצוע הסימולציה.
- פתח חלון ה- calculator בעזרת Tools->Calculator.
- לחץ על is בחלון ה- calculator ובחר בהדק ה- ra . להדפסת הגרף, לחץ על  בחלון ה- calculator.

א. הוסף את הגרף לדו״ח.

ב. חשב את התנגדות נגד האקטיבי מתוך שיפוע הגרף וגם בעזרת g_m. להצגת ה- g_m לחץ על :
Results->Annotate->DC Operating Points

חשוב : פעולה זאת רושמת את נתוני ה- DC על הסכמה. ניתן לרדת לתוך המעגל ע״י בחירת Design->Hierarchy->Descend Edit (Shift E) בחירת ה- ActResistor ולחיצה על OK. (חוזרים למעלה עם Design->Hierarchy->Return To Top = Crtl E)

ג. השווה את התוצאה עם החישוב התאורטי. הסבר.

חזור לחלון הסכמה. בחר בטרנזיסטור. בחר ב- ActiveRes ולחץ על:
Edit->Hierarchy->Descend Edit ולחץ על OK. בחר בטרנזיסטור ולחץ Edit->Properties->Objects (או לחץ על "q"). בחלון שנפתח ניתן לשנות את מימדי הטרנזיסטור. שנה את גודל הטרנזיסטור ל- W=20u L=10u. בצע Check & Save. חזור לרמה העליונה עם
Edit->Hierarchy->Return To Top : בצע Check & Save.

לחץ  לביצוע הסימולציה.

- פתח חלון ה- calculator בעזרת Tools->Calculator.
- לחץ על is בחלון ה- calculator ובחר בהדק ה- ra . להדפסת הגרף, לחץ על  בחלון ה- calculator.

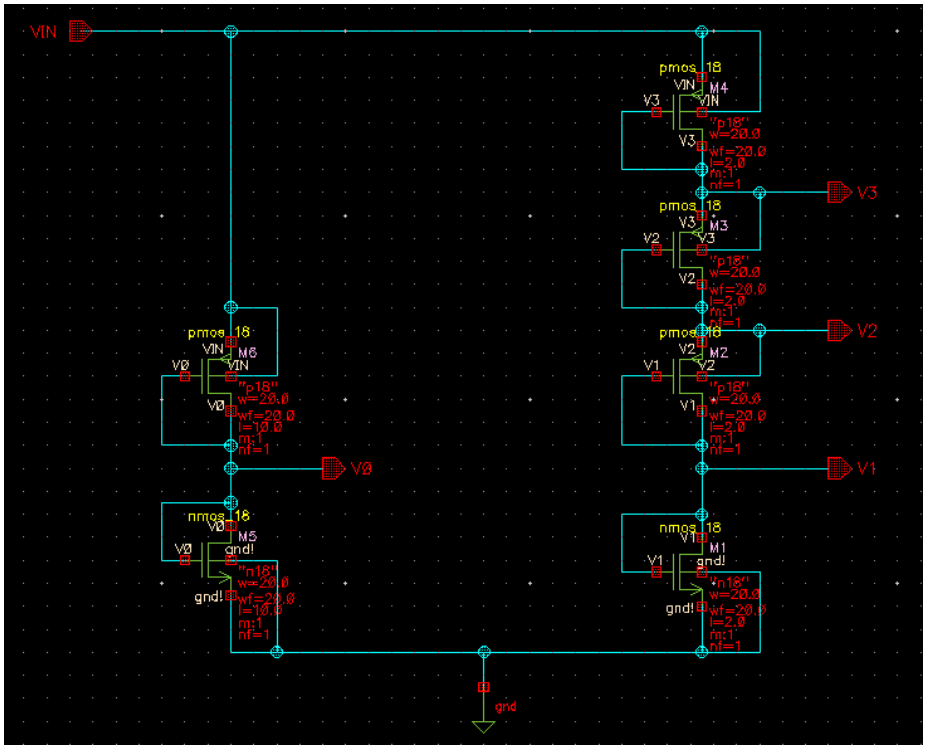
ד. הוסף את הגרף לדו״ח.

ה. חשב את התנגדות נגד האקטיבי מתוך שיפוע הגרף וגם בעזרת g_m.

ו. השווה את התוצאה עם החישוב התאורטי. הסבר.

3. מחלק מתח

בסעיף הזה נממש מחלק מתח בעזרת טרנזיסטורים. בתא בשם VoltDiv השלם את המעגל לפי הסכמה הבאה:



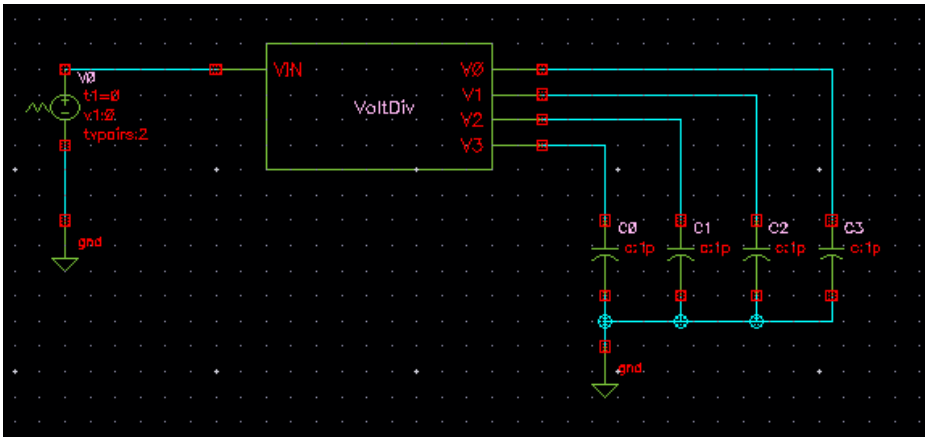
איור מס' 8: VoltDiv Schematic

יצירת Symbol של המעגל הנבדק:

נבצע זאת עם Create->Cellview->From Cellview כפי שמוסבר בעמ' 3. עדכן את שם הרכיב.

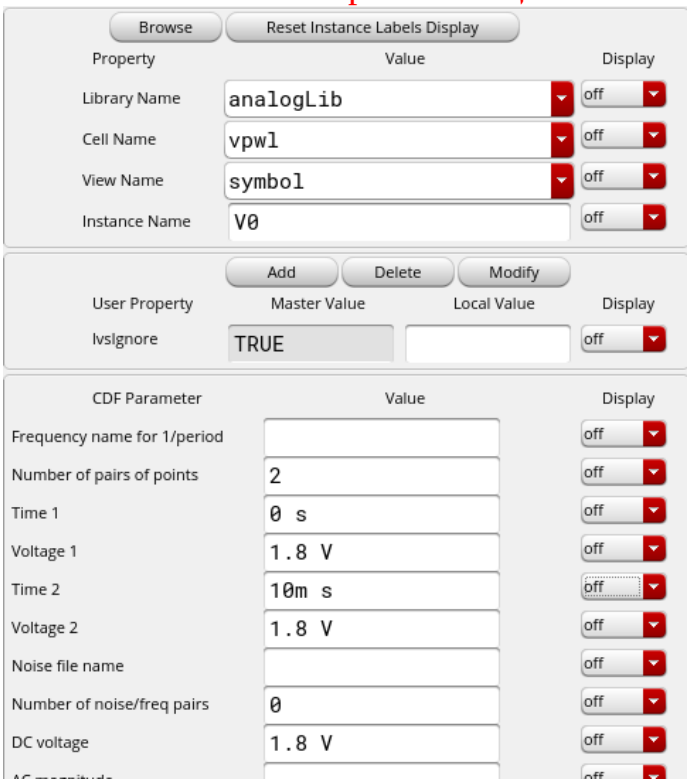
סכמה לבדיקת המעגל:

בתא בשם VoltDiv_Sim צייר את המעגל הבא:



איור מס' 9: VoltDiv_Sim Schematic

חשוב : בסעיף זה משתמשים במקור מסוג vpwl עם הערכים :

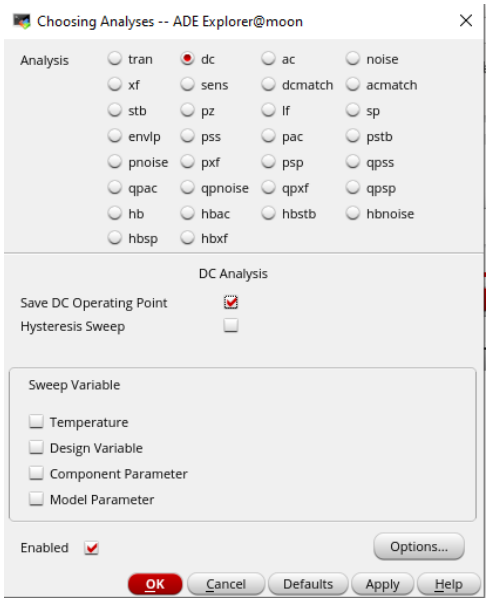


DC Analysis .3.1

- פתח את המעגל VoltDiv_Sim. שים לב שהפעם המעגל מוגדר כתא נפרד VoltDiv והמקורות מופיעים בהירכיה שמעל.

- הפעל את הכלי סימולציה בעזרת Launch-> ADE Explorer עם Create New.

- לחץ על Analyses->Choose ואז על כפתור ה- dc.



- לחץ  לביצוע הסימולציה.

- בחר ב- Results->Annotate->DC Node Voltages. פעולה זאת רושמת את המתחים של הצמתים על הסכמה. ניתן לרדת לתוך המעגל ע"י בחירת Design->Hierarchy->Descend Edit (Shift E) בחירת ה- VoltDiv ולחיצה על OK. (חוזרים למעלה עם Design->Hierarchy->Return (Crtl E =

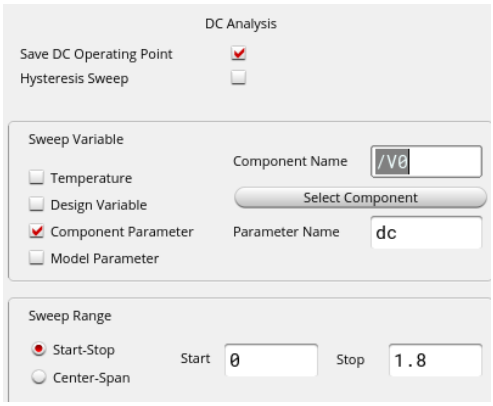
א. מועד לדעתך המימוש הוא בעזרת טרנזיסטורים גדולים ?

ב. הראה שכל הטרנזיסטורים ברוויה.

ג. מה המתחים V1,V0, V2 ו- V3 והזרמים בשני ענפי המעגל ? השוואה עם החישובים התאורטיים.

3.2 DC Sweep Analysis.

- כעת נשנה את מתח הכניסה מ- 0 ל- 1.8V. בחר ב- Analyses->Choose. לחץ על dc ואז על Component Parameter. לחץ על Select Component, בחר ברכיב V0 ואז בחר ב- dc ו- OK וגם OK בחלון של ה- Analyses->Choose. מלא את הטופס בהתאם ל-



- לחץ  לביצוע הסימולציה.

- פתח חלון ה- calculator ולחץ על כפתור ה- vs. כעת בחר בחוט המחובר ל V0 ולחץ על  בחלון ה- calculator. באותו אופן הצג את הגרף גם של V1, V2 ו- V3.

ב. צרף את הגרפים לדו"ח.

ג. האם המתחים משתנים באופן ליניארי ?

ד. מה הזרם בשני הענפים ? (Results->Annotate->DC Operating Points)

3.3 Transient Analysis – תדר נמוך

בסעיף הקודם ביצענו dc sweep analysis, כלומר שינינו את המתח מ- 0 עד 1.8V ועבור על ערך של מתח חושב הזרם עבורו. הפעם נשנה את המתח מ- 0 עד 1.8V **כפונקציה של הזמן** כדי להשוואות עם הריצה של dc_sweep. בסיום נדפיס גרף של הזרם כפונקציה של הזמן:

- בחר ב- Analyses->Choose. בחר ב- tran ולחץ על הכפתור Enabled. קבע את ה- Stop Time כ- 10m. לחץ על OK. חבה את סימולציית ה- dc.

- בחר במקור בסכמה. בחר ב- Edit->Properties->Objects. שנה את הערך של Voltage1 מ- 1.8 ל- 0. לחץ על OK.

- פעולה זאת מגדירה צורת גל של המתח שעולה מ- 0 עד ל- 1.8V ב- 10ms.

- בצע File->Check and Save

- בצע את הסימולציה.

- פתח חלון ה- calculator ולחץ על כפתור ה- vt. כעת בחר בחוט המחובר ל- V0 ולחץ על  בחלון ה- calculator. באותו אופן הצג את הגרף גם של V1, V2 ו- V3.

א. צרף את הגרפים לדו"ח.

ב. השווה את התוצאה עם הגרף שבסעיף הקודם. הסבר.

3.4 Transient Analysis – תדר גבוה

בחר ב- Analyses->Choose. בחר ב- tran ולחץ על Enabled. קבע את ה- Stop Time כ- 10u. לחץ על OK.

- בחר במקור בסכמה. בחר ב- Edit->Properties->Objects. שנה את הערך של ה- Stop Time ל- 10u. לחץ על OK.
- פעולה זאת מגדירה צורת גל של המתח שעולה מ- 0 עד ל- 1.8V ב- 10us.
- בצע File->Check and Save
- בצע את הסימולציה.
- פתח חלון ה- calculator ולחץ על כפתור ה- vt. כעת בחר בחוט המחובר ל- V0 ולחץ על  בחלון ה- calculator. באותו אופן הצג את הגרף גם של V1, V2 ו- V3.

א. צרף את הגרפים לדו"ח.

ב. השווה את התוצאה עם הגרף שבסעיף הקודם. הסבר את ההבדלים.

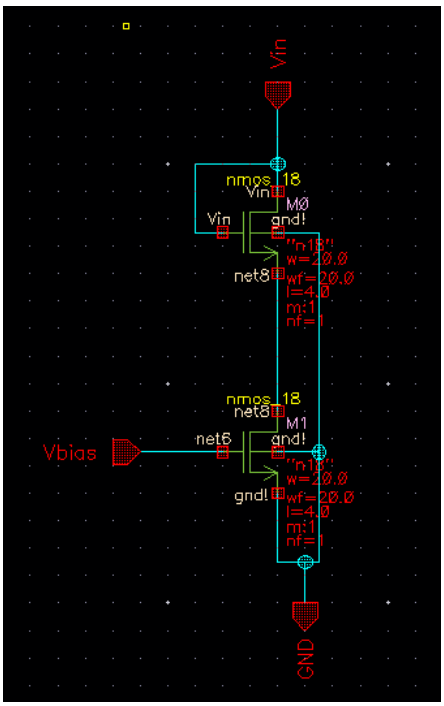
- סגור את חלונות הסכמה והסימולציה.

4. מקור זרם

DC Sweep Analysis

בשני הסעיפים הבאים נכיר ונאפיין מקורות זרם. נראה איך המקור השני משפר את זה שלפניו. על מנת לממש עומס משתנה ביציאה, נחבר מקור מתח שמשתנה מ- 0V ל- vdd.

ראשית נממש מקור זרם פשוט. בתא בשם CurSrc צייר את הסכמה הבאה:

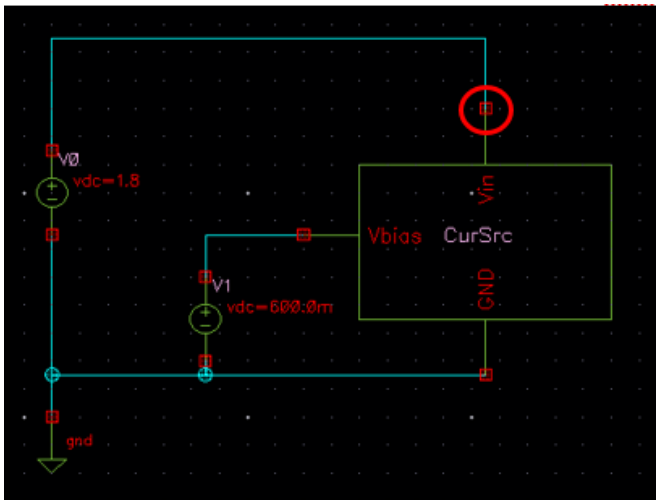


איור מס' 10: CurSrc Schematic

צור Symbol עבור תא זה.

סכמה לבדיקת המעגל:

בתא בשם CurSrc_Sim צייר את המעגל הבא :



איור מס' 11 :CurSrc_Sim Schematic

- הפעל את הכלי סימולציה בעזרת – Launch->Explorer ו- Create New
- כעת נשנה את מתח הכניסה מ- 0 ל- 1.8V. בחר ב- Analyses->Choose. לחץ על dc ואז על Component Parameter. לחץ על Select Component, בחר ברכיב V0 ואז בחר ב- dc ו- OK וגם OK בחלון של ה- Analyses->Choose - לחץ על Analyses->Choose ואז על כפתור ה- dc. שנה את V0 מ- 0 ל- 1.8V. סגור את החלון.
- לשמירת זרם דרך Vin לחץ על Outputs->To be Saved->Select on Design ובחר ב- Vin.
- בצע את הסימולציה.
- פתח חלון ה- calculator
- לחץ על כפתור ה- is בחלון ה- calculator ואז לחץ על הדק ה- Vin.
- לחץ על  בחלון ה- calculator והדפס גרף של הזרם כפונקציה של המתח.

א. צרף את הגרף לדו"ח.

ב. מתוך הגרף, מצא את I_D (כאשר Vdd=1.8V) ואת V_{MIN}.

ג. מתוך שיפוע הגרף (בתחום הרוויה) מצא את Ro.

ד. חזור על הסעיפים הנ"ל עבור יתר המקרים שבדו"ח ההכנה. צרף את הגרפים לדו"ח ואת הנתונים לטבלה שבדו"ח.

ה. מתוך הגרפים, מצא את I_D, V_{MIN} ו- Ro עבור יתר המקרים שבדו"ח ההכנה.

ו. השווה את תוצאות הסימולציה עם התוצאות האנליטיות. הסבר.