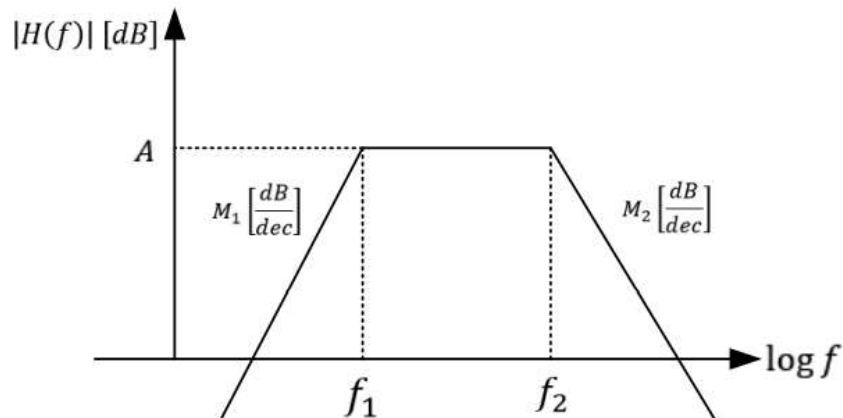


: Input differential. output differential

DESIGN LIMITATIONS:

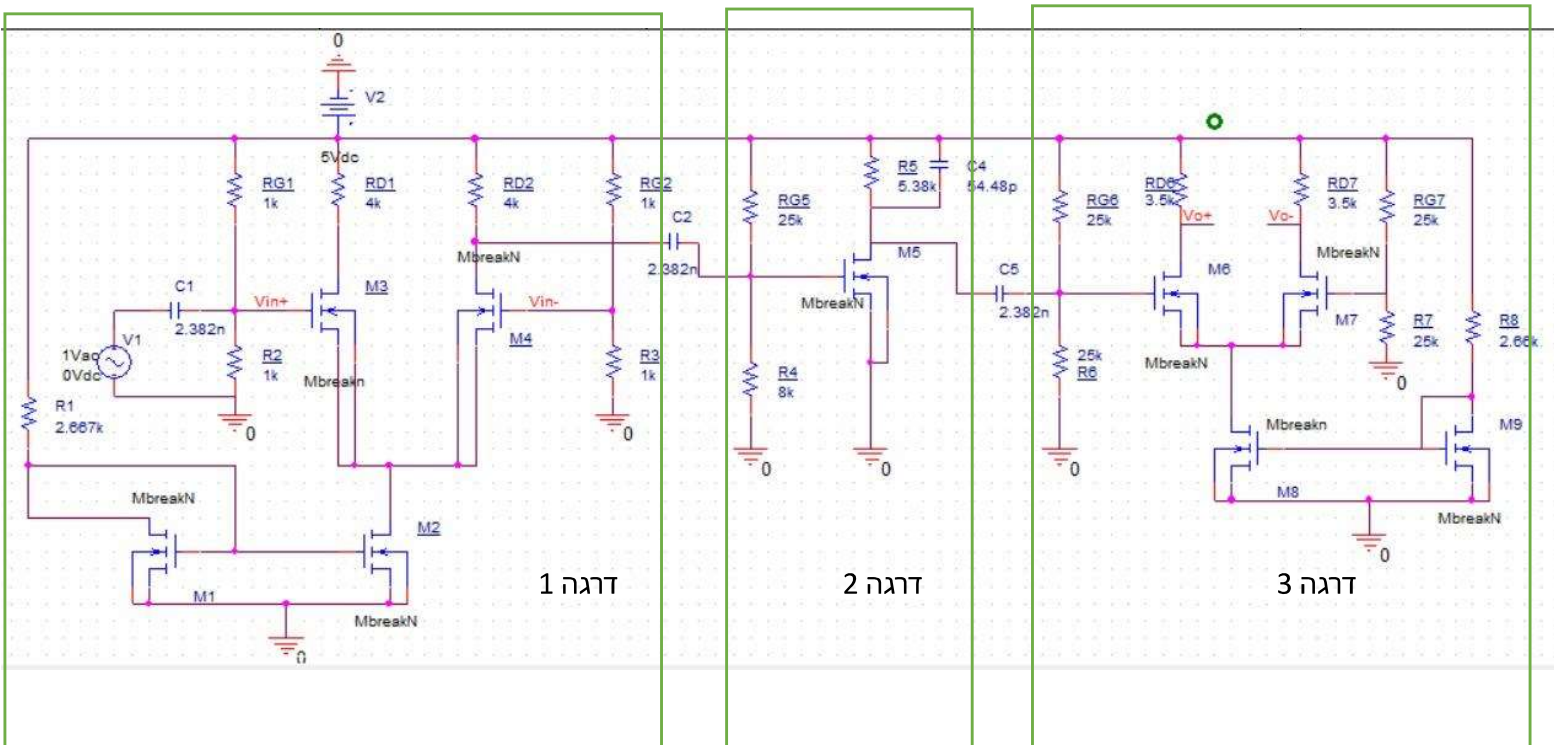
1. sum of used resistance < 5M Ω
2. sum of used capacitances < 1mF
3. supply voltage can be 5v and ground
4. tolerance of all required specs is 5% (5% from linear gain and not dB gain)
5. DC power dissipation should not go over 0.1W

Our amplifier transfer function should look like:



$A = 35 \text{ dB}$,
 $f_1 = 8 \text{ KHZ}$, $f_2 = 800 \text{ KHZ}$
 $M_1 = 20 \text{ dB}$, $M_2 = -20 \text{ dB}$
 $R_{out} = 7 \text{ KOHM}$
 $K = 1 \text{ MA/V}^2$
 $V_{th} = 0.5 \text{ v}$

Our circuit is:



מכאן והלאה נסביר על הפרויקט בעברית..

בחרנו לממש את המעגל שלנו, עם כניסה ומוצא דיפרנציאליים, בעזרת 3 דרגות:

דרגה 1:

מימשנו דרגת כניסה דיפרנציאלית כמתבקש, וזאת על ידי שימוש במגבר דיפרנציאלי שמומש על ידי טרנזיסטורים M3 ו-M4 מסוג NMOS ובהיבור common source, ועל ידי ראי זרם שממומש על ידי טרנזיסטורים M1 ו-M2 מסוג NMOS גם כן.

בשלב זה מטרתנו היא להעלות את ההגבר כמה שיותר, ואת זה השגנו על ידי השימוש בנגדים. מאחר שהטרנזיסטורים בתצורת CS, ההגבר שלהם נקבע על ידי ההתנגדות שרואה הdrain ועל ידי g_m אשר גדל ככל שמתח V_{GS} גדל. לכן, שימוש בנגדי gate וdrain גדולים יעזרו לנו למקסם את ההגבר. הקבלים C1, C2 מטרתם לדייק את תדרי הברך שלנו, ו-DC הם יהוו נתק שכן רלוונטים בתדרים נמוכים. ראי הזרם-מטרתו לקבע את הזרמים של המגבר הדיפרנציאלי שלנו, תוך הבטחה שהטרנזיסטורים ימצאו במצב רוויה. ב-DC ראי הזרם יבטיח לנו זרם קבוע ללא תלות בשינויי מתח הכניסה. טרנזיסטור M1 בהיבור דיודי כך שהgate מקוצר לdrain, מה שמבטיח לנו מצב רוויה.

מגבר דיפרנציאלי- sourcen של טרנזיסטורים M3 ו-M4 המרכיבים אותו, מחובר למקור זרם שממומש על ידי ראי הזרם שלנו, כך שהזרם הזורם דרך כל אחד מהטרנזיסטורים הללו ב-DC שווה למחצית מהזרם שמזרם מראי הזרם (הזרם דרכם שווה בגלל סימטריה ביניהם). מתח השער שלהם קבוע שכן מקור המתח המחובר ל-M3, עובר בדרכו בקבל C1 (קבל צימוד AC) אשר יהווה נתק כאשר אנו ב-DC. הקבל C2 יהווה נתק ב-DC והוא המחבר אותנו לדרגה הבאה, דרגה 2.

דרגה 2:

כאן מימשנו מגבר בהיבור common source על ידי טרנזיסטור M5. מטרתנו בשלב זה היא להבטיח הגבר מקסימלי. מאחר שהטרנזיסטור בתצורת CS, ההגבר שלו נקבע על ידי ההתנגדות שרואה הdrain ועל ידי g_m אשר גדל ככל שמתח V_{GS} גדל. לכן, שימוש בנגדי gate וdrain גדולים יעזרו לנו למקסם את ההגבר. מה שהשגנו על ידי שימוש בנגד drain R_5 שמטרתו גם להבטיח לנו את היותו של הטרנזיסטור ברוויה. את sourcen של טרנזיסטור M5 קיצרנו לאדמה כך שיובטח לנו שהוא לא יהיה בקיטעון. את gate של טרנזיסטור M5 חיברנו לנגדים R_4, R_5 על מנת לקבוע את מתח השער שלו (לפי מחלק מתח ביניהם). הקבל C4 מחובר במקביל לנגד R_5 (קבל קטן שרלוונטי רק בתדרים גבוהים, בתדרים נמוכים ו-DC יהווה נתק כך ש R_5 יהיה רלוונטי) ומטרתו לקבוע תדר ברך לתחום תדרים גבוהים, והקבל C5 יהווה נתק ב-DC שכן רלוונטי רק בתדרים נמוכים, וממנו נמשיך לדרגה הבאה, דרגה 3.

דרגה 3:

מימשנו דרגת יציאה דיפרנציאלית כמתבקש, וזאת על ידי שימוש במגבר דיפרנציאלי שמומש על ידי טרנזיסטורים M6 ו-M7 מסוג NMOS ובהיבור common source, ועל ידי ראי זרם שממומש על ידי טרנזיסטורים M8 ו-M9 מסוג NMOS גם כן.

בשלב זה מטרתנו היא להעלות ולדייק את ההגבר, ולקבוע את R_{out} כפי שנתבקשנו. הגדלת ההגבר- מאחר שהטרנזיסטורים בתצורת CS, ההגבר שלהם נקבע על ידי ההתנגדות שרואה הdrain ועל ידי g_m אשר גדל ככל שמתח V_{GS} גדל. לכן, שימוש בנגדי gate וdrain גדולים יעזרו לנו למקסם את ההגבר. דיוק ההגבר- הושג בעזרת נגדי drain R_{D6}, R_{D7} . התנגדות היציאה- היא כמובן $R_{D6} + R_{D7}$. ראי הזרם-מטרתו לקבע את הזרמים של המגבר הדיפרנציאלי שלנו, תוך הבטחה שהטרנזיסטורים ימצאו במצב רוויה. ב-DC ראי הזרם יבטיח לנו זרם קבוע ללא תלות בשינויי מתח הכניסה. טרנזיסטור M9 בהיבור דיודי כך שהgate מקוצר לdrain, מה שמבטיח לנו מצב רוויה.

מגבר דיפרנציאלי- sourcen של טרנזיסטורים M3 ו-M4 המרכיבים אותו, מחובר למקור זרם שממומש על ידי ראי הזרם שלנו, כך שהזרם הזורם דרך כל אחד מהטרנזיסטורים הללו ב-DC שווה למחצית מהזרם שמזרם מראי הזרם (הזרם דרכם שווה בגלל סימטריה ביניהם).

מתח השער שלהם גם כן קבוע שכן החיבור לgate של טרנזיסטור M6 למגבר CS שלנו מדרגה 2, עובר בדרכו בקבל C5 אשר יהווה נתק כאשר אנו ב-DC, ואת המתח כמובן קיבענו על ידי שימוש בנגדי הגate.

קבלים – הקבלים C1, C2, C5 רלוונטיים לתדרים נמוכים, קבל C4 רלוונטי לתדרים גבוהים.

בהתאם קבענו את מיקומם ואת צורת החיבור שלהם.

קבל C1 – קבל צימוד AC המהווה נתק ב-DC, והוא מאפשר לנו את הניתוח הנפרד.

קבלים C2, C5 – קבלי צימוד בין הדרגות השונות במעגל, המהווים נתק ב-DC, כך שנוכל לנתח כל דרגה בנפרד כך שלא מושפעת משאר הדרגות במעגל ב-DC.

קבל C4 – קבל קטן, המחובר במקביל לנגד R_5 drain. ב-DC ובתדרים נמוכים יהווה נתק כך שהנגד יהיה רלוונטי, ובתדרים גבוהים יהיה רלוונטי כך שיקצר את הנגד R_5 ויביא לירידת ההגבר בתדרים גבוהים.

נגדים – הנגדים ששימשו להגדרת מתח השער בכל הטרנזיסטורים שמשמשים כמגברים

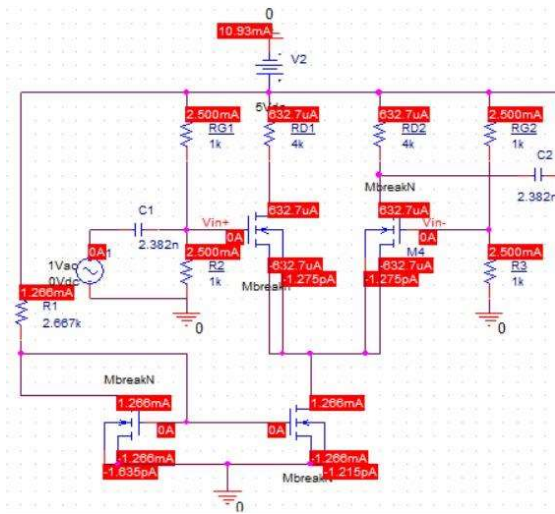
(M3, M4, M5, M6, M7) נבחרו בצורה כזאת כך שמתח השער שלהם יהיה נמוך יחסית, כך שנוכל להשתמש ב R_D גדולים, זאת בכדי להשיג הגבר גבוה (למרות ש g_m [שמקיים יחס מקורב של שורש של V_{GS}] יקטן במעט, עדיין נקבל הגדלה כי הגדילה תהיה לינארית ב R_D וההקטנה היא בקירוב בשורש V_{GS}) ועדיין להישאר ברוויה.

ניתוח נקודת עבודה DC:

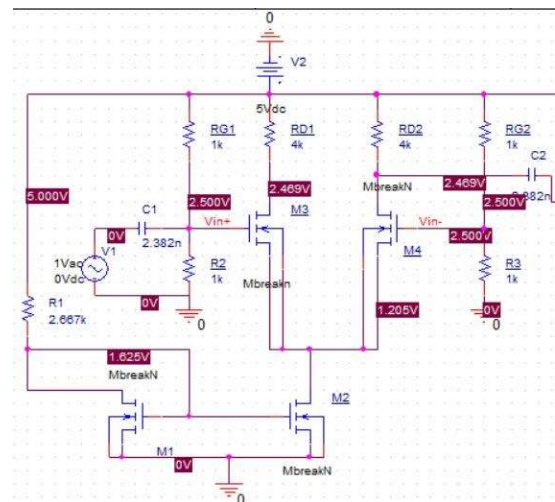
כעת ננתח את נקודת העבודה DC עבור כל דרגה וכל טרנזיסטור בה. נקודת העבודה של כל טרנזיסטור נקבעת לפי הנגדים במעגל.

הדרישה היא כמובן שכל הטרנזיסטורים יהיו במצב רוויה, ולשם כך נדרוש כמובן את התקיימות התנאים הבאים: (א') $V_{TH} < V_{GS}$ (ב') $V_{GS} - V_{TH} \leq V_{DS}$. נשתמש כמובן בנוסחא עבור זרם I_{DS} עם ערכי הפרמטרים הבאים: $V_{TH} = 0.5 [V]$, $\lambda = 0$, $K = 1 \left[\frac{mA}{V^2} \right]$. מסוג (NMOS), ונקבל את הנוסחא (1) $I_{DS} = K \cdot (V_{GS} - V_{TH})^2 = 10^{-3} (V_{GS} - 0.5)^2$ עבור הזרם בכל טרנזיסטור. בעת הניתוח שלנו נשתמש גם בחוק אוהם (2) $V = R \cdot I$.

דרגה 1:



זרמי DC דרגה 1



מתחי DC דרגה 1

טרנזיסטור M1 - בחיבור דיודי (gate מקוצר לdrain) לכן מתקיים $V_{DS1} = V_{GS1}$ ומאחר שהsource מקוצר

לאדמה אף מתקיים $V_{GS1} = V_{G1} - V_{S1} = V_{G1}$

מחוק אוהם (2) נקבל: $V_{DD} - I_{DS1} \cdot R_1 = V_{DS1} = V_{GS1} = V_{G1} \rightarrow V_{G1} = 5 - 2.667 \cdot 10^3 \cdot I_{DS1}$ את הנ"ל נציב לנוסחא (1) עבור זרם I_{DS} כך ש:

$$I_{DS1} = 10^{-3} \cdot (5 - 2.667 \cdot 10^3 \cdot I_{DS1} - 0.5)^2 = 10^{-3} \cdot (4.5 - 2.667 \cdot 10^3 \cdot I_{DS1})^2$$

נקבל מפתרון המשוואה הנ"ל: $V_{GS1} = V_{DS1} = 1.625 [V]$, $I_{DS1} = 1.265 [mA]$

ניתן לראות שתנאים (א') ו(ב') עבור רוויה מתקיימים עבור טרנזיסטור M1.

טרנזיסטורים M3, M4 – משמשים כמגבר דיפרנציאלי כך שהם סימטרים זה לזה, לכן בטרנזיסטורים אלו זורם בהם אותו זרם I_{DS} והמתח V_{GS} שלהם גם כן זהה, ולכן נסתפק בניתוח אחד מהם שיהיה נכון גם עבור השני.

נבחר לנתח את טרנזיסטור M3.

$$V_{G3} = V_{DD} \cdot \frac{R_2}{R_2 + R_{G1}} = 5 \cdot \frac{1 \cdot 10^3}{1 \cdot 10^3 + 1 \cdot 10^3} = 2.5 [V] \text{ :M3 של השער}$$

מאחר שראי הזרם שמרכיבים M2 ו M1 מזרים לכל אחד מהטרנזיסטורים מחצית מהזרם

$$I_{DS3} = I_{DS4} = 0.632 [mA] \text{ זורם זרם M4 ו M3 מטרנזיסטורים}$$

$$V_{GS} = \sqrt{\frac{I_{DS}}{K}} + V_{TH} \quad (3) \text{ נבודד מנוסחא (1) עבור זרם } I_{DS} \text{ את } V_{GS} \text{ ונקבל את הנוסחא}$$

$$V_{GS3} = 1.294 \text{ [V]} \text{ נציב עבור } V_{GS3} \text{ ונקבל}$$

$$V_{S3} = V_{G3} - V_{GS3} = 1.204 \text{ [V]} \text{ מההגדרה (4) } V_{GS} = V_G - V_S \text{ והצבה עבור טרנזיסטור M3 נקבל}$$

$$V_{D3} = V_{DD} - I_{DS3} \cdot R_{D1} = 5 - 0.632 \cdot 4 = 2.472 \text{ [V]} \text{ מחוק אוהם (2) נקבל}$$

$$V_{DS3} = V_{D3} - V_{S3} = 1.268 \text{ [V]} \text{ ושוב, מההגדרה (5) } V_{DS} = V_D - V_S \text{ נקבל עבור טרנזיסטור M3}$$

$$I_{DS3} = I_{DS4} = 0.632 \text{ [mA]}, V_{DS3} = V_{DS4} = 1.268 \text{ [V]}, V_{GS3} = V_{GS4} = 1.294 \text{ [V]}$$

נסכם: ניתן לראות שעבור טרנזיסטורים M3 ומ4 מתקיימים תנאים (א') ו(ב') לרוויה.

טרנזיסטור M2 - הsource של טרנזיסטור M2 מקוצר לאדמה כך ש $V_{S2} = 0$ וכן הdrain של טרנזיסטור זה הוא source של המגבר הדיפרנציאלי המורכב מ3 ומ4 ולכן נקבל סך הכל:

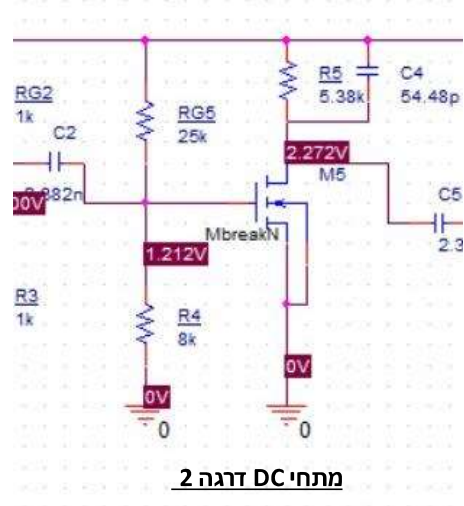
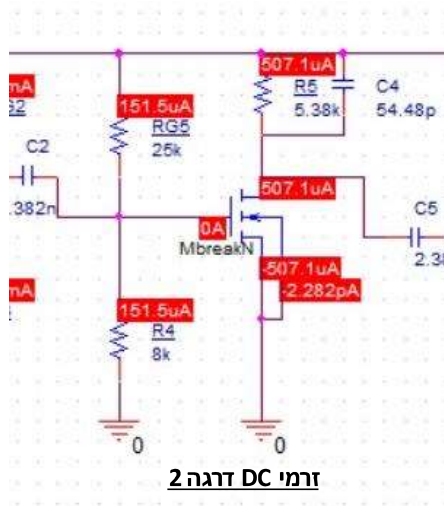
$$V_{DS2} = V_{D2} - V_{S2} = V_{D2} = V_{S3} = 1.204 \text{ [V]} \text{ בנוסף, בראי זרם מתקיים עבור M1 ומ2 מתח } V_{GS}$$

$$\text{זהה, ולכן } V_{GS2} = V_{GS1} = 1.624 \text{ [V]}. \text{ כמו כן, זורם בM2 ובM1 אותו זרם } I_{DS2}.$$

$$V_{DS2} = 1.204 \text{ [V]}, I_{DS2} = 1.265 \text{ [mA]}, V_{GS2} = 1.625 \text{ [V]}$$

נסכם: ניתן לראות שעבור טרנזיסטור M2 מתקיימים תנאים (א') ו(ב') לרוויה.

דוגמה 2:



טרנזיסטור M5 - בחיבור CS. הsource של הטרנזיסטור מקוצר לאדמה ולכן $V_{S5} = 0$ ונקבל מההגדרה

$$V_{DS5} = V_{D5} - V_{S5} = V_{D5} \text{ וכן } V_{GS5} = V_{G5} - V_{S5} = V_{G5}$$

ממחלק מתח נמצא את מתח השער של M5:

$$V_{GS5} = V_{G5} = V_{DD} \cdot \frac{R_4}{R_4 + R_{G5}} = 5 \cdot \frac{8 \cdot 10^3}{25 \cdot 10^3 + 8 \cdot 10^3} = 1.212 \text{ [V]}$$

נציב את הנ"ל בנוסחא (1) לזרם זרם I_{DS} ונקבל:

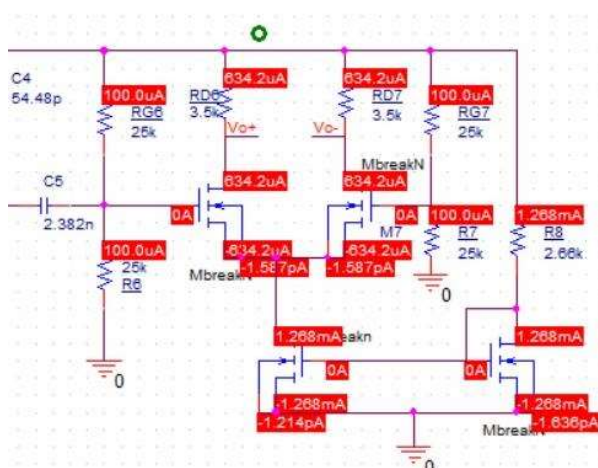
$$I_{DS5} = 10^{-3} \cdot (1.212 - 0.5)^2 = 10^{-3} \cdot (0.712)^2 = 0.506 \text{ [mA]}$$

$$V_{DS5} = V_{D5} = V_{DD} - I_{DS5} \cdot R_5 = 5 - 0.506 \cdot 5.38 = 2.277 \text{ [V]} \text{ נקבל (2) מחוק אוהם}$$

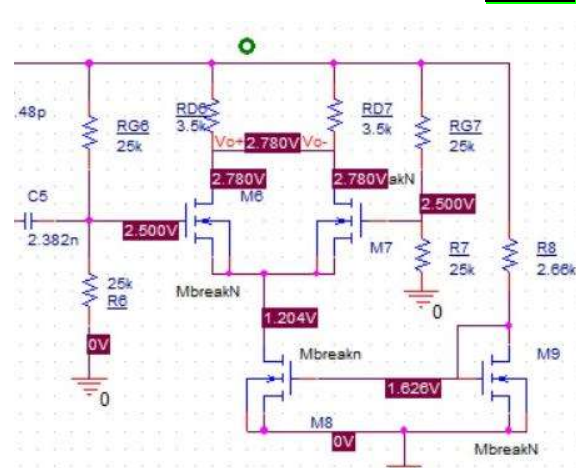
$$I_{DS5} = 0.506 \text{ [mA]}, V_{GS5} = 1.212 \text{ [V]}, V_{DS5} = 2.277 \text{ [V]}$$

נסכם: ניתן לראות שעבור טרנזיסטור M5 מתקיימים תנאים (א') ו(ב') לרוויה.

דוגמה 3:



זרמי DC דוגמה 3



מתחי DC דוגמה 3

טרנזיסטור M9- בחיבור דיודי (gate מקוצר drain) לכן מתקיים $V_{DS9} = V_{GS9}$ ומאחר שהסורס מקוצר לאדמה אף מתקיים $V_{GS9} = V_{G9} - V_{S9} = V_{G6}$
 מחוק אוהם (2) נקבל: $V_{DD} - I_{DS9} \cdot R_{11} = V_{DS9} = V_{GS9} = V_{G9} \rightarrow V_{G9} = 5 - 2.66 \cdot 10^3 \cdot I_{DS9}$
 את הנ"ל נציב לנוסחא (1) עבור זרם I_{DS} כך ש:
 $I_{DS9} = 10^{-3} \cdot (5 - 2.66 \cdot 10^3 \cdot I_{DS9} - 0.5)^2 = 10^{-3} \cdot (4.5 - 2.66 \cdot 10^3 \cdot I_{DS9})^2$
 המשוואה הנ"ל: $V_{GS9} = V_{DS9} = 1.628 [V]$, $I_{DS9} = 1.268 [mA]$
 ניתן לראות שתנאים (א') ו(ב') עבור רוויה מתקיימים עבור טרנזיסטור M9.

טרנזיסטורים M6, M7 – משמשים כמגבר דיפרנציאלי כך שהם סימטרים זה לזה, לכן בטרנזיסטורים אלו זורם בהם אותו זרם I_{DS} והמתח V_{GS} שלהם גם כן זהה, ולכן נסתפק בניתוח אחד מהם שיהיה נכון גם עבור השני. נבחר לנתח את טרנזיסטור M6.

$$V_{G6} = V_{DD} \cdot \frac{R_6}{R_6 + R_{G6}} = 5 \cdot \frac{25 \cdot 10^3}{25 \cdot 10^3 + 25 \cdot 10^3} = 2.5 [V] \text{ :M6 של השער}$$

מאחר שראי הזרם שמרכיבים M8 ו M9 מזרים לכל אחד מהטרנזיסטורים מחצית מהזרם
 $I_{DS6} = I_{DS7} = 0.634 [mA]$ נקבל שבכל אחד מטרנזיסטורים M6 ו M7 זורם זרם

$$V_{GS} = \sqrt{\frac{I_{DS}}{K}} + V_{TH} \quad (3) \text{ נקבל את } V_{GS} \text{ עבור זרם } I_{DS} \text{ את } V_{GS} \text{ ונקבל את הנוסחא}$$

$$V_{GS6} = 1.296 [V] \text{ נציב עבור } V_{GS6}$$

$$V_{S6} = V_{G6} - V_{GS6} = 1.203 [V] \text{ מההגדרה (4) } V_{GS} = V_G - V_S \text{ והצבה עבור טרנזיסטור M6 נקבל}$$

$$V_{D6} = V_{DD} - I_{DS6} \cdot R_{D6} = 5 - 0.634 \cdot 3.5 = 2.781 [V] \text{ נקבל (2) מחוק אוהם}$$

$$V_{DS6} = V_{D6} - V_{S6} = 1.577 [V] \text{ ושוב, מההגדרה (5) } V_{DS} = V_D - V_S \text{ נקבל עבור טרנזיסטור M6}$$

$$I_{DS6} = I_{DS7} = 0.634 [mA], V_{DS6} = V_{DS7} = 1.577 [V], V_{GS6} = V_{GS7} = 1.296 [V] \text{ נסכם:}$$

ניתן לראות שעבור טרנזיסטורים M6 ו M7 מתקיימים תנאים (א') ו(ב') לרוויה.

טרנזיסטור M8- הsource של טרנזיסטור M8 מקוצר לאדמה כך ש $V_{S8} = 0$ וכן הdrain של טרנזיסטור זה הוא source של המגבר הדיפרנציאלי המורכב מ M6 ו M7.

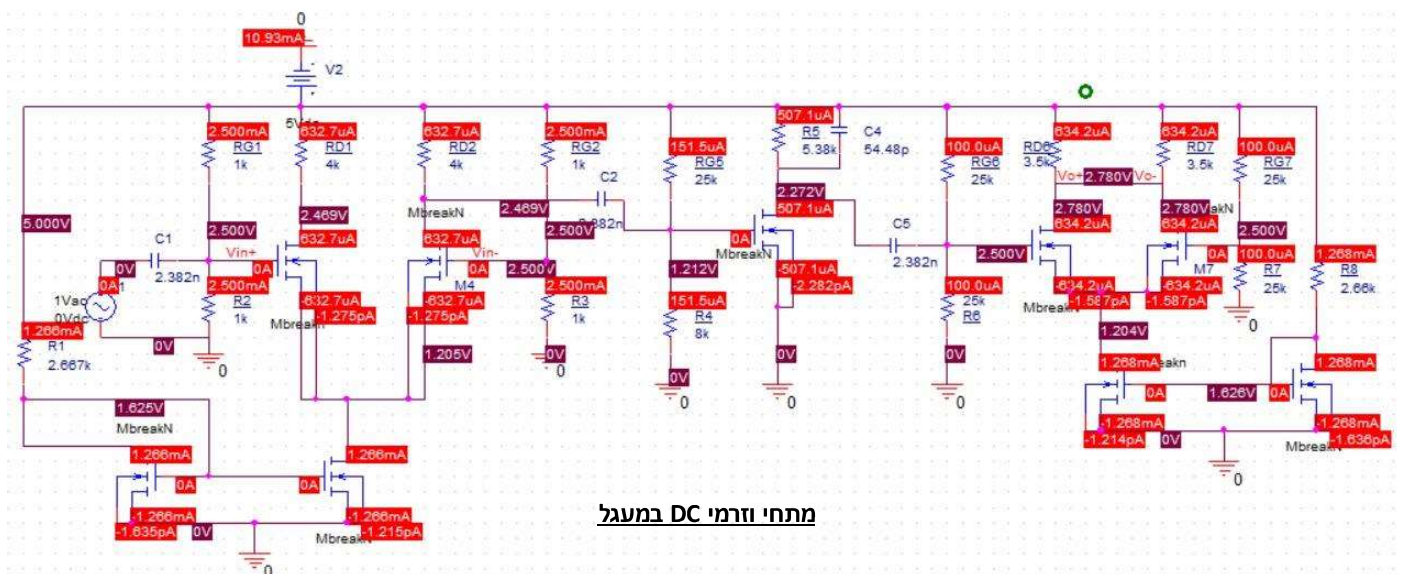
בראי זרם מתקיים עבור M8 ו M9 מתח V_{GS} זהה, ולכן $V_{GS8} = V_{GS9} = 1.628 [V]$. כמו כן, זרם ב M8 וב M9 אותו זרם $I_{DS9} = I_{DS8} = 1.268 [mA]$.

ועבור מתח V_{DS8} מתקיים $V_{DS8} = V_{D8} - V_{S8} = V_{S6} = 1.203 [V]$.

נסכם: $V_{DS8} = 1.203 [V]$, $I_{DS8} = 1.268 [mA]$, $V_{GS8} = 1.628 [V]$
 ניתן לראות שעבור טרנזיסטור M8 מתקיימים תנאים (א') ו (ב') לרוויה.

נסכם בטבלה את נקודת העבודה לכל טרנזיסטור:

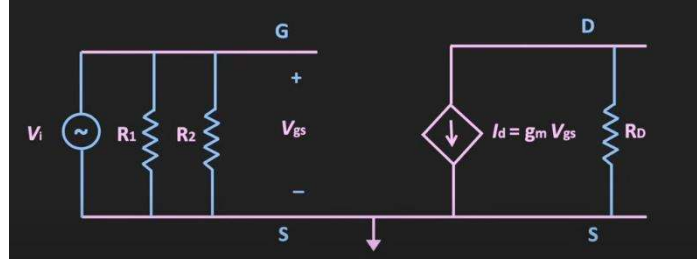
טרנזיסטור	$I_{DS} [mA]$	$V_{GS} [V]$	$V_{DS} [V]$
M1	1.265	1.625	1.625
M2	1.265	1.624	1.204
M3	0.632	1.294	1.268
M4	0.632	1.294	1.268
M5	0.506	1.212	2.277
M6	0.634	1.296	1.577
M7	0.634	1.296	1.577
M8	1.268	1.628	1.203
M9	1.268	1.628	1.628



ניתוח באות קטן AC:

כל הטרנזיסטורים שלנו המשמשים כמגברים (M7,M6,M5,M4,M3) מחוברים בתצורת COMMON SOURCE.

סכמת התמורה באות קטן עבור תצורת CS נתונה באיור הבא:



עבור תצורת CS מתקיים במודל אות קטן :

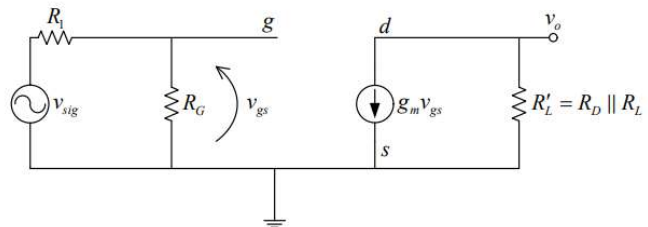
$$g_m = 2K \cdot (V_{GS} - V_{TH}) \text{ ותחת רווייה } g_m = 2\sqrt{K \cdot I_{DS}} \quad (1)$$

$$r_{DS} = \frac{1}{\lambda I_{DS}} \text{ במקרה שלנו } \lambda=0 \text{ ולכן } r_{DS} \rightarrow \infty \quad (2)$$

$$(3) \text{ הגבר: } A_v = -g_m \cdot R_{out} \text{ ובמגבר דיפרנציאלי: } A_v = \frac{-g_m \cdot R_{out}}{2}$$

בתדרי ביניים הקבלים C5,C2,C1 הממוקמים בין הדרגות במעגל ישמשו כקצר, ולכן בדרגות 1 ו2, יתקיים: drain מהחוצה שרואים החוצה מהחוצה $R_{out(2)} = R_5 || R_{G6} || R_6$, $R_{out(1)} = R_{D2} || R_{G5} || R_4$ כוללת גם את נגדי השער של הדרגה הסמוכה המחוברים במקביל לנגד drain בטרנזיסטור הנוכחי.

באיור הבא מתוארת **סכמת תמורה למגבר CS בתדרי ביניים** המתארת את המצב הנ"ל (במעגל שלנו של M5,M4) כאשר $R_G = R_{G1} || R_{G2}$ וכן $R_L = R_{G1(next)} || R_{G2(next)}$.



ובדרגה 3 יתקיים $R_{out(3)} = R_{D7} + R_{D6}$

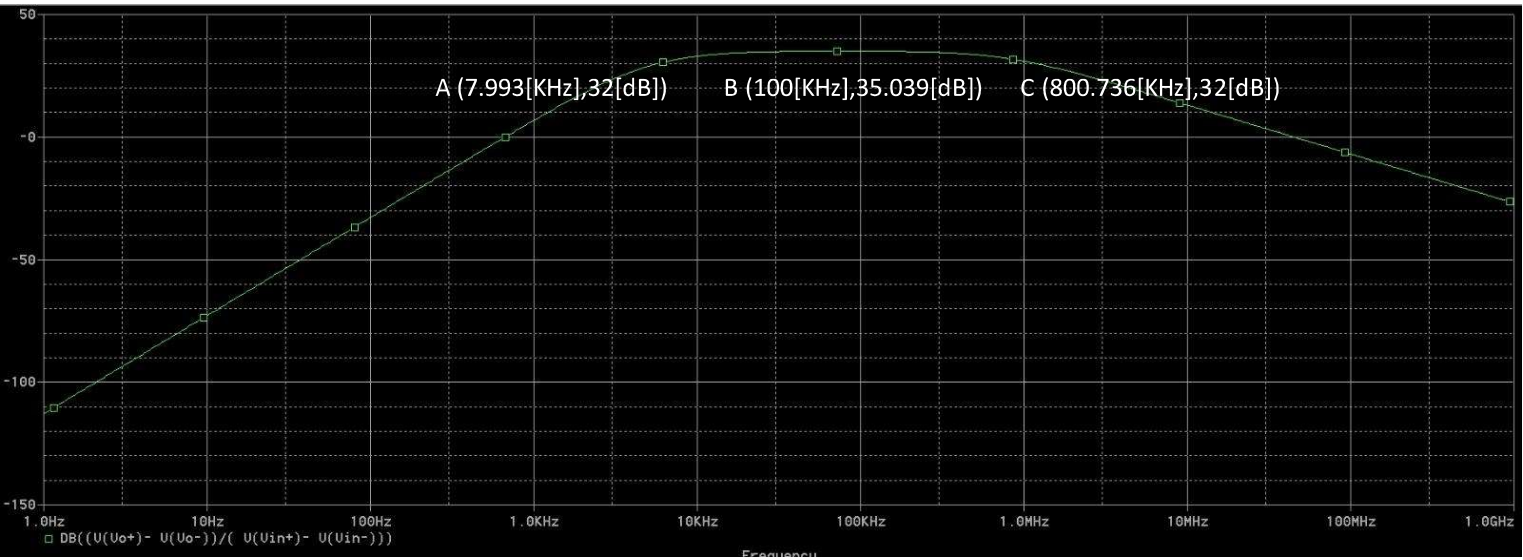
נסכם את החישובים בטבלה:

דרגה	$g_m [1/K\Omega]$	$R_{out} [K\Omega]$	$ A_v (lin) $	$A_v [dB]$
1	1.588	2.409	1.912	5.633
2	1.422	3.761	5.348	14.564
3	1.592	7	5.572	14.920
סה"כ				35.117

ההגבר שקיבלנו בחישובים, $35.117 [dB]$ (בלינארי 56.996), הוא בעל שגיאה יחסית (בחשוב על סמך לינארי) של 1.33% ביחס להגבר הרצוי שלנו הלוא הוא $35 [dB]$ (בלינארי 56.234), וביחס להגבר שקיבלנו בסימולציה שהוא $35.039 [dB]$ (בלינארי 56.487) קיבלנו סטייה חישובית של 0.89%.

תוצאות הסימולציה:

גרף הגבר:



(*) לא הצלחנו לקבוע את cursorn של הנקודות על הגרף, לכן הזנו ידנית. ניתן לראות גם בטבלה למטה.

שיפוע בירידה:

Trace Color	Trace Name	Y1	Y2	Y1 - Y2
	X Values	100.000M	10.000M	90.000M
CURSOR 1,2	DB((V(Vo+)-V(Vo-))/(V(Vin+)-V(Vin-)))	-7.0017	12.972	-19.974

שיפוע בעלייה:

Trace Color	Trace Name	Y1	Y2	Y1 - Y2
	X Values	1.0000K	100.000	900.000
CURSOR 1,2	DB((V(Vo+)-V(Vo-))/(V(Vin+)-V(Vin-)))	6.7613	-32.858	39.619

תדרי ברך:

Trace Color	Trace Name	Y1	Y2
	X Values	7.9935K	800.736K
CURSOR 1,2	DB((V(Vo+)-V(Vo-))/(V(Vin+)-V(Vin-)))	32.000	32.000

הגבר בתדרי ביניים:

Trace Color	Trace Name	Y1	Y2	Y1 - Y2
	X Values	100.000K	100.000K	0.000
CURSOR 1,2	DB((V(Vo+)-V(Vo-))/(V(Vin+)-V(Vin-)))	35.039	35.039	0.000

ניתן לראות את שיעורי נקודות Y1=A Y2=C בטבלה זו ^

ניתן לראות את שיעורי נקודה B בטבלה זו ^

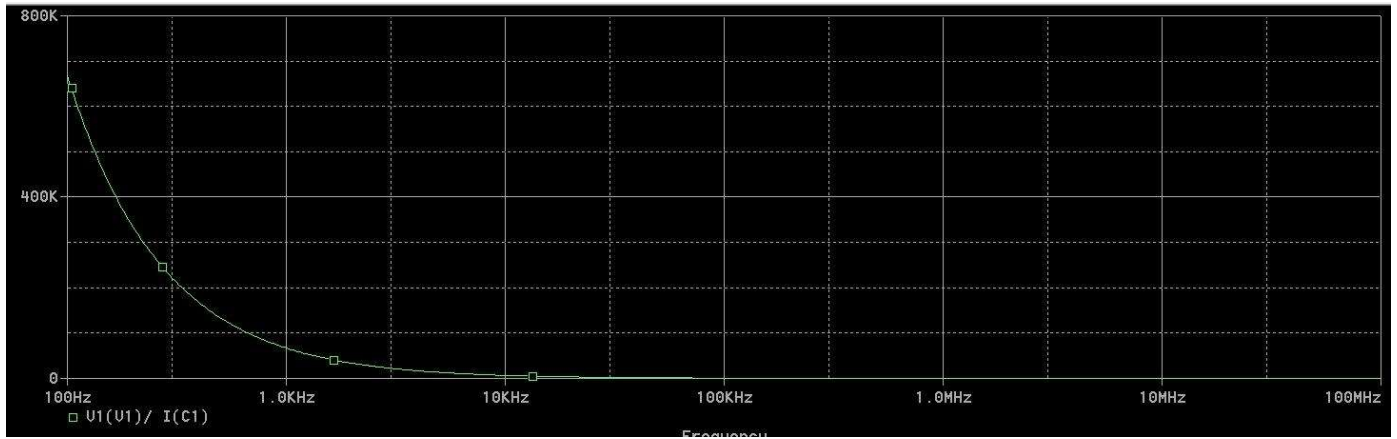
הגבר בתדרי ביניים: ההגבר בתדרי ביניים שקיבלנו בסימולציה הינו 35.039 [dB].
ההגבר הרצוי שלנו הוא 35 [dB] (בלינארי 56.234), וביחס להגבר שקיבלנו בסימולציה שהוא 35.039 [dB] (בלינארי 56.487) קיבלנו סטייה של 0.44%.
תדר ברך f1: נדרשנו לתדר ברך f1=8 [KHz] וקיבלנו בסימולציה f1=7.9935 [KHz], כלומר קיבלנו שגיאה יחסית של 0.08%.
תדר ברך f2: נדרשנו לתדר ברך f2=800 [KHz] וקיבלנו בסימולציה f2=800.736 [KHz], כלומר קיבלנו שגיאה יחסית של 0.09%.
שיפוע M1: השיפוע M1 (שיפוע עלייה) לו נדרשנו הוא 40 [dB/dec] וקיבלנו בפועל שיפוע של 39.619 [dB/dec], סה"כ שגיאה יחסית של 0.952%.
שיפוע M2: השיפוע M2 (שיפוע ירידה) לו נדרשנו הוא -20 [dB/dec] וקיבלנו בפועל שיפוע של -19.974 [dB/dec], כלומר סה"כ שגיאה יחסית של 0.998%.

התנגדויות כניסה ויציאה:

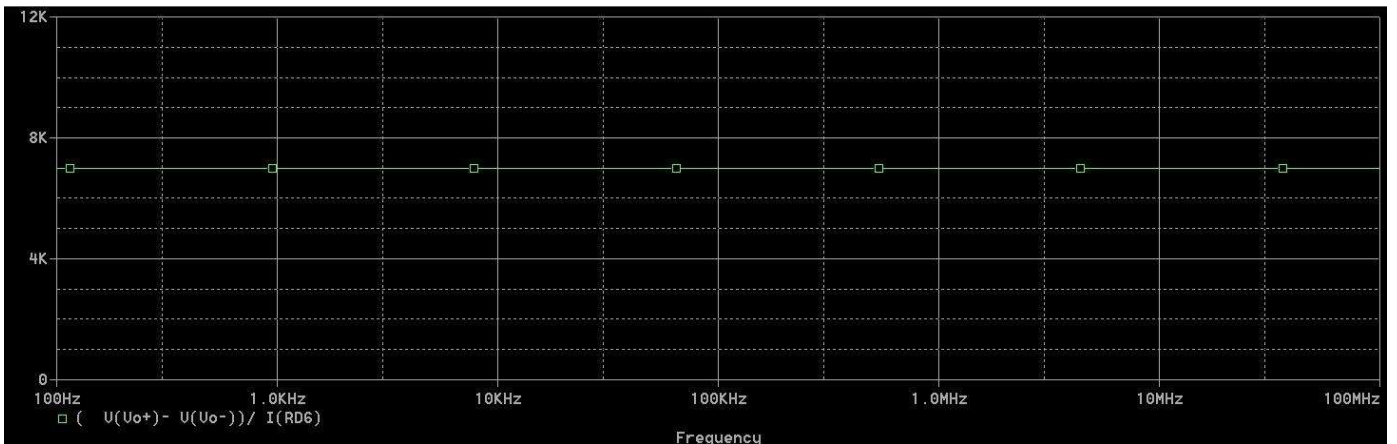
התנגדות כניסה: חיברנו למקור המתח שלנו קבל C1 בטור, כך שבתדרים נמוכים קבל זה ישמש כנתק. עם עליית התדר, קבל זה יתקצר והתנגדות הכניסה תקטן.

בתדרים גבוהים, הקבל יהווה קצר כך שהתנגדות הכניסה תהיה קבועה וערכה יהיה

$$R_{in} = R_{G1} || R_2 = 0.5 [K\Omega] = 500 [\Omega]$$



התנגדות יציאה: לפנינו מגבר דיפרנציאלי, והתנגדות היציאה מוגדרת כ $R_{out} = R_{D7} + R_{D6} = 7 [K\Omega]$ (ערכה כנדרש), והיא קבועה ולא תלויה בתדר.



נספחים והערות:

עמידה במגבלות פרויקט:

- (*) סכום הנגדים הכולל במעגל שלנו הוא $266.827 \text{ [K}\Omega\text{]}$, כלומר קטן מ $5 \text{ [M}\Omega\text{]}$ כנדרש.
 - (*) סכום הקבלים במעגל שלנו הוא 7.2 [nF] , כלומר קטן מ $1 \text{ [}\mu\text{F]}$ כנדרש.
 - (*) הספק מקור מתח DC שלנו הוא -54.63 [mW] , כלומר בערך מוחלט קטן מ 0.1 [W] כנדרש.
- ניתן לראות זאת בנספח 1 המתאר את ההספקים במעגל DC.

