

דוח מכין 7

מגשים:

אריאל רנה

אור שאול

1.1.

Op-amp Model	TL071M	TL061M	LM741
Manufacture	Texas Instruments	STMicroelectronics	national semiconductor
Input Voltage Offset	3 [mV]	3 [mV]	3 [mV]
Large signal voltage gain / differential voltage amplification	200 [V/mV]	6 [V/mV]	200 [V/mV]
CMRR	86 [db]	86 [db]	90 [db]
Slew Rate	13 [V/uSec]	3.5 [V/uSec]	0.5 [V/uSec]
Bandwidth	3 [MHz]	1 [MHz]	1 [MHz]

2.1. input offset voltage: הפרש המתחים בין כניסת ה(+) לכניסת ה(-) של המגבר. הפרש זה קיים גם כאשר הכניסות מקוצרות אחת לשנייה.

2.2. large signal voltage gain: הגבר מתח ישר (DC) ההגבר האידאלי הוא אינסופי אך בפועל הוא סופי.

2.3. CMRR: היחס בין ההגבר הדיפרנציאלי לקומונלי. נרצה לקבל הגבר דיפרנציאלי גבוה והגבר קומונלי נמוך ולכן נרצה יחס CMRR גבוה.

2.4. slew rate: גודל השיפוע המקסימלי של אות המוצא כך שלא ייווצרו עיוותים באות.

2.5. Bandwidth: רוחב פס באות קטן, אשר נמדד בין 2 תדרי הברך. $\text{Gain Bandwidth} = \text{GBP}$.

3.1. $\text{ABC} = 920, \text{DEF} = 662$

$$V_{in} = 6.62 \sin(\omega t)$$

$$V_{amp} = 6.62 [V]$$

$$V_{max} = 6.62 [V]$$

$$V_{mean} = 0 [V]$$

$$V_{pp} = 13.24 [V]$$

$$V_{RMS} = 4.68 [V]$$

.3.2

$$V_{in} = 10 + 6.62 \sin(\omega t)$$

$$V_{amp} = 6.62 [V]$$

$$V_{max} = 16.62 [V]$$

$$V_{mean} = 10 [V]$$

$$V_{pp} = 13.24 [V]$$

$$V_{RMS} = 11.04[V]$$

.3.3

$$V_{in} = -10 + 6.62 \sin(\omega t)$$

$$V_{amp} = 6.62 [V]$$

$$V_{max} = -3.38 [V]$$

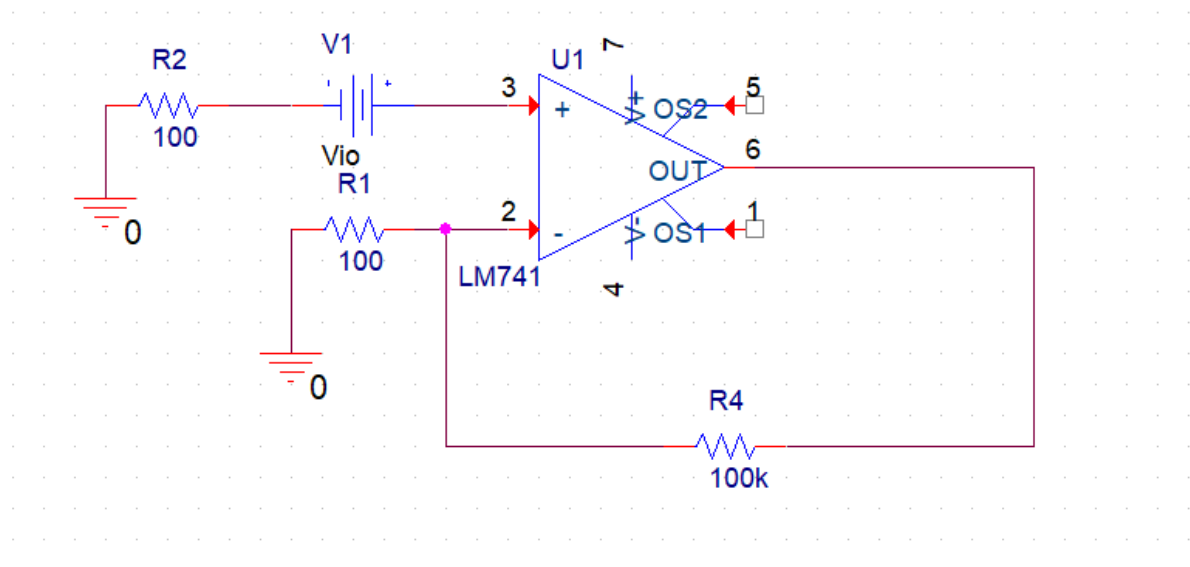
$$V_{mean} = -10 [V]$$

$$V_{pp} = 13.24 [V]$$

$$V_{RMS} = 11.04[V]$$

.4

$$V_{out} = 920 [mV]$$



$$V_- = \frac{100V_{out}}{100 + 100k} = 0.919 [V]$$

בגלל האידאליזציה אין זרם בכניסה למגבר ומתקיים קצר וירטואלי ולכן:

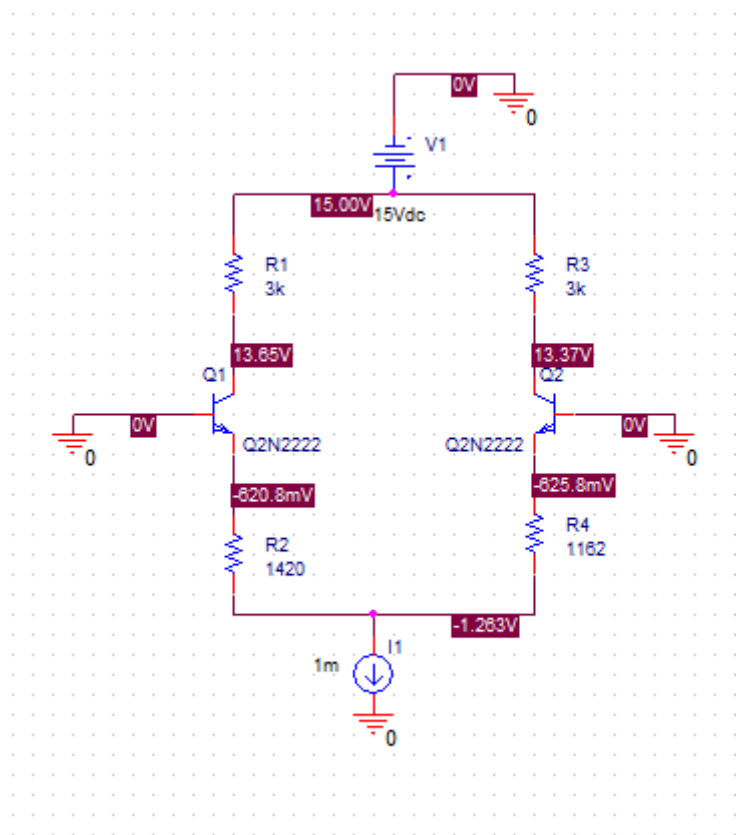
$$V_{io} = V_- = 0.919 [V]$$

מכיוון ש V_{io} והרעש במעגל באותו סדר גודל, לא ניתן למדוד במדויק. במעבדה, נמדוד את V_{out} ומתוכו נגזור את V_{io} לפי אותו חישוב שעשינו כאן.

4.3. בנינו את המעגל בPspice וקיבלנו את התוצאות הבאות:

$$V^+ = 13.65 [V]$$

$$V^- = 13.37 [V]$$



$$\Delta V = 0.28 [V]$$

נרצה ליצור סימטריה במעגל על מנת לאפס את הפרש המתחים. לשם כך, נדרוש שוויון בין זרמי הטרנזיסטורים וכך למעשה נדרוש שוויון בהתנגדות השקולה בין הענפים.

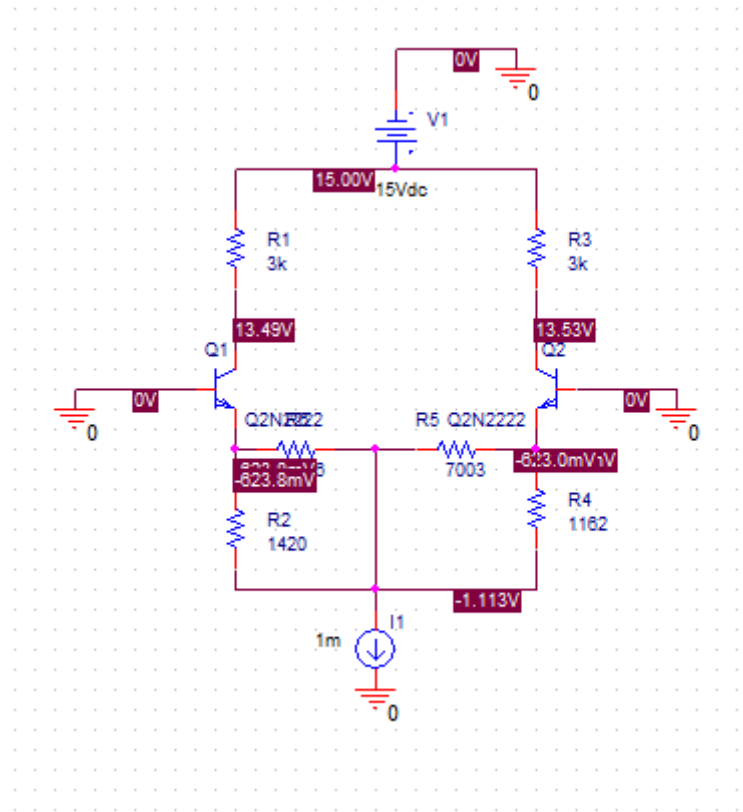
$$R_7 || R_{10} = R_8 || R_{11}$$

$$R_{11} + R_{10} = 10 [k\Omega]$$

קיבלנו 2 משוואות ב2 נעלמים, כאשר הפתרון נותן שתי תוצאות:

$$R_{10} = 2996 [\Omega], R_{11} = 7003 [\Omega]$$

$$\Delta V = 0.04 [V]$$



.5.1

$$CMRR = 152 [dB] = 20 \log(152) = 43.63$$

$$A_{cm} = 0.662$$

.5.2. עבור תמונה 4:

$$V^+ = V^- = \frac{100kV_g}{100k + 100}, I_{out} = \frac{V_g - 0.99V_g}{100} = 0.1 * 10^{-3}V_g$$

$$0.99V_g - V_{out} = 100k * 0.1 * 10^{-3}V_g \Rightarrow \frac{V_{out}}{V_g} = -9.01$$

תמונה 5:

$$V^+ = V^- = 0, I_{out} = \frac{V_{in}}{100}$$

$$0 - V_{out} = \frac{V_{in}}{100} * 100k \Rightarrow \frac{V_{out}}{V_{in}} = -1000$$

בתמונה 4 $V_1 = V_2 = V_{in}$ ולכן מודדים A_{cm}

בתמונה 5 $V_2 = 0, V_1 = V_{in}$ ולכן מודדים A_d

$$CMRR = \left| \frac{A_d}{A_{cm}} \right| = 110.9 = 40.89 [dB]$$

5.3. כיוון שההגבר הקומונלי נמוך, נרצה לבחור ב- $4V_{RMS} - 2$ על מנת שנוכל לראות את השינויים.

5.4. עבור תמונה מספר 5 (ההגבר הגדול יותר) נרצה מתח נמוך של $50-300mV_{RMS}$ על מנת שההגבר במוצא לא יהיה גבוה מידי. תפקיד הנגדים הוא להנחית את אות הכניסה מ- V_g על מנת למזער את הרעש היוצא מ- V_g לאות הכניסה.

6.1

$$Slew Rate = \left(\frac{dV}{dt} \right)_{max} \left[\frac{V}{Sec} \right]$$

$$Bandwidth = \frac{Slew rate}{2\pi V_{amp}}$$

Full power BW הוא טווח התדרים שבהם מתקבל מוצא עם לפחות חצי מהספק המגבר.

הקשר ל-Slew rate הוא שתדר הברך הגבוה הינו התדר המקסימלי שבו נקבל אות תקין במוצא.

6.2. רוחב הסרט נקבע על ידי הקבלים במעגל. ישנם קבלים במערכת שבאמצעותם ניתן לשלוט על תדרי הברך ובכך ניתן לקבוע את רוחב הסרט.

Slew rate היא תופעה לא לינארית ונקבעת בעיקר מזרם המגבר ב-DC.

6.3.1

$$Slew Rate = 9.2 \left[\frac{V}{\mu sec} \right], Bandwidth = 6.63 [MHz]$$

$$V^+ = \frac{1}{2} V_g = V^-, I = \frac{V_g}{200}$$

$$V_{out} = V^- + 100k * I + 50V_g + \frac{1}{2} V_g$$

$$V_{out} = 500.5 * V_g$$

$$\left(\frac{dV}{dt} \right)_{max} = 3144 * 10^3 * \alpha$$

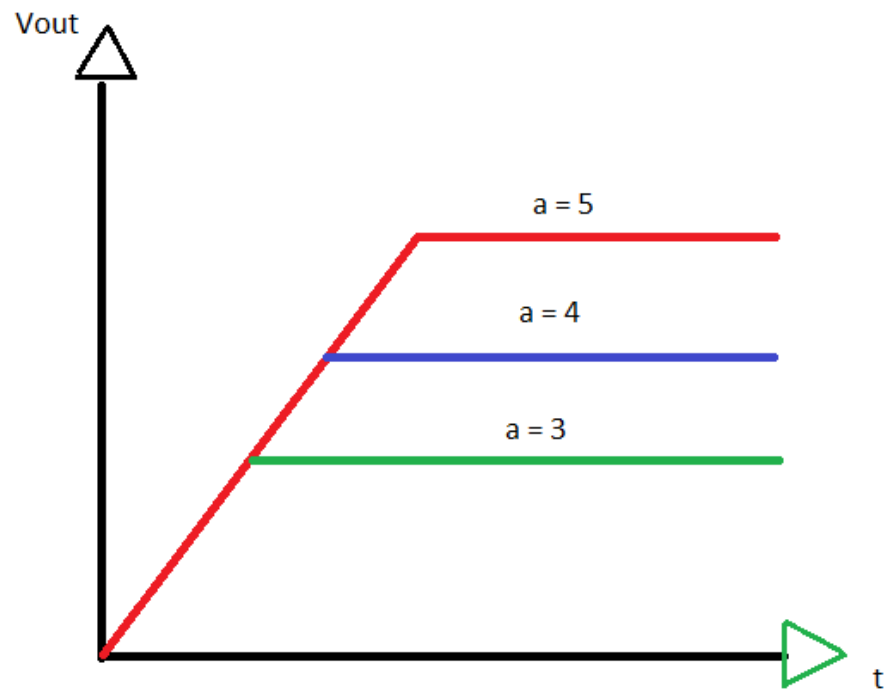
$$\alpha = \frac{slew rate}{3144 * 10^3} = 2.92$$

6.3.2

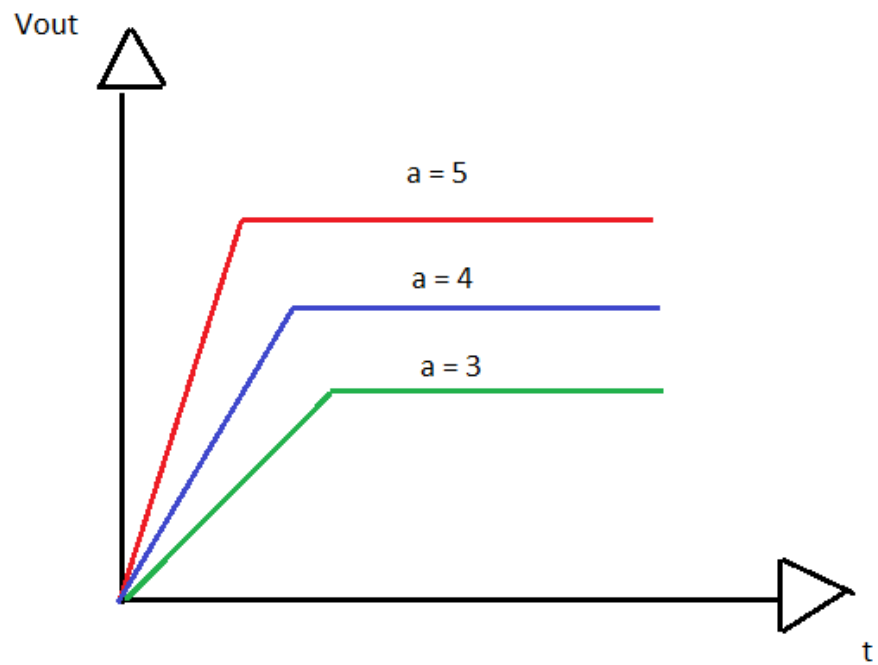
$$BW(5V) = \frac{\alpha * 3.144 * 10^6}{2\pi * 5} = 292.223 [KHz]$$

$$BW(2V) = \frac{\alpha * 3.144 * 10^6}{2\pi * 2} = 655.501 [KHz]$$

עם השפעת Slew Rate:



ללא השפעת Slew Rate:

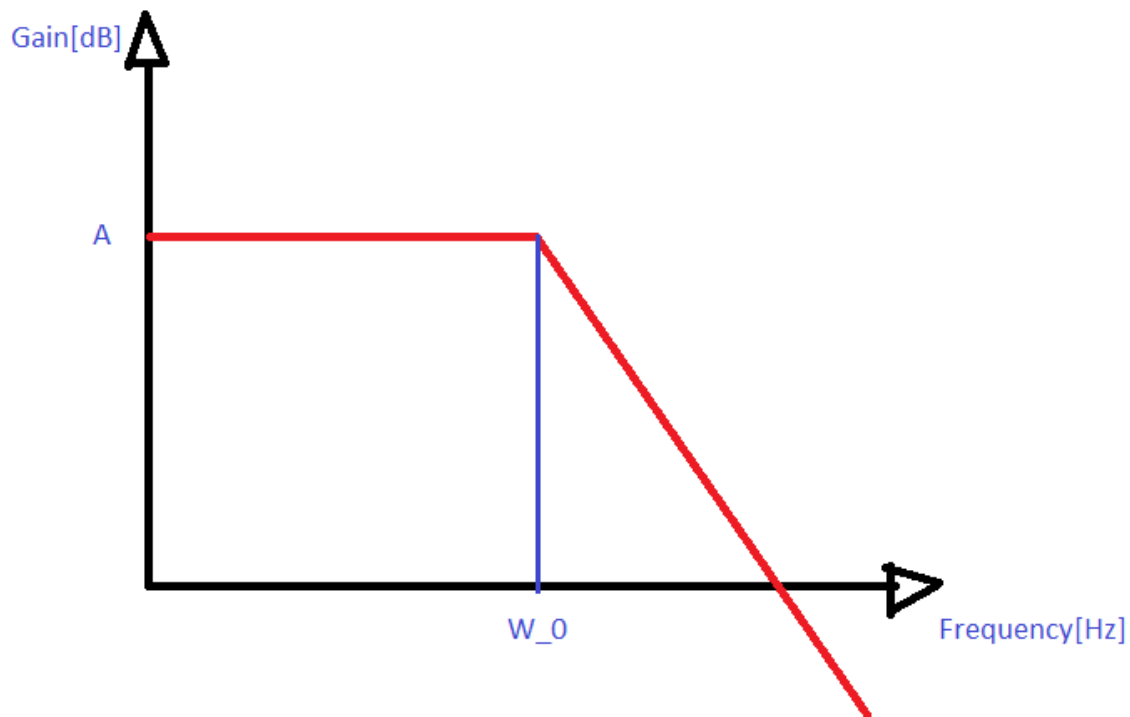


6.5. במעבדה נרצה למדוד ביחידות של $\frac{V}{\mu s}$ ולכן נבחר את הציר האופקי להיות בסקאלה של μ .

6.6. על מנת למדוד את slew rate נרצה להציג את מתח המוצא כפונקציה של הזמן. לאחר מכן נגביל את אמפליטודת הכניסה עד אשר נפסיק לראות שינוי בשיפוע מתח המוצא או עד שנתחיל להבחין בעיוותים במתח. את slew rate נחשב על ידי השיפוע המקסימלי בגרף שנוצר.

7.1. פונקציית התמסורת הכללית עבור תדר ברוך אחד:

$$H = \frac{A}{1 + j\left(\frac{\omega}{\omega_0}\right)}, A \Rightarrow \text{gain}, \omega_0 \Rightarrow \text{single pole}$$



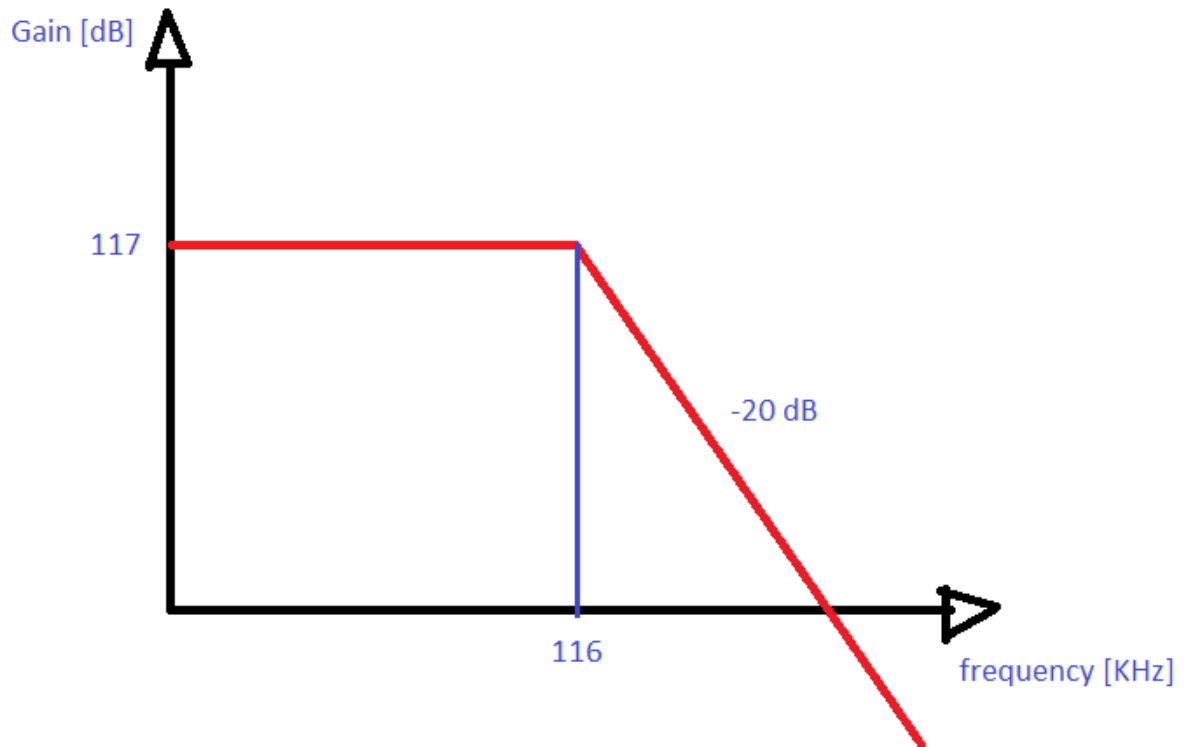
7.2. unity gain BW הינו תחום התדרים עבורם הגבר המעגל הוא 1. עבור פונקציית תמסורת עם קוטב בודד, מתקבל רק תדר אחד שבו ההגבר הינו 1, נסמנו ω_0 . במגבר שרת הgain BW product הוא קבוע ושווה למכפלת רוחב הסרט וההגבר בו רוחב הסרט נמדד. במקרה שלנו מתקיים:

$$\text{Gain BW Product} = \omega_0 * 1 = \omega_0 = \text{Unity Gain BW}$$

7.3

$$DC \text{ gain} = 92 + 25 = 117 [dB]$$

$$f_{pole} = 50 + 66 = 116 [KHz]$$



לפי הסעיף הקודם, $GBW = UBW$ כאשר מדובר בקוטב יחיד ולכן:

$$UBW = GBW = 10^{\frac{117}{20}} * 116 * 10^3 = 8.21 * 10^{10} [Hz]$$

.7.4

$$Frequency = 10 * (116) * 10^3 = 116 * 10^4 [Hz]$$

$$Gain = 11.7 [dB]$$

תדר הברך נמצא במרחק דקדה מתדר הברך הקודם ולכן:

$$|H(116 * 10^4 j)| = \left| \frac{10^{\frac{117}{20}}}{1 + \frac{116 * 10^4 j}{116 * 10^3}} \right| = 96.95 [dB]$$

$$117 - 11.7 = 105.3 [dB]$$

נמיר את ההגבר לכמות דקדות:

$$\frac{105.3}{20} = 5.265$$

כעת נכפיל את תדר הברך הקודם ב- $10^{5.265}$:

$$116 * 10^3 * 10^{5.265} = 2.135 * 10^{10} [Hz]$$

7.5. נחשב את הגבר ה-DC על ידי הצבת $S=0$ בתמסורת המעגל:

$$H_7 = \frac{1 + \frac{R_2}{R_1}}{1 + \frac{1}{A_{OL}} * \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right)}$$

$$H_8 = - \frac{\frac{R_2}{R_1}}{1 + \frac{1}{A_{OL}} * \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right)}$$

בהנחת קוטב בודד, רוחב הסרט יהיה:

$$BW = \frac{\omega_{3dB}}{2\pi} = \frac{\omega_t}{2\pi * \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right)}$$

$$GBW_7 = \frac{\left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) * \frac{\omega_t}{2\pi \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right)}}{1 + \frac{1}{A_{OL}} * \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right)} = \frac{\omega_t}{2\pi * \left(1 + \frac{1}{A_{OL}} \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right)\right)}$$

$$GBW_8 = - \frac{\frac{R_2}{R_1} * \frac{\omega_t}{2\pi \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right)}}{1 + \frac{1}{A_{OL}} * \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right)}$$

7.6

$$|GBW_7| = \left| \frac{\omega_t}{2\pi * \left(1 + \frac{1}{A_{OL}} \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right)\right)} \right| = \frac{\omega_t}{2\pi}$$

$$|GBW_8| = \left| \frac{\frac{R_2}{R_1} * \frac{\omega_t}{2\pi \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right)}}{1 + \frac{1}{A_{OL}} * \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right)} \right| = \frac{R_2}{R_1} * \frac{\omega_t}{2\pi \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right)}$$

7.7. על מנת לקבל שוויון בין הביטויים נדרוש:

$$\frac{R_2}{R_1} \gg 1 \Rightarrow R_2 \gg R_1$$

8.1. ניתן לראות כי מתקיים קצר וירטואלי בין הדקי המגבר (התנגדות המגבר אינסופית ואין זרם לתוך המגבר). לכן:

$$V^+ = V^- = 0$$

דרך הנגדים R ו r לא זורם זרם ולכן:

$$V_y = 0 \Rightarrow \frac{V_y}{V_g} = 0$$

נשווה בין הזרמים:

$$\frac{V_{out} - V_y}{R} = \frac{V_y - V_g}{R}$$

$$V_{out} - V_y = V_y - V_g$$

$$V_{out} = -V_g \Rightarrow \frac{V_{out}}{V_g} = -1$$

8.2. מתוך הנוסחה ניתן למדוד את V_y ו V_{in} על מנת שנוכל לחשב את הגבר המעגל הפתוח. לאחר מכן נכניס את A_{OL} ונמדוד את המתח באותן נקודות, ונציב בנוסחה. על מנת לקבל מדידות אמינות, נבחר את תדר האות הנכנס להיות בטווח התדרים הלינארי של המגבר. עבור האמפליטודה, נרצה לבחור ערך קטן מ A_{OL} , שלא נפגע במכשיר המדידה.

9.1. המגבר אידאלי, לכן מתקיים קצר וירטואלי. כלומר:

$$V^+ = V^- = 0$$

נחשב את האימפדנס השקול עבור הנגד והקבל:

$$Z_{eq} = \frac{R * \frac{1}{j\omega C}}{R + \frac{1}{j\omega C}} = \frac{R}{1 + j\omega RC}$$

$$\frac{V_g - 0}{R_1} = \frac{0 - V_{out}}{\frac{R}{1 + j\omega RC}} \Rightarrow \frac{V_{out}}{V_g} = -\frac{R}{R_1(1 + j\omega RC)}$$

$$H(j\omega) = -\frac{R}{R_1 RC \left(j\omega + \frac{1}{RC}\right)} = -\frac{1}{R_1 C \left(j\omega + \frac{1}{RC}\right)}$$

$$\omega_p = \frac{1}{RC}$$

9.2

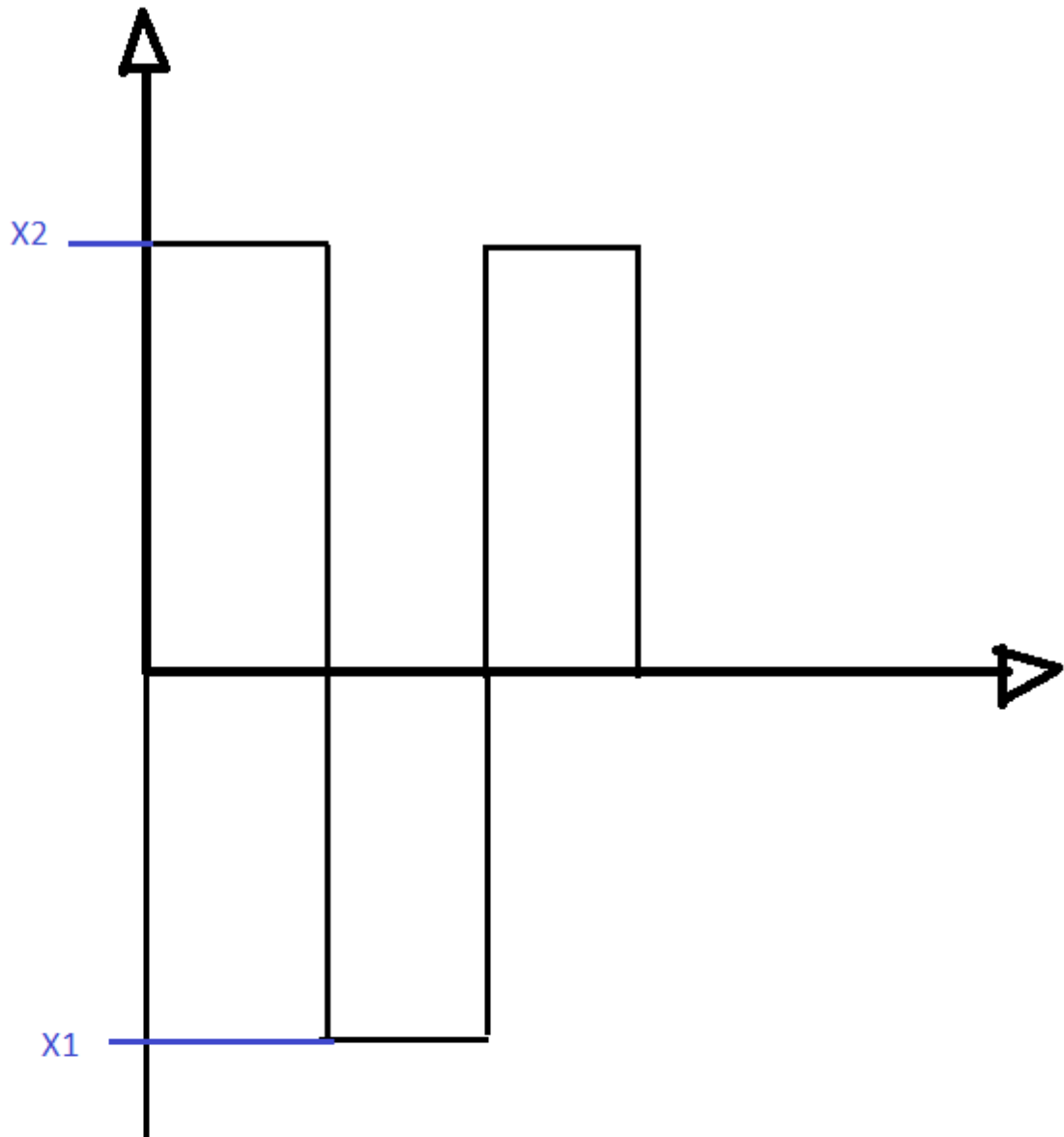
עבור $\omega \gg \omega_p$:

$$H(j\omega) = -\frac{1}{R_1 C \left(j\omega + \frac{1}{RC}\right)} = -\frac{1}{j\omega R_1 C}$$

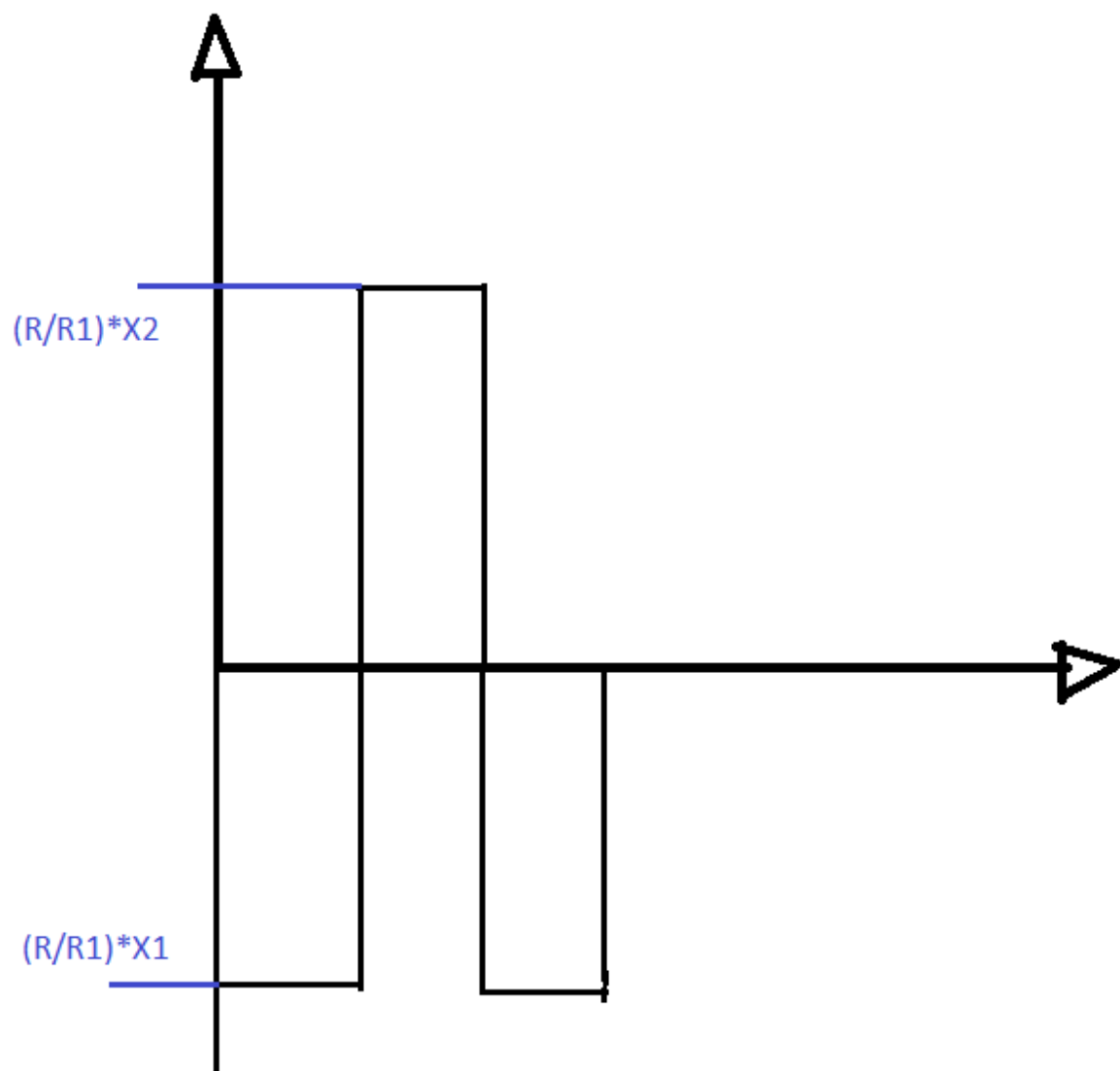
עבור $\omega \ll \omega_p$:

$$H(j\omega) = -\frac{1}{R_1 C \left(j\omega + \frac{1}{RC} \right)} = -\frac{R}{R_1}$$

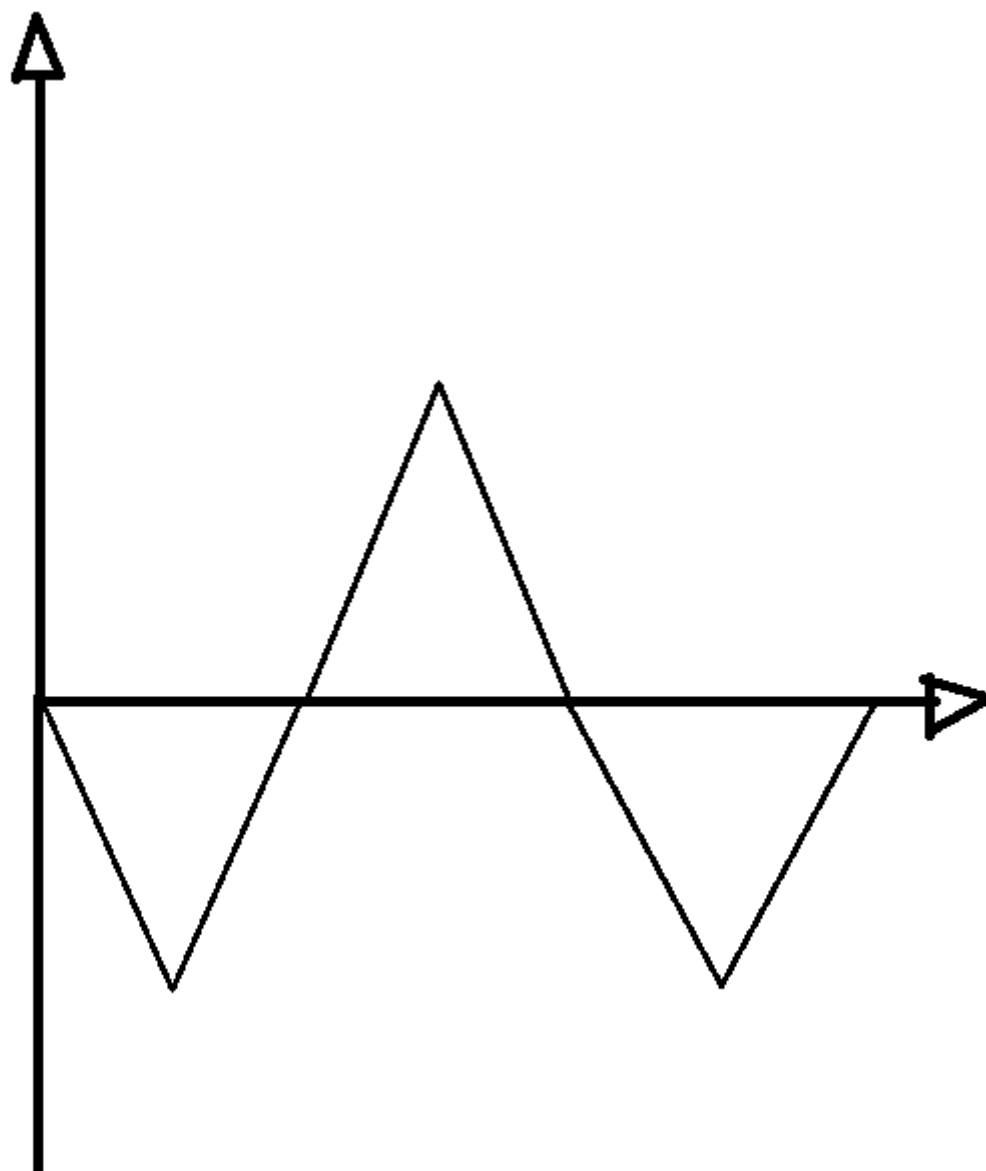
עבור כניסת אות מלבני מהצורה הבאה:



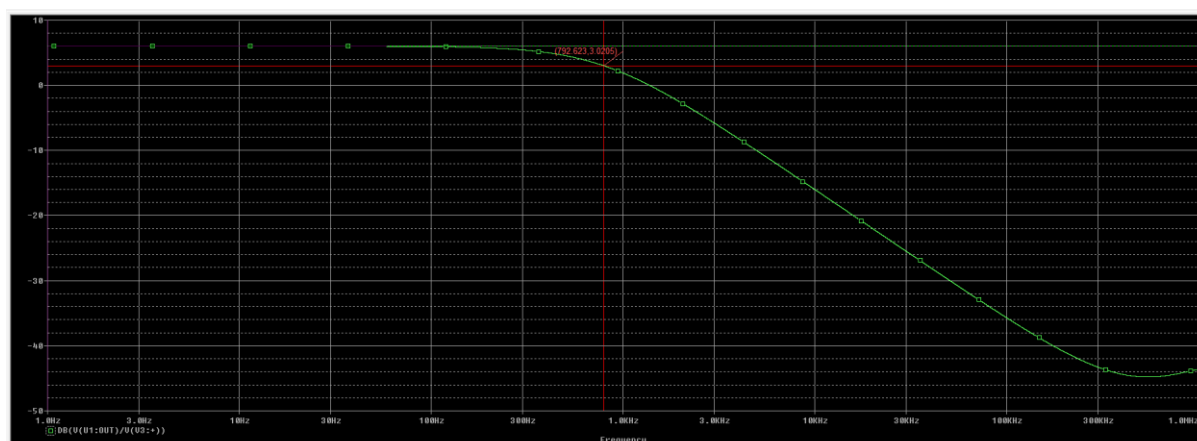
נקבל עבור $\omega \ll \omega_p$: אות המוצא יהיה מכפלה של אות הכניסה בקבוע שלילי. כלומר, במוצא אנו נראה היפוך מוצא ושינוי באמפליטודה:



עבור $\omega_p \gg \omega$ נראה כי המעגל מתנהג כגוזר, לכן נראה במוצא אות משולש. גם כאן נראה היפוך מופע:



9.3.



תדר הברך שהתקבל הינו:

$$f_p = 792.623 [Hz]$$

ולפי החישוב:

$$f_p = \frac{1}{2\pi RC} = 795.775 [Hz]$$

10.1. נניח כי המגבר אידיאלי ונפתור את המעגל:

$$\frac{V_1 - V_{out}}{R} = \frac{V_{out} - V_2}{R}$$

$$V_1 + V_2 = 2V_{out}$$

$$V_{out} = \frac{V_1 + V_2}{2}$$

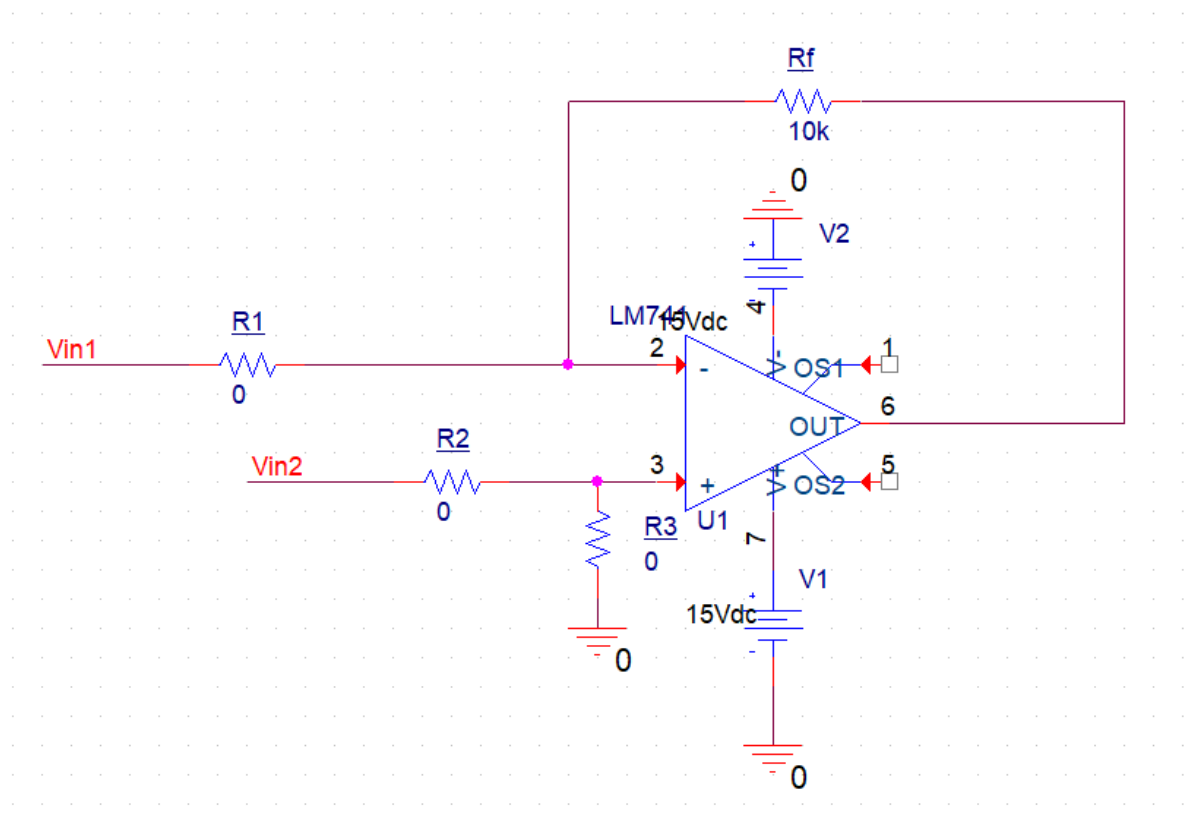
כלומר, המעגל מבצע ממוצע של שתי הכניסות.

10.2.

$$ID = 206393662$$

$$R_f = 10 [k\Omega], -2V_1 + 2V_2$$

נרכיב את המעגל הבא:



נפתור בסופרפוזיציה:

עבור $V_{in2} = 0$:

$$V^+ = V^- = 0$$

$$\frac{V_{in1} - 0}{R_1} = \frac{0 - V_{out}}{R_f}$$

$$V_{out1} = -\frac{R_f * V_{in1}}{R_1} = -\frac{10k * V_{in1}}{R_1} = -2V_{in1}$$

$$R_1 = 5 [k\Omega]$$

עבור $V_{in1} = 0$:

$$V^+ = V^- = \frac{V_{in2} * R_3}{R_3 + R_2}$$

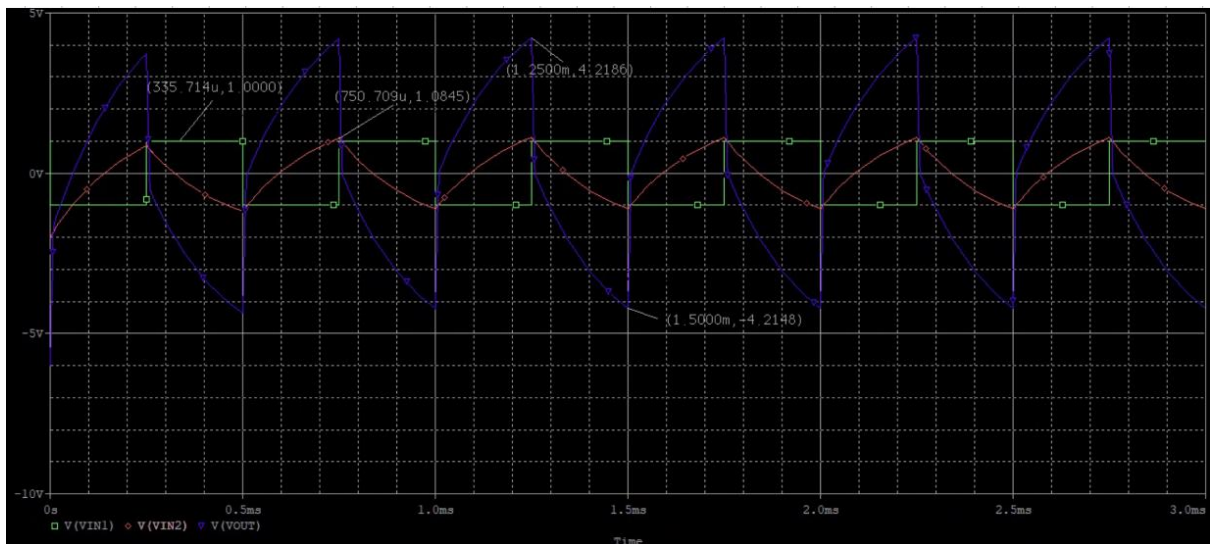
$$\frac{0 - \frac{V_{in2} * R_3}{R_3 + R_2}}{R_1} = \frac{\frac{V_{in2} * R_3}{R_3 + R_2} - V_{out}}{R_f}$$

$$V_{out2} = \frac{V_{in2} * R_3}{R_3 + R_2} + \frac{R_f * \frac{V_{in2} * R_3}{R_3 + R_2}}{R_1} = V_{in2}(X + 2X) = 2V_{in2}$$

$$3X = 2$$

$$X = \frac{2}{3} = \frac{R_3}{R_3 + R_2}$$

נבחר $R_2 = 1 [k\Omega]$ ולכן: $R_3 = 2 [k\Omega]$



11.

1. נשתמש בסקאלה ליניארית כדי לבצע את החישובים, מכיוון שרק באמצעותה הנוסחה תהיה תקפה.
2. בהנחה שהSWEEP הוא LPF, ניתן להסיק כי בתדר הברך יש משרעת הקטנה בפי שורש 2 מהתדרים הנמוכים.
3. כעת נבדוק כיצד צורת פונקציית התמסורת של המעגל מתאימה לדו"ח המבוצע.
4. לאחר הנחה כי המעגל הוא LPF, השתמשנו בנתונים על תדר הברך לחישוב האמפליטודה.
5. על ידי מדידת הכניסה והמוצא, נבדקה תמסורת המעגל ותדר הברך.
6. נסיים את הבדיקה של צורת התמסורת של המעגל (LPF , BPF , HPF).
7. נבצע SWEEP תדרים על המוצא והכניסה כדי לאתר את תדר הברך בבירור.
8. נקבע את זמן SWEEP ונמדוד את ה-RMS בתדרים נמוכים.
9. במהלך המדידות נכוון את התדר באמצעות knob של מחולל האותות.
10. נסיים את המדידה כאשר נקבל את תדר הברך המבוקש.
11. ברגע שנגלה מעגל HPF, נגביר את התדר לגבוה יותר ונקבע מחדש את המדידות.
12. נשתמש רק בגלי סינוס, ובמקרה של מעגל HPF נתקן את התדר בהתאם.

12.

1. הSWEEP מאפשר הערכה איכותית של תלות המעגל בתדר. כדי לקבל הערכה כמותית, נדרשות מדידות ידניות וציור גרף. יש לזהות טווחי תדרים ולקבל טבלה וקובץ אקסל לניסוי.
2. לפני מילוי הטבלה, יש לבצע AC SWEEP כדי לוודא תקינות המעגל ולבדוק את טווחי התדרים.
3. לאחר זיהוי טווחי התדרים, נספור 9 תדרים בו, כאשר לפחות 5 מהם סמוכים לתדר הברך.
4. במדידות התדרים, יש להתעדכן בסקאלת הסקופ כך שיופיעו לפחות חמישה מחזורים.
5. בנוסף למדידת הגבר, יש למדוד גם את הכניסה והמוצא של התמסורת, ועדיף להשתמש ב-RMS במקום VPP.
6. במקרה של עיוותים במוצא, יש להוריד את מתח הכניסה כדי לשמור על יציבות המערכת.
7. במדידת הפאזה, יש להוסיף 180 במידה והפאזה משנה סימן, וברצוננו למדוד ב-V יש לכלול סימן, אחרת נמדוד ב-dB.