

# דוח מסכם

אור שאול  
אריאל רנה

## הקדמה

בניסוי זה התבקשנו לבצע מדידות באמצעות חיבורים שונים בין ציוד מעבדה ולבדוק חיבורים שונים. זהו ניסוי ראשון להיכרות עם ציוד המעבדה. הציוד הניתן לנו במסגרת המעבדה: מטריצת חיבורים, נגדים וקבלים שונים, ספק כוח, אוסילוסקופ, מולטימטר, מחולל אותות וכבלים.

## מדידת אות סינוסי

החיבור בין המחולל אותות והסקופ בוצע כנדרש. הספרה האחרונה בת"ז הינה 2 ובהתאם ההגדרות שונו בהתאם. בצילום הבא נראה את האות הנדרש בסקופ:

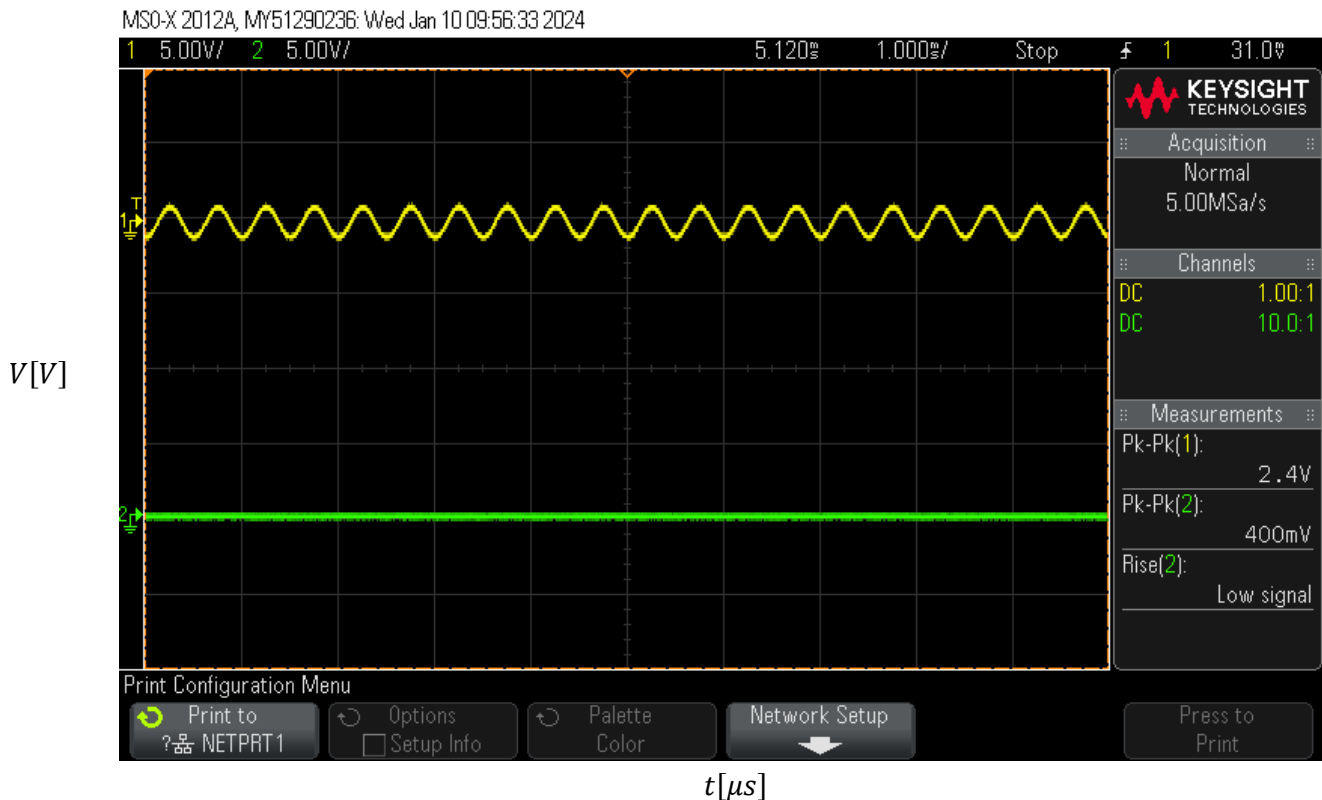


Figure 1: Sine-wave measurements

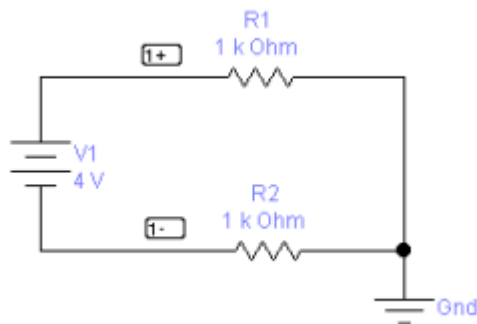
כפי שניתן לראות בתמונה, כל משבצת מייצגת אינטרוול זמן באורך  $1ms$ , כאשר מחזור שלם מורכב מחצי אינטרוולים, כלומר  $T = 500\mu s$ . ולכן מתקבל:

$$f = \frac{1}{T} = 5000 \left[ \frac{1}{s} \right] = 2[kHz]$$

מתח ה-Vpp שנמדד הוא  $2.4[V]$ , יותר מפי 2 מהערך הניתן במחולל אותות. הסיבה לכך היא שהתנגדות המוצא של מחולל האותות הינו  $50\text{ohm}$ , לעומת זאת התנגדות הכניסה של הסקופ הוא  $1\text{Mohm}$ . ההבדל נובע מכך שהמתח הנמדד הוא מתח החוג הפתוח שהוא יותר מכפולה של המתח מהמחולל האותות.

## מדידת זרם ישיר – מתח זרם והתנגדות

הרכבנו את המעגל באיור 2 בעזרת הנגדים המתאימים שערכם חושב בעזרת המקרא שהופיע בעמדה.



**Figure 2:** The given circuit in Fig. 3 in the preparatory report

מקור המתח הוציא  $4[V]$ . המדידות בוצעו באופן הבא:

- מדידת המתח התבצעה במקביל כאשר המעגל פועל
- מדידת התנגדות התבצעה במקביל כאשר הנגדים מנותקים מהמעגל (כדי למנוע הפרעות)
- זרם: בטור כאשר המעגל פועל
- חישוב התנגדות:  $R = V/I$
- חישוב הספק:  $P = V \cdot I$

Parameter	R1	R2
Nominal resistance value $[\Omega]$ (from color code)	$1K\Omega$	$1K\Omega$
Resistor tolerance [%] (from color code)	$\pm 5\%$	$\pm 5\%$
Measured resistance value $[\Omega]$	$0.98314 [K\Omega]$	$0.9895 [K\Omega]$
Measured voltage drop $[V]$	$-1.9946 [V]$	$2.0018 [V]$
Measured current $[mA]$ **	$2.0242 [mA]$	$2.0242 [mA]$
Calculated Resistance value $[\Omega]$	$0.985376939037644 [K\Omega]$	$0.988933899812271 [K\Omega]$
Calculated Power $[W]$	$4.03746932 [mW]$	$4.05204356 [mW]$

**Table 1:** DC measurements

בשלב הבא הסקופ חובר לנקודות 1 ו 1- ונמדד ערך המתח. בוצעו שתי מדידות, אחת עם נגד  $R2$  בגודל  $1K\Omega$  ואחת עם נגד  $R2$  בגודל  $1K\Omega$ .

Parameter	$R_2 = 1\text{ k}\Omega$	$R_2 = 2\text{ k}\Omega$
Voltage at (+1) [V]	2.011 [V]	1.380 [V]
Voltage at (-1) [V]	2.054 [V]	2.713 [V]

**Table 2:** Voltage measurements

2.3 ניתן להבחין כי אין שינוי משמעותי בין שתי שיטות המדידה.

2.4 אם ההארקה של הסקופ הייתה מחוברת לנקודה -1 התוצאה המתקבלת הייתה: 4v בנקודה +1 ו0v בנקודה -1.

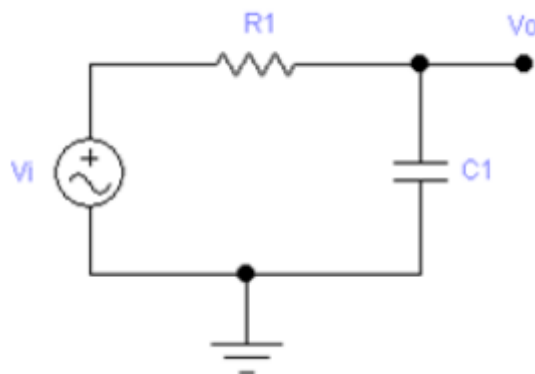
2.5 השוני במדידות בין הסקופ למולטימטר הוא באופי של נקודת האדמה. הסקופ מודד מתח ביחס לאדמה מוגדרת. לעומת זאת, המולטימטר מודד מתח 'צף' או אבסולוטי בין שתי נקודות כאשר במקרה שלנו אחד מהן היא אדמה (הניתנת ע"י הסקופ) אך לא בהכרח האדמה תהיה זהה, ולכן צפוי שהמולטימטר יהיה פחות מדויק.

ואכן, התוצאות המתקבלות מהמולטימטר בנקודות +1 ו-1 בהתאמה הן:  $4.0035[V]$ ,  $-6.47[mV]$ .

לעומת התוצאות המתקבלות מהסקופ בנקודות +1, -1 בהתאמה:  $4.0002[V]$ ,  $0.001[V]$ .

## מדידות AC:

המעגל באיור 3 הורכב על המטריצה, בעזרת הנגדים המתאימים, הקבל, מחולל אותות והסקופ. ההארקה ניתנה ע"י הסקופ.



**Figure 3:** circuit given in Fig. 4 in the preparatory report

אות הכניסה היה אות סינוסידיאלי בתדר 1KHz  $V_{pp} = 2v$ . במעגל נגד בעל התנגדות  $5.1K\Omega$  וקבל עם ערך קיבול 10nF. המדידות בוצעו בסקופ כאשר הערוץ הראשון מחובר לכניסת האות במעגל  $V_i$  וערוץ שני למוצא המעגל  $V_o$ .

באיור הבא ניתן לראות את האות כפי שהוצג בסקופ:

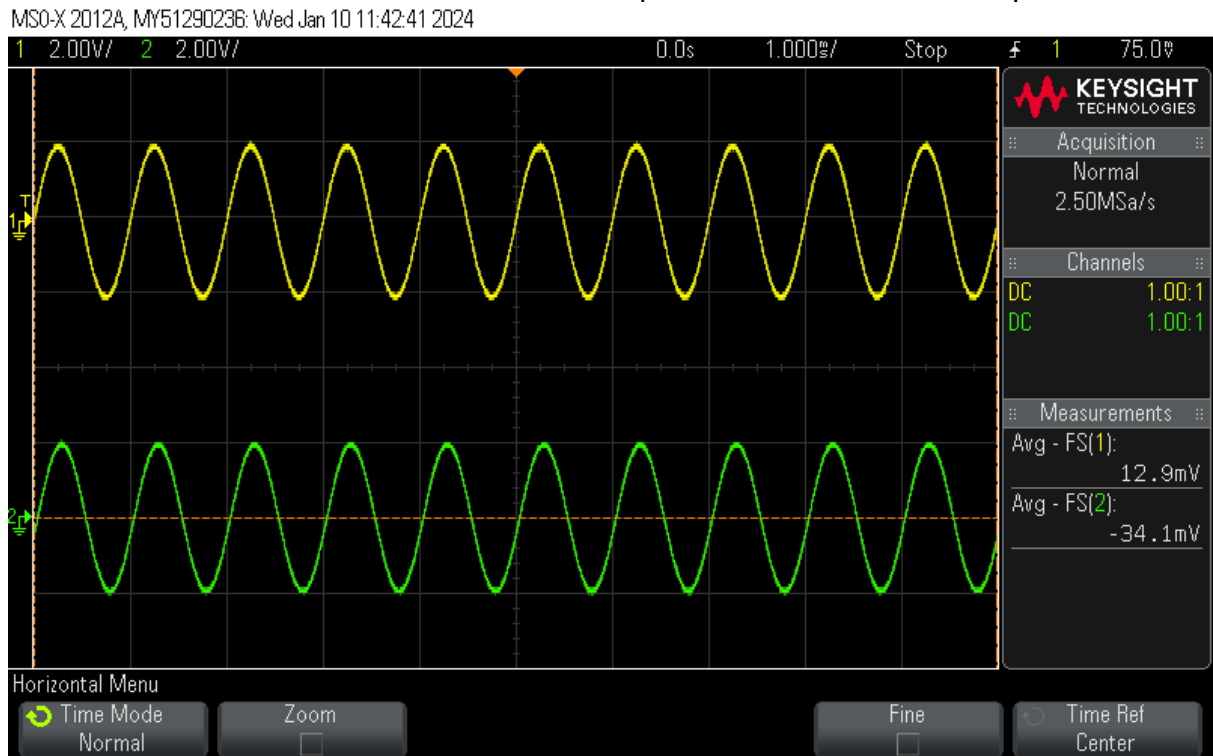


Figure 4: AC measurements

## מדידת השהייה (Delay) , פאזה וצימוד:

כעת חיברנו את המעגל למחולל אותות המוציא אות סינוסואידלי בתדר 10KHz ו  $V_{pp} = 1[V]$ . התדרים הנוספים שבחרנו הינם 5KHz ו 8KHz.

Frequency [Hz]	Period [sec]	Delay [sec]	Phase [°]
10.012 [KHz]	99.88 [usec]	19.68 [usec]	70.9 [°]
5.004 [KHz]	199.84 [usec]	34.32 [usec]	61.8 [°]
8.003 [KHz]	124.96 [usec]	25.36 [usec]	73.1 [°]

Table 3: Phase measurements

נרצה לחשב אנליטית את הפרשי הפאזה בין האותות.

$$\frac{V_{OUT}}{V_{IN}} = \frac{1}{1 + j\omega RC} = \frac{1}{1 + j2\pi f RC}$$

נקבל את התוצאות הבאות:

Frequency [Hz]	Measured Phase [°]	Theoretical Phase [°]
10 [KHz]	70.9 [°]	-72.66
5 [KHz]	61.8 [°]	-58.03
8 [KHz]	73.1 [°]	-68.69

Table 4: Comparison between The measured and the theoretical Phase

כאשר הסיבה שבמידות שלנו התקבל הפרש פאזה חיובי לעומת הערך התיאורטי השלילי, היא שמדדנו את הפרש הפאזה בין ערוץ 2 לערוץ 1 במקום ההפרש בין ערוץ 1 לערוץ 2.

## מידות סקופ מתקדמות

### 5.1 Scaling

כעת אות הכניסה הינו אות סינוסואידלי בעל תדירות 10KHz ו  $V_{pp} = 1[V]$ . במדידה זו ראינו כי כל שינוי של הסקאלה משנה את הפרופורציה של האות ביחס למדדים הקבועים. באותו הזמן דיוק המדידה משתנה בהתאם לסקאלה. ככל שנרצה למדוד אות בעל מתח גדול יותר כך נקבל דיוק פחות טוב ולהפך. נשים לב שעבור 5V/cm קיבלנו תמונה מאוד לא ברורה ומכאן ערכים מאוד לא מדויקים לעומת ה Auto Scale שנתן תמונה ברורה וערכים מדויקים יותר.

### 5.2 Cursors

האות הנכנס לסקופ אות סינוסי בעל תדר 10KHz ו  $V_{pp} = 1V$ . בעזרת הסמנים מדדנו את אמפליטודת אות המוצא. נחשב את גודל האמפליטודה הצפוי, בעזרת פונקציית התמסורת שנלקחה מהדוח המכין נוכל להגיע לביטוי הבא:

$$|H(j \cdot 2\pi \cdot 10^4)| = \left| \frac{1}{1 + j2\pi 10^4 RC} \right| \approx 0.3$$

להלן תוצאת המדידה במעבדה:

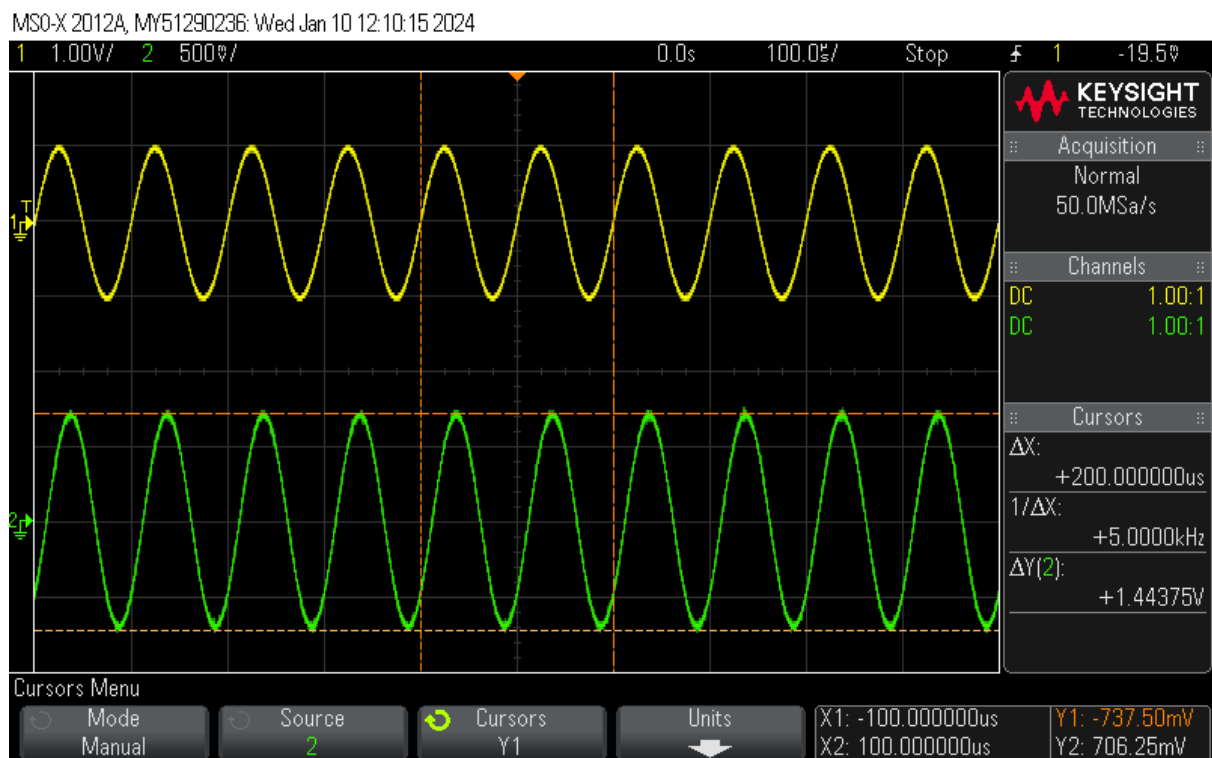


Figure 5: Advanced oscilloscope measurements

הערך שהתקבל בערוץ 1 מהסקופ הינו 2.05V, ולכן  $0.3 \cdot 2.05 = 615mV$  כאשר ניתן לראות שאצלנו מקבלים בערך 700mV לכן המדידות מסתדרות.

### 5.3 זמני עליה/נפילה

אות הכניסה הוגדר להיות אות ריבועי בתדר 1 kHz ו-1V  $V_{pp}$  ולא שינינו את חיבורי המעגל במטריצה. נמדדו זמני העליה והירידה של פריקת וטעינת הקבל. התוצאות בטבלה הבאה:

Parameter	Rise	Fall
$V_{pp}$ [V]	2.025 [V]	2.0375 [V]
$V_{min} + 0.1 \cdot V_{pp}$ [V]	0.81875 [V]	0.81475 [V]
$V_{max} - 0.1 \cdot V_{pp}$ [V]	0.80625 [V]	0.8095 [V]
Fall / Rise time [us]	33.36 [usec]	34.2 [usec]

Table 6: Rise and fall time measurements

באיור 7 ניתן לראות את מוצא האות בעת עליה Rise כפי שהוצג בסקופ:

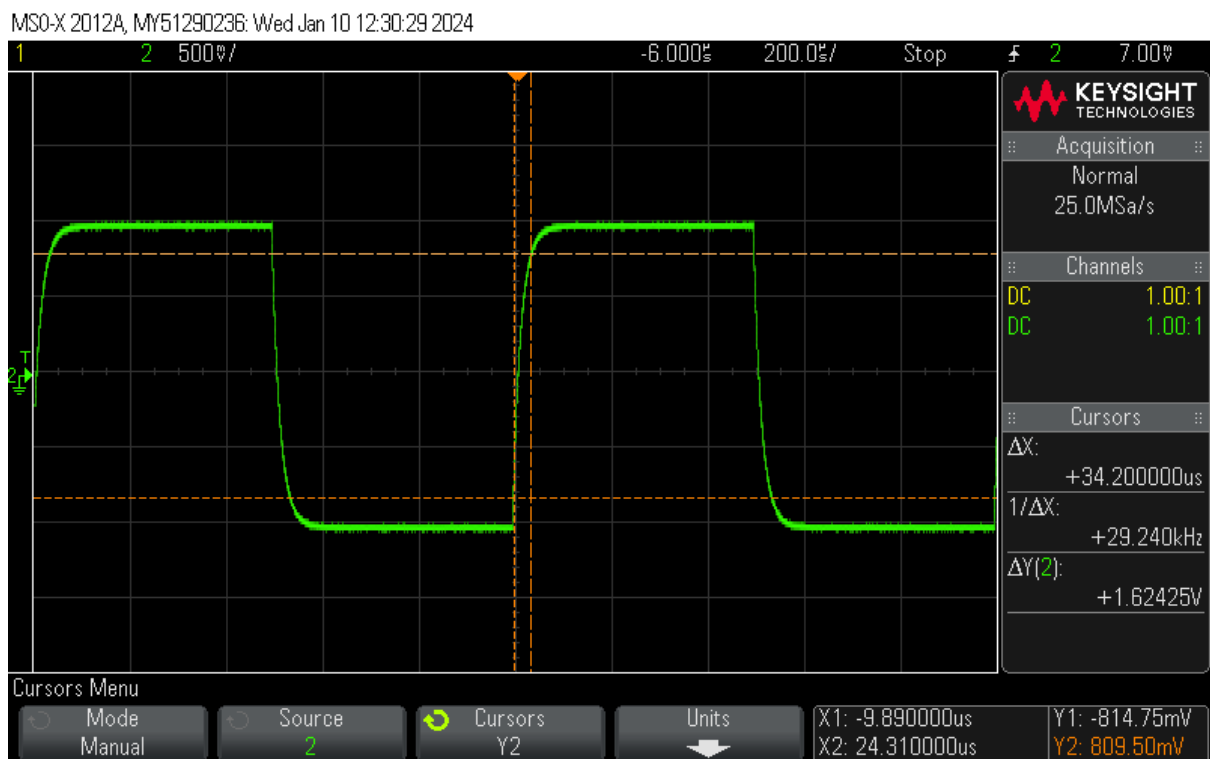


Figure 7: Rise time of the signal

באיור 8 ניתן לראות את מוצא האות בעת ירידה Fall כפי שהוצג בסקופ

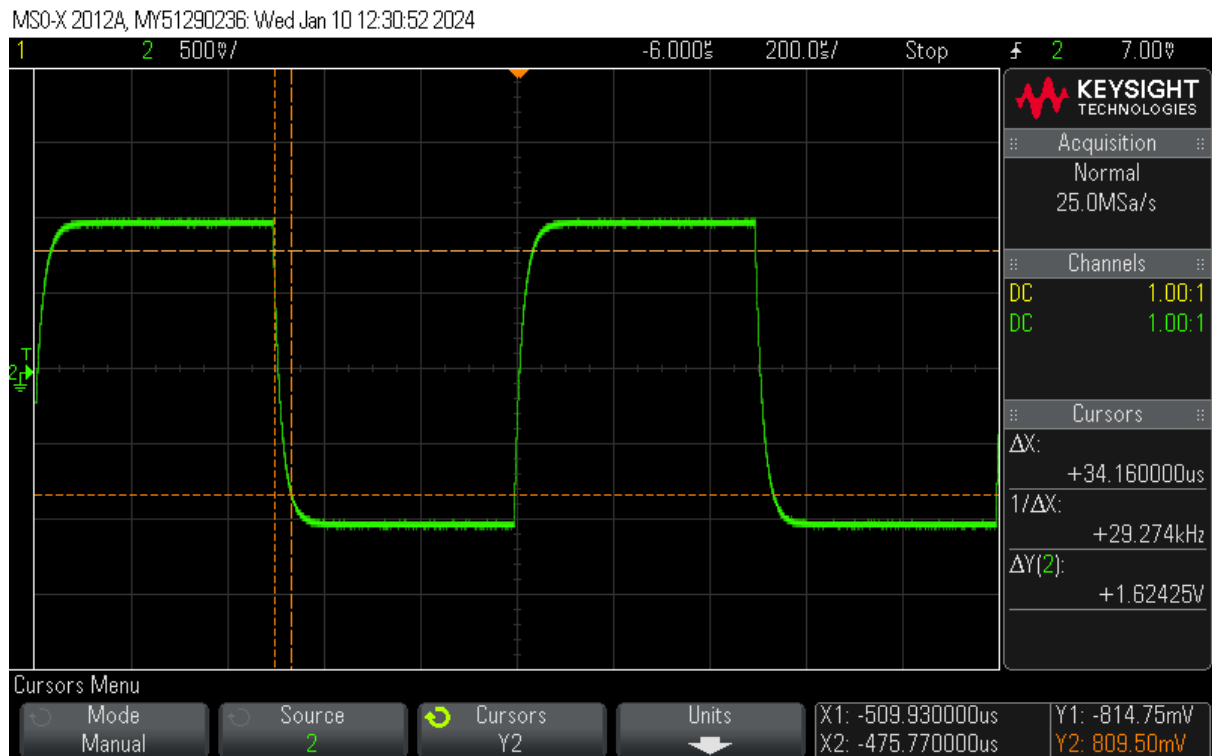


Figure 8: Fall time pf the signal

5.4. מיקמנו בסקופ את אות 1Ch בחצי העליון של המסך ואת אות 2Ch בחלק התחתון של המסך. תחילה התאמנו את הטריג'ר לערוץ 1 (1Ch) וניתן היה לראות את שני האותות באופן ברור. לאחר מכן, בחרנו את הטריג'ר לאות 2 (2Ch) וניתקנו את החיבור של הערוץ. כעת קיבלנו אות מאוד לא ברור בשני הערוצים, כאשר ב1Ch קיבלנו אות מתבדר וב2Ch קיבלנו אות שהולך לס, זאת בעקבות ניתוק הערוץ ה2.

5.5. גם כאן אות הכניסה הוגדר להיות אות סינוסואידלי בתדר 10KHz ו1Vpp. ערוץ 1 חובר לכניסת המעגל RC וערוץ 2 למוצא. התצוגה הוגדרה ל Y(x) והעקום המתקבל בסקופ מורכב ותועד עבור כל אחד מן המצבים המתוארים:

הוספת 10nF במקביל:

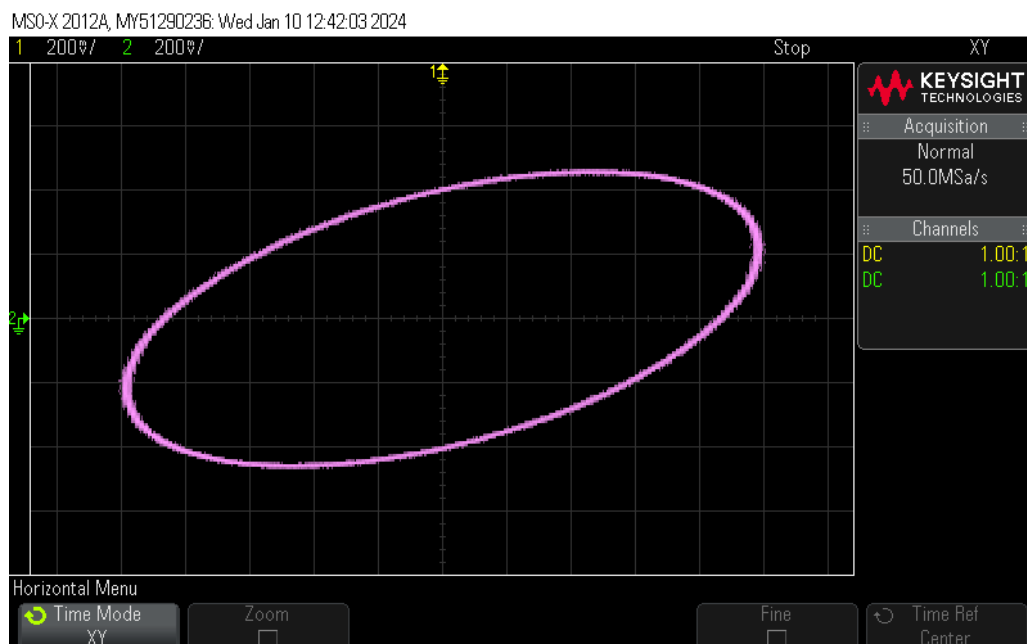


Figure 9: Parallel capacitors

הוספת 10nF בטור :

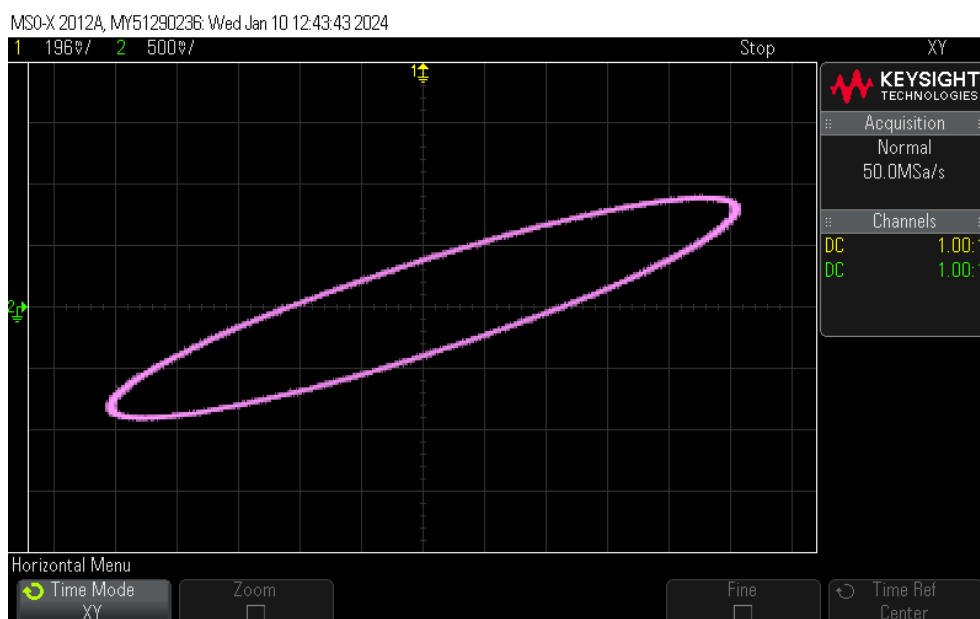


Figure 10: series capacitors

נראה כי בשניהם יש הפרש פאזה של 90 מעלות (תיאורטית), אך בתמונה הראשונה הקבל השקול מוכפל פי 2 ובתמונה השנייה הקבל השקול מחולק ב-2. כיוון שאנחנו מודדים קרוב לתדר הברך של פונקציית התמסורת קיבלנו תוצאות מעט שונות עבור שני ערכי הקיבול השונים (שכן אזור תדר הברך הינו הכי רגיש לשינויים). ידוע לנו מסעיפים קודמים כי פאזת אות המוצא תלויה בקיבול. בנוסף, ידוע על עקומים מהסוג הזה כי שינוי הפאזה באחד הצירים מוביל לשינוי ברדיוס העקום. כאן ניתן לראות בבירור שיש שוני ברדיוסי המעגלים עבור ערכי הקיבולים השונים, כצפוי.

כעת נשנה את תדר הכניסה ל 20KHz (אך לא נשנה את הקיבול) :

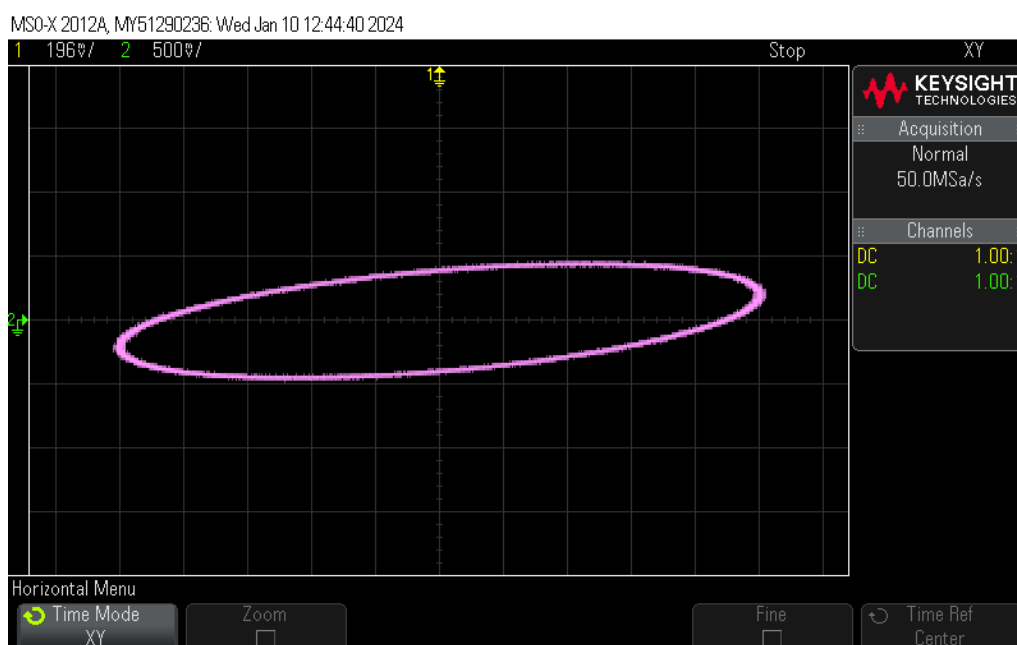


Figure 11: 20 kHz



ולאחר מכן ל 30KHz :

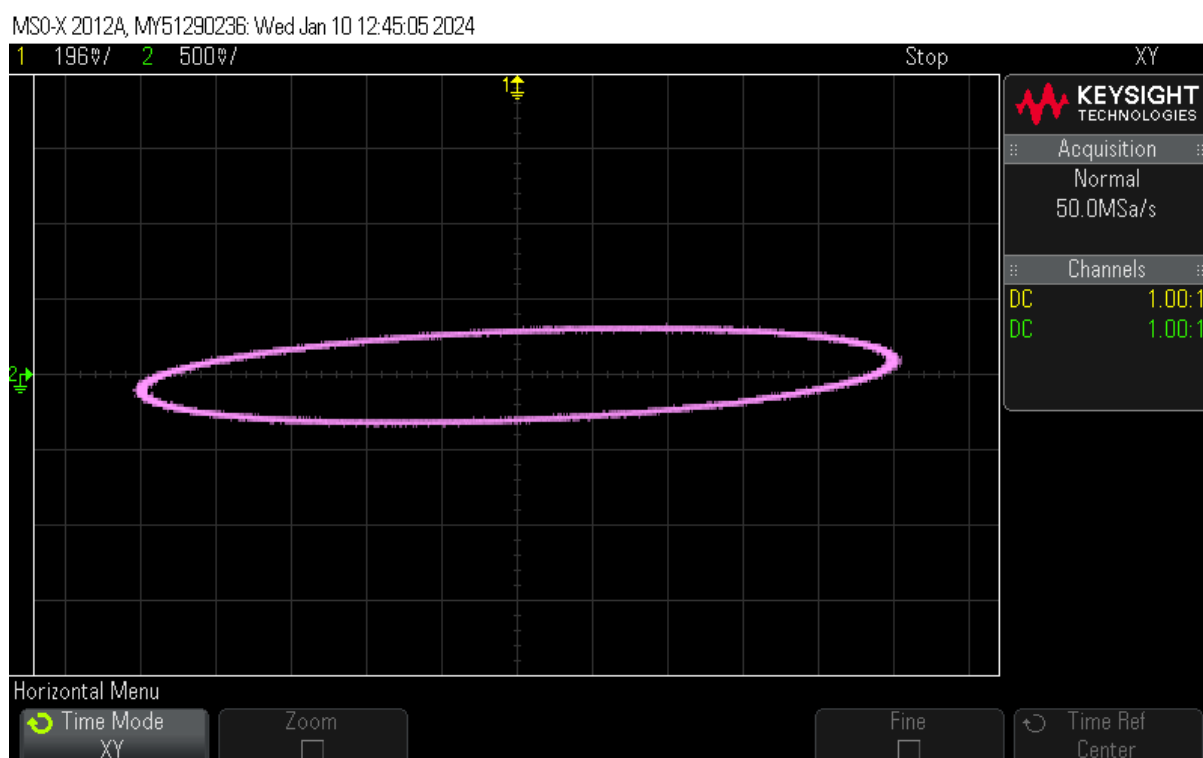


Figure 12: 30 kHz

כאשר נשנה את תדר האות הנכנס נצפה לשינוי ברדיוס העקום כאשר תדר גבוה יותר יוביל לרדיוס קטן יותר וההפך. אכן ניתן לראות שבתדרים 20KHz ו30KHz הרדיוס קטן יותר.

FFT .5.6

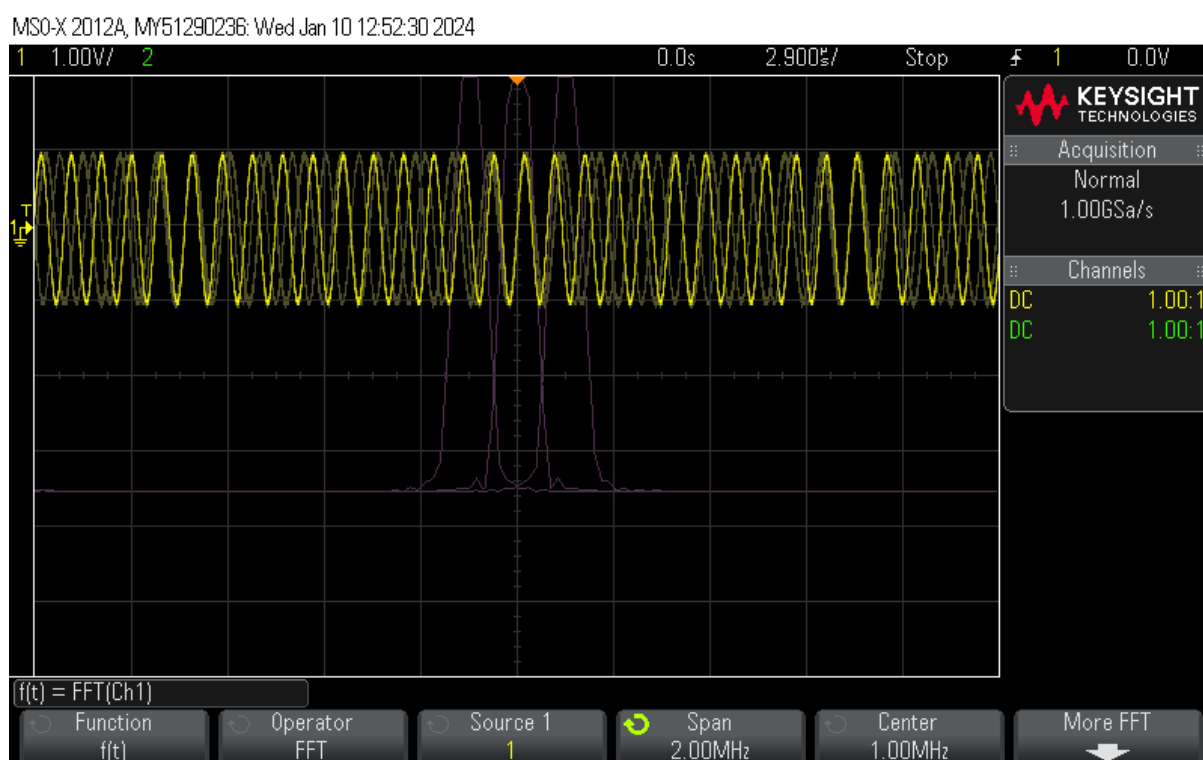


Figure 13: FFT

כיוון שמדובר באות סינוסי  $\sin(\omega_0 t)$ , התמרת פורייה שלו הינה 2 דלתאות, כאשר דלתא אחת ממוקמת ב- $\omega_0$ ,  
ודלתא שנייה ב- $-\omega_0$ .

באיור ניתן לראות שכאשר משנים את התדר לערכים 0.9MHz 1MHz 1.1MHz, מיקום הדלתא מוזזת בהתאם.  
נשים לב כי גובה הדלתא אינו משתנה כיוון שאנחנו לא משנים את אמפליטודת האות אלא רק את התדר.

## סיכום:

הניסוי התבצע לפי ההוראות המפורטות בקובץ המעבדה. ניתן לראות שלאורך הניסוי ישנה התאמה גבוהה בין  
הערכים הנמדדים לבין הערכים התיאורטיים שחושבו בדוח המכין.