

### דוח מכין 3

מגשים:

אריאל רנה

אור שאול

### Notch Filters

1.1.1. Notch Filter הוא מסנן מסוג BSF שחוסם תדר בודד (או רוחב פס קצר של תדרים) ומעביר את כל שאר התדרים. מסנן זה שימושי בתחום המוזיקה והמגברים כדי למנוע הד שנובע

כתוצאה ממשב אודיו בין מיקרופון ורמקול.

1.1.2. נמצא את פונקציה התמסורת ואת תדרי הברך שלה:

$$\frac{V_{out}}{V_{in}} = \frac{R_0}{R_0 + ((R_1 + Z_{L1}) || Z_{C1})} = \frac{R_0}{R_0 + \left( (R_1 + sL_1) || \frac{1}{sC_1} \right)} =$$

$$\frac{R_0}{R_0 + \frac{(R_1 + sL_1) \frac{1}{sC_1}}{(R_1 + sL_1) + \frac{1}{sC_1}}} = \frac{R_0 \left( (R_1 + sL_1) + \frac{1}{sC_1} \right)}{R_0 \left( (R_1 + sL_1) + \frac{1}{sC_1} \right) + (R_1 + sL_1) \frac{1}{sC_1}} =$$

$$\frac{R_0((R_1 + sL_1)sC_1 + 1)}{R_0((R_1 + sL_1)sC_1 + 1) + (R_1 + sL_1)} = \frac{R_0L_1C_1s^2 + R_0R_1C_1s + R_0}{R_0L_1C_1s^2 + (R_0R_1C_1 + L_1)s + (R_0 + R_1)}$$

$$H(s) = \frac{s^2 + \frac{R_1}{L_1}s + \frac{1}{C_1L_1}}{s^2 + \left( \frac{R_1}{L_1} + \frac{1}{R_0C_1} \right)s + \frac{R_0 + R_1}{R_0L_1C_1}}$$

כדי למצוא את תדר הברך נשווה את ההגבר ל-  $\frac{1}{\sqrt{2}}$ .  $|H(j\omega)| =$

$$H(j\omega) = \frac{-\omega^2 + 10^2j\omega + 10^{10}}{-\omega^2 + 100.1 \cdot 10^3j\omega + 1.001 \cdot 10^{10}}$$

$$H(j\omega) = \frac{(10^{10} - \omega^2) + j(10^2\omega)}{(1.001 \cdot 10^{10} - \omega^2) + j(100.1 \cdot 10^3\omega)}$$

$$|H(j\omega)|^2 = \frac{(10^{10} - \omega^2)^2 + (10^2\omega)^2}{(1.001 \cdot 10^{10} - \omega^2)^2 + (100.1 \cdot 10^3\omega)^2} = \frac{1}{2}$$

$$|H(j\omega)|^2 = \frac{10^{20} - 2 \cdot 10^{10}\omega^2 + \omega^4 + 10^4\omega^2}{10^{20} - 2 \cdot 10^{10}\omega^2 + \omega^4 + 10^{10}\omega^2} = \frac{1}{2}$$

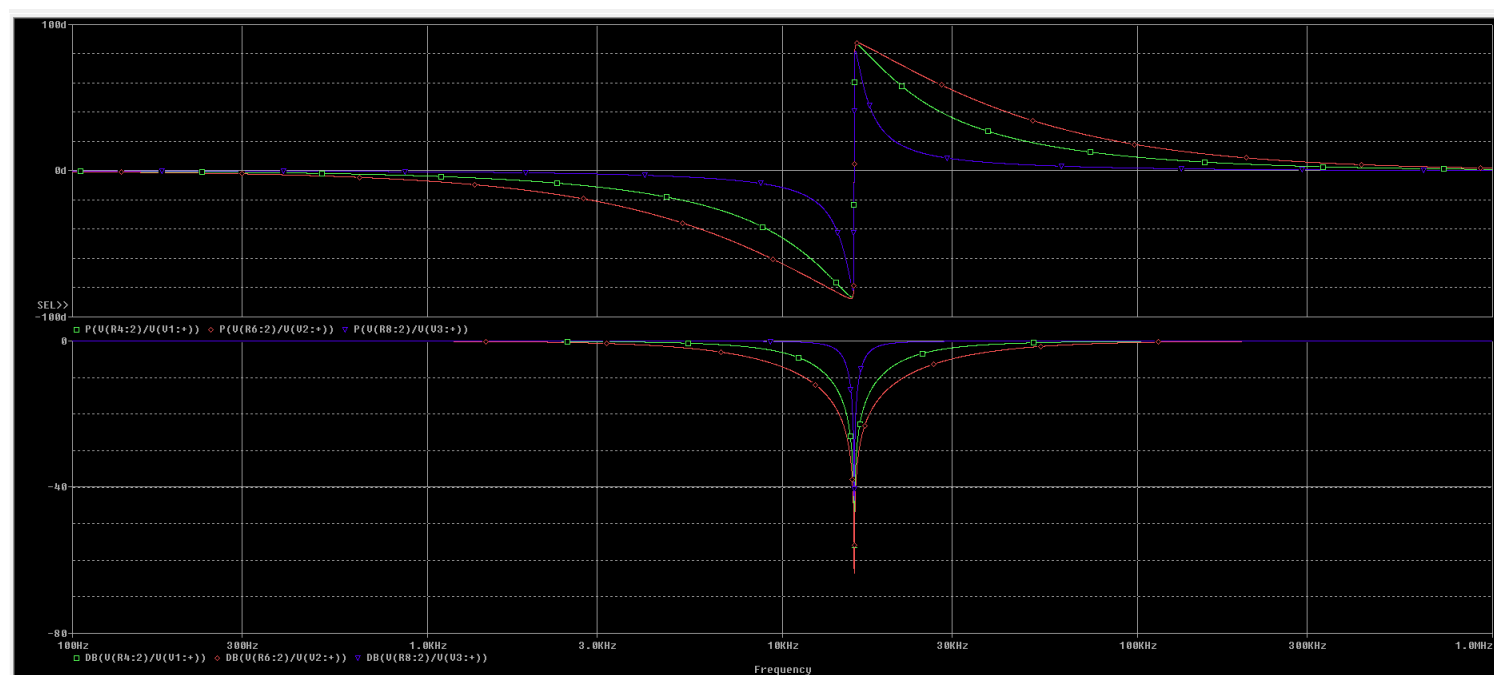
$$10^{20} - 1 \cdot 10^{10}\omega^2 + \omega^4 = 2(10^{20} - 2 \cdot 10^{10}\omega^2 + \omega^4 + 10^4\omega^2)$$

$$\omega^4 - 3 \cdot 10^{10}\omega^2 + 10^{20} = 0$$

$$\omega_1^2 = 2.62 \cdot 10^{10}, \quad \omega_2^2 = 3.82 \cdot 10^9$$

$$f_1 = 25.76[kHz], \quad f_2 = 9.83[kHz]$$

.1.1.3



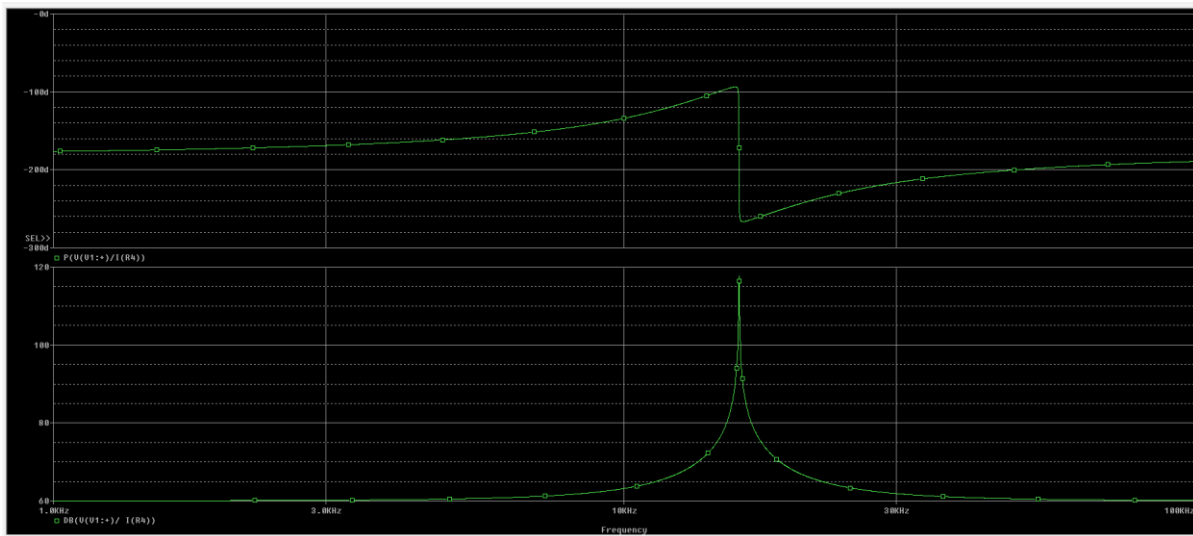
$$f_{-3dB}(R_0 = 510\Omega) = 6.65[kHz], 37.79[kHz], \quad BW = 31.14[kHz]$$

$$f_{-3dB}(R_0 = 1k\Omega) = 9.83[kHz], 25.76[kHz], \quad BW = 15.93[kHz]$$

$$f_{-3dB}(R_0 = 5.1k\Omega) = 15.13[kHz], 16.73[kHz], \quad BW = 1.63[kHz]$$

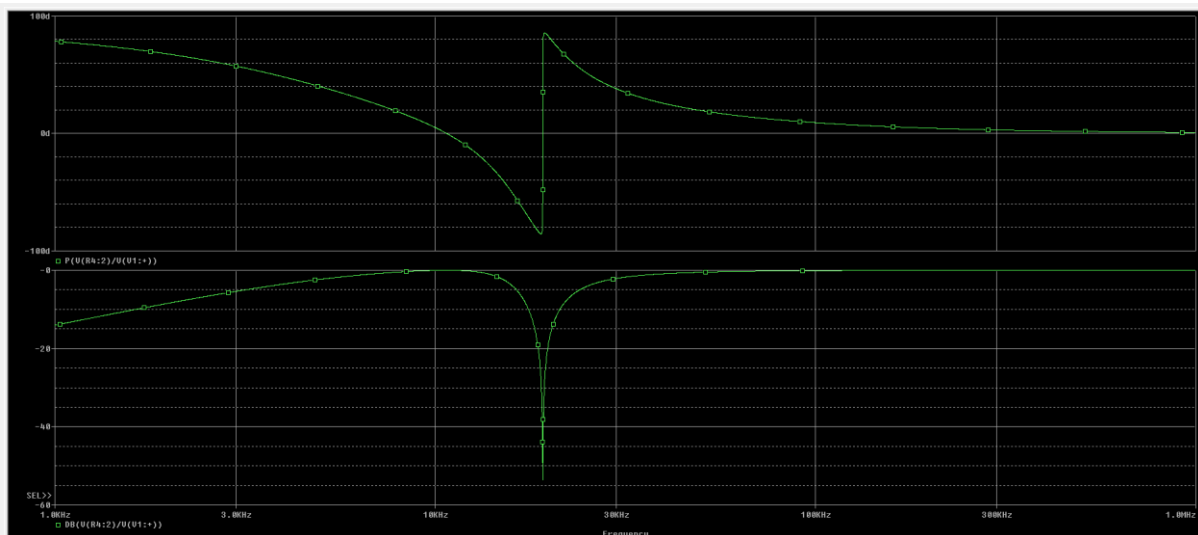
נשים לב שככל שמגדילים את הערך של R0 מסנן ה-Notch filter הופך ליותר טוב כיוון שרוחב ה-Stop band קטן.

## 1.2.



זהו *Notch filter* כיוון שבתדר  $f \approx 15.93[kHz]$  שאותו אנחנו מעוניינים לחסום, מתקבל שהתנגדות המעגל גדולה, ולכן הזרם דרך הנגד  $R_0$  קטן, ולכן גם המתח במוצא קטן (כלומר הגבר ששואף ל-0).

### 1.3.1



$$f_L = 15.48[kHz], f_H = 27.05[kHz], BW = 11.57[kHz], f_0 = 19.06[kHz]$$

1.3.2. עבור המעגל הראשון (נגד של  $1k\Omega$ ) קיבלנו

$$f_{-3dB}(R_0 = 1k\Omega) = 9.83[kHz], 25.76[kHz], \quad BW = 15.93[kHz]$$

וכפי שניתן לראות, עבור המעגל השני קיבלנו רוחב פס צר יותר וגם קיבלנו שטוח התדרים שנחסם מתקבל בתדרים גבוהים יותר.

לעומת זאת גם קיבלנו שבתדרים נמוכים ההגבר שונה מ-1 ולכן נוצר עיוות בלתי רצוי.

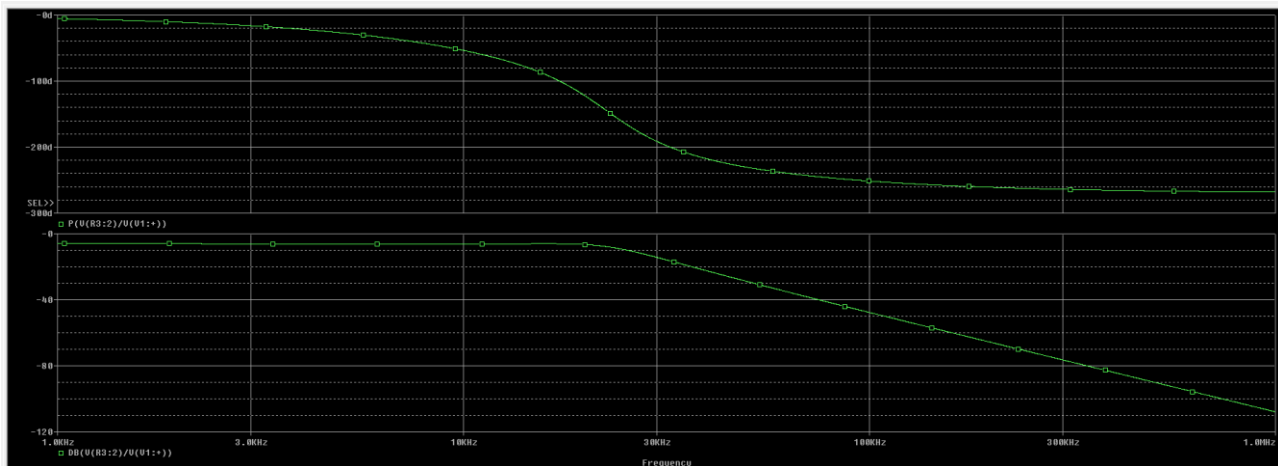
1.3.3. לא ניתן לקבוע איזה פילטר יותר טוב כיוון שזה תלוי במטרת המעגל ובסיגנל הכניסה, לכל פילטר יש יתרונות וחסרונות:

הפילטר הראשון הוא בעל  $BW$  גדול יותר אך ההגבר בתדרים שלא נחסמו הוא 1.

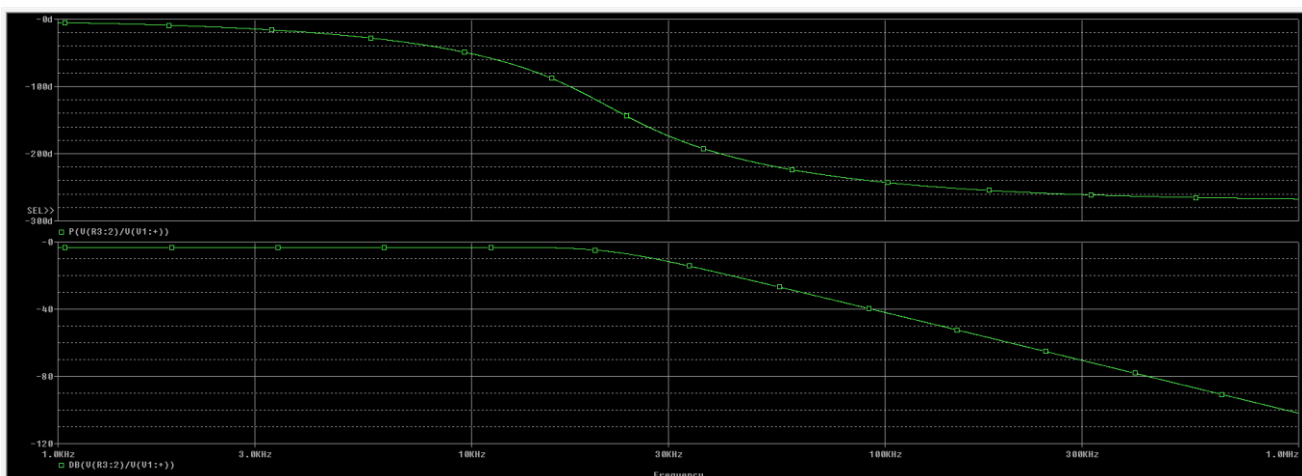
לעומתו הפילטר השני הוא בעל BW קטן יותר אך ההגבר בתדרים שלא נחסמו קטן מ-1 (עבור תדרים מסוימים)

כמו כן התשובה גם תלויה בתדרים שאותם רוצים לסנן, כיוון שהמסנן השני מסנן תדרים מעט גבוהים יותר.

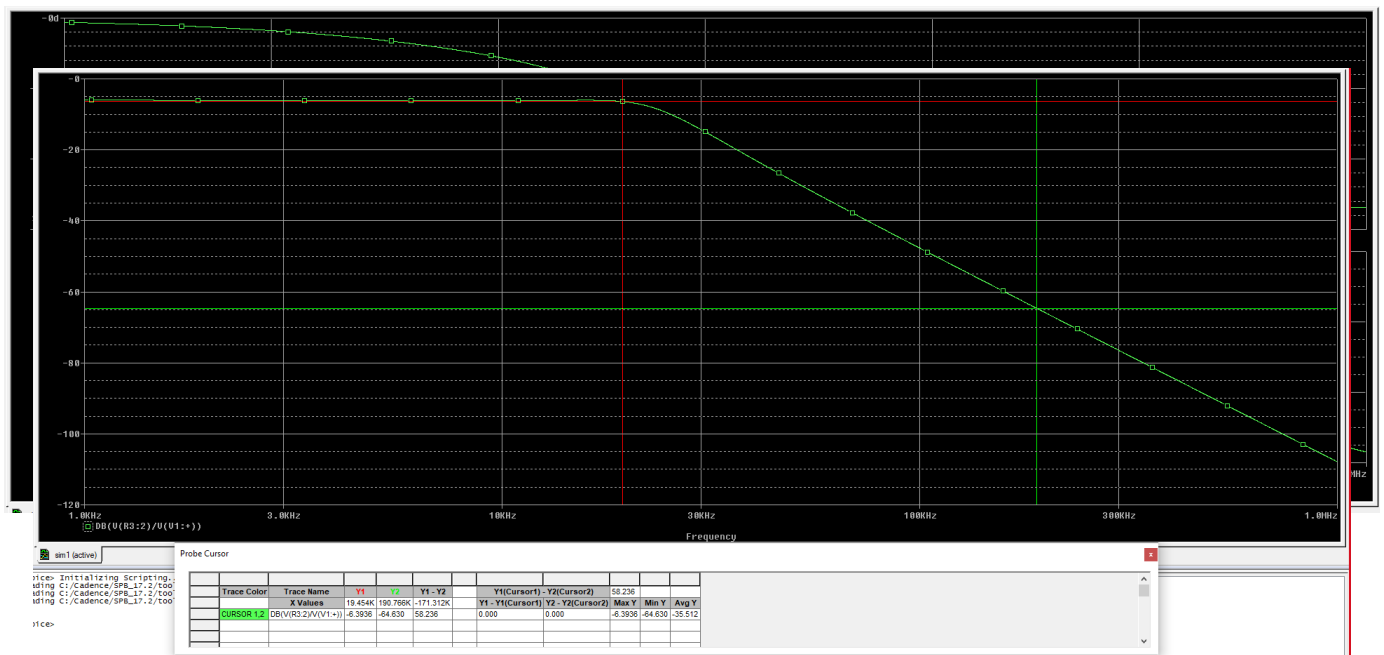
2.1.1. ניתן לראות את גרף האמפליטודה וגרף הפאזה כאשר  $R1 = 1K\Omega$ .  
תדר הברק שהתקבל נמצא בתדר 24.12KHz.



עבור  $R1 = 0.5K\Omega$ : תדר הברק שהתקבל הוא 22.87KHz.



עבור  $R1 = 2K\Omega$ : תדר הברך שהתקבל הוא 24.75KHz.

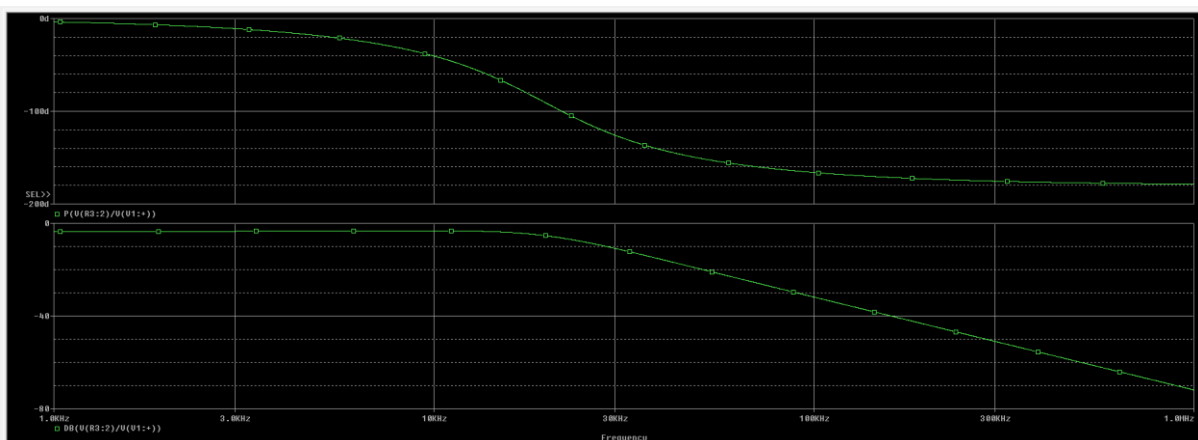


2.1.2

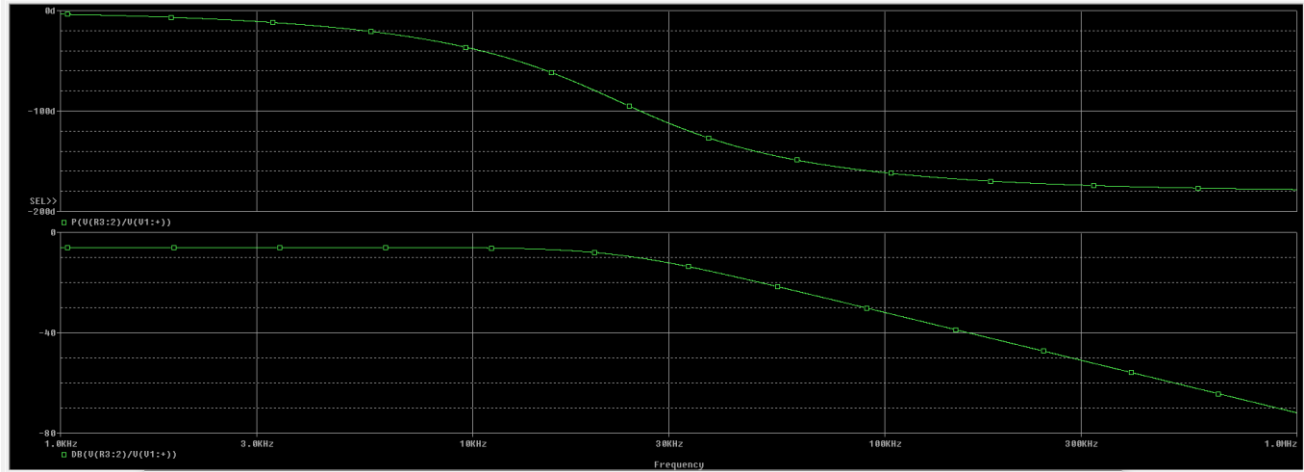
ניתן לראות בגרף המוצג מעל כי במרחק דקדה (בין 19KHz ל-190KHz) ישנה ירידה של 60db ולכן ניתן לומר שיש לנו שלושה קטבים למעגל (שכן השיפוע בדקדה לאחר הירידה היא 60db/dec). בנוסף אם היינו מסתכלים בגרף הפאזה היינו רואים ירידה של 270 מעלות שגם היא מייצגת שלושה קטבים.

2.1.3. היתרון במסנן עם שלושה קטבים הוא היכולת לסנן תדרים בדיוק יותר גבוה זאת משום שהשיפוע חד יותר ולכן פחות תדרים יכולים לעבור. החסרונות לעומת מסנן LPF בעל קוטב בודד הם המחיר, הסיבוכיות והגודל של יצירת מסנן כזה משום שהוא דורש כמות רכיבים גדולה יותר.

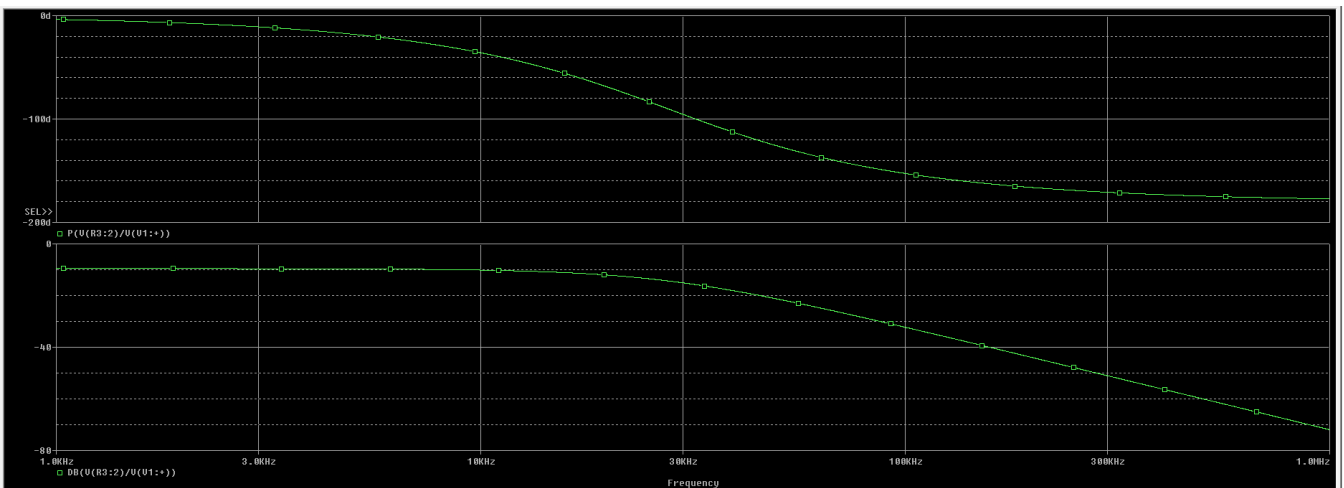
2.1.4. עבור  $R1 = 1K\Omega$ : תדר הברך מתקבל בתדר 22.59KHz.



עבור  $R1 = 0.5K\Omega$ : תדר הברך מתקבל בתדר 21.73KHz.



עבור  $R1 = 2K\Omega$ : תדר הברך מתקבל בתדר 22.08KHz.

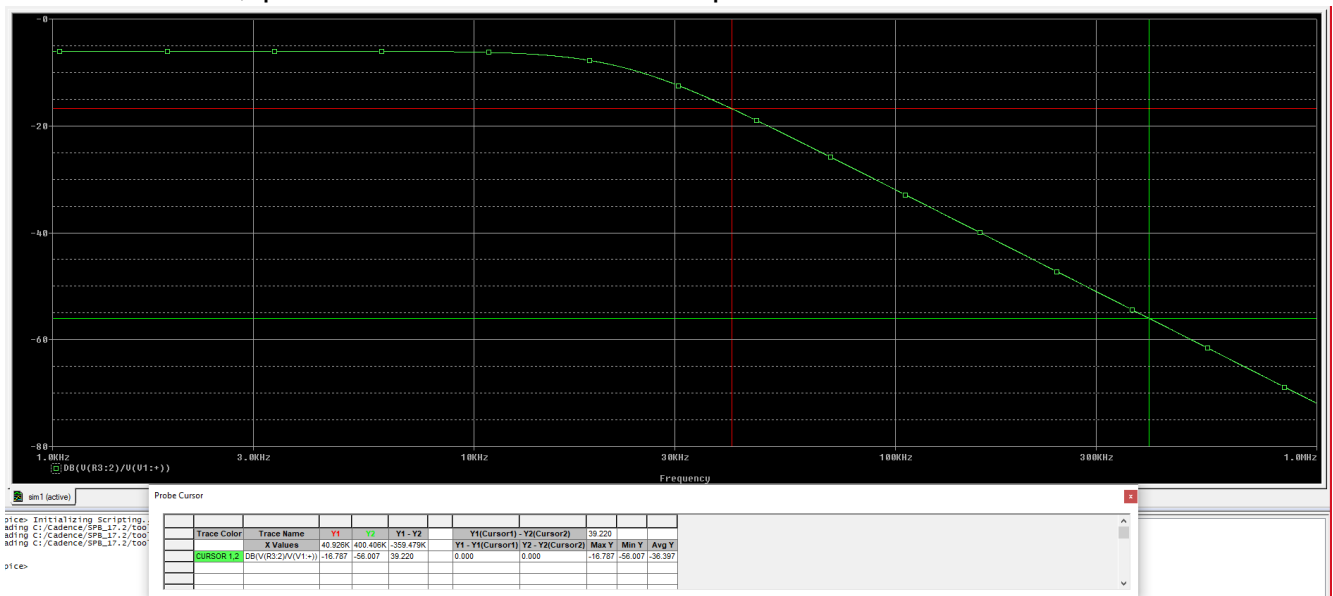


ניתן לראות בגרף המוצג מעל כי במרחק דקדה (בין 40KHz ל-400KHz) ישנה ירידה של 40db ולכן ניתן לומר שיש לנו שני קטבים למעגל (שכן השיפוע בדקדה לאחר הירידה היא 40db/dec). בנוסף אם היינו מסתכלים בגרף הפאזה היינו רואים ירידה של 180 מעלות שגם היא מייצגת שני קטבים.

2.1.5. ההבדל המשמעותי בין המעגלים הוא שיפוע גרף ההגבר אחרי תדר הברך. במעגל עם הקבל קיבלנו ירידה ב-60db/dec ובמעגל ללא הקבל קיבלנו ירידה ב-40db/dec. כמו שנטען קודם, ככל שהשיפוע חד יותר כך המסנן יחסום את התדרים בצורה טובה יותר.

3.1. דיודה היא התקן אלקטרוני שמטרתו לשמש כשסתום חד כיווני של זרם.

דיודת PN היא חיבור של 2 מוליכים למחצה מסוגים P-type ו N-type, כאשר כתוצאה מחיבור זה נוצר הפרש ברמות פרמי של 2 המוליכים למחצה, והפרש זה יוצר אזור מחסור אשר מהווה מחסום לזרימת זרם דיפוזיה. כתלות ברמת האילוח נקבע גודל המחסום המובנה בשווי משקל, וכאשר



מופעל מתח ניתן להשפיע על גודל המחסום ובכך להשפיע על גודל הזרם.

כיוון הזרם הוא יחיד (חורים זורמים מ-P ל-N ואלקטרונים מה-N ל-P).

דיודה אידאלית מתפקדת כנתק כאשר מופעל עליה ממתח אחרי וכקצר כאשר מופעל ממתח קדמי מסוים, אך כתוצאה מחוסר אידאליות שנגרם בין היתר מזרמי זליגה אופיין הזרם-מתח של הדיודה מתנהג בצורה אקספוננציאלית.

לדיודה 2 מצבי פעולה:

מצב פעיל קדמי: במצב פעיל קדמי גודל אזור המחסור של הדיודה קטן, ולכן גם גודל מחסום הפוטנציאל קטן כך שמתאפשרת זרימה יותר גדולה של זרם דיפוזיה.

מצב פעיל אחורי: במצב פעיל קדמי גודל אזור המחסור של הדיודה גדל, ולכן גם גודל מחסום הפוטנציאל גדל כך שהזרם נחסם וקטן.

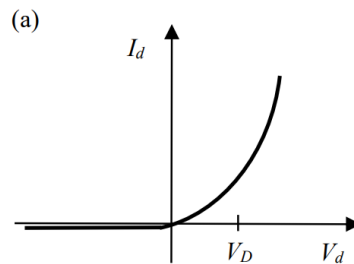
כאשר מופעל על הדיודה ממתח אחורי מספיק גדול מתבצע תהליך של פריצה שמאפשר זריה של זרם בכיוון ההפוך, זרם זה יכול לנבוע ממפולת או ממנהור.

מנהור: תהליך שבו אלקטרונים ללא אנרגיה מספקת מצליחים לעבור מחסום פוטנציאל, התהליך מתאפשר רק אם מחסום הפוטנציאל מספיק קטן.

מפולת: כתוצאה ממתח אחורי מאוד גדול פועל שדה משמעותי על האלקטרונים אשר מצליח לגרום לתאוצה שלהם, אלקטרונים אלו מתנגשים במהירות גדולה באלקטרונים אחרים שכתוצאה מכך עוברים את אותו התהליך בצורת מפולת.

אופיין מתח-זרם:

$$I = I_S \left( e^{\frac{V_d}{nV_t}} - 1 \right)$$



האידאליזציה אופיין המתח-זרם  
וקצר בממתח קדמי, אך כן ניתן

כפי שניתן לראות, עקב חוסר  
אינו מתאר נתק בממתח אחורי  
לראות שבממתח אחורי הזרם הינו זרם אחורי זניח שנובע כתוצאה מזרם זליגה. בנוסף ניתן לראות  
שבממתח קדמי קיים קשר אקספוננציאלי בין המתח לזרם.

3.2. התנגדות סטטית היא התנגדות ה-DC של הדיודה, והתנגדות דינאמית היא התנגדות ה-AC של הדיודה. ההתנגדויות של הדיודה אינן קבועות, וזאת כיוון שאופיין המתח זרם של הדיודה אינו קבוע. כדי לחשב את ההתנגדות הסטטית נשתמש בנוסחה הבאה:

$$R_D = \frac{V_d}{I_d} = \frac{V_d}{I_S \left( e^{\frac{V_d}{nV_t}} - 1 \right)}$$

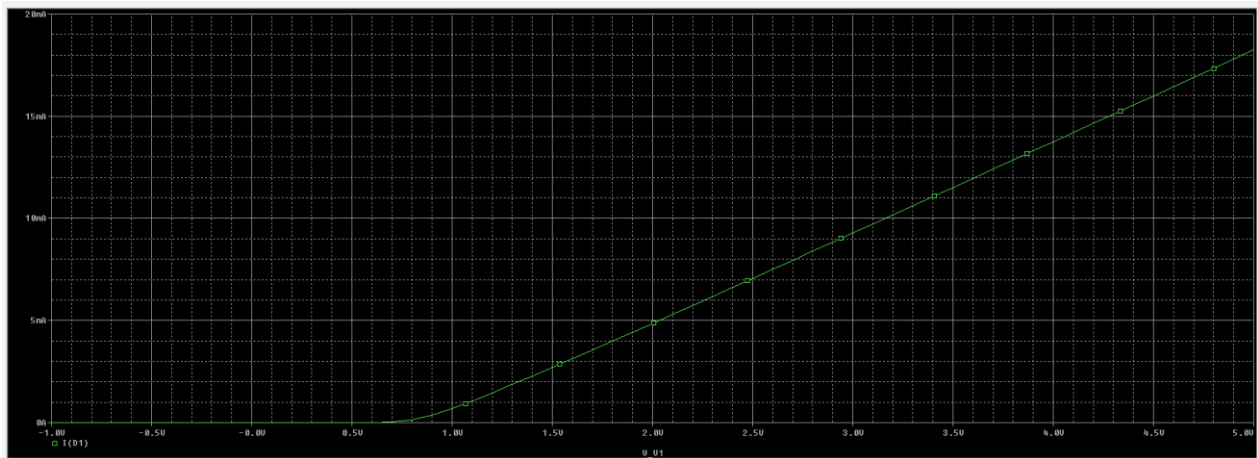
וכדי לחשב את ההתנגדות הדינאמית נשתמש בנגזרת:

$$R_d = \left( \frac{dI}{dV} \right)^{-1} = \frac{1}{\frac{I_S}{nV_t} e^{\frac{V_d}{nV_t}}} = \frac{nV_t}{I_S} e^{-\frac{V_d}{nV_t}}$$



3.3

$$X_3 = 6 \rightarrow R_1 = 220\Omega$$

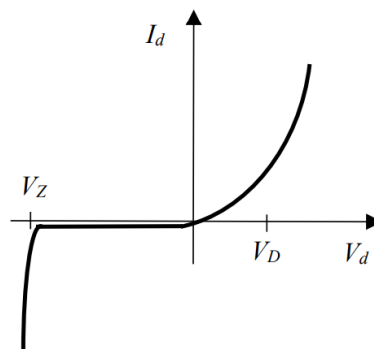


3.4

$$R_d = \frac{\Delta V}{\Delta I} = \frac{V_1 - V_2}{I_1 - I_2} = \frac{1.5 - 1}{2.7013m - 698.518u} = 249.65\Omega$$

כפי שניתן לראות בגרף, עבור מתח שקטן מ-0.7V הדיודה בקטעון ולא זורם זרם, ועבור מתח גדול יותר מתקבלת הולכה.

4.1 מפולת: כתוצאה ממתח אחורי מאוד גדול פועל שדה משמעותי על האלקטרונים אשר מצליח לגרום לתאוצה שלהם, אלקטרונים אלו מתנגשים במהירות גדולה באלקטרונים אחרים שכתוצאה מכך עוברים את אותו התהליך בצורת מפולת.

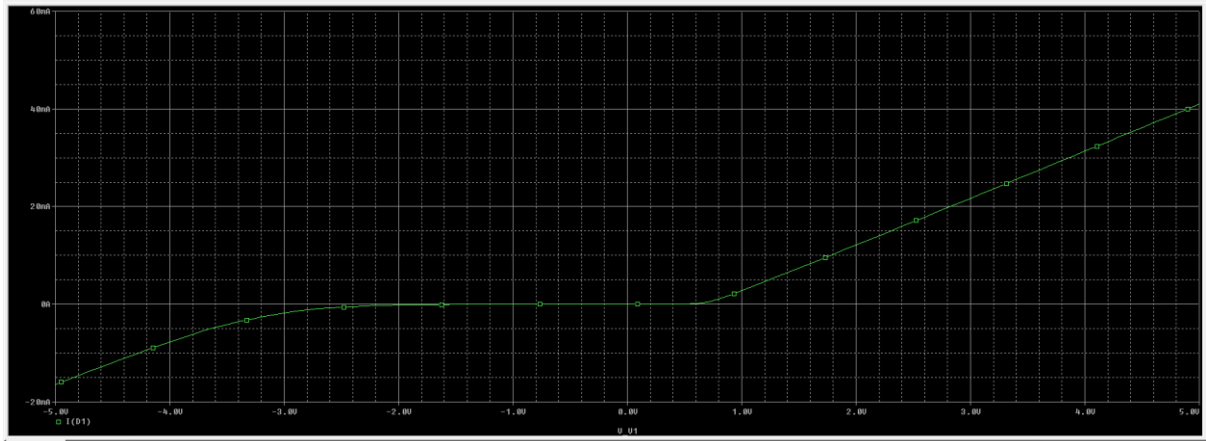


מפולת היא אחד הגורמים לתופעת הפריצה (בנוסף למנהור) וכפי שניתן לראות בגרף, כאשר ישנו ממתח אחורי גבוהה (הדרוש לקיום מפולת) אופיין המתח – זרם משתנה בצורה חדה ונהיה שלילי (מה שמצביע על כיוון הפוך של הזרם).

המתח  $V_Z$  מוגדר להיות המתח שהחל ממנו מתקבלת פריצה.

4.2

$$Y_2 = 0 \rightarrow R_1 = 100\Omega$$



$$V_Z \approx -2.5V, \quad V_D \approx 0.7V$$

$$R_d = \frac{V_1 - V_2}{I_1 - I_2} = \frac{2.6092 - 2.3908}{17.952 - 15.859} = 0.1k\Omega$$

$$R_z = \frac{V_1 - V_2}{I_1 - I_2} = \frac{-4.2874 - (-4.1437)}{-10.081 - (-8.8612)} = 0.117k\Omega$$

5.1. המעגלים באיורים 5 ו-6 נקראים מעגלי גזירה. מעגלי גזירה הם מעגלים אלקטרוניים שמטרתם לחתוך או לגזור חלק מהסיגנל הכניסה שלהם במטרה לשנות את הצורה של הסיגנל. פעולה זו יכולה להתרחש כאשר הסיגנל חורג מטווח מסוים, ובמקרים רבים משמשת בתחום העיבוד השמע. ההבדל העיקרי בין המעגלים נובע מכך שמעגל 5 חוסם את כל התדרים החל ממתח מסוים (בערך מוחלט) לעומת המעגל השני באיור 6 שחוסם תדרים בתחום מסוים.

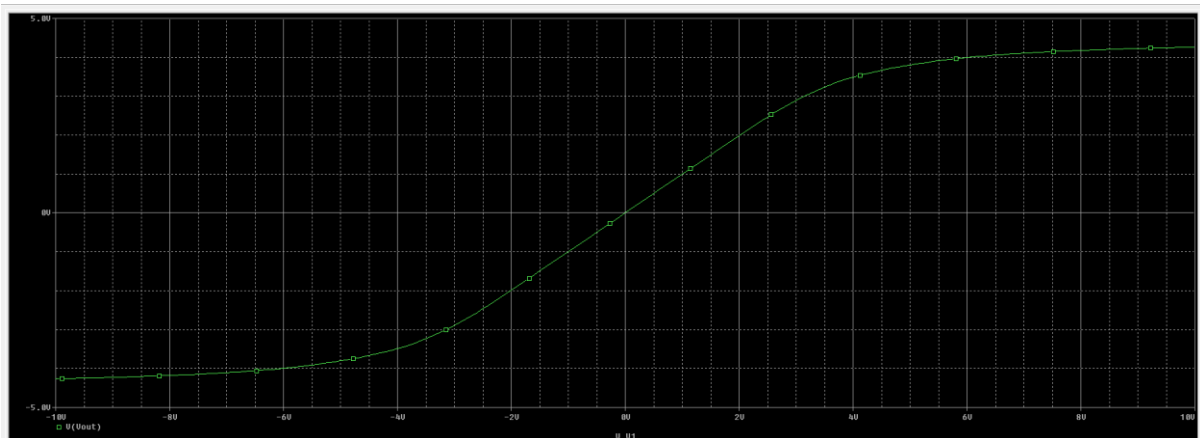
5.2. בהינתן כי  $V_Z = -3.6V$  וכי  $V_D = 0.7V$  נוכל לומר:

עבור דיודות D1 D2 D3 במתח כניסה גדול מ-4.3V תהיה הולכה, אך דיודה D4 תהיה בנתק (שכן היא בממתח אחורי). לכן, כל הענף השמאלי יהיה בנתק ונקבל כי  $V_{out} = 4.3V$ .

עבור טווח המתחים  $-4.3 < V_{in} < 4.3$  נקבל כי הדיודות D1 D2 לא יוליכו זרם. כמו כן, גם דיודות D3 D4 נמצאות בממתח אחורי ולכן גם הן לא יוליכו זרם. סה"כ נקבל כי  $V_{out} = V_{in}$ .

כאשר  $V_{in} < -4.3$  נקבל מצב הפוך למצב הראשון – הענף השמאלי יהיה בנתק ונקבל כי  $V_{out} = -4.3$ .

בגרף הבא ניתן לראות את מתח היציאה  $V_{out}$  כתלות במתח הכניסה  $V_{in}$  בתחום מתחים של  $-10V < V_{in} < 10V$  - כאשר המעגל הנדגם הינו מעגל 5:

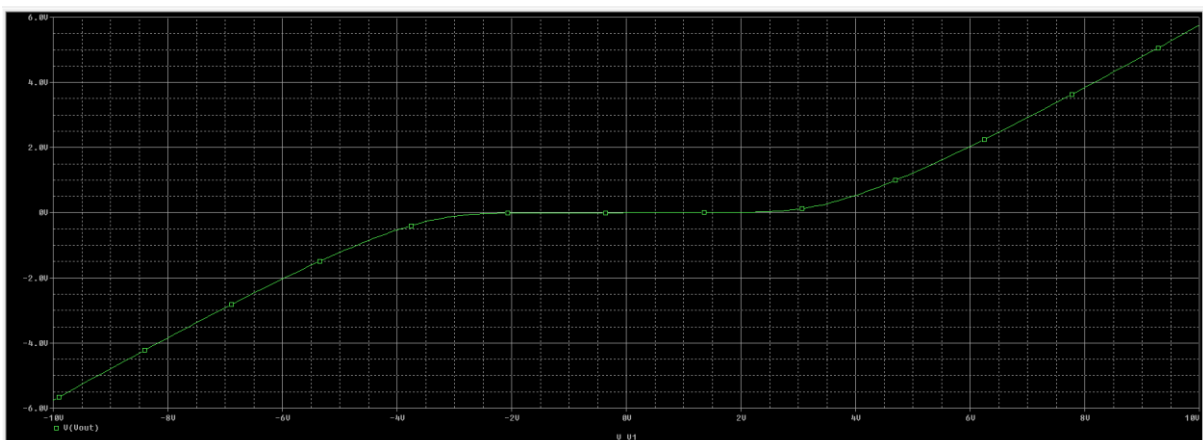


עבור המעגל באיור 6:

עבור דיודות D5 D6 D7 במתח כניסה גדול מ-4.3V תהיה הולכה, אך דיודה D4 תהיה בנתק (שכן היא בממתח אחורי). לכן, כל הענף העליון יהיה בנתק ונקבל כי  $V_{out} = V_{in} - 4.3V$ .

עבור טווח המתחים  $-4.3 < V_{in} < 4.3$  נקבל כי כל הדיודות לא יוליכו זרם. סה"כ נקבל כי  $V_{out} = 0$ .

כאשר  $V_{in} < -4.3$  נקבל מצב הפוך למצב הראשון – הענף התחתון יהיה בנתק ונקבל כי  $V_{out} = V_{in} + 4.3V$ .



6.1. בהנחה כי D2, D4 סגורות להולכה ניתן לומר כי  $V_{out}$  אינו תלוי ב  $V_{in}$  כלומר המתח ב  $V_{out}$  הוא קבוע.

$$v_{out} = (v_{in} - v_d) \frac{R_L}{R_L + R_1} = 4.47[V]$$

מצב זה נכון כאשר  $v_{in} > 4.47[V]$

בהנחה כי D1,D3 סגורות להולכה ניתן לומר כי  $v_{out}$  אינו תלוי ב  $v_{in}$  כלומר המתח ב  $v_{out}$  הוא קבוע.

$$v_{out} = (-v_2 + v_d) \frac{R_L}{R_L + R_1} = -4.47[V]$$

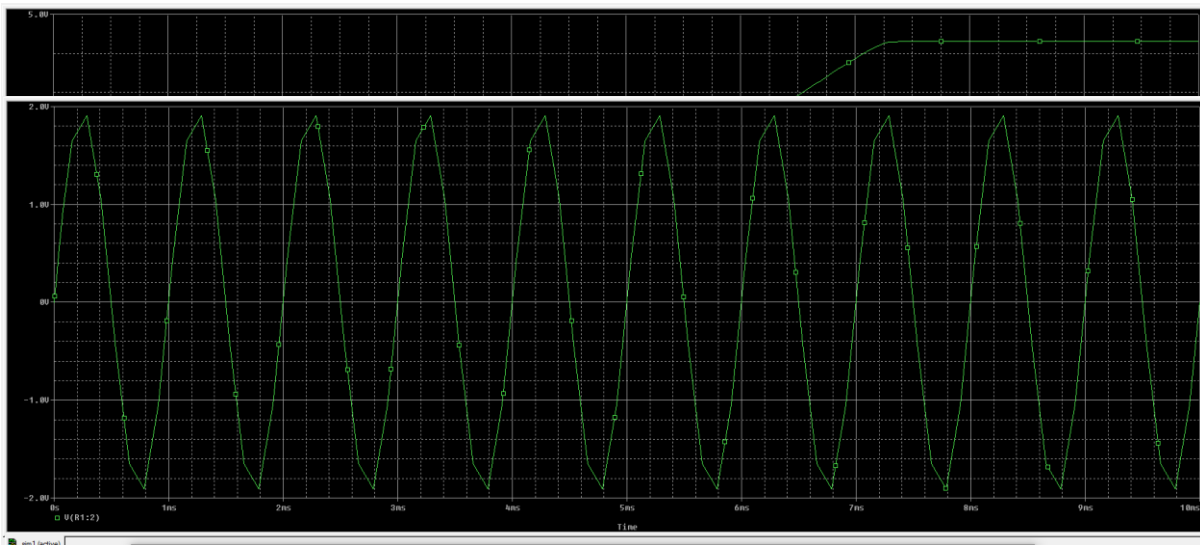
מצב זה נכון כאשר  $v_{in} < -4.47[V]$

כאשר מתקיים  $-4.47[V] < v_{in} < 4.47[V]$

כל הדיודות פתוחות ונקבל:

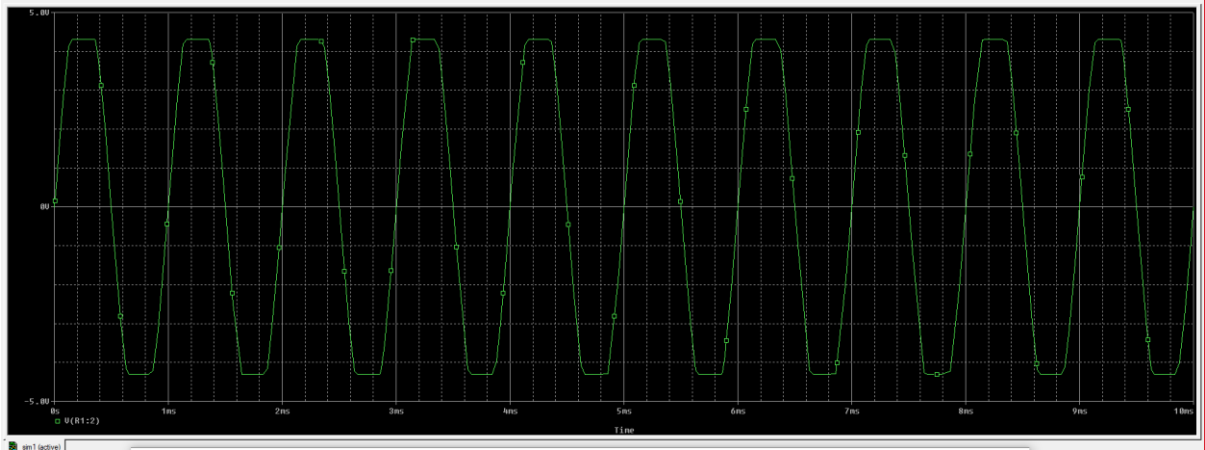
$$v_{out} = v_{in} + 0.65 - 0.65 = v_{in}$$

6.2. אכן קיבלנו גרף שמאמת את החישובים התיאורטיים:



6.3. עבור  $V_{pp} = 4V$ :

עבור  $V_{pp} = 12V$ :



השוני באמפליטודה בין שני הגלים מראה כי בסימולציה הראשונה אנו עדיין לא בתחום הנגזר, לעומת זאת בסימולציה השנייה אנו בתחום הגזירה ולכן המקסימום והמינימום נחתכים ואנו לא רואים אותם אלא רואים פלטו.

6.4

בסימולציה של איור 5 נקבל גזירה בתחום  $|v_{in}| > 4.3[V]$ .

בסימולציה של איור 6 נקבל גזירה בתחום  $|v_{in}| < 4.3[V]$ .

מכך ניתן לראות כי במעגל באיור 5 נשתמש כאשר ברצוננו לקבל מוצא בטווח מסוים בעוד במעגל באיור 6 נשתמש כאשר ברצוננו לבצע "חסימה" של טווח מסוים במוצא.