

הנדסה ביו רפואית

מעבדה בחשמל

מגישים:

דן טורצקי

סול אמרה

תאריך:

05.12.2021

תוכן עניינים:

1	הנדסה ביו רפואית מעבדה בחשמל	
3	תקציר:	1
4	ניסויים:	2
4	ניסוי 1:	2.1
4	היפותזה:	2.1.1
4	מתודולוגיה:	2.1.2
7	תוצאות:	2.1.3
13	מסקנות:	2.1.4
15	ניסוי 2:	2.2
15	היפותזה:	2.2.1
15	מתודולוגיה:	2.2.2
16	תוצאות:	2.2.3
20	מסקנות:	2.2.4
22	ניסוי 3:	2.3
22	היפותזה:	2.3.1
22	מתודולוגיה:	2.3.2
23	תוצאות:	2.3.3
30	מסקנות:	2.3.4
31	מסקנות כלליות	3
32	מקורות	4
33	נספחים	5

1 תקציר:

בניסוי זה למדנו על תופעות מעבר במעגלים מסדר ראשון ושני – מעגלי RC , RL ו- RLC . לשם כך, השתמשנו שתי טכניקות – הראשונה שימוש בתגובת המעגלים לכניסת גל ריבועי. ע"י בחירת תדר מתאים בו כל תופעות המעבר חולפות ראינו כיצד מתגובת המעגל לגל ריבועי ניתן למדוד את קבוע הזמן של המעגל. הטכניקה השנייה הינה להכניס גל מחזורי סינוסי, למדוד את תגובת המעגל לתדר ומהתגובה לחלץ את קבוע הזמן. כמו כן, ראינו כיצד שינוי בערכי הרכיבים משפיע על תופעות המעבר – במעגלים מסדר ראשון ניתן לשלוט בקצב השינוי של תופעת המעבר ע"י שינוי התנגדות הנגד ובמעגלים מסדר שני ניתן לשלוט בסוג הריסון של המעגל (וגם בקצב השינוי של ריסון זה אך לא חקרנו זאת בניסוי זה). נוכחנו ללמוד כי תחת תנאי הניסוי השיטות בהן השתמשנו אפשרו מדידות מדויקות של קבועי הזמן (של המערכת הלא אידאלית). אם זאת, בניגוד לחישובים התאורטיים בהם הנחנו אידאליות של הסליל, בפועל לסליל ישנה התנגדות פנימית המשנה את המידול של המעגלים וגרמה לשגיאות גדולות בין ערכים תאורטיים לתוצאות הניסוי. אם כך, אם אנו משתמשים בסלילים שהתנגדותם הפנימית אינה שולית ביחס למערכת עלינו למדל את המערכת בהתאמה כך שנוכל לייצר מודל תאורטי הקרוב למודל האמיתי בו אנו משתמשים.

2 ניסויים:

2.1 ניסוי 1:

2.1.1 היפותזה:

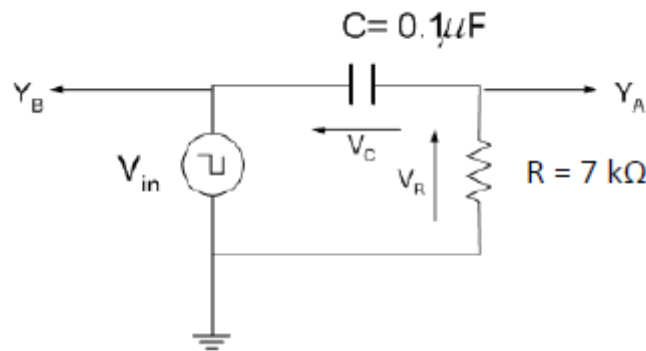
בניסוי זה נבחן את תופעות המעבר של מעגל RC טורי. נצפה לקבל גרפים אקספוננציאלים של פריקה וטעינת הקבל כאשר כפי שראינו בדוח המכין הקבל הינו מסנן מעביר נמוכים והנגד מסנן מעביר גבוהים ונצפה שתוצאות אלו לא ישתנו כאשר נוסיף נגד נוסף למעגל. כמו כן, נצפה כי כאשר נגדיל את תדירות מתח המקור יהיה שינוי בגרף של מתח הקבל כיוון שתופעות המעבר לא יספיקו לחלוף, כלומר יהיה שינוי במתח המקור לפני הקבל יספיק להגיע לריוויה. בנוסף, מהנוסחה עבור קבוע הזמן שקיבלנו בדוח המכין כאשר מוסיפים נגד במקביל לקבל נצפה

$$\text{שככל שהתנגדותו תגדל כך קבוע הזמן יגדל: } \tau_0 = \frac{RR_1C}{R+R_1} = \frac{RC}{\frac{R}{R_1}+1}$$

2.1.2 מתודולוגיה:

מכשור וציוד: קבל, נגד, אוסילוסקופ, מחולל אות, 2 כבלי בננה-בננה, 3 כבלי BNC-בננה.

מהלך הניסוי: בניסוי זה הרכבנו את המעגל שמופיע באיור 1:



איור (1): מעגל RC טורי כאשר מתח המוצא הינו מתח הנגד [1]

חיברנו את הנגד והסליל באמצעות כבל בננה-בננה, אותם חיברנו למקור (מחולל האותות) על ידי כבל BNC-בננה. לאחר מכן, חיברנו באמצעות שני כבלי BNC-בננה את האוסילוסקופ למעגל כך שימדוד את מתח המקור (V_A) ואת המתח על הנגד (V_B). הגדרנו את מתח המקור להיות גל ריבועי כך ש: $f = 1000 \text{ Hz}$, $V_{pp} = 6 \text{ mV}$ ורכשנו את התמונה. לאחר מכן שינינו את תדירות מתח המקור להיות $f = 100 \text{ Hz}$ ורכשנו שוב תמונה.

כמו כן, ראינו כי נוסחה עבור מתח הנגד הינה: $V_C = V_\infty + (V_0 - V_\infty)e^{-t/\tau}$ [2], (1) בזמן $t = 0 \text{ [sec]}$ קבל מתנהג כקצר ולכן אין הפרש מתחים בין V_A , V_B כלומר $V_0 = 0 \text{ V}$.

בזמן $t \rightarrow \infty \text{ [sec]}$ קבל מתנהג כנתק ולכן אין זרם במעגל כלומר $V_\infty = V_{in}$.

מכאן קיבלנו כי: $V_C = V_{in}(1 - e^{-t/\tau})$ וכיוו שהקבל והנגד מחוברים בטור ניתן להסיק:

$$V_R = V_{in} - V_C = V_{in} - V_{in}\left(1 - e^{-\frac{t}{\tau}}\right) = V_{in}e^{-\frac{t}{\tau}}$$

כלומר כאשר $t = \tau$ נקבל כי המתח על הנגד הינו:

$$V_R = V_{in} \cdot \frac{1}{e} = 600 \cdot \frac{1}{e} = 220.73 \text{ V}$$

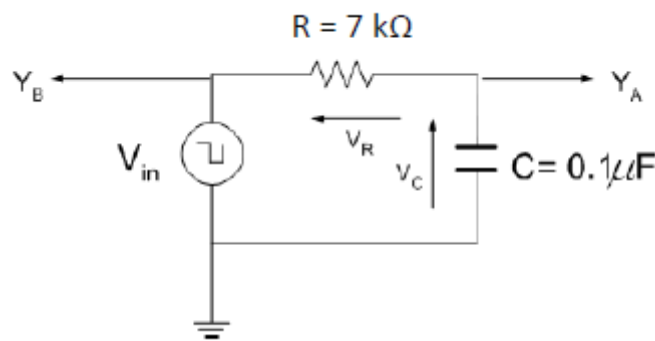
בעזרת האוסילוסקופ מצאנו את הנקודה בה מתח הנגד מגיע לערך זה, מדדנו את הזמן ורכשנו תמונה.

לאחר מכן, שינינו את מתח המוצא לגל סינוסי כאשר $V_{pp} = 6 \text{ mV}$ ושינינו את התדירות בטווח $50 - 2000 \text{ Hz}$ ומדדנו את מתח המוצא ואת מתח הכניסה. כמו כן, ראינו בדוח המכין כי תדר התהודה של מעגל RC טורי נתון על ידי הביטוי:

$$\omega_0 = \frac{1}{\tau} = \frac{1}{RC} = \frac{1}{7 \cdot 10^3 \cdot 0.1 \cdot 10^{-6}} = 1428.57 \frac{\text{rad}}{\text{sec}}$$

$$f = \frac{\omega_0}{2\pi} = 227.36 \frac{1}{\text{sec}}$$

ולכן ביצענו יותר מדידות עבור תדירויות הקרובות לערך זה.



איור (2): מעגל RC טורי כאשר מתח המוצא הינו מתח הקבל [1]

חזרנו על השלבים המוזכרים למעלה עבור המעגל באיור 2. במעגל זה מתח המוצא הינו מתח הקבל ולכן את קבוע הזמן חישבנו באמצעות השלבים הבאים:

ראינו כי $V_C = V_{in}(1 - e^{-t/\tau})$. כלומר כאשר $t = \tau$ נקבל כי המתח על הנגד הינו:

$$V_C = V_{in} \left(1 - \frac{1}{e}\right) = 600 \left(1 - \frac{1}{e}\right) = 379.27 \text{ V}$$

כאשר מתח הקבל המינימלי הינו -300 V ולכן נתעניין בזמן עבור

$$V_C = -300 + 379.27 = 79.27 \text{ V}$$

בעזרת האוסילוסקופ מצאנו את הנקודה בה מתח הנגד מגיע לערך זה, מדדנו את הזמן ורכשנו תמונה.

כמו כן, ניתן לראות כי קבוע הזמן אינו משתנה בהתאם להגדרת מתח המוצא ולכן את מדידות התדרים ביצענו עבור תדרים זהים לתדרים שמדדנו במעגל המתואר באיור 1.

לאחר מכן, עבור המעגל המתואר באיור 2 חיברנו נגד נוסף בעל התנגדות $R_1 = 5 \text{ k}\Omega$ במקביל לקבל. עבור מעגל זה:

בזמן $t = 0 \text{ [sec]}$ קבל מתנהג כקצר ולכן לא יעבור זרם דרך הנגד R_1 כלומר נקבל כי אין הפרש מתחים בין Y_A, Y_B כלומר $V_0 = 0 \text{ V}$.

בזמן $t \rightarrow \infty \text{ [sec]}$ קבל מתנהג כנתק ולכן המתח על הקבל יהיה על פי נוסחת מחלק מתח:

$$V_\infty = V_{in} \frac{R_1}{R + R_1} = \frac{5}{12} V_{in}$$

מכאן קיבלנו כי: $V_C = \frac{5}{12} V_{in} \left(1 - e^{-\frac{t}{\tau}}\right)$ כאשר $t = \tau$ נקבל כי המתח על הנגד הינו:

$$V_C = 600 \cdot \frac{5}{12} \cdot \left(1 - \frac{1}{e}\right) = 158.03 \text{ mV}$$

כאשר מתח הקבל המינימלי הינו -191.78 V (ראינו באמצעות האוסילוסקופ) ולכן נתעניין בזמן עבור

$$V_C = -191.78 + 158.03 = -33.75 \text{ V}$$

בעזרת האוסילוסקופ מצאנו את הנקודה בה מתח הנגד מגיע לערך זה, מדדנו את הזמן ורכשנו תמונה.

כמו כן, שינינו את ערך הנגד R_1 וחזרנו על החישובים עבור מציאת קבוע הזמן. ביצענו את המדידות המתאימות לכל התנגדות ורכשנו תמונות.

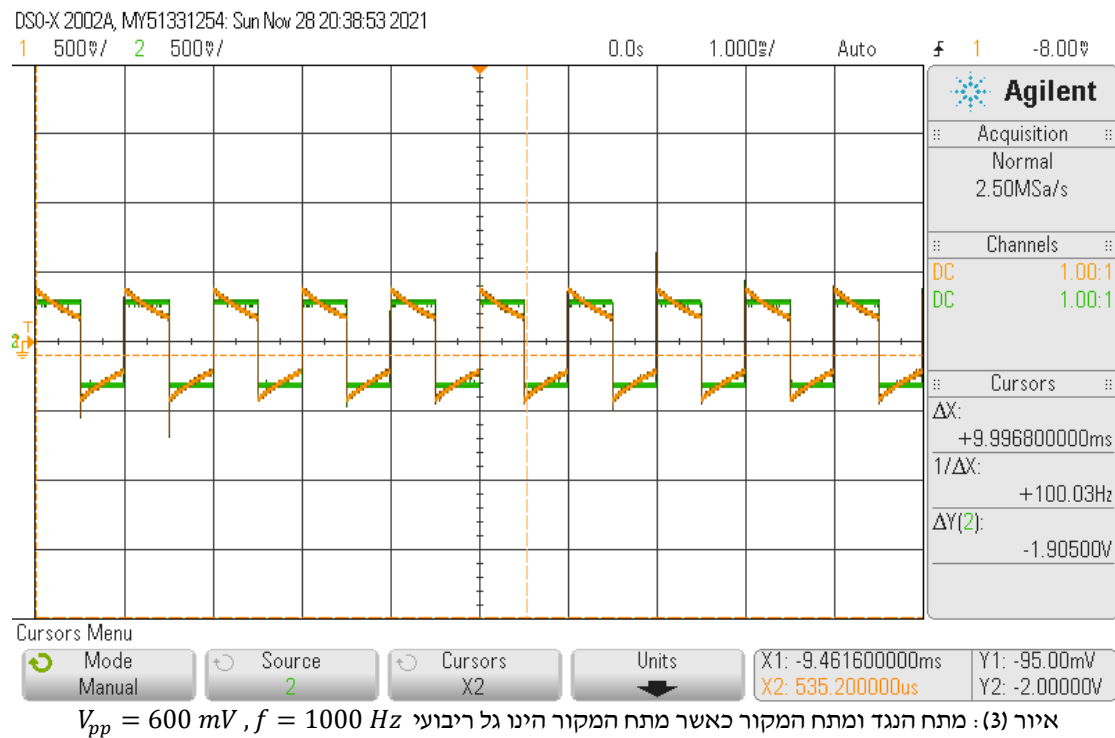
את החישובים נציג בטבלה הבאה:

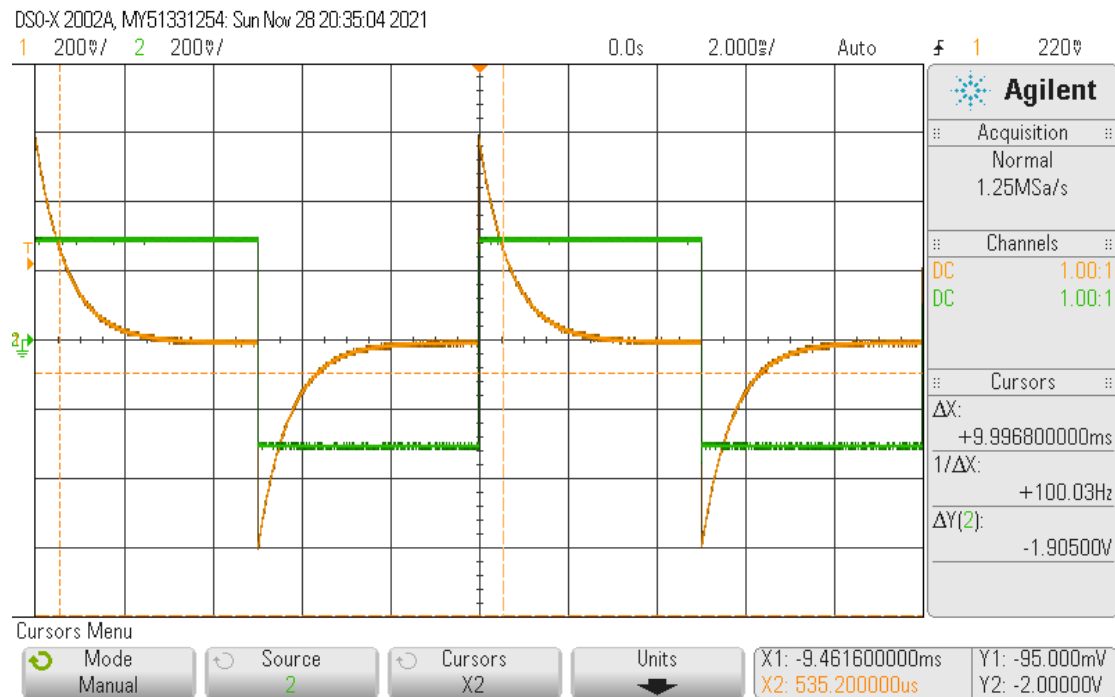
טבלה (1): חישובים עבור מציאת קבוע הזמן עבור התנגדויות שונות

$R_1 = 10 \text{ k}\Omega$	$V_\infty = V_{in} \frac{R_1}{R + R_1} = \frac{10}{17} V_{in}$ $V_C = \frac{10}{17} V_{in} \left(1 - e^{-\frac{t}{\tau}}\right)$ $V_C = 600 \cdot \frac{10}{17} \cdot \left(1 - \frac{1}{e}\right) = 223.1 \text{ mV}$	$V_C = -176.47 + 223.1 = 46.63 \text{ mV}$
$R_1 = 20 \text{ k}\Omega$	$V_\infty = V_{in} \frac{R_1}{R + R_1} = \frac{20}{27} V_{in}$ $V_C = \frac{20}{27} V_{in} \left(1 - e^{-\frac{t}{\tau}}\right)$ $V_C = 600 \cdot \frac{20}{27} \cdot \left(1 - \frac{1}{e}\right) = 280.942 \text{ mV}$	$V_C = -222.225 + 280.942 = 58.72 \text{ mV}$
$R_1 = 1 \text{ k}\Omega$	$V_\infty = V_{in} \frac{R_1}{R + R_1} = \frac{1}{8} V_{in}$ $V_C = \frac{1}{8} V_{in} \left(1 - e^{-\frac{t}{\tau}}\right)$ $V_C = 600 \cdot \frac{1}{8} \cdot \left(1 - \frac{1}{e}\right) = 47.41 \text{ mV}$	$V_C = -37.5 + 47.41 = 9.91 \text{ mV}$

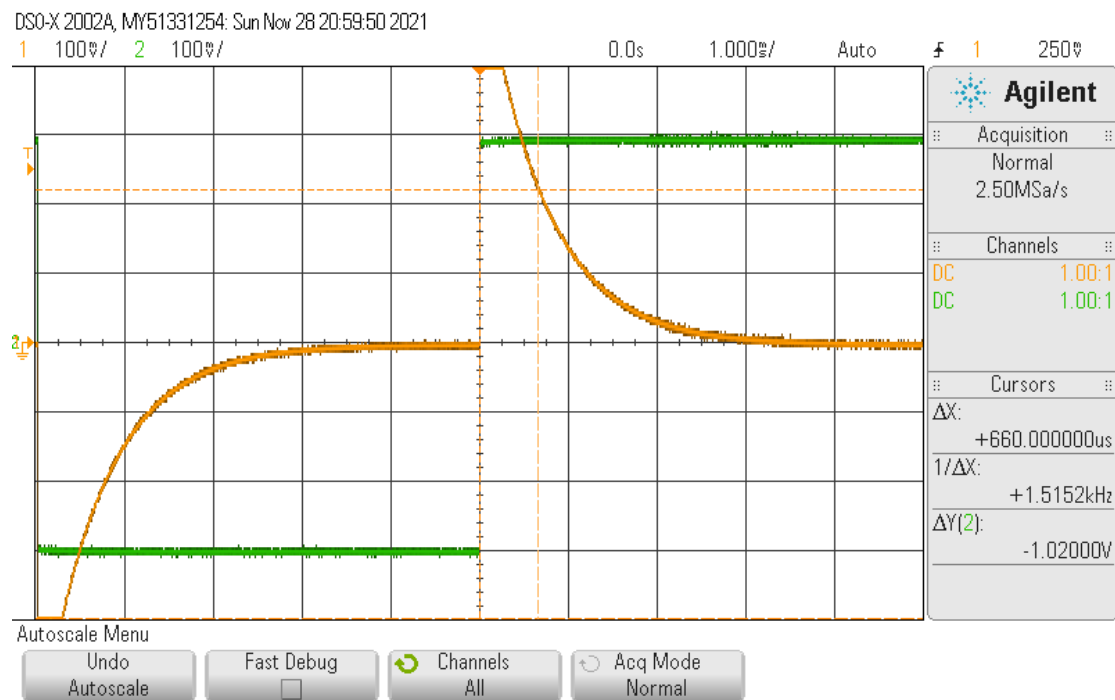
$R_1 = 2\text{ k}\Omega$	$V_\infty = V_{in} \frac{R_1}{R + R_1} = \frac{2}{9} V_{in}$ $V_C = \frac{2}{9} V_{in} \left(1 - e^{-\frac{t}{\tau}}\right)$ $V_C = 600 \cdot \frac{2}{9} \cdot \left(1 - \frac{1}{e}\right) = 84.28\text{ mV}$	$V_C = -66.665 + 84.28 = 17.615\text{ V}$
--------------------------	---	---

2.1.3 תוצאות:





איור (4): מתח הנגד ומתח המקור כאשר מתח המקור הינו גל ריבועי $V_{pp} = 600 \text{ mV}$, $f = 100 \text{ Hz}$



איור (5): גרף מתח המוצא והמקור כאשר הסמנים משמשים למדידת קבוע הזמן

מאיור 5 ניתן לראות באמצעות הסמנים:

$$y = 220 \text{ mV}, \quad \Delta x = t = 660 \mu\text{sec}$$

על פי ההסבר שהצגנו במתודולוגיה ניתן להסיק כי קבוע הזמן של המעגל הינו:

$$\tau = t = 660 \cdot 10^{-6} \text{ sec}$$

בדוח המכין ראינו כי קבוע הזמן עבור מעגל RC טורי הינו $\tau_0 = RC$
נחשב עבור מעגל זה:

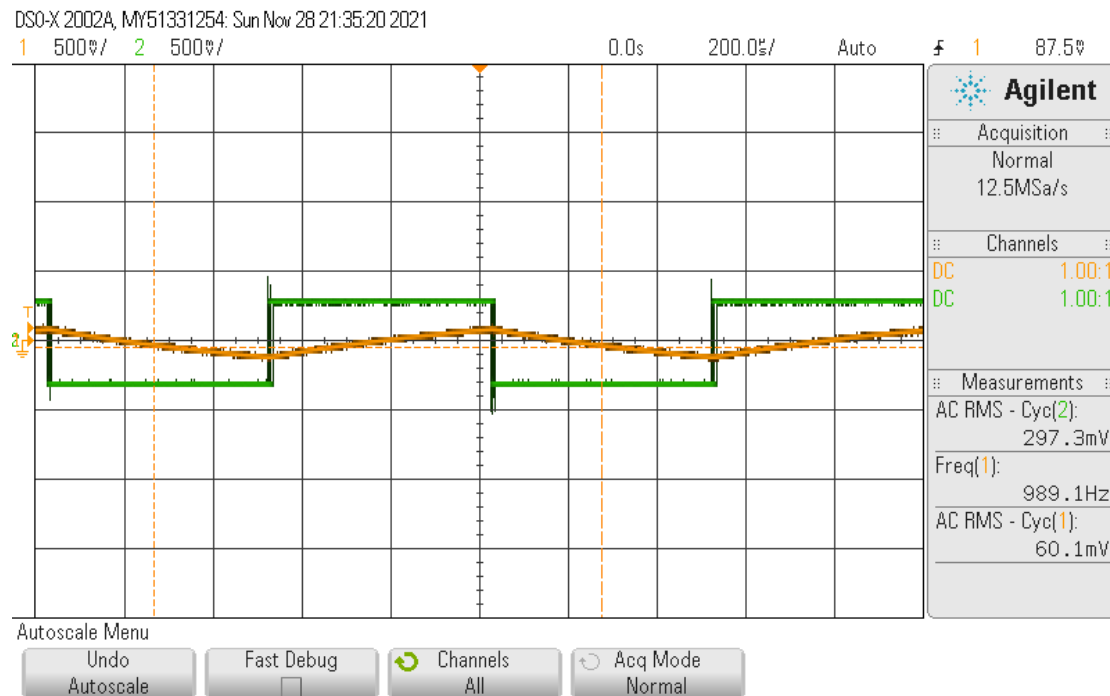
$$\tau_0 = 7 \cdot 10^3 \cdot 0.1 \cdot 10^{-6} = 7 \cdot 10^{-4} \text{ sec}$$

נחשב את אחוז השגיאה היחסית של הערך שקיבלנו מהערך התאורטי:

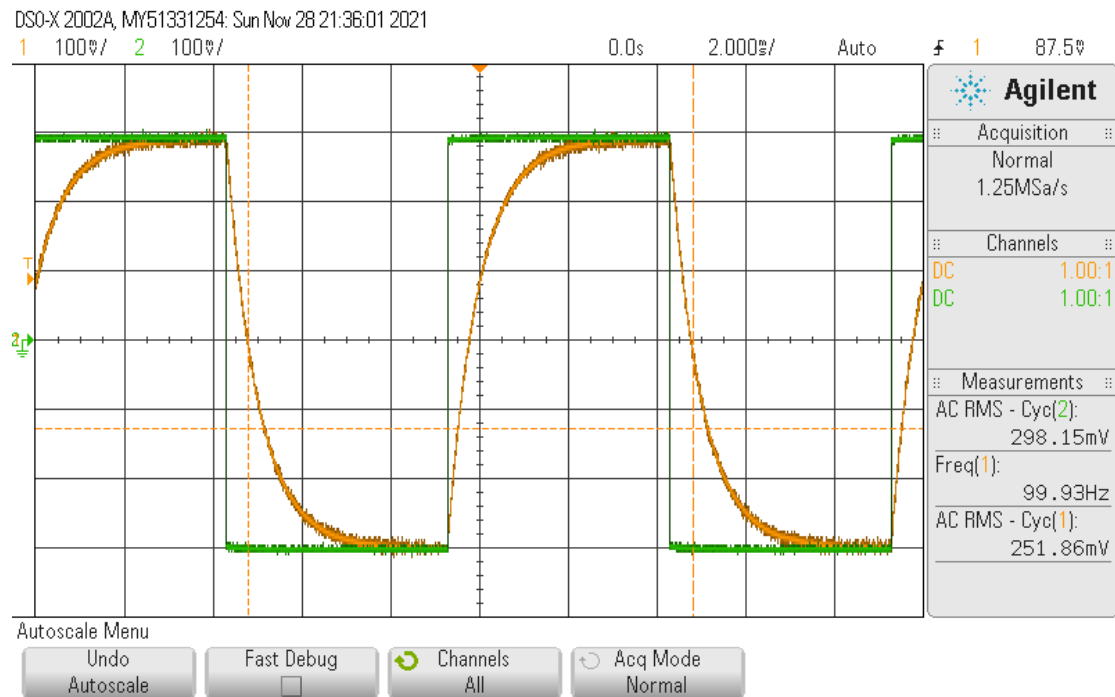
$$\frac{7 \cdot 10^{-4} - 660 \cdot 10^{-6}}{7 \cdot 10^{-4}} \cdot 100\% = 5.71\%$$

טבלה (2): מדידת אמפליטודות מתח הנגד ומתח הכניסה עבור תדירויות שונות

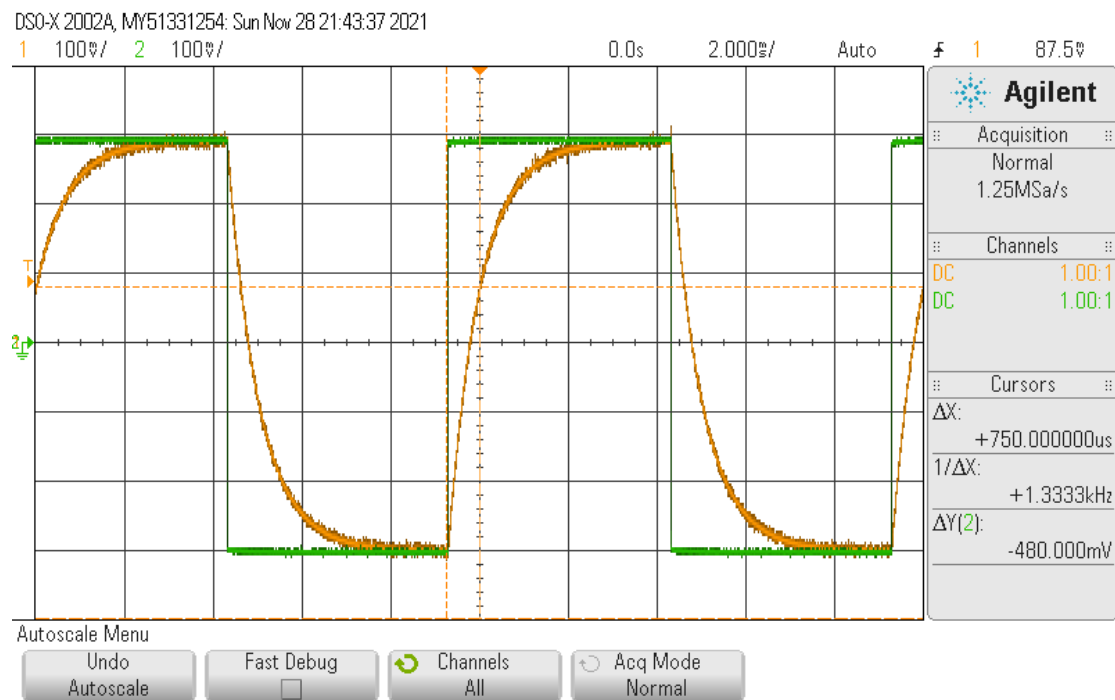
$f [Hz]$	אמפליטודת מתח הנגד [mV]	אמפליטודת מתח הכניסה [mV]
50	44.63	210.9
100	84.48	211.5
150	115.32	211.3
200	138.00	211.0
227	147.90	211.2
250	154.91	211.2
300	167.17	211.1
500	190.87	210.9
1000	204.45	210.5
1500	207.35	210.5
2000	208.36	210.3



איור (6): מתח הקבל ומתח המקור כאשר מתח המקור הינו גל ריבועי $V_{pp} = 600 \text{ mV}$, $f = 1000 \text{ Hz}$



איור (7): מתח הקבל ומתח המקור כאשר מתח המקור הינו גל ריבועי $V_{pp} = 600 \text{ mV}$, $f = 100 \text{ Hz}$



איור (8): גרף מתח המוצא והמקור כאשר הסמנים משמשים למדידת קבוע הזמן

מאיור 8 ניתן לראות באמצעות הסמנים:

$$y = 80 \text{ mV}, \quad \Delta x = t = 750 \mu\text{sec}$$

על פי ההסבר שהצגנו במתודולוגיה ניתן להסיק כי קבוע הזמן של המעגל הינו:

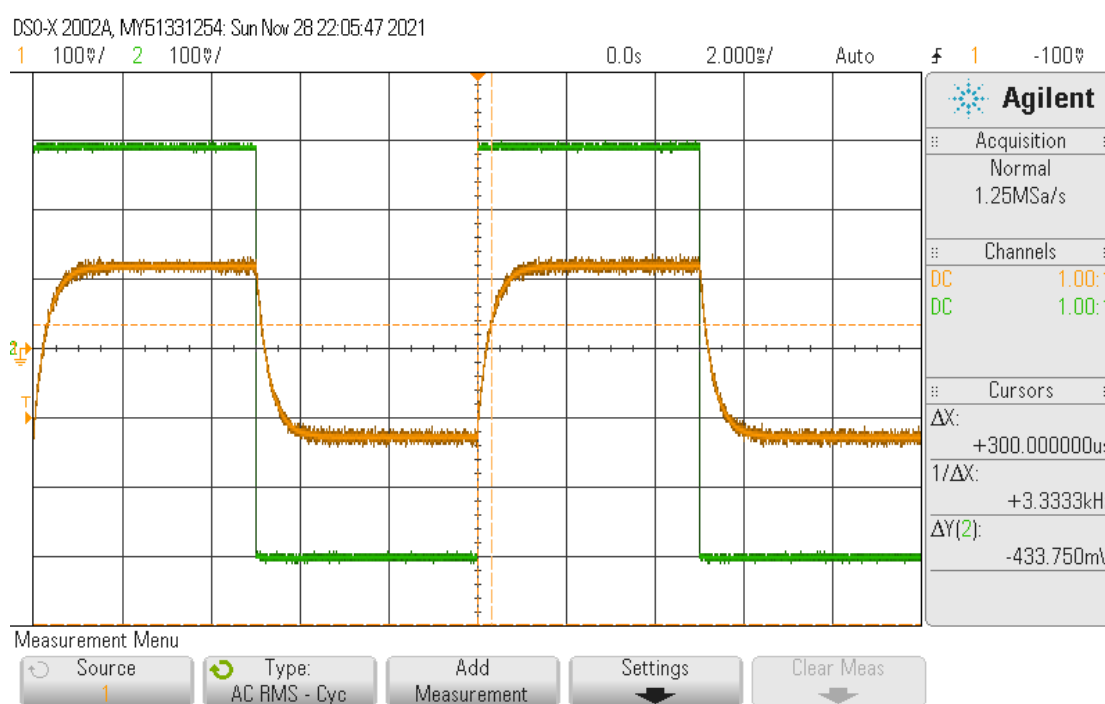
$$\tau = t = 750 \cdot 10^{-6} \text{ sec}$$

ראינו כי קבוע הזמן עבור מעגל זה הינו $\tau_0 = RC = 7 \cdot 10^{-4} \text{ sec}$
נחשב את אחוז השגיאה היחסית של הערך שקיבלנו מהערך התאורטי:

$$\frac{|7 \cdot 10^{-4} - 750 \cdot 10^{-6}|}{7 \cdot 10^{-4}} \cdot 100\% = 7.14 \%$$

טבלה (3): מדידת אמפליטודת מתח הקבל ומתח הכניסה עבור תדירויות שונות

$f \text{ [Hz]}$	אמפליטודת מתח הקבל [mV]	אמפליטודת מתח הכניסה [mV]
50	205.67	211.4
100	192.32	211.5
150	175.21	211.3
200	157.65	211.2
227	148.56	211.1
250	141.15	211
300	126.85	211.1
500	87.13	210.7
1000	46.54	210.4
1500	31.5	210.3
2000	23.93	210.3



איור (9): גרף מתח המוצא והמקור כאשר הסמנים משמשים למדידת קבוע הזמן עבור המעגל מאיור 2 בתוספת נגד $R_1 = 5 \text{ k}\Omega$ המחובר במקביל לקבל

מאיור 9 ניתן לראות באמצעות הסמנים:

$$y = 33.75 \text{ mV}, \quad \Delta x = t = 300 \mu\text{sec}$$

על פי ההסבר שהצגנו במתודולוגיה ניתן להסיק כי קבוע הזמן של המעגל הינו:

$$\tau = t = 300 \cdot 10^{-6} \text{ sec}$$

בדוח המכין ראינו כי קבוע הזמן עבור מעגל RC טורי הינו $\tau_0 = \frac{RR_1C}{R+R_1}$
נחשב עבור מעגל זה:

$$\tau_0 = \frac{7 \cdot 10^3 \cdot 5 \cdot 10^3 \cdot 0.1 \cdot 10^{-6}}{(7+5) \cdot 10^3} = 2.917 \cdot 10^{-4} \text{ sec}$$

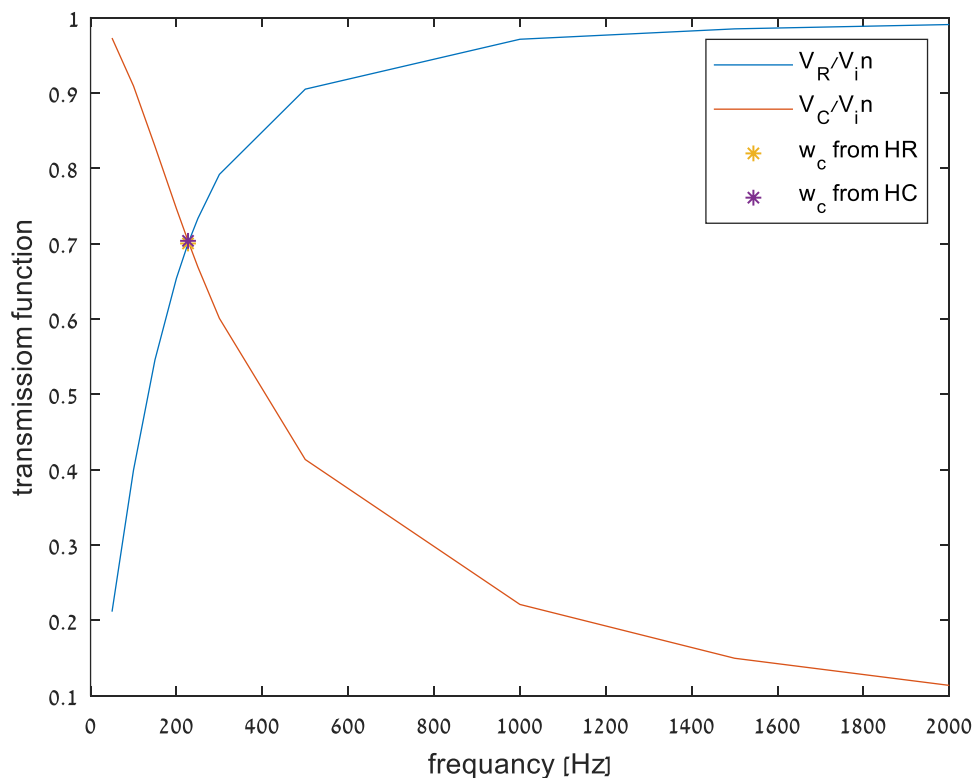
נחשב את אחוז השגיאה היחסית של הערך שקיבלנו מהערך התאורטי:

$$\frac{|2.917 \cdot 10^{-4} - 300 \cdot 10^{-6}|}{2.917 \cdot 10^{-4}} \cdot 100\% = 2.85 \%$$

לאחר מכן שינינו את ערך הנגד R_1 ומדדנו באופן דומה את $y, \Delta x$ על מנת למצוא את קבוע הזמן לכל אחד מהמעגלים:

טבלה (4): מציאת קבוע הזמן עבור המעגל באיור 2 כאשר מחובר נגד נוסף במקביל לקבל עבור ערכים משתנים

קבוע הזמן	הערכים שנמדדו	התנגדות הנגד
$\tau = t = 350 \cdot 10^{-6} \text{ sec}$	$y = 46.25 \text{ mV} \quad \Delta x = t = 350 \mu\text{sec}$	$R_1 = 10 \text{ k}\Omega$
$\tau = t = 500 \cdot 10^{-6} \text{ sec}$	$y = 58.75 \text{ mV} \quad \Delta x = t = 500 \mu\text{sec}$	$R_1 = 20 \text{ k}\Omega$
$\tau = t = 100 \cdot 10^{-6} \text{ sec}$	$y = 10 \text{ mV} \quad \Delta x = t = 100 \mu\text{sec}$	$R_1 = 1 \text{ k}\Omega$
$\tau = t = 150 \cdot 10^{-6} \text{ sec}$	$y = 17.5 \text{ mV} \quad \Delta x = t = 150 \mu\text{sec}$	$R_1 = 2 \text{ k}\Omega$



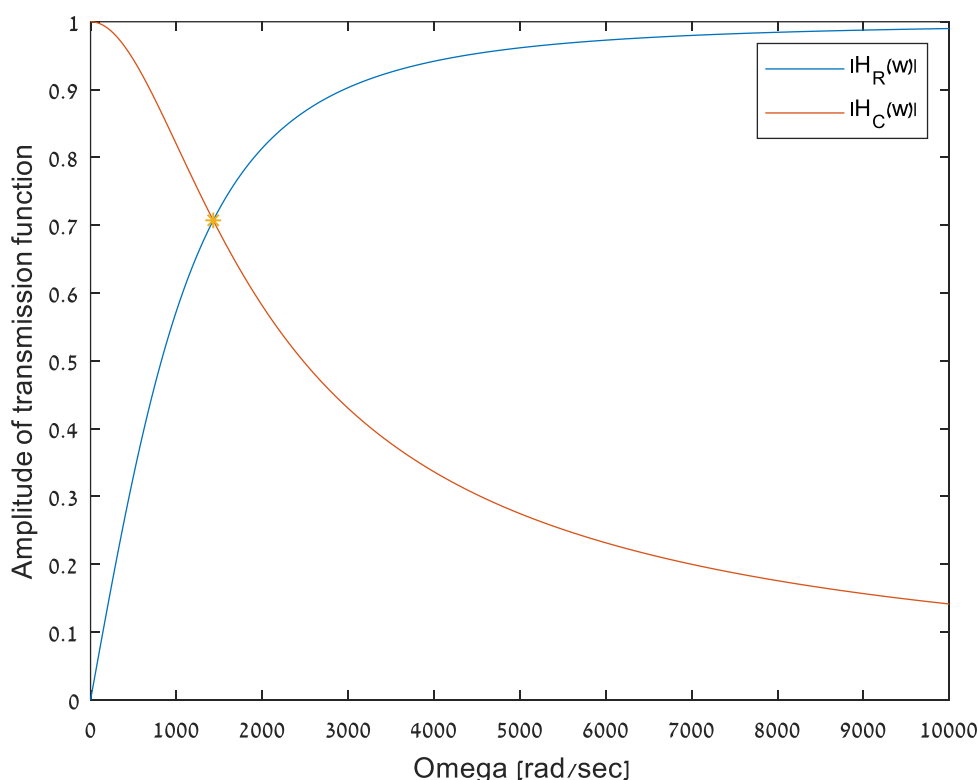
איור (10): תגובת התדר עבור המעגלים באיור 1,2

באמצעות המטלאב קיבלנו כי תדר הברך הינו בנקודה $f_c = 227 \text{ Hz}$ עבור שני הגרפים.
ראינו בדוח המכין כי הקשר בין תדר זה לקבוע הזמן של המעגל הינו:

$$\tau = \frac{1}{\omega_c} = \frac{1}{2\pi f_c} = \frac{1}{2\pi \cdot 227} = 7.011 \cdot 10^{-4} \text{ sec}$$

נחשב את אחוז השגיאה היחסית מהערך התאורטי :

$$\frac{|7 \cdot 10^{-4} - 7.011 \cdot 10^{-4}|}{7 \cdot 10^{-4}} \cdot 100\% = 0.157 \%$$



איור (11) : תגובת התדר של הקבל והנגד כפונקציה של התדירות הזוויתית מתוך הדוח המכין

2.1.4 מסקנות:

ניתן לראות כי כאשר שינינו את תדירות המוצא להיות $f = 1000 \text{ Hz}$ ישנו שינוי בצורת הגרף לעומת תדירות של $f = 100 \text{ Hz}$. באיור 4 מתח הנגד עולה ויורד בצורה אקספוננציאלית ומגיע לרוויה לפני היפוך מתח המקור. לעומת זאת באיור 3 מתח המקור מתהפך לפני שהנגד מספיק להגיע לרוויה, כלומר לפני שתופעות המעבר חולפות. כאשר מעלים את תדירות המקור למתח הנגד לוקח יותר זמן להתייבב ולכן צורת הגרף שונה.

טבלה (5) : השוואה בין קבועי הזמן

מעגל איור 1		
ערך תאורטי (חישוב RC)	תגובה למדרגה	תגובת תדר
$7 \cdot 10^{-4}$	$660 \cdot 10^{-6}$	$7.011 \cdot 10^{-4}$
	אחוז שגיאה מערך תאורטי : 5.71%	אחוז שגיאה מערך תאורטי : 0.157%
מעגל איור 2		
ערך תאורטי (חישוב RC)	ערך תאורטי (חישוב RC)	ערך תאורטי (חישוב RC)

$7.011 \cdot 10^{-4}$	$750 \cdot 10^{-6}$	$7 \cdot 10^{-4}$
אחוז שגיאה מערך תאורטי: 0.157%	אחוז שגיאה מערך תאורטי: 7.14%	

מטבלה זו ניתן לראות את ההשוואה בין חישובי קבועי הזמן בדרכים השונות עבור שני המעגלים המתוארים באיור 1,2. ניתן להסיק כי אין שינוי משמעותי בין שלושת הערכים שמדדנו כיוון שאחוז השגיאה בכל הדרכים הינו קטן יחסית ולכן החישובים הינם אמינים ומדויקים. כמו כן, על מנת לקבל תוצאה מיטבית נעדיף ללכת על פי הערך התאורטי אותו חישבנו בדוח המכין. בנוסף, ניתן להשוות בין איור 10 המתאר את התגובה לתדר עבור שני המעגלים לבין איור 11 המתאר פונקציות זהות שחושבו בדוח המכין בצורה תאורטית. משני האיורים ניתן לראות כי הקבל הינו מסנן מעביר נמוכים (LPF) כיוון שהפונקציה תמסורת שלו קטנה עבור תדרים גבוהים וכי הנגד הינו מסנן מעביר גבוהים (HPF).

כמו כן, באיור 8 ניתן לראות את מתח המקור ומתח הקבל כך שהקבל נטען הוא מגיע לרוויה כאשר המתח עליו שווה למתח המקור. לעומת זאת, באיור 9 כאשר הוספנו למעגל נגד במקביל לקבל, מתח הקבל מגיע לרוויה בערך נמוך יותר מערכו של מתח המקור. כלומר, כאשר הוספנו את הנגד עדיין ניתן לראות את תופעות המעבר אך הערך שלהן נמוך יותר. ניתן לראות זאת גם מהחישוב התאורטי מפני שכאשר הקבל הוא נתק במעגל באיור 8 המתח עליו שווה למתח המקור ואילו במעגל באיור 9 המתח עליו שווה למחלק מתח של שני הנגדים. בנוסף, ניתן לראות כי ככל שנעלה את ערך ההתנגדות קבוע הזמן של המעגל גדל בהתאם לנוסחה שקיבלנו בדוח המכין

$$\tau_0 = \frac{RR_1C}{R+R_1} = \frac{RC}{\frac{R}{R_1}+1}$$

2.2 ניסוי 2:

2.2.1 היפותזה:

בניסוי זה נבחון את תופעות המעבר של מעגל RL . נצפה כי מתח בזמן התחלתי יהיה אפס ולאחר תופעות המעבר יתייצב על מתח הכניסה (אם הוא DC), וכי מתח הסליל יהיה מתח הכניסה בזמן התחלתי ולאחר תופעות המעבר יתייצב על אפס (אם מתח הכניסה DC). כיוון שלתופעות המעבר דרוש זמן מינימלי על מנת שיעברו (עד אחוז מסוים של מעבר התופעה) כאשר נשתמש בתדירות גבוהה ייתכן ותופעות המעבר לא יחלפו לפני שנשנה את מתח ה- DC , ועלינו להשתמש בתדירות מקסימלית כפי שהצגנו בדוח המכין על מנת לאפשר לכל תופעות המעבר לעבור. כיוון שהאמצעים התאורטיים מאפשרים להשתמש הן בתגובה למדרגה והן בתגובה לתדר של המעגל על מנת לחשב במדויק את קבוע הזמן, חוסר הדיוק בתוצאות הניסוי ינבע מתנאי הניסוי כמו התנגדויות פנימיות של הרכיבים במעגל, היכולת להשתמש באוסילוסקופ כדי לחלץ קואורדינטות מדויקות מתגובת המדרגה, השפעת רעש על תגובת המדרגה המוצגת, כמות המדידות שנבצע על מנת לקרב את המידע לתגובה האמיתית לתדר, ושגיאות הקשורות בדיוק מדידות המכשיר.

2.2.2 מתודולוגיה:

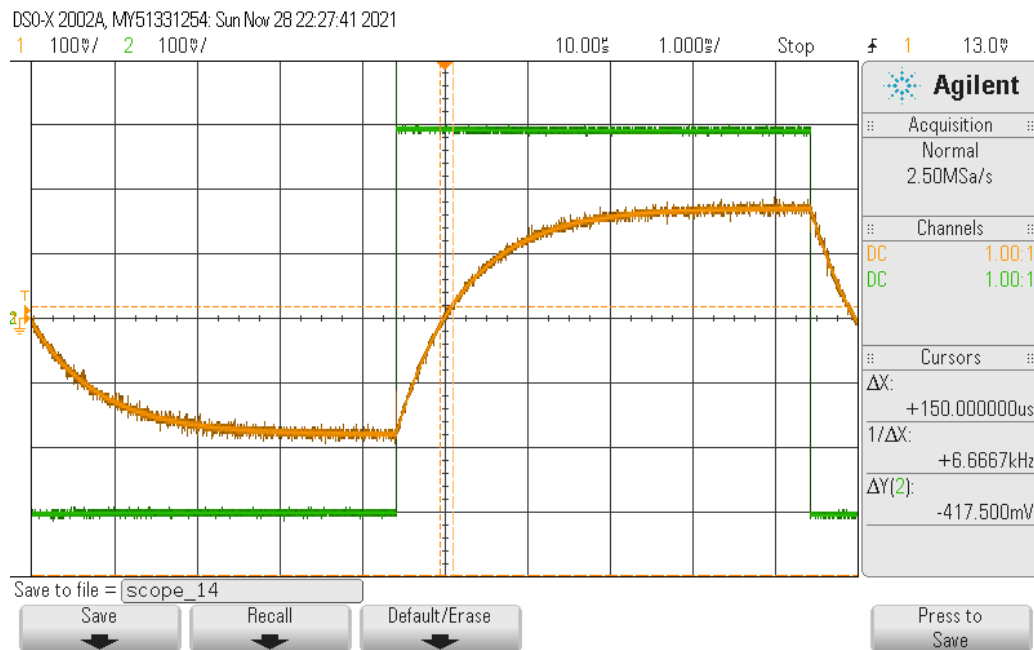
מכשור וציוד: מחולל אותות, רב מודד, אוסילוסקופ, נגד, סליל, 3 כבלי בננה – BNC , כבל בננה-בננה

מהלך הניסוי: תחילה כיוונו את השראות הסליל ל- $10H$. מדדנו את ההתנגדות הפנימית של הסליל באמצעות רב מודד. הרכבנו מעגל RL טורי. חיברנו לערוץ מס' 1 של האוסילוסקופ את מתח הנגד ולערוץ מס' 2 את מתח הכניסה, כאשר מקור המתח הוא מחולל אותות. הגדרנו את אות הכניסה להיות גל ריבועי בעל אמפליטודה של $600mV_{pp}$ ותדר $100Hz$. לאחר שווידאנו כי אכן כל תופעות המעבר חולפות בזמן מחזור יחיד של הגל העברנו את התדירות ל- $1000Hz$ ורכשנו את התמונה המתקבלת. החזרנו את התדר ל- $100Hz$ ורכשנו את התמונה המתקבלת. הצבנו את הסמנים כך – סמן אחד אופקי על הנקודה בה המתח המתקבל הוא מתח הנגד בזמן τ אותו חישבנו ע"י הצבה במשוואת מתח הנגד שהתקבלה ברקע התאורטי (עם תנאי התחלה מותאמים), ושני סמנים אנכיים – אחד על נקודת הזמן בה הגענו למתח הנ"ל והשני על המתח ההתחלתי של מחזור זה של הגל. רכשנו את התמונה שהתקבלה. שינינו את אות הכניסה לגל סינוסי ומדדנו את תגובת התדר של המעגל עבור תשע תדירויות בטווח תדירויות של $50Hz$ – $2kHz$ כאשר המדידות הצפופות בוצעו סביב תדירות הברך $f = 187.46Hz$. כעת, חיברנו לערוץ אחד את מתח הסליל וחזרנו על שלבי הניסוי בשנית. קבוע הזמן חושב באותו אופן עם התאמה למשוואת מתח הסליל שחישבנו בדוח המכין (עם התאמת תנאי ההתחלה). תדר הברך בו ביצענו את מדידת התגובה לתדר הוא כצפוי אותו תדר.

2.2.3 תוצאות:

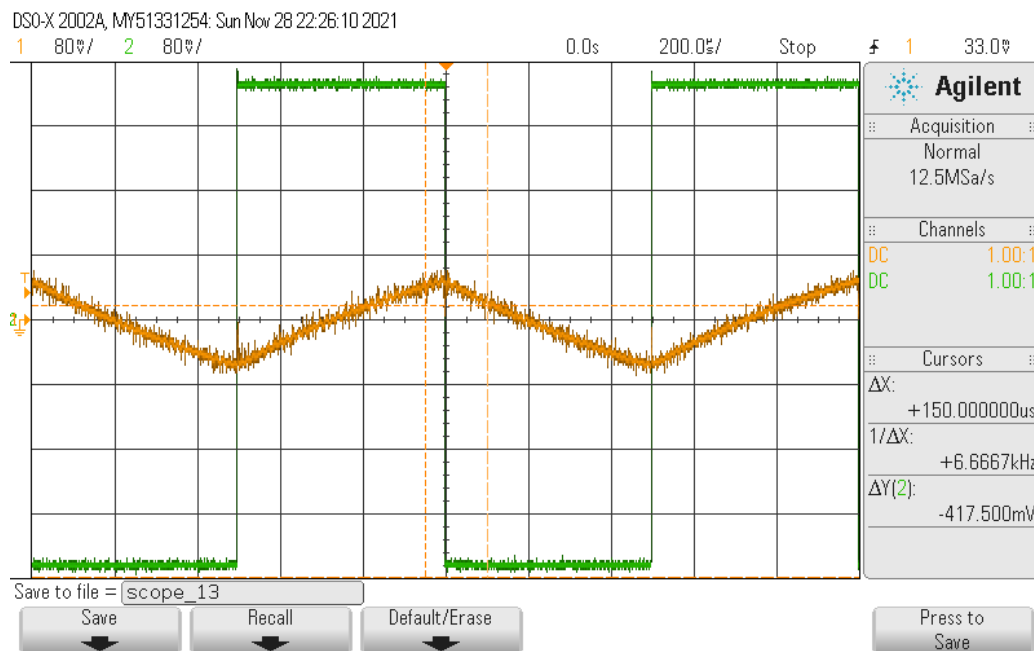
ההתנגדות הפנימית של הסליל: $R_L = 4775\Omega$

עבור מדידות על הנגד- מתח הנגד עבור 100Hz :



איור (12): מתח הנגד (בצהוב) במעגל RL טורי עבור כניסת גל ריבועי (בירוק) בתדירות 100Hz

מתח הנגד עבור 1000Hz :



איור (13): מתח הנגד (בצהוב) במעגל RL טורי עבור כניסת גל ריבועי (בירוק) בתדירות 1000Hz

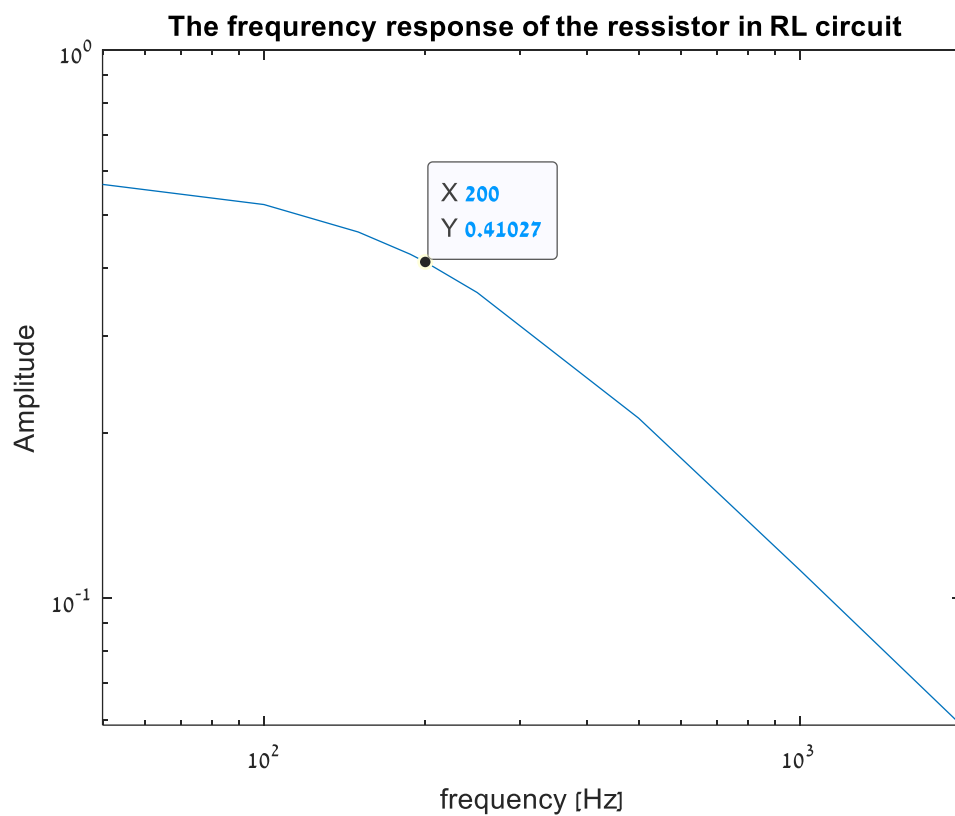
קבוע הזמן שחושב בעזרת האוסילוסקופ עבור מתח הנגד: $\tau = 820 \cdot 10^{-6}$

תגובת התדר של המעגל לאות סינוס :

טבלה (6) : מתח הנגד ומתח הכניסה האפקטיביים כתלות בתדירות

$f[Hz]$	$V_R AC RMS[mV]$	$V_{in} AC RMS[mV]$
50	119.74	210.7
100	110.13	210.9
150	98.21	211.1
187.46	89.51	211.2
200	86.69	211.3
250	76.27	211.4
500	45.06	211.7
1000	23.79	211.7
2000	12.4	211.6

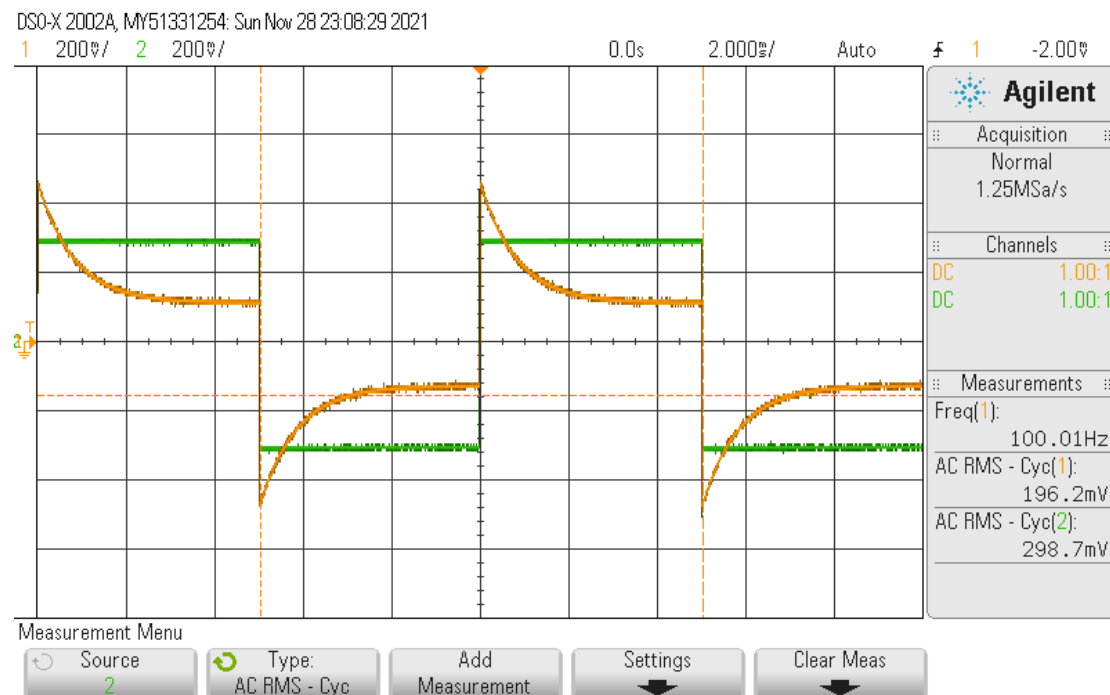
גרף תגובת התדר של המעגל :



איור (14) : גרף תגובת התדר של הנגד במעגל RL טורי לכניסת סינוס

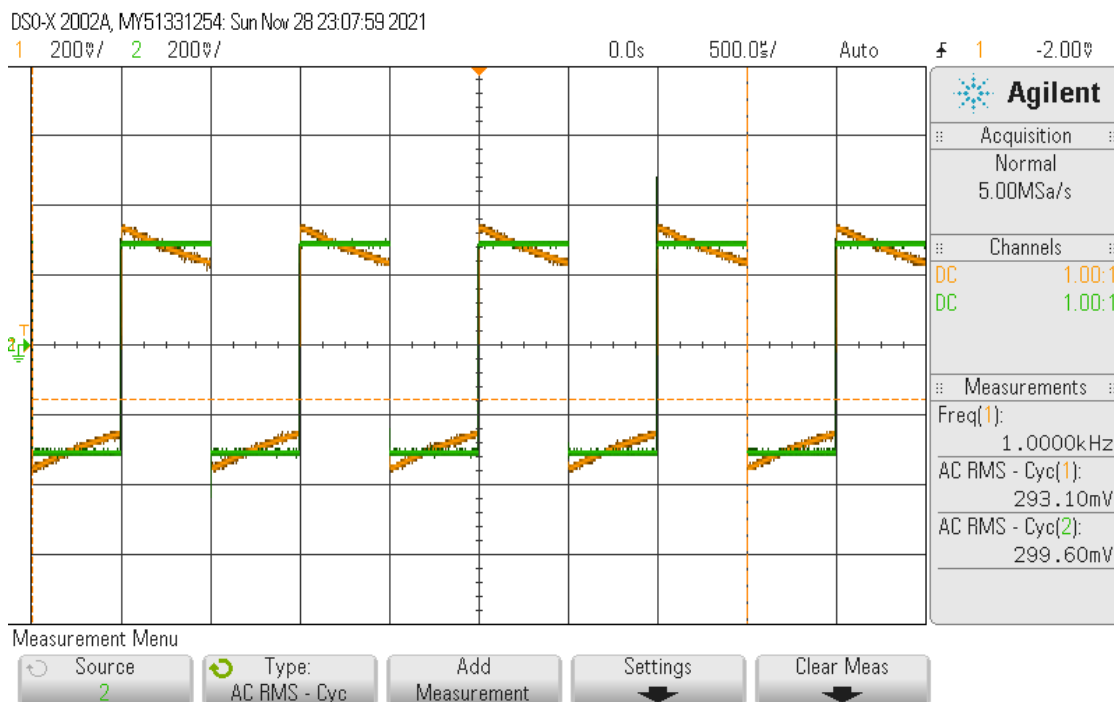
עבור מדידות על הסליל :

מתח הסליל עבור 100Hz :



איור (15): מתח הסליל (בצהוב) במעגל RL טורי עבור כניסת גל ריבועי (בירוק) בתדירות 100Hz

מתח הסליל עבור 1000Hz :



איור (16): מתח הסליל (בצהוב) במעגל RL טורי עבור כניסת גל ריבועי (בירוק) בתדירות 1000Hz

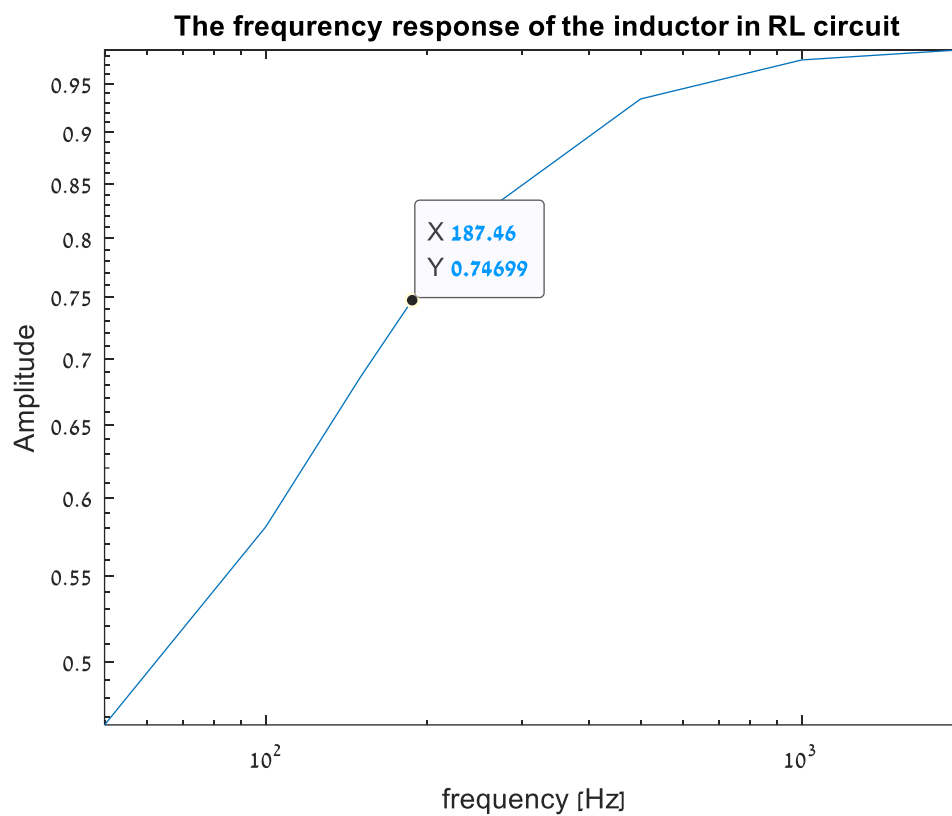
קבוע הזמן שחושב בעזרת האוסילוסקופ עבור מתח הסליל: $\tau = 800 \cdot 10^{-6}$

תגובת התדר של המעגל לאות סינוס :

טבלה (7) : מתח הסליל ומתח הכניסה האפקטיביים כתלות בתדירות

$f[Hz]$	$V_L AC RMS[mV]$	$V_{in} AC RMS[mV]$
50	98.21	210.7
100	122.46	210.8
150	144.76	211.1
187.46	157.84	211.3
200	161.52	211.4
250	173.4	211.5
500	197.83	211.8
1000	206.6	211.8
2000	208.96	211.8

גרף תגובת התדר של המעגל :



איור (17) : גרף תגובת התדר של הסליל במעגל RL טורי לכניסת סינוס

השוואה בין קבועי הזמן :

$$\tau_{pre} = 1.43 \cdot 10^{-3} \left[\frac{1}{sec} \right] \text{ - קבוע הזמן התאורטי שקיבלנו בדו"ח המכין הינו -}$$

$\tau_{theoretical}$ = קבוע הזמן ע"י חישוב תאורטי תוך התחשבות בהתנגדות הפנימית של הסליל -

$$\frac{L}{R_L + R} = \frac{10}{4775 + 7000} = 8.5 \cdot 10^{-4} \left[\frac{1}{sec} \right]$$

$\tau_{osilo,R} = 8.2 \cdot 10^{-4} \left[\frac{1}{sec} \right]$ - קבוע הזמן שחישובנו מנתוני האוסילוסקופ באמצעות מתח הנגד -

$\tau_{osilo,L} = 8 \cdot 10^{-4} \left[\frac{1}{sec} \right]$ - קבוע הזמן שחישובנו מנתוני האוסילוסקופ באמצעות מתח הסליל -

$$\tau_{f,R} = \frac{1}{\omega_0} = \frac{1}{2\pi \cdot 200} = 7.96 \cdot 10^{-4} \left[\frac{1}{sec} \right] \text{ - חישוב קבוע הזמן מתוך תגובת הנגד לתדר -}$$

$$\tau_{f,L} = \frac{1}{\omega_0} = \frac{1}{2\pi \cdot 187.46} = 8.49 \cdot 10^{-4} \left[\frac{1}{sec} \right] \text{ - חישוב קבוע הזמן מתוך תגובת הסליל לתדר -}$$

נציג את השגיאה היחסית בין קבוע הזמן התאורטי תוך התחשבות בהתנגדות הפנימית לשאר קבועי הזמן :

$$e_1 = \frac{|\tau_{pre} - \tau_{theoretical}|}{\tau_{theoretical}} = 68.26\%$$

$$e_2 = \frac{|\tau_{osilo,R} - \tau_{theoretical}|}{\tau_{theoretical}} = 3.53\%$$

$$e_3 = \frac{|\tau_{f,R} - \tau_{theoretical}|}{\tau_{theoretical}} = 6.36\%$$

$$e_4 = \frac{|\tau_{f,L} - \tau_{theoretical}|}{\tau_{theoretical}} = 0.11\%$$

2.2.4 מסקנות:

עלינו לבדוק את ההתנגדות הפנימית של הסליל כיוון שהיא יכולה להשפיע על המתחים במעגל. ניתן למדל את המעגל כנגד המחובר בטור לסליל המחובר בטור לנגד נוסף המתאר את ההתנגדות הפנימית של הסליל. כפי שראינו בדו"ח המכין להתנגדות יש השפעה על מתח הנגד ומתח הסליל בזמן וכן על קבוע הזמן של המעגל, כך שנצפה לתוצאות שונות ממה שקיבלנו בתאוריה. ההתנגדות הכוללת והשראות הסליל הם פרמטרים שמשפיעים על הקצב בו תופעות המעבר במעגל חולפות. כפי שניתן לראות בגרפים 12,13,15,16 עבור הכניסה בתדירות $1000Hz$ בשני המקרים תופעות המעבר אינן מספיקות לחלוף. כמו כן, אנו רואים שעבור תדירות של $100Hz$, בה תופעת המעבר חלפו, מתח הנגד והסליל לא מתייצבים על אמפליטודת הכניסה ואפס בהתאמה. עבור

הנגד, אם לא הייתה התנגדות פנימית לסליל המתח היה מתייצב על מתח הכניסה, אך כיוון שישנה התנגדות נוספת מהסליל המתח הוא מחלק מתחת בין הנגד למתח הפנימי כפול מתח הכניסה. עבור הסליל היינו מצפים כי מתח הסליל יתאפס, אך כיוון שאנו מודדים גם את המתח שנופל על ההתנגדות הפנימית ההתייצבות הינה על מחלק מתח בין ההתנגדות הפנימית לנגד הנוסף כפול מתח הכניסה. קבוע הזמן שחישבנו בדו"ח המכין בעל שגיאה גדולה מאוד מקבוע הזמן המתקבל ממערכת הניסוי. זאת כיוון שלהתנגדות הפנימית של הסליל יש השפעה גדולה על המעגל כפי שניתן לראות בצורה ישירה מנוסחת קבוע הזמן. קבועי הזמן שחישבנו באמצעות המצביעים באוסילוסקופ הם בעלי שגיאה קטנה. את השגיאה שיש ניתן להסביר מכך שהמצביעים מאפשר דיוק מסוים וכיוון שהקפיצות בין ערכים במצביע לא מספיק קטנות לא ניתן היה לבחור את הנקודות המדויקות עליהן רצינו להציב את המצביעים. קבועי הזמן שחושבו באמצעות התגובה לתדר גם הם בעלי שגיאה קטנה יחסית. השגיאה במדידה זו נובעת הן מכמות המדידות שבוצעו, כלומר ככל שנבצע יותר מדידות כך נתקרב לגרף מדויק יותר של התגובה לתדר, והן מהיכולת שלנו לחלץ את הקואורדינטה המתאימה לתדר התהודה מתוך המידע בגרף.

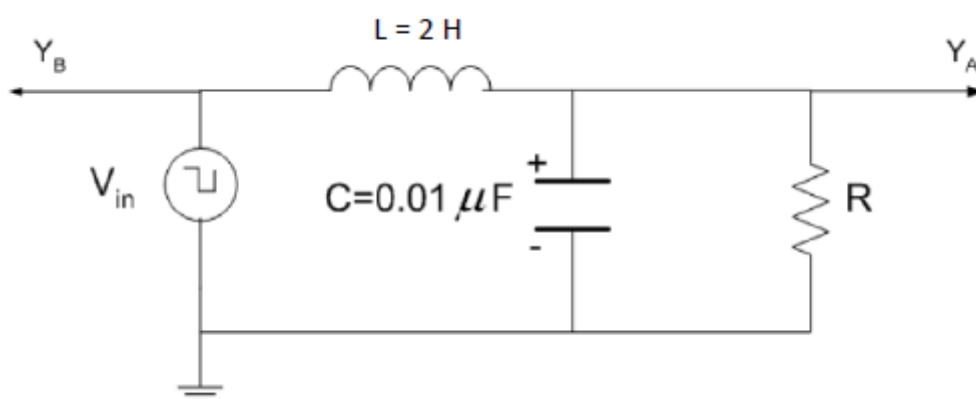
2.3 ניסוי 3:

2.3.1 היפותזה:

בהתאם לדוח המכין נצפה כי עבור הנגד $R_1 = 7071 \Omega$ נקבל ריסון קריטי. עבור התנגדות של $30k\Omega$ נצפה לריסון חסר ושל $3k\Omega$ נצפה לריסון יתר. בנוסף עבור התנגדות גדולה מאוד ($R \rightarrow \infty$) נצפה לריסון חסר הפסדים.

2.3.2 מתודולוגיה:

מכשור וציוד: קבל, נגד, סליל, אוסילוסקופ, מחולל אותות, 3 כבלי בננה-בננה, 3 כבלי BNC-בננה.
מהלך הניסוי: חיברנו את המעגל המתואר באיור הבא:



איור (18): מעגל RLC [1]

הגדרנו את התנגדות הנגד להיות $R_1 = \frac{1}{2} \cdot \sqrt{\frac{L}{C}} = \frac{1}{2} \cdot \sqrt{\frac{2}{0.01 \cdot 10^{-6}}} = 7071 \Omega$ ואת תדר הכניסה

ממחולל האותות להיות גל ריבועי עם $V_{pp} = 600 mV$, $f = 300 Hz$ כך שרואים את תופעות המעבר ורכשנו תמונה. לאחר מכן שינינו את התנגדות הנגד לערכים:

$$R_2 = 2 \cdot \sqrt{\frac{L}{C}} = 2 \cdot \sqrt{\frac{2}{0.01 \cdot 10^{-6}}} = 28284 \Omega,$$

$$R_3 = 10 \cdot \sqrt{\frac{L}{C}} = 10 \cdot \sqrt{\frac{2}{0.01 \cdot 10^{-6}}} = 141420 \Omega,$$

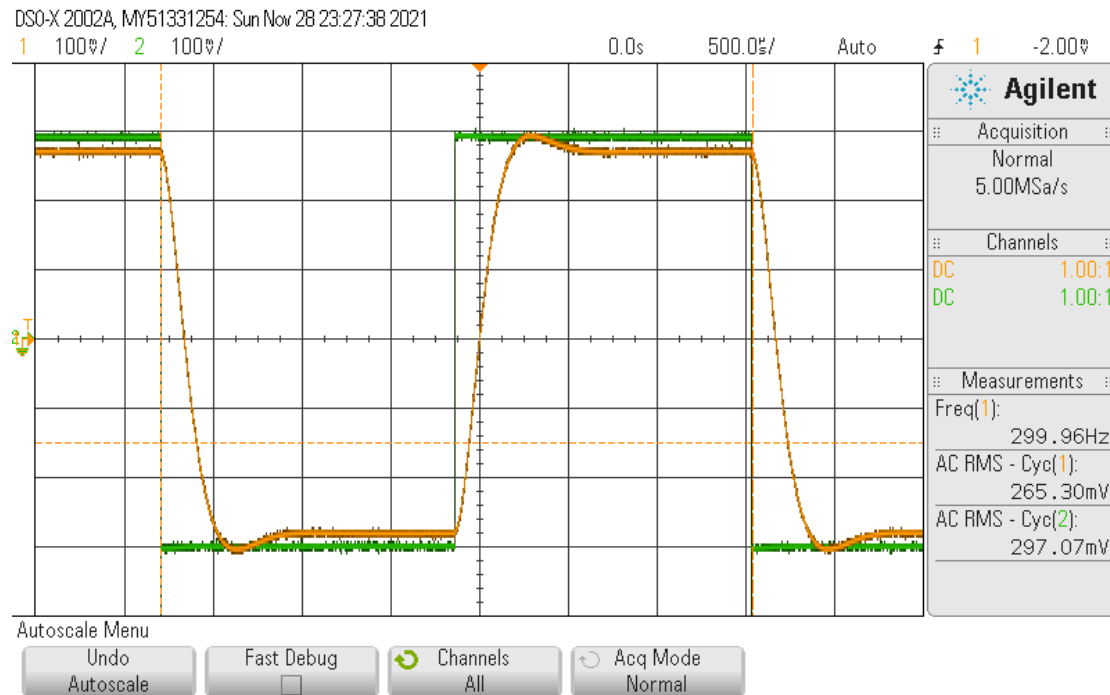
$$R_4 = 0.1 \cdot \sqrt{\frac{L}{C}} = 0.1 \cdot \sqrt{\frac{2}{0.01 \cdot 10^{-6}}} = 1414 \Omega$$

עבור כל ערך התנגדות שינינו את התדירות כך שיראו את תופעות המעבר ורכשנו תמונה. לאחר מכן, שינינו את מתח המוצא להיות גל סינוסי ומדדנו עבור כל התנגדות את אמפליטודת מתח הכניסה ומתח המוצא (המתח על הקבל והנגד) עבור ערכי תדירות שונים.

2.3.3 תוצאות:

$$R_1 = \frac{1}{2} \cdot \sqrt{\frac{L}{C}} = \frac{1}{2} \cdot \sqrt{\frac{2}{0.01 \cdot 10^{-6}}} = 7071 \Omega$$

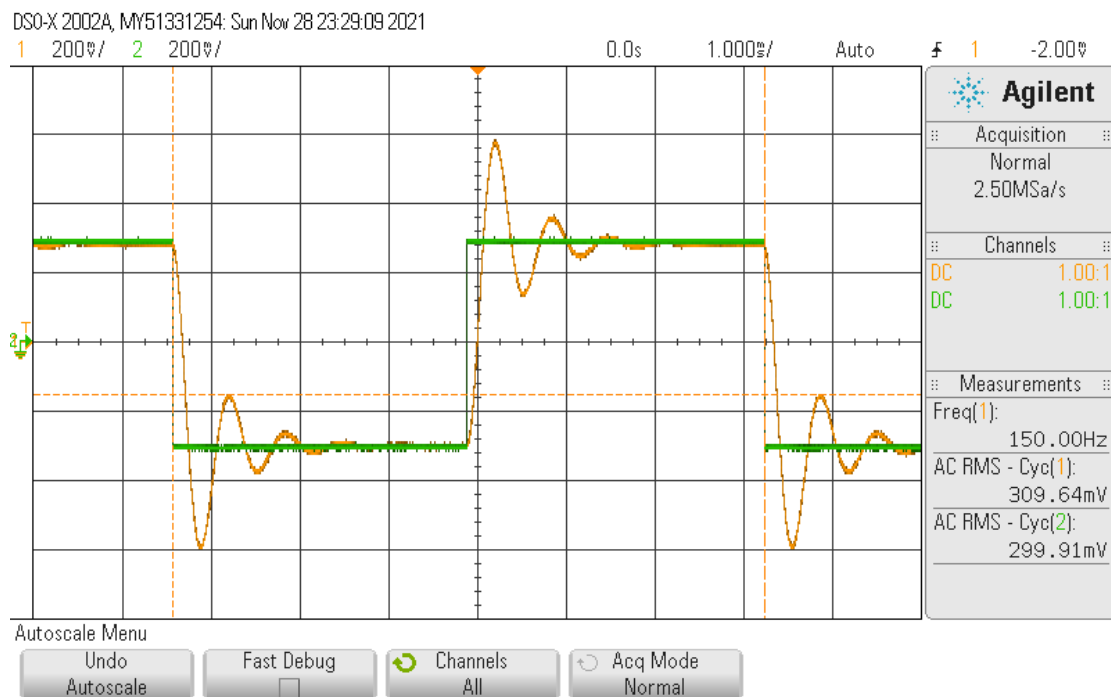
עבור R עם ערך התנגדות:



איור (19): מתח הקבל ומתח המקור כאשר מתח המקור מוגדר להיות גל ריבועי $f = 300 \text{ Hz}$, $V_{pp} = 600 \text{ mV}$

$$R_2 = 2 \cdot \sqrt{\frac{L}{C}} = 2 \cdot \sqrt{\frac{2}{0.01 \cdot 10^{-6}}} = 28284 \Omega$$

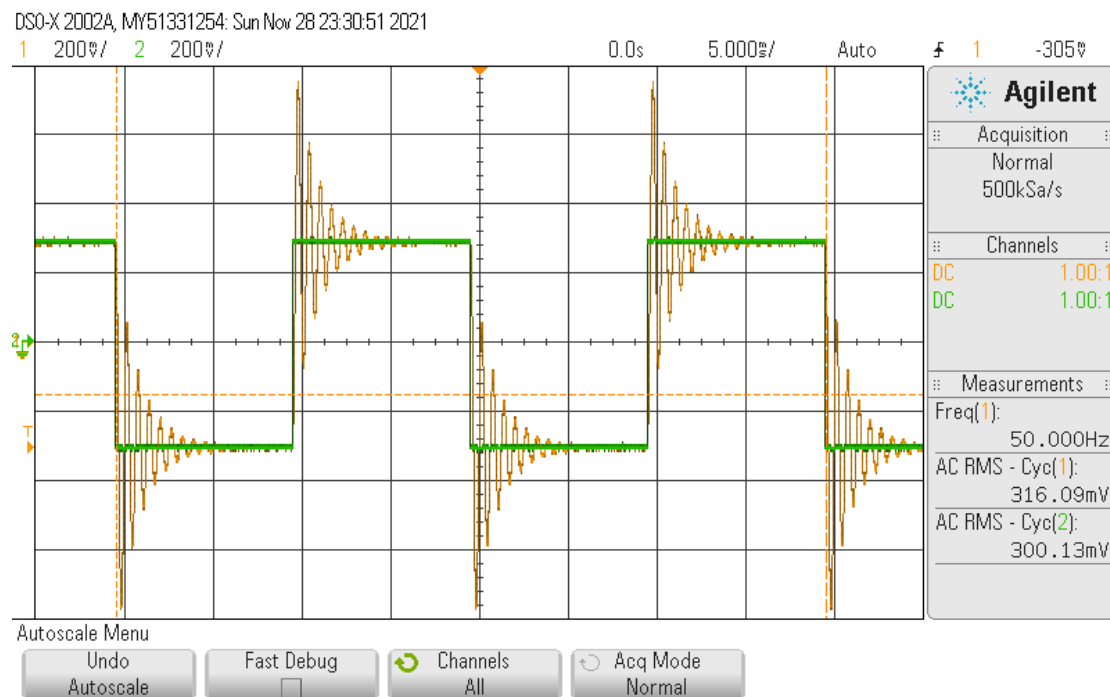
עבור R עם ערך התנגדות:



איור (20): מתח הקבל ומתח המקור כאשר מתח המקור מוגדר להיות גל ריבועי $f = 150 \text{ Hz}$, $V_{pp} = 600 \text{ mV}$

$$R_3 = 10 \cdot \sqrt{\frac{L}{C}} = 10 \cdot \sqrt{\frac{2}{0.01 \cdot 10^{-6}}} = 141420 \Omega$$

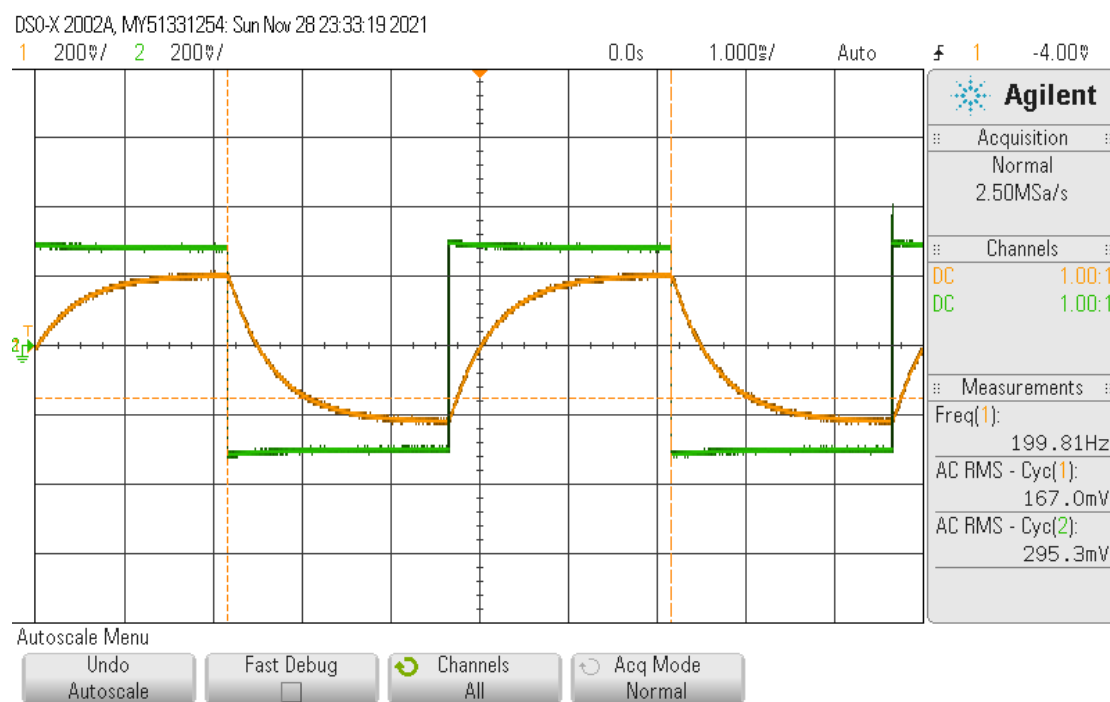
עבור R עם ערך התנגדות:



איור (21): מתח הקבל ומתח המקור כאשר מתח המקור מוגדר להיות גל ריבועי $f = 50 \text{ Hz}$, $V_{pp} = 600 \text{ mV}$

$$R_4 = 0.1 \cdot \sqrt{\frac{L}{C}} = 0.1 \cdot \sqrt{\frac{2}{0.01 \cdot 10^{-6}}} = 1414 \Omega$$

עבור R עם ערך התנגדות:



איור (22): מתח הקבל ומתח המקור כאשר מתח המקור מוגדר להיות גל ריבועי $f = 200 \text{ Hz}$, $V_{pp} = 600 \text{ mV}$

טבלה (8): מדידת מתח הנגד כאשר $R_1 = 7071 \Omega$ והמקור כאשר מתח המקור מוגדר להיות גל סינוסי

$f [Hz]$	אמפליטודת מתח מוצא נגד [mV]	אמפליטודת מתח כניסה [mV]
50	195.74	209.43
250	195.74	209.76
500	194.6	209.71
1000	182.54	209.83
1125	176.13	209.9
1200	171.6	209.9
1300	164.83	210
1500	149.43	210.17
2000	109.21	210.5

טבלה (9): מדידת מתח הנגד כאשר $R_2 = 28284 \Omega$ והמקור כאשר מתח המקור מוגדר להיות גל סינוסי

$f [Hz]$	אמפליטודת מתח מוצא נגד [mV]	אמפליטודת מתח כניסה [mV]
50	207.57	211.12
250	212.2	211.39
500	227.31	211.36
1000	309.6	210.83
1125	349.13	210.6
1200	377.93	210.4
1300	420.81	209.95
1500	488.27	209.25
2000	270.13	210.71

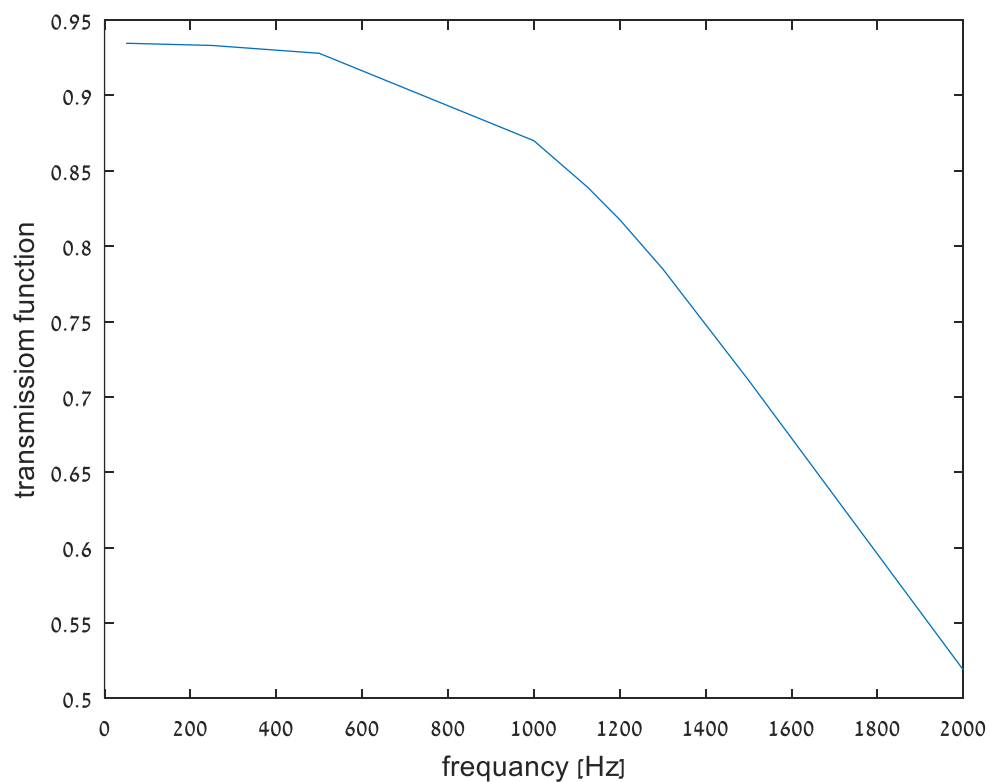
טבלה (10): מדידת מתח הנגד כאשר $R_3 = 141420 \Omega$ והמקור כאשר מתח המקור מוגדר להיות גל סינוסי

$f [Hz]$	אמפליטודת מתח מוצא נגד [mV]	אמפליטודת מתח כניסה [mV]
50	210.83	211.31
250	215.32	211.36
500	233.61	211.73
1000	342.13	211.43
1125	408.48	211.39
1200	466.7	211.19
1300	582.42	210.73
1400	788.9	209.4
1500	$1.1125 \cdot 10^3$	205.8

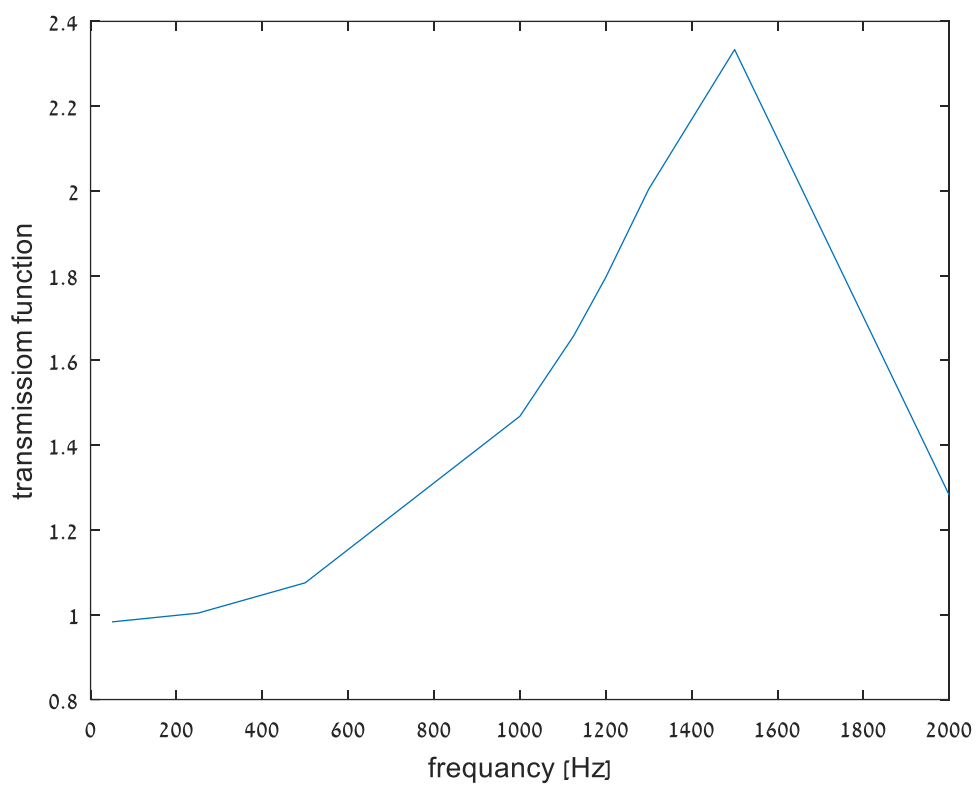
טבלה (11): מדידת מתח הנגד כאשר $R_4 = 1414 \Omega$ והמקור מתח המקור מוגדר להיות גל סינוסי

f [Hz]	אמפליטודת מתח מוצא נגד [mV]	אמפליטודת מתח כניסה [mV]
50	109	208
100	101	208
140	93	209
160	89	209
180	85	209
200	81	209
220	78	210
300	64	210
400	52	211
500	43	211
1000	23	212
1500	15	211
2000	11	211

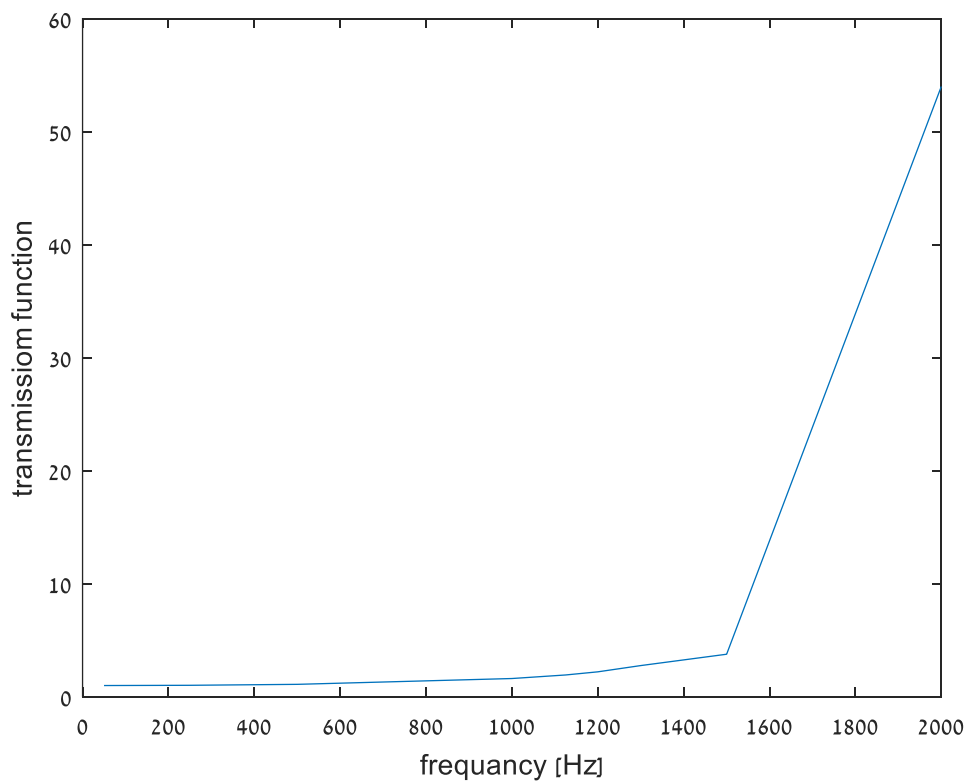
תוצאות טבלה זו נלקחו מקבוצה 4A



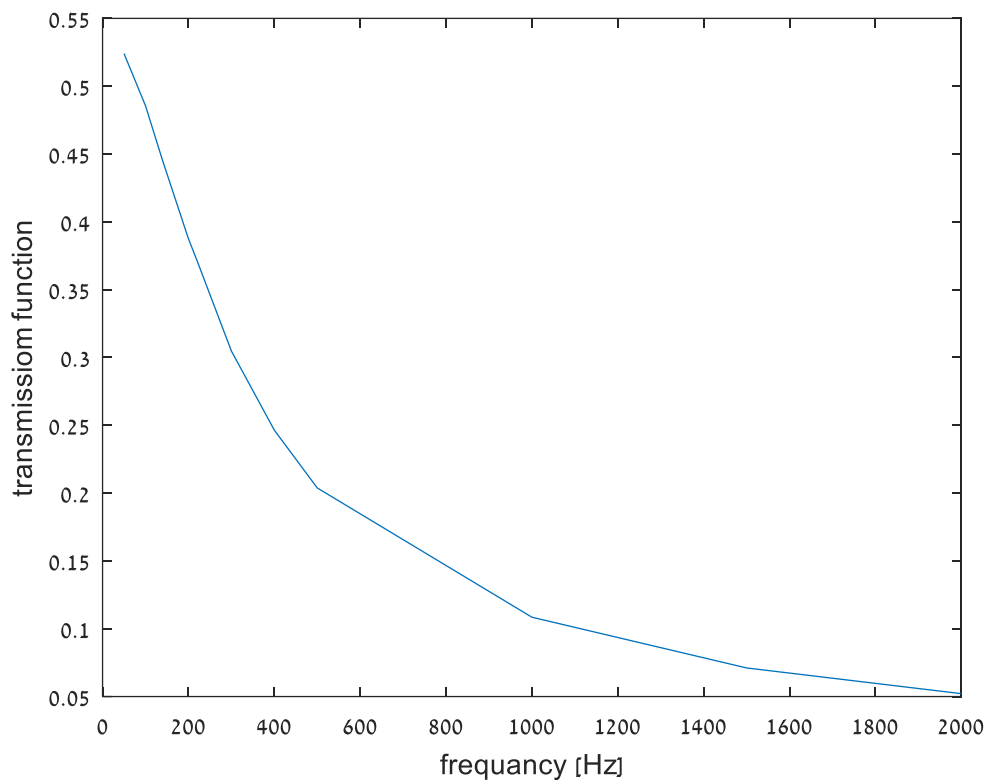
איור (23): תגובת התדר של הנגד $R_1 = 7071 \Omega$ כאשר מתח המקור מוגדר להיות גל סינוסי



איור (24): תגובת התדר של הנגד $R_2 = 28284 \Omega$ כאשר מתח המקור מוגדר להיות גל סינוסי



איור (25): תגובת התדר של הנגד $R_3 = 141420 \Omega$ כאשר מתח המקור מוגדר להיות גל סינוסי



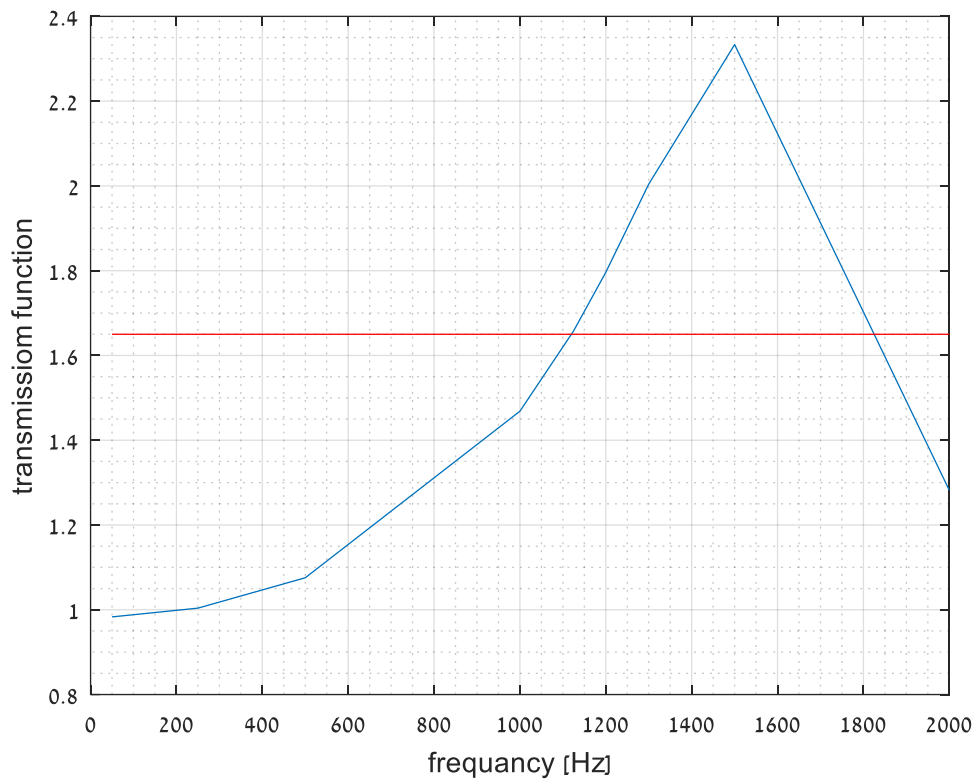
איור (26): תגובת התדר של הנגד $R_4 = 1414 \Omega$ כאשר מתח המקור מוגדר להיות גל סינוסי

מתוך איור 20 ניתן להסיק כי עבור $R_2 = 28284 \Omega$ נקבל ריסון חסר כיוון שלפי הגדרת סוג ריסון זה ישנה תנודתיות של הגרף. נראה זאת באמצעות חישוב מקדם הריסון על ידי הנוסחה מהדוח המכין:

$$\alpha_d = \sqrt{\frac{L - 4R^2C^2}{4R^2C^2L}} = \sqrt{-0.468}$$

כלומר מקדם הריסון הינו מספר מרוכב ולכן על פי הגדרה זהו ריסון חסר.

כפי שראינו בדוח המכין, בריסון חסר רוחב הפס שווה ל 2α וקבוע הזמן $\tau = \frac{1}{\alpha}$.



איור (27): איור 24 עם סימון הערך בו האמפליטודה שווה ל $\frac{1}{\sqrt{2}}$ מהאמפליטודה המקסימלית

מתוך האיור עולה כי האמפליטודה שווה ל $\frac{1}{\sqrt{2}}$ מהאמפליטודה המקסימלית עבור:

$$f_1 = 1125 \text{ Hz} \quad f_2 = 1825 \text{ Hz}$$

מכאן:

$$f_2 - f_1 = 1825 - 1125 = 700$$

$$\omega = 2\pi \cdot 700 = 1400\pi$$

$$\alpha = \frac{\omega}{2} = \frac{1400\pi}{2} = 700\pi$$

$$\tau = \frac{1}{\alpha} = \frac{1}{700\pi} = 4.547 \cdot 10^{-4} \text{ sec}$$

הערך התאורטי שקיבלנו עבור קבוע הזמן במעגל זה הינו:

$$2\alpha = \frac{1}{RC} = \frac{1}{28284 \cdot 0.01 \cdot 10^{-6}} = 3535.57$$

$$\alpha = 1767.8$$

$$\tau = \frac{1}{\alpha} = 5.65 \cdot 10^{-4} \text{ sec}$$

נחשב את אחוז השגיאה:

$$\frac{5.65 \cdot 10^{-4} - 4.547 \cdot 10^{-4}}{5.65 \cdot 10^{-4}} \cdot 100\% = 19.5\%$$

באיורים 23 ו-24 התגובה לתדר שהתקבלה מתאימה לתגובה האופיינית למצב של ריסון קריטי וריסון חסר בהתאמה. נשים לי כי התדר התהודה (בו מתקבל הפיק) המתקבל מאיור 24 שונה מהתדר שקיבלנו בדוח המכין. ניתן להסביר זאת בכך שלסליל ישנה התנגדות פנימית שמשנה את מידול המעגל ואת האופן בו כל רכיב משפיע על המעגל ביחס למעגל התאורטי. מאותה סיבה גם קבוע הזמן שהתקבל עבור ריסון חסר ותדר התהודה של המעגל שונים, הרי שהם תלויים ברכיבי המעגל. באיורים 25,26 לא מתקבלת התגובה שלה צפינו. עבור תגובת התדר לנגד בעל התנגדות של 141420Ω צפינו להתנהגות של ריסון חסר הפסדים או ריסון חסר עם פיק גבוה, אך שהפיק יהיה בתדר התהודה של המעגל (התדר בו התקבל הפיק עבור ריסון קריטי כאשר הגדרנו נגד של 28284Ω) ושרוחב הסרט שלו יהיה קטן משל תגובת הריסון חסר בעלת ההתנגדות הקטנה יותר. בפועל קיבלנו כי או שהתגובה ממשיכה להתבדר או שרוחב הסרט שלה רחב יותר משל תגובת ריסון חסר בעל התנגדות קטנה יותר, כאשר שתי תוצאות אלה לא תואמות את התאוריה. אין לנו סברה טובה לתוצאה זו פרט לתקלה טכנית שיכולה להיות קשורה בשימוש במכשירים, כתיבת התוצאות וכו' הרי שלא שינינו את תנאי המעגל פרט להתנגדות. באותו אופן גם עבור תגובת התדר לנגד בעל התנגדות של 1414Ω קיבלנו תוצאה שלא תואמת את התאוריה. אומנם ישנה דעיכה עם התדר אך הדעיכה מתחילה מתדרים הקרובים ומגיע קרוב לאפס כבר בסביבת תדר התהודה כאשר הדעיכה אמורה להתחיל בסביבות תדר התהודה. גם במקרה זה אין לנו הסבר תאורטי לתוצאה המתקבלת פרט לתקלה טכנית כלשהי בביצוע הניסוי. השוואה של תוצאות הניסוי לערכים התאורטיים עצמם שהתקבלו (בהשוואה להתנהגות כללית אליה נצפה) הינה בעייתית בניסוי היות וההתנגדות הפנימית של הסליל משנה את משקל השפעת כל רכיב ביחס להשפעתו התאורטית. כמו כן, על אף שחלק מהתוצאות לא תואמות את ההתנהגות התאורטית לה צפינו, אני סבורים כי שגיאות אלה נובעות מתאמים טכניים של אופן ביצוע הניסוי (שזורז מאוד מפאת קוצר בזמן) וכי השפעת התנגדות הנגד תואמת לתאוריה – נגד בעל התנגדות הקטנה מההתנגדות הגורמת לריסון קריטי גורם לריסון חסר, כאשר ככל שנגדיל את ההתנגדות כך נקרב את התנהגות המעגל לזו של מעגל בעל ריסון חסר הפסדים.

בניסוי זה למדנו על תופעות מעבר במעגלים מסדר ראשון ושני, מעגלי RC , RL ו- RLC . בניסוי הראשון - תופעות מעבר במעגל RC למדנו כיצד ניתן למדוד את קבוע הזמן במעגל באמצעות התגובה לגל ריבועי ובאמצעות התגובה לתדר. על מנת לחשב את קבוע הזמן של המעגל באמצעות התגובה לגל ריבועי עלינו לבחור תדר קטן מספיק כך שכל תופעות המעבר יחלפו. בהתאם למשוואות המתח על הנגד והקבל ראינו כיצד שינוי של מדרגה במתח המעגל גורם לשינוי של מדרגה במתח הנגד. מתוצאות הניסוי והשגיאות הקטנות יחסית שהתקבלו ניתן לומר כי שיטות אלה תחת תנאי הניסוי מאפשרות את מציאת קבוע הזמן של המעגל בצורה מדויקת, כאשר יש לבחור פרמטרים מתאימים כמו אמפליטודת הגל הריבועי (כדי שהרעש יאפשר מדידה טובה) והתדירות שלו. באופן דומה ראינו בניסוי השני – תופעות מעבר במעגל RL את ההתאמה בין משוואות המתח של הסליל והנגד להתנהגות המתקבלת בתוצאות. במעגל ה- RC ראינו איך הוספת נגד ושינוי ההתנגדות שלו משנים את קבוע הזמן במעגל. בצורה דומה, בניסוי השני ראינו כי ההתנגדות הפנימית של הסליל גם גורמת לשינוי במידול המעגל, וכי ניתן לבחון את השפעת הרכיבים השונים וערכיהם על השינוי בזמן של המתח על כל רכיב. בניסוי הראשון והשני ראינו כי שינוי בהתנגדות יכול לגרום לשינוי בקבוע הזמן, אך האופן בו תופעת המעבר מתנהגת נשאר זהה – דעיכה או גדילה אקספוננציאלית חסומה. לעומת זאת, בניסוי השלישי – תופעות מעבר במעגל RLC נוכחנו לראות כיצד שינוי בערכי רכיבים משנה את האופי של תופעת המעבר. באמצעות שינוי התנגדות הנגד ראינו כיצד ניתן לגרום לסוגי ריסון שונים - בניגוד למעגל מסדר ראשון בו הדעיכה/גדילה תמיד אקספוננציאלים - הקובעים באיזה אופן ידעכו תופעות המעבר – אקספוננציאלי או תנודות דועכות, ואם בכלל תהיה דעיכה של תופעות המעבר (ריסון חסר הפסדים).

- [1] "פרוטוקול מעבדת חשמל הנדסה ביורפואית 2."
- [2] "ICT November 2005.pdf." Accessed: Nov. 05, 2021. [Online]. Available: <https://webee.technion.ac.il/people/schachter/Teaching/ICT%20November%202005.pdf>


```

%% EX3post4C

%% 2.1
f=[50,100,150,200,227,250,300,500,1000,1500,2000];%[Hz]

Vin_a=[210.9,211.5,211.3,211.0,211.2,211.2,211.1,210.9,210.5,210.5,210.3]; % [mV]
VR=[44.63,84.48,115.32,138.0,147.9,154.91,167.17,190.87,204.45,207.35,208.36];% [mV]
HR=VR./Vin_a;

Vin_b=[211.4,211.5,211.3,211.2,211.1,211,211.1,210.7,210.4,210.3,210.3];% [mV]
Vc=[205.67,192.32,175.21,157.65,148.56,141.15,126.85,87.13,46.54,31.5,23.93];% [mV]
HC=Vc./Vin_b;

% finding the resonance frequency from HR
A1=min(abs(HR-((1/sqrt(2))*max(HR))));
B1=find(abs(HR-((1/sqrt(2))*max(HR)))==A1);
disp(f(B1));
% finding the resonance frequency from HC
A=min(abs(HC-((1/sqrt(2))*max(HC))));
B=find(abs(HC-((1/sqrt(2))*max(HC)))==A);
disp(f(B));

%plotting the frequency responses
figure
plot(f,HR);
hold on
plot(f,HC);
plot(f(B),HR(B),'*');
plot(f(B),HC(B),'*');
xlabel('frequency [Hz]');
ylabel('transmission function');
legend('V_R/V_in','V_C/V_in','w_c from HR','w_c from HC');

%% 2.2
% reading result data from excel sheet
info = readtable('lab_3.xlsx');
%inserting data vectors
f = info.f;
V_in_R = info.V_in_R;
V_in_L = info.V_in_L;
V_R = info.V_R;
V_L = info.V_L;
H_R = V_R./V_in_R;
H_L = V_L./V_in_L;
%plotting the frequency responses of the resistor and the inductor
figure;
loglog(f,H_R)
xlabel('frequency [Hz]')
ylabel('Amplitude')
title('The frequency response of the resistor in RL circuit')
figure;
loglog(f,H_L)
xlabel('frequency [Hz]')
ylabel('Amplitude')

```

```

title('The frequency response of the inductor in RL circuit')
% the resonance frequency for both circuits

%% 2.3

%for R1=7071
Vin_1=[209.43,209.76,209.71,209.83,209.9,209.9,210,210.17,210.5];
%[mV]
VR_1=[195.74,195.74,194.6,182.54,176.13,171.6,164.83,149.43,109.21];
%[mV]
f_1=[50,250,500,1000,1125,1200,1300,1500,2000]; %[Hz]

HR_1=VR_1./Vin_1;
%plotting the frequency responses
figure
plot(f_1,HR_1);
xlabel('frequency [Hz]');
ylabel('transmissiom function');

%for R2=28284
Vin_2=[211.12,211.39,211.36,210.83,210.6,210.4,209.95,209.25,210.71];
%[mV]
VR_2=[207.57,212.2,227.31,309.6,349.13,377.93,420.81,488.27,270.13];
%[mV]
f_2=[50,250,500,1000,1125,1200,1300,1500,2000]; %[Hz]

HR_2=VR_2./Vin_2;
%plotting the frequency responses
figure
plot(f_2,HR_2);
xlabel('frequency [Hz]');
ylabel('transmissiom function');

%for R3=141420
Vin_3=[211.31,211.36,211.73,211.43,211.39,211.19,210.73,209.4,205.8];
%[mV]
VR_3=[210.83,215.32,233.61,342.13,408.48,466.7,582.42,788.9,11112.5];
%[mV]
f_3=[50,250,500,1000,1125,1200,1300,1500,2000]; %[Hz]

HR_3=VR_3./Vin_3;
%plotting the frequency responses
figure
plot(f_3,HR_3);
xlabel('frequency [Hz]');
ylabel('transmissiom function');

%for R4=1414
Vin_4=[208,208,209,209,209,209,210,210,211,211,212,211,211]; %[mV]
VR_4=[109,101,93,89,85,81,78,64,52,43,23,15,11]; %[mV]
f_4=[50,100,140,160,180,200,220,300,400,500,1000,1500,2000]; %[Hz]

HR_4=VR_4./Vin_4;
%plotting the frequency responses
figure
plot(f_4,HR_4);
xlabel('frequency [Hz]');

```

```

ylabel('transmissiom function');

% calculate alpha:
A=(1/sqrt(2))*max(HR_2);
x=[50 2000];
y=[A A];

figure
plot(f_2,HR_2);
hold on
line(x,y,'color','r');
grid on
grid minor
xlabel('frequancy [Hz]');
ylabel('transmissiom function');

```