

דוח מכין 4

מגשים:

אריאל רנה

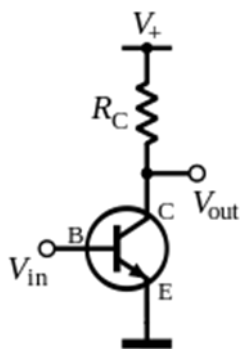
אור שאול

1.1. טרנזיסטור BJT הוא רכיב אלקטרוני העשוי ממוליך למחצה. מבנה הרכיב הוא שתי דיודות המחוברות גב אל גב כך שנוצר רכיב בעל שלושה אזורים מאולחים, כך שבקצוות ישנם איזורים בעלי סוג אילוח זהה (אך יכולה להיות בכמות שונה) ובאמצע אילוח מהסוג השני (כלומר, NPN או PNP) לטרנזיסטור שלושה הדקים - Base, Emitter, Collector. בהתאם למתחים בין הדקים האלו ניתן לקבוע את מצב העבודה והפונקציונליות של הטרנזיסטור. ישנם 4 מצבי פעולה:

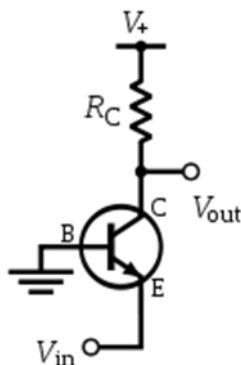
- **קיטעון** - מתקיים כאשר $V_{be}, V_{bc} < 0$, שתי הדיודות בטרנזיסטור בממתח אחורי ולכן לא עובר זרם בין ההדקים.
- **פעיל קדמי** - כאשר $V_{be} > 0$ & $V_{bc} < 0$, בתנאי ש $V_{be} > V_{be, on}$ (~0.7V) נקבל זרם בטנזיסטור בעל ערך קבוע.
- **פעיל אחורי** - כאשר $V_{be} < 0$ & $V_{bc} > 0$, זהו המצב ההפוך מפעיל קדמי, אם האילוח היה סימטרי היינו מקבלים את אותו מצב פעולה רק הפוך, ומכיוון שהאילוח אינו סימטרי וצד אחד מאולח יותר, נקבל זרם נמוך משמעותית מפעיל קדמי.
- **רוויה** - כאשר $V_{be} > 0$ & $V_{bc} > 0$, שתי הדיודות בהולכה קדמית, נקבל מצב דומה לדיודה פתוחה שבו נשאף לקצר כתלות במתח V_{ce} .

1.2. common emitter, מתח הכניסה הינו הbase ומתח המוצא הוא הcollector. שימוש נפוץ במעגל מהסוג הזה הינו מגבר אות קטן. עבור הcommon base מתח הכניסה הינו מתח הemitter ומתח המוצא הינו מתח הcollector. שימוש של מעגל זה הוא מגבר לתדרים גבוהים. עבור הcommon collector מתח הכניסה הוא הbase ומתח המוצא הינו הemitter. משתמשים בו בעיקר כחוצץ מתח.

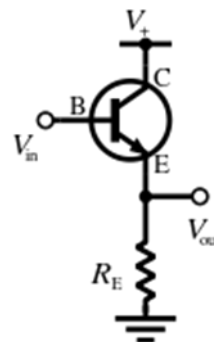
Common emitter:



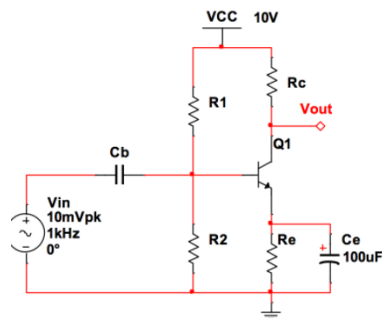
common base:



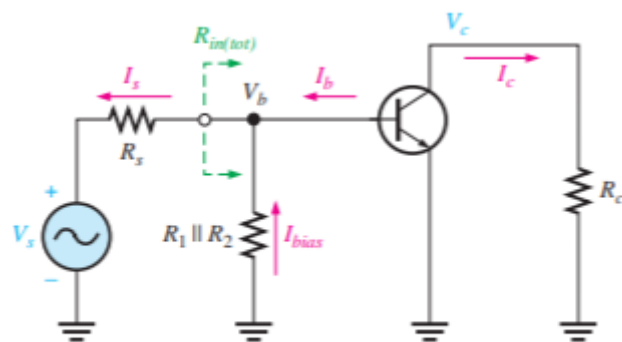
common collector:



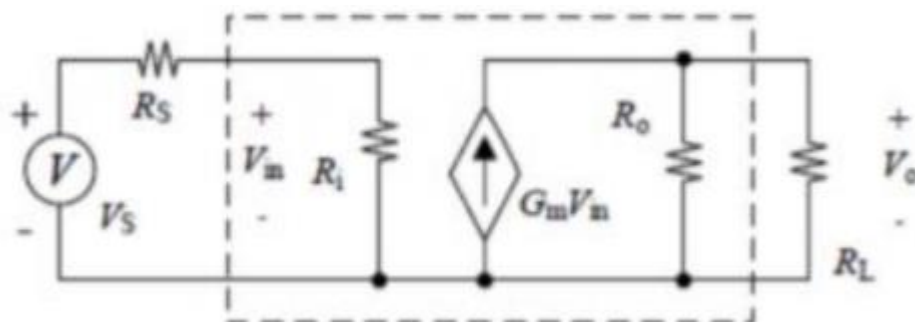
1.3. **מגבר מתח** - במגבר מתח הכניסה היא v_{in} ובמוצא נקבל A_{vin} כאשר A הוא ערך ההגבר. נרצה התנגדות כניסה גדולה והתנגדות מוצא קטנה. מצב זה יאפשר שרוב המתח המוצא ייפול על נגד העומס ורוב מתח הכניסה ייפול על נגד הכניסה.



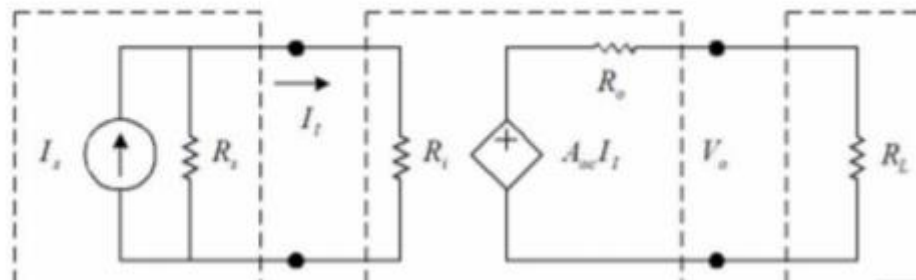
מגבר זרם - במגבר זרם נכניס זרם ב-B ונקבל זרם מוגבר ב-C, שוב ביחס A כלשהו. כאן נרצה התנגדות כניסה נמוכה והתנגדות מוצא גבוהה (ההפך ממגבר מתח) כדי שרוב הזרם יכנס למגבר בכניסה ושרוב הזרם יעבור למוצא.



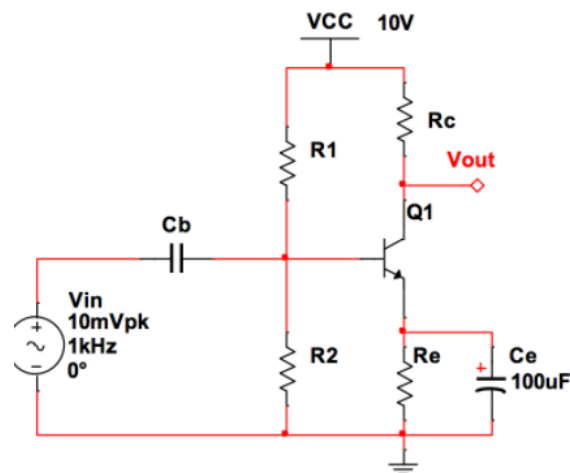
מגבר הולכה - במגבר זה נכניס מתח ונקבל במוצא זרם מוגבר. בכניסה נרצה התנגדות גבוהה כפי שהסברנו עבור כניסת מתח, והתנגדות מוצא גבוהה מכיוון שמדובר בזרם.



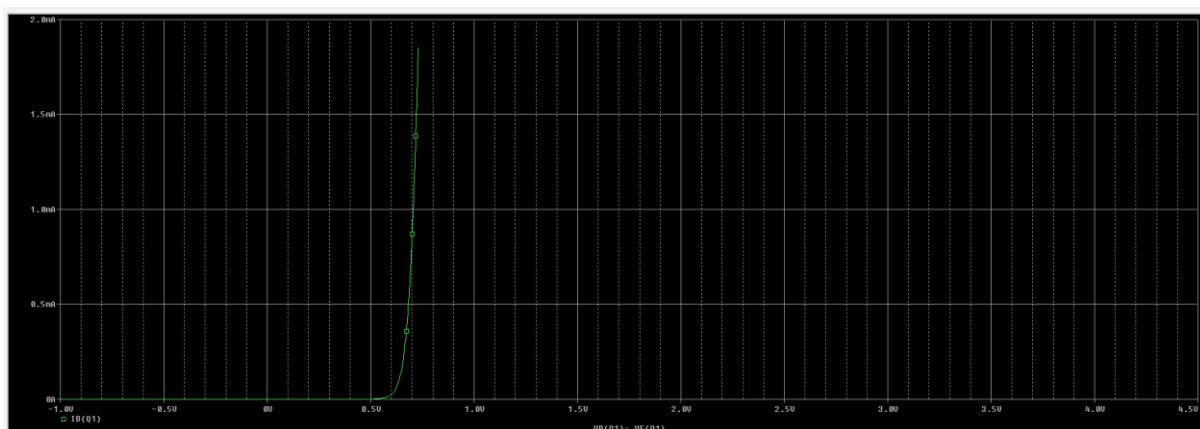
מגבר התנגדות - במגבר זה נכניס זרם ונקבל מתח מוגבר. בדומה למצבים קודמים נרצה עבור הזרם בכניסה התנגדות נמוכה ועבור המתח במוצא התנגדות נמוכה.



1.4. במעגל בעל emitter מנוון, כלומר עם נגד מחובר בין emitter לבין האדמה, ניתן לשלוט טוב יותר בהגבר המגבר לעומת מגבר לא מנוון. על ידי הוספת נגד ניוון נקבל הגבר מקורב בעל ערך R_c/R_e . זאת אומרת ש R_e הינו ערך שעל ידי שינוי ערכו ניתן לשלוט בהגברו של המגבר וכך להשיג את דיוק ההגבר שאנו רוצים. בנוסף נוכל להשפיע על R_{in} ללא שינוי אופי הטרנזיסטור עצמו.

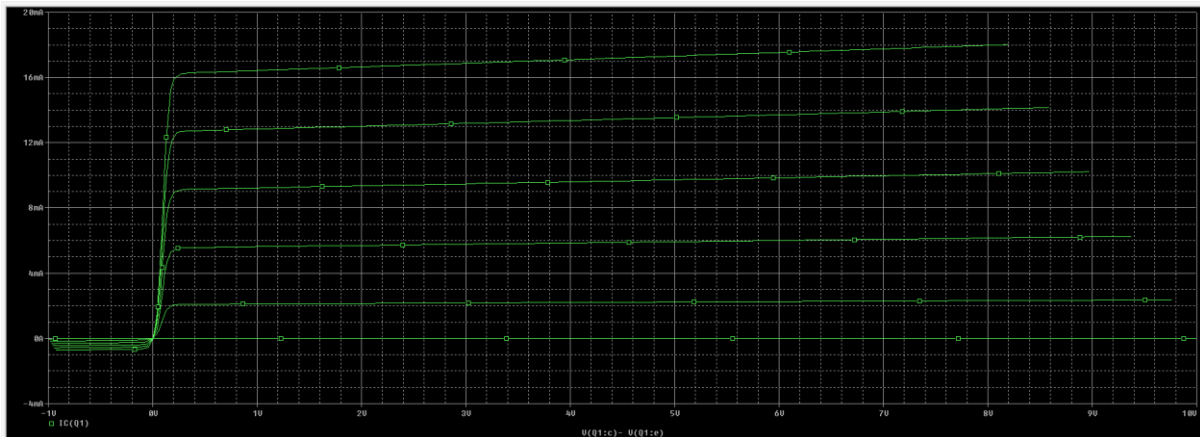


2.1. לפי תעודת הזהות, $R_b = 5k\Omega$. להלן הסימולציה עבור המעגל שבשאלה עם הערך של R_b :



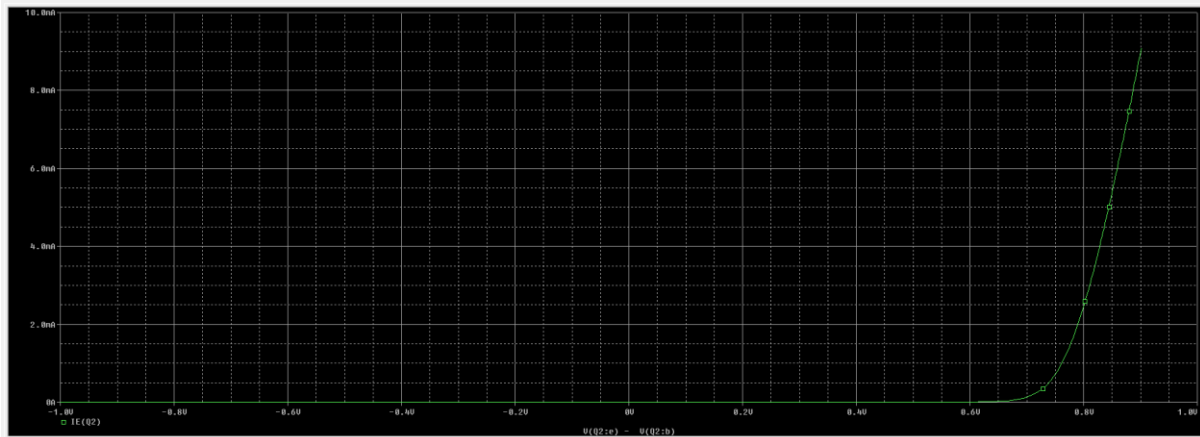
ניתן לראות כי באזור $V_{be}=0.6v$ הטרנזיסטור מתחיל להוליך והזרם עולה בקצב אקספוננציאלי. לפני נקודה זו יש נתק, ניתן להניח כי זאת מכיוון שהנגד R_2 גדול משמעותית ומייצג בפועל נתק.

2.2. כעת, נסמלץ את המעגל השני ונקבל:



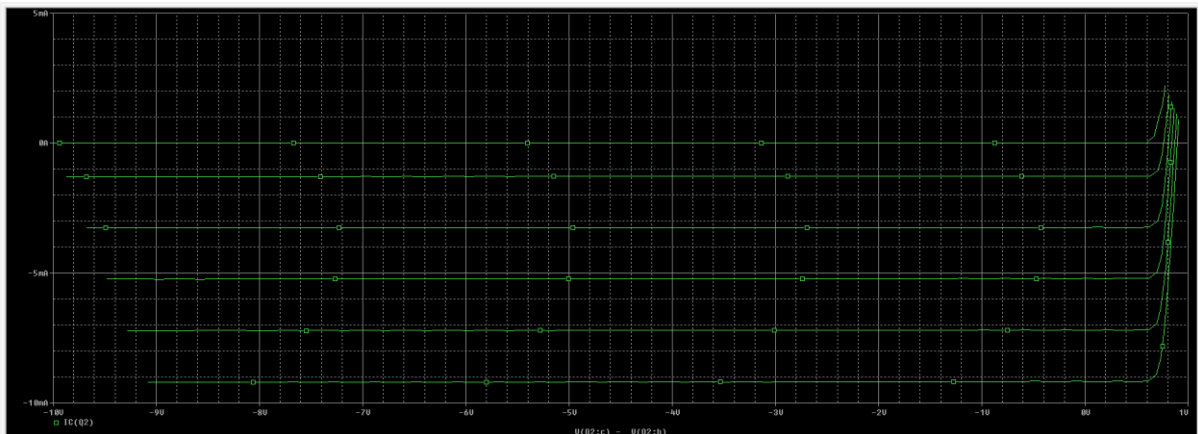
בתמונה ניתן לראות 5 גרפים עבור כל מתח V_{bb} כנדרש. נשים לב כי ככל ש V_{bb} גדל נקבל זרם I_C גדול יותר ויחסית קבוע. בנוסף, עבור מתח V_{ce} שלילי אנו מקבלים זרם אפסי כצפוי מכיוון שבמצב כזה אנחנו בקטעון. עבור $V_{bb}=0$ המצב דומה וגם נקבל קיטעון. עבור טרנזיסטור מסוג PNP נצפה לקבל היפוך של הגרף בשני הצירים מכיוון שבטרנזיסטור זה, גם כיווני הזרמים וגם כיווני המתחים הינם הפוכים. כלומר, הזרם יזרום במתחים השליליים ויתקבל קיטעון במתחים חיוביים.

3.1. נערוך סימולציה עבור המעגל שבשאלה:



בדומה לשאלה 2 גם כאן הנגד הגדול R_2 גורם לניוון של הטרנזיסטור לדיודה. באזור V_{eb} אנחנו רואים שמתחילה הולכה וזה מסתדר עם $V_{be,on} \sim 0.7V$. לפני נקודה זו אנחנו בממתח אחורי ולכן הזרם אפסי.

3.2. כעת נערוך סימולציה עבור המעגל השני:



גם כאן קיבלנו גרף שונה עבור כל ערך של V_{be} . ניתן לראות כי מתקבל זרם קבוע כל עוד $V_c < 0.7 [V]$. כאשר $V_c > 0.7 [V]$ ישנה עלייה אקספוננציאלית משום שהדיודה נמצאת בפריצה. עבור הממתח האחורי יש זרם קבוע כמו בדיודה אידיאלית.

4.1. נתבונן במעגל שבשאלה:

נמצא את נקודת העבודה. ראשית נניח $I_b \sim 0$, ננתק את הקבלים מכיוון שאנחנו בודקים נקודת עבודה DC. נניח שאנחנו במצב עבודה פעיל קדמי ונמצא את המתח ב- V_b תוך התייחסות לנגדים R_{b1} כמחלקי מתח לפי הביטוי הבא:

$$V_b = V_{cc} * \frac{R_{b2}}{R_{b2} + R_{b1}}$$

ונקבל:

$$V_b = 4.285 [V]$$

מכאן, אם $V_{be,on} = 0.7 [V]$ נקבל:

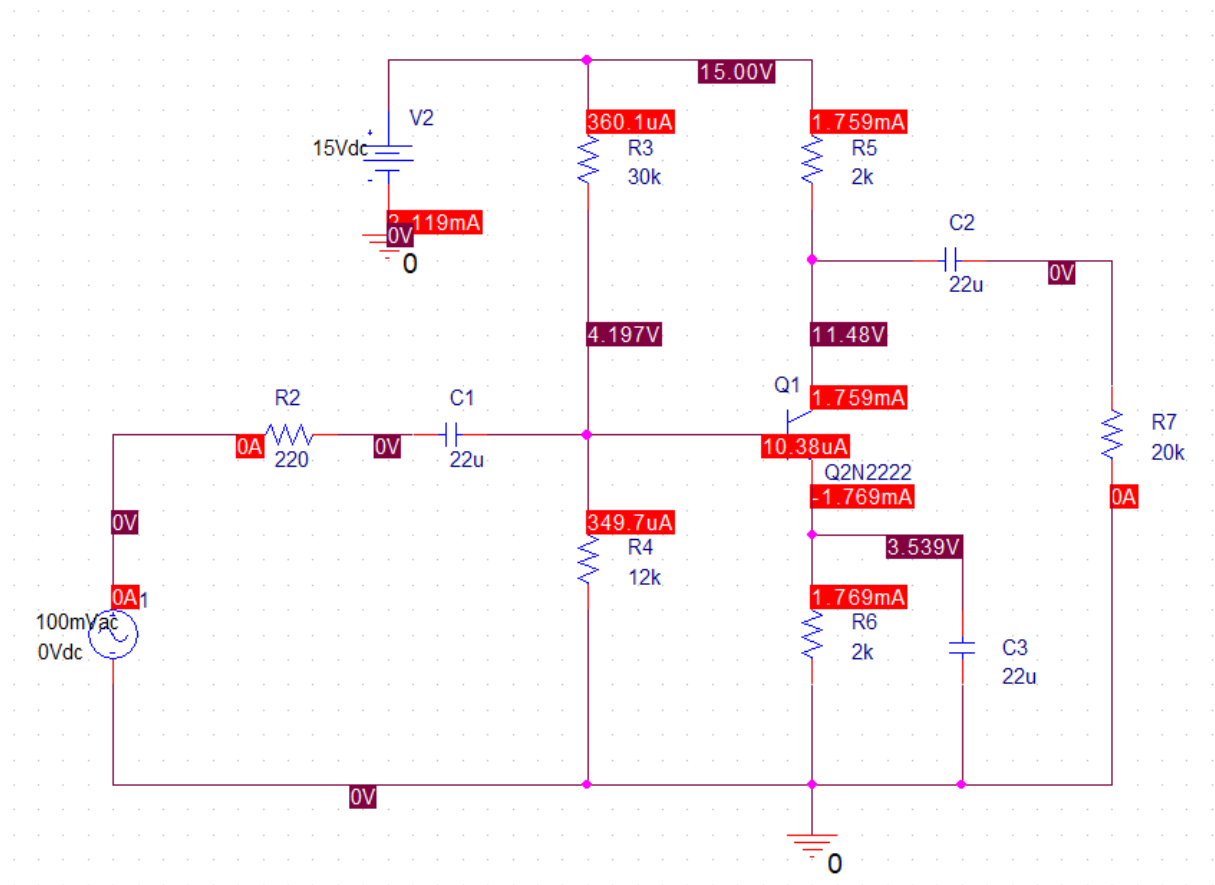
$$V_E = 4.285 - 0.7 = 3.585 [V]$$

$$I_E = \frac{V_E}{R_E} = 1.8 [mA]$$

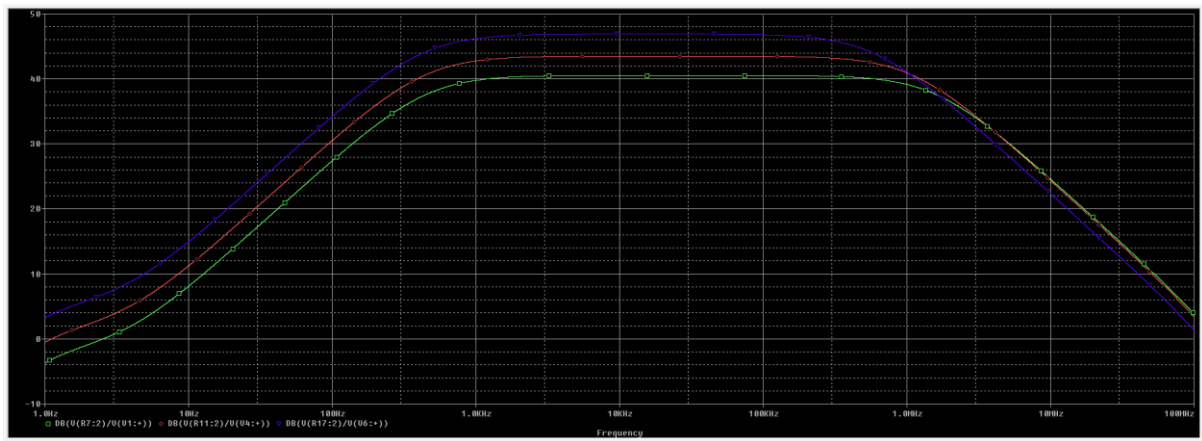
מכיוון ש $\beta \gg 1$ נקבע שבקירוב $I_C = I_E$. קיבלנו שאכן הטרנזיסטור באמת במצב פעיל קדמי.

סה"כ קיבלנו:

$$I_B = 0 [A], I_C = I_E = 1.8 [mA], V_B = 4.285 [V], V_C = 11.6 [V], V_{CE} = 8.24 [V]$$



4.2. בגרף הבא נראה את הגבר המעגל עבור שלושת ההתנגדויות. באדום - $R_C = 3k\Omega$, בירוק - $R_C = 5k\Omega$, ובסגול - $R_C = 2k\Omega$.

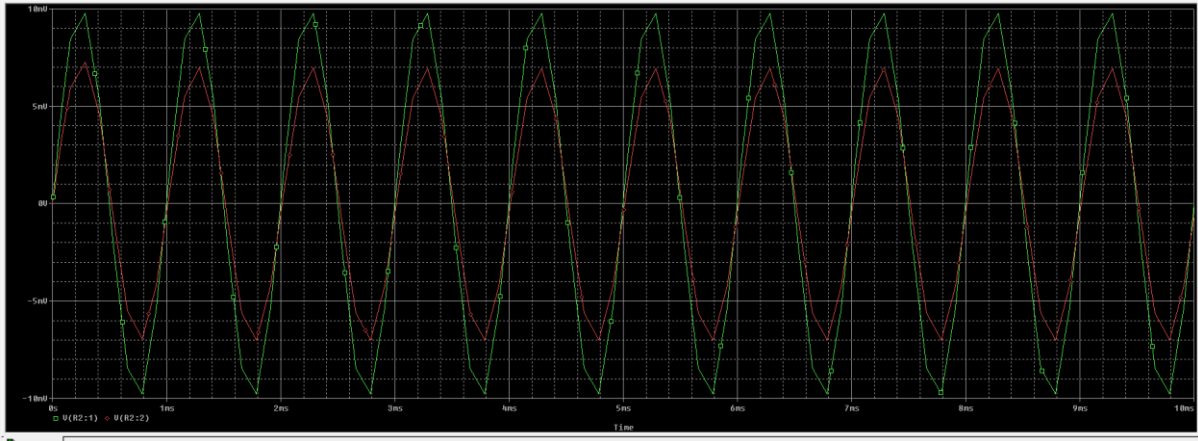


את תוצאות הסימולציה נציג בטבלה הבאה:

Gain[dB]	BW[MHz]	R[Ω]
40.5	1.61	2k
43.5	1.1	3k
46.9	0.592	5k

נשים לב שהגבר המעגל הנתון הינו $A = -gmR_C$. נקבל כי ככל שהתנגדות הנגד R_C גדלה כך גם ההגבר גדל ורוחב הפס קטן. התוצאות תואמות את התוצאות בסעיף 1 אשר מראה שההגבר תלוי ביחס $\frac{R_C}{R_B}$.

4.3. בגרף הבא נציג את מתח הנגד R_G משני ההדקים שלו – בירוק לפניו ובאדום אחריו:



נחשב את התנגדות הכניסה באמצעות המתח שנופל על הנגד $V_{R_G} = 2.75 [mV]$:

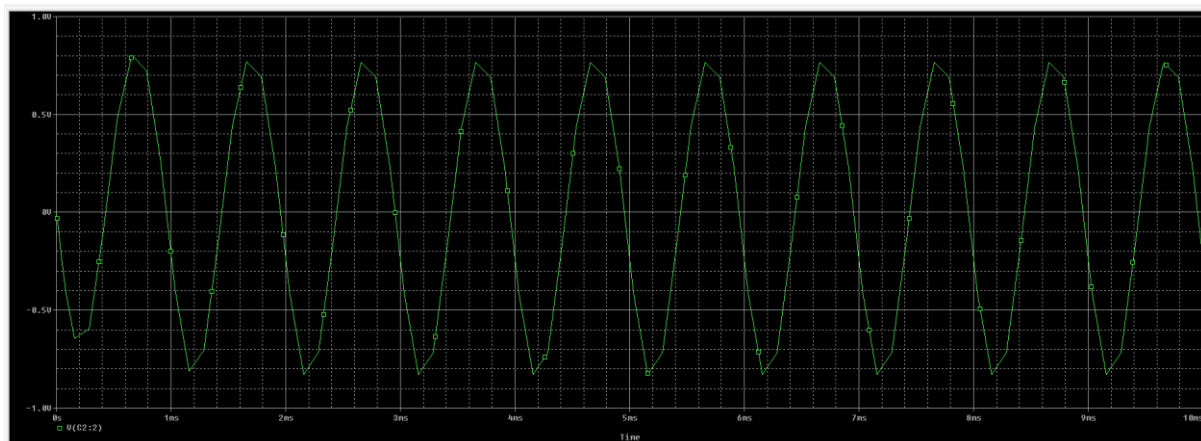
לפי מחלק מתח:

$$V_{R_g} = V_{in} \frac{R_g}{R_g + R_{in}}$$

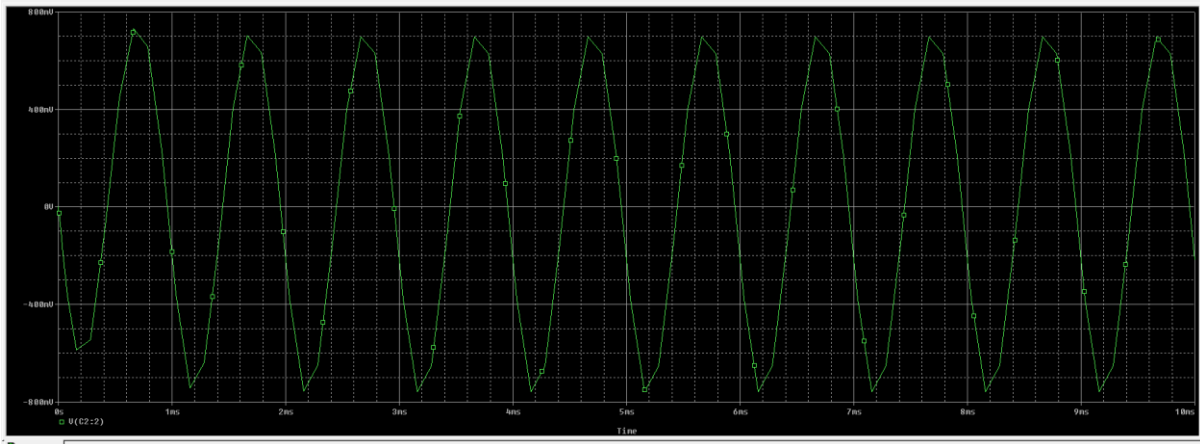
$$R_{in} = \frac{V_{in} \cdot R_g}{V_{R_g}} - R_g = \frac{10 \cdot 10^{-3} \cdot 10^3}{2.75 \cdot 10^{-3}} - 10^3 = 2.63 [k\Omega]$$

נשים לב כי אם $R_{B_1} \rightarrow \infty$ מתקיים ש- R'_B גדל משום שהנגד R_{in} הינו פונקציה של הנגד השקול $R'_B = R_{B_1} \parallel R_{B_2}$. ולכן כתוצאה מכך R_{in} גדל.

4.4. הגרף הבא מציג סימולציה עבור נגד עומס של $100M\Omega$:



ועבור נגד עומס של $20k\Omega$:



נקבל מהגרפים $V_{load}(20k\Omega) = 729[mV]$ $V_{load}(100M\Omega) = 760[mV]$

נתייחס למעגל כפתוח ולכן $R_{out} = R_c$. כעת נוכל לחשב את g_m ולהגיע לביטוי $g_m = \frac{A}{R_{out}}$ כאשר ההגבר הוא $A = \frac{760}{10} = 76$.

עבור ההתנגדות הנמוכה $R_c = R_{out} || R_{load}$. במצב זה ההגבר הוא 72.9, ואפשר להגיע לביטוי $g_m = \frac{A}{R_{out} || R_{load}}$.

נשווה את הביטויים ונקבל $R_{out} = 2.015 [k\Omega]$.

אם ניקח $R_e \rightarrow \infty$ התנגדות היציאה R_{out} לא תשתנה מכיוון שבמודל אות קטן, הנגד R_e מקוצר ע"י הקבל C_e .

5.1. במערכות אלקטרוניקה, המונח "bootstrapping" מתייחס לטכניקה בה משתמשים כדי ליצור מתח או זרם באופן עצמאי על מנת לשפר את ביצועי המכשיר. מעגל bootstrapping הוא מעגל שבו חלק מהפלט של המעגל נכנס חזרה לקלט שלו ובכך לשנות את עכבת הכניסה של המעגל.

5.2

$$\beta = 100 + 10 * 6 + 6 = 166$$

קיבלנו בטא גדולה ולכן ניתן להזניח זרמי בסיס.

בנקודת עבודה אנחנו ב-DC, לכן קבלים הם נתק. כיוון שאנחנו מזניחים זרמי בסיס אז נניח שלא זרם זרם על הנגד R_b , ולכן כדי למצוא את מתח הבסיס נבצע מחלק מתח:

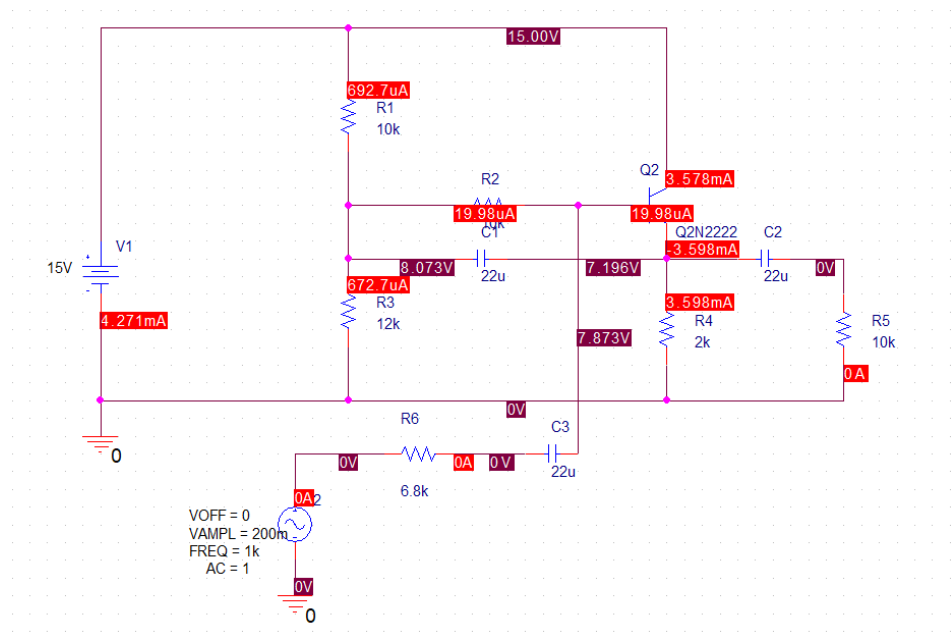
$$V_B = V_{CC} \cdot \frac{R_2}{R_1 + R_2} = 8.18V$$

נניח מצב פעיל קדמי, כלומר $V_{BE} = 0.7V$ ולכן $V_E = 8.12V$, מכאן ניתן לחשב את הזרם באמיטר (ששווה בקירוב לזרם בקולקטור)

$$I_C \approx I_E = \frac{V_E}{R_e} = \frac{8.12}{2} = 3.74[mA]$$

$$V_C = 15V, V_E = 7.48 \rightarrow V_{CE} = 7.52V$$

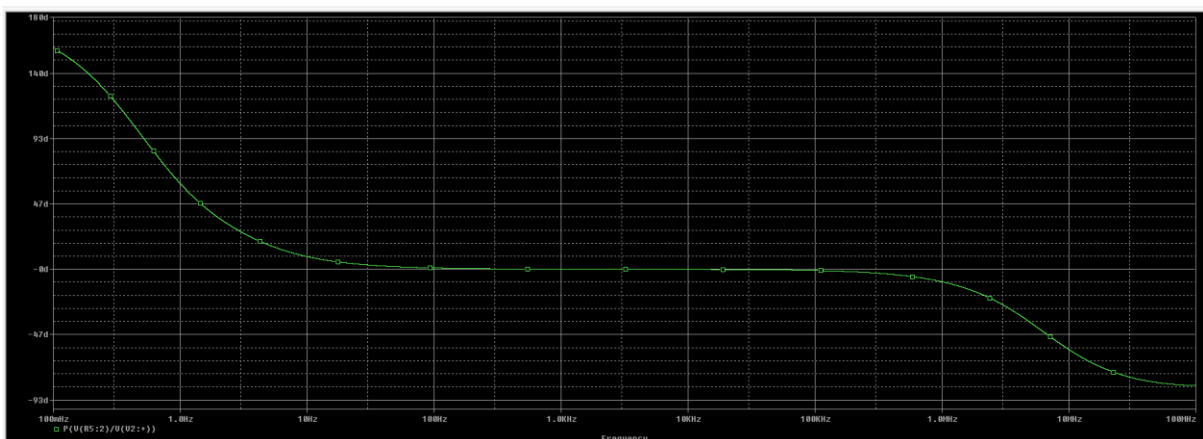
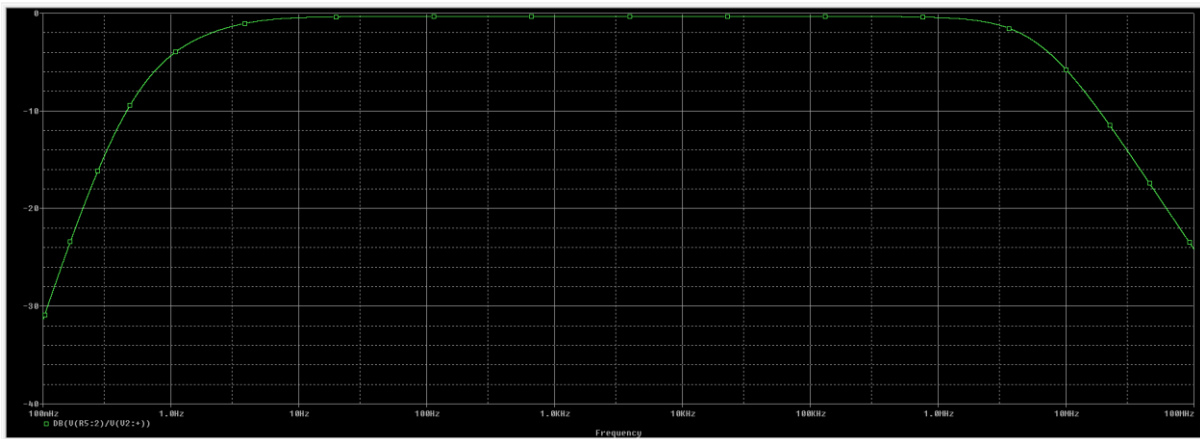
.5.3



ניתן לראות שהזרמים והמתחים שהתקבלו בסימולציה יחסית קרובים לחישוב האנליטי.

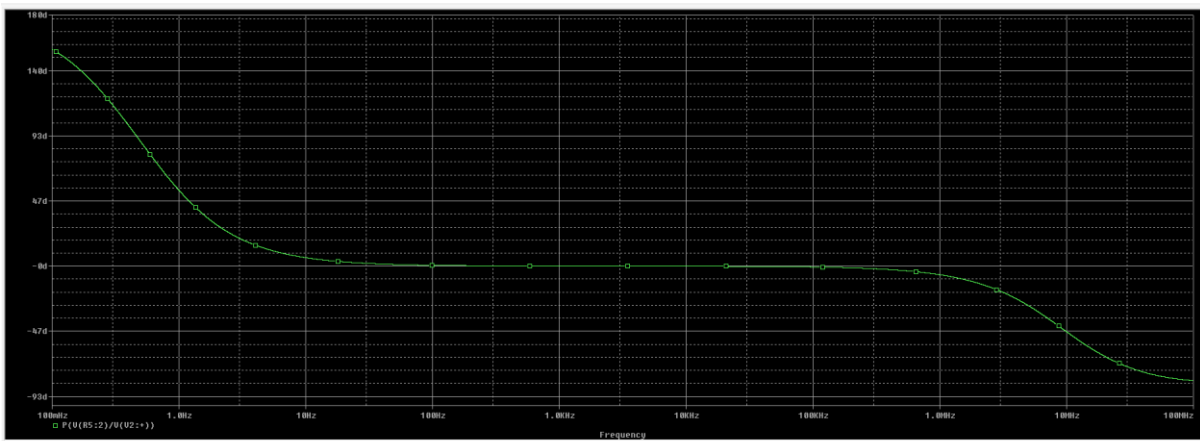
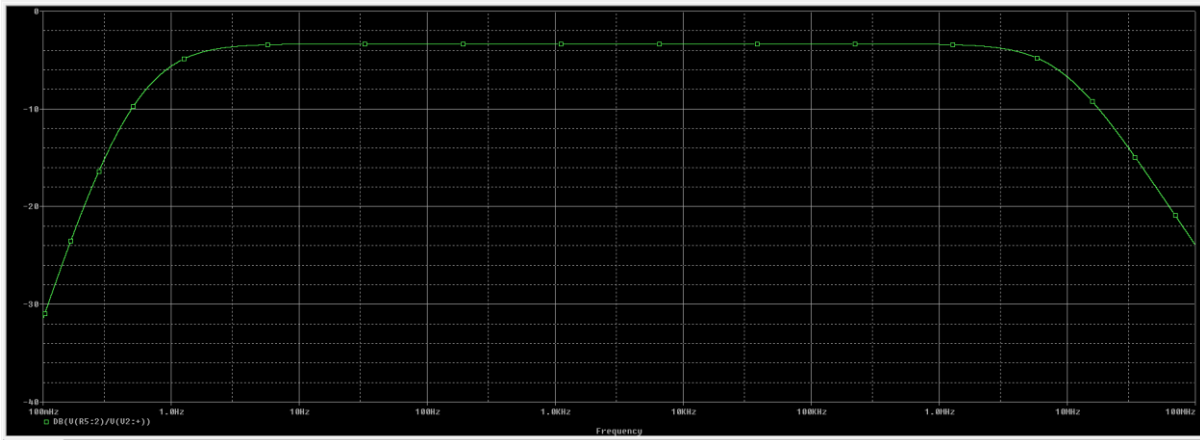
$$V_B = 8.07V, V_E = 7.196V, I_E = I_C = 3.578mA$$

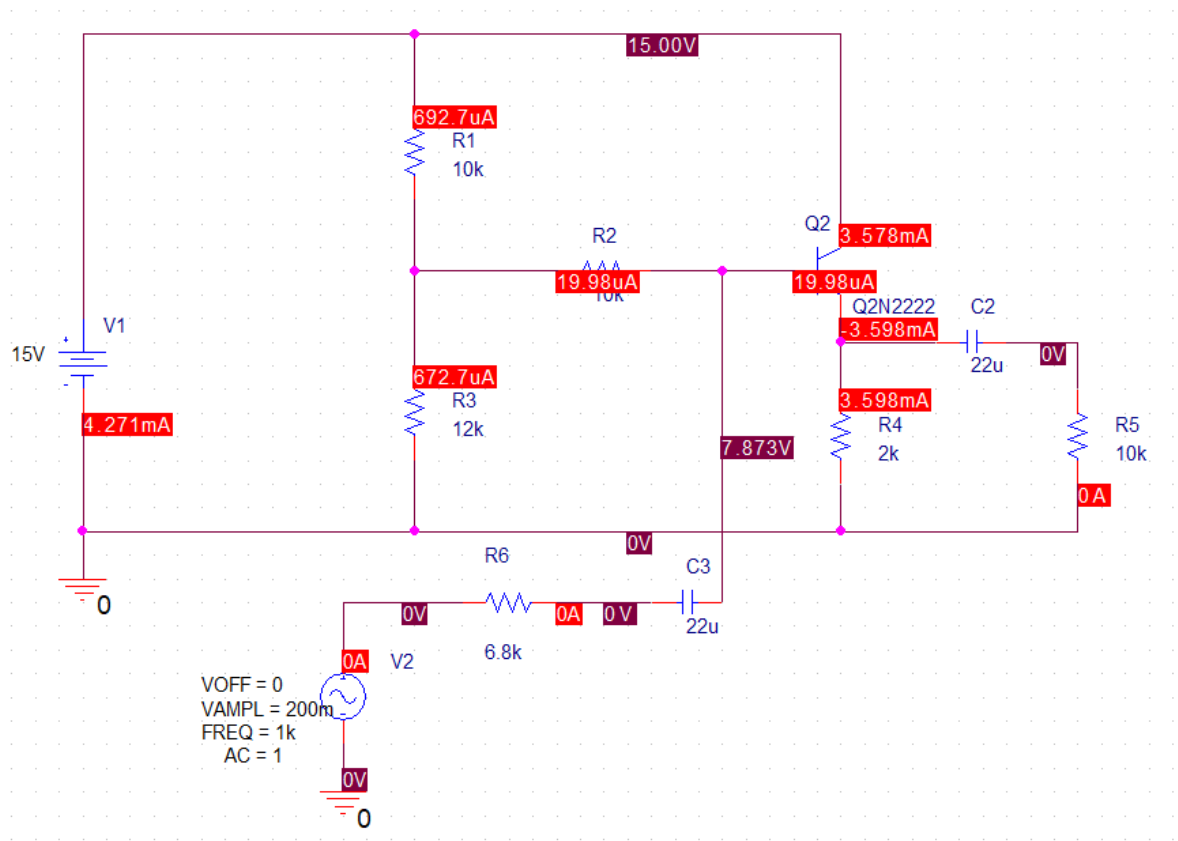
.5.4



$$f_{-3dB} = 6.29430MHz, f_{-3dB} = 750Hz \rightarrow BW = 6.293550MHz, gain = -0.3dB$$

.5.6





$$f_{-3dB} = 9.36\text{MHz}, f_{-3dB} = 856\text{mHz} \rightarrow BW = 9.359999\text{MHz}, \text{gain} = -3.3\text{dB}$$

.5.7

$$LOSS = \frac{V_{out} - V_{in}}{V_{in}}$$

AMP	$\frac{V_o}{V_g}$	LOSS	f_{-3dB}
BOOT STRAP	-0.3dB	3.7%	$f_{-3dB} = 6.29430\text{MHz}$, $f_{-3dB} = 750\text{Hz}$
EMITTER FOLLOWER	-3.3dB	31.9%	$f_{-3dB} = 9.36\text{MHz}$, $f_{-3dB} = 856\text{mHz}$