

תדריך עבודה לניסוי הענות לתדר ולתהודה

ב ט י ח ו ת

1. בניסוי זה יש שימוש במכשירים המחוברים לרשת החשמל, על כן יש להקפיד על כללי בטיחות עבודה עם מכשירים אלו. במידה ויש חשד לכשל בטיחותי יש להודיע על כך למדריך.
2. בקופסת הנגדים מצוי קבל אלקטרוליטי (בצבע ירוק), קבל זה אם מחובר בקוטביות לא נכונה יכול להינזק ולהתפוצץ, אין להשתמש בקבל זה במהלך הניסוי.
3. אין להפעיל את המעגל החשמלי לפני אישור המדריך

מטרות כלליות של הניסוי

חקירת מעגלי RCL. הכרת המושגים תהודה (רזוננס): תדר התהודה, רוחב התהודה.

שאלות עזר להכנה

רשמו את הביטויים לתדירות התהודה ולרוחב התהודה במעגל RCL.

רשמו את הביטוי המאפיין את ההענות לתדר במעגל RCL.

מה מאפיין את המעגל בזמן התהודה? התיחסו לגדלים הבאים: המתח על הנגד, הפאזה של המתח על הנגד.

מצאו לאילו קומבינציות של R, C, ו-L יש ממדים של תדירות.

$$I = \frac{dQ}{dt} \quad V = IR \quad Q = CV \quad V = L \frac{dI}{dt} \quad \text{זכרו:}$$

רשימת ציוד

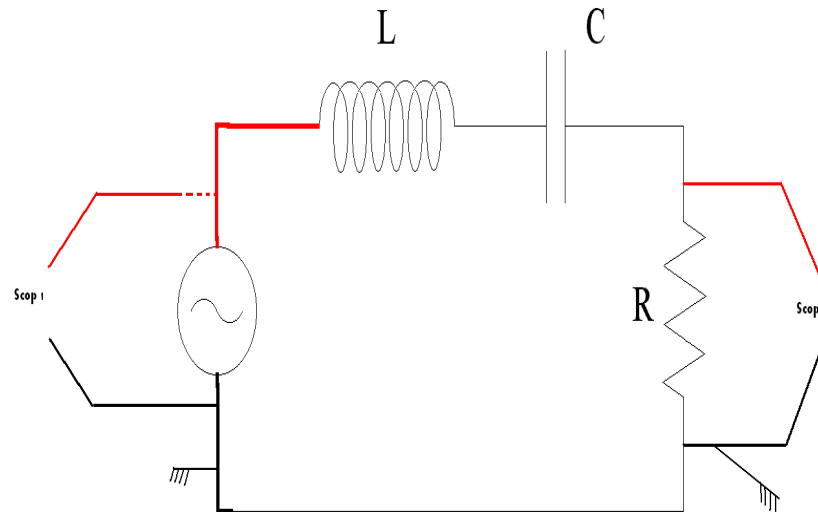
1. מעגל R-C-L
2. אוסצילטור
3. אוסצילוסקופ
4. רב-מודד
5. מד התנגדות

חלק א' – הכרת הסקופ, מחולל האותות, ומכשירי המדידה

1. כווננו את מחולל האותות להוצאת גל סינוס בתדר של כ- 1KHz. כווננו את המשרעת לאפס. ניתן להעזר בהוראות להפעלת מחולל האותות בנספח א'.
 2. חברו את מחולל האותות אל אחד מערוצי הסקופ, בעזרת כבל קואקסיאלי, והפעילו את הסקופ. בהדרגה הגדילו את המשרעת עד לכ-4 וולט, תוך כדי שאתם רואים את האות על הסקופ גדל.
 3. למדו לשלוט בסקופ. העזרו בנספח ב' המתאר את השימוש בסקופ:
 1. ההגבר בציר המתח לערוץ.
 2. פריסת הזמן.
 3. הפעלת מנגנון ה TRIGGER
 4. שימוש סמנים cursors
 5. מדידת מתח peak to peak ותדירות.
 4. חברו צרכנים שונים למכשירי המדידה השונים המתוארים בנספח ד' ומדדו את ההתנגדות, ההשראות והקיבול שלהם.
- שימו לב לאורך כל העבודה עם הסקופ שיש לתעד את קצב הדגימה וכן את גודל הסקאלה איתה עובדים. גודל הסקאלה היננו נתון חשוב ביותר כיוון שהוא קובע את שגיאת הסקופ.

חלק ב' – בניית המעגל

- מדדו את הפרמטרים של רכיבי המעגל הרלוונטים, התנגדות, השראות וקיבול.
- בחרו ברכיבי המעגל שיתאימו לניסוי בו נרצה לחזות בתופעת הרזוננס ולמדוד אותה.
- בנו מעגל חשמלי לפי התרשים הבא, וודאו שהארקות מחוברות לאותה הנקודה:



שלבי ביצוע:

1. רשמו את כל הערכים הרלוונטיים של הרכיבים השונים במעגל (השראות הסליל, קיבול הקבל והתנגדות הנגד והסליל).
 2. חברו את הרכיבים לפי התרשים שלמעלה.
 3. **בקשו את אישור המדריך לפני הפעלת מחולל האותות.**
 4. הפעילו את האוסצילטור ליצירת גל סינוס.
- מדדו את מתח המקור, המתח על הנגד והפאזה שלו ביחס למתח המקור עבור תדרים שונים. שימו לב לנקודות הבאות:
1. עליכם להחליט לבד על כמות המדידות המספיקה לאפיון המעגל. ככלל, אם הגודל הנמדד משתנה באופן חד בתחום מדידות מסוים, יש לבצע מדידות צפופות יותר בתחום זה.
 2. יש למדוד את הפרש הפאזה בשתי השיטות המתוארות בנספח ג'.
 3. מכיוון שתחום התדרים האפשרי הינו רחב ואתם מעוניינים רק בסביבת תדר התהודה – שאינכם יודעים אותו מראש (למרות שמומלץ לבצע חישוב תאורטי כדי להבין באיזה אזור היא אמורה להיות) – בצעו ראשית סריקה גסה של מרחב התדרים כדי לאפיין באופן גס את ההענות לתדר במעגל. לאחר שמצאתם את אזור התהודה – שהוא בבירור האזור המעניין במעגל – בצעו שם סריקה חוזרת הפעם בקפיצות תדר קטנות יותר אך שעדיין יאפשרו לכם לסרוק יחסית מהר את אזור התהודה. בסריקה השלישית התמקדו באזור הקרוב מאוד לתדר התהודה ובצעו שם סריקה בקפיצות תדר קטנות מאוד על מנת לאפיין את תדר התהודה בדיוק המרבי.

4. מכיוון שאנו מעוניינים גם ברוחב אזור התהודה כפי שהוא מוגדר ברקע התאורטי, מומלץ במידה שהזמן מאפשר לבצע סריקה עדינה כזו גם באזורים מסביב לתדירות המתאימות.

הנחיות לעיבוד תוצאות:

בניסוי זה מדדתם את המתח על נגד ואת הפרש הפאזה שלו ביחס למקור (Φ) עבור תדרים שונים:

1. שרטטו גרפים של $\frac{V_R}{V_o}$ ושל Φ כפונקציה של התדר (יש לשרטט את הגרף של Φ פעמיים – עבור שתי השיטות בהן מדדתם את Φ), כאשר הפרמטרים החופשיים מייצגים את R, C, L (האם הערכים הללו ידועים לנו במדויק?). התייחסו לערך של χ^2 שהתקבל. השוו בין הערכים שמדדתם עבור R, C, L לבין ערכי הפרמטרים החופשיים שנמצאו במטלב.

2. מצאו מן הגרפים של Φ את תדר התהודה והשוו לתדר הצפוי מהתיאוריה.

3. מצאו מן הגרף של $\frac{V_R}{V_o}$ את תדר התהודה והשוו לתדר הצפוי מהתיאוריה.

שאלות עזר לסיכום:

1. האם ערכו של $\frac{V_R}{V_o}$ מגיע ל-1 בתהודה? הסבירו.
2. איזו מבין השיטות למציאת תדר התהודה טובה יותר? הסבירו.

חלק ג' – פרוק אות מורכב לסינוסים

מטרות:

שימוש במעגל חשמלי לצורך פרוק אות "רועש" לסינוסים "נקיים".

רשימת ציוד:

1. אוסצילטור
2. אוסצילוסקופ
3. רמקול
4. סלילים
5. קבלים
6. נגדים
7. חוטי חשמל בעלי חיבורים שונים
8. מחשב
9. רב-מודד

הנחיות לביצוע:

בניסוי זה נלמד על יעודו של מעגל RCL בתור פילטר Band-pass, ונצל את העובדה שאזור התהודה ניתן לשינוי על-ידי שינוי הרכיבים במעגל על-מנת לפרק אות מורכב לרכיבי הפורייה שלו – הגלים הסינוסואידליים המרכיבים אותו.

1. עליכם לקחת אות לא ידוע ולאפיין אותו על-ידי מציאת המרכיבים שלו, כלומר למצוא את התדרים של האותות השונים. האות הוא קובץ אודיו שנמצא על המחשב עליו אתם עובדים, וניתן להמירו לאות חשמלי ולהכניסו למעגל דרך הרמקול של המחשב.
2. בפניכם רכיבים שונים בהם נתקלתם בחלק הקודם של הניסוי. עליכם להשתמש בהם על-מנת לבצע פרוק של אות המורכב מחיבור שלושה אותות סינוסואידליים שונים. חשבו על צורות ההענות לתדר של המעגלים השונים בהם נתקלתם על מנת להרכיב מעגל חשמלי שיוכל לבצע את המשימה הנדרשת.
3. נסו לבחור את הרכיבים כך שיתאימו לתדרים הרלוונטיים, וכמו-כן יספקו את השגיאה הקטנה ביותר האפשרית.
4. הקפידו לעבוד מסודר:
 - 4.1. רשמו את ערכי הרכיבים בהם אתם משתמשים כולל שגיאות (השתמשו במולטימטר במידת הצורך).
 - 4.2. דאגו תמיד לחבר את ההארקות.
 - 4.3. הקפידו לעבוד בסקלות הנכונות בכל מכשיר.

הנחיות לעיבוד תוצאות:

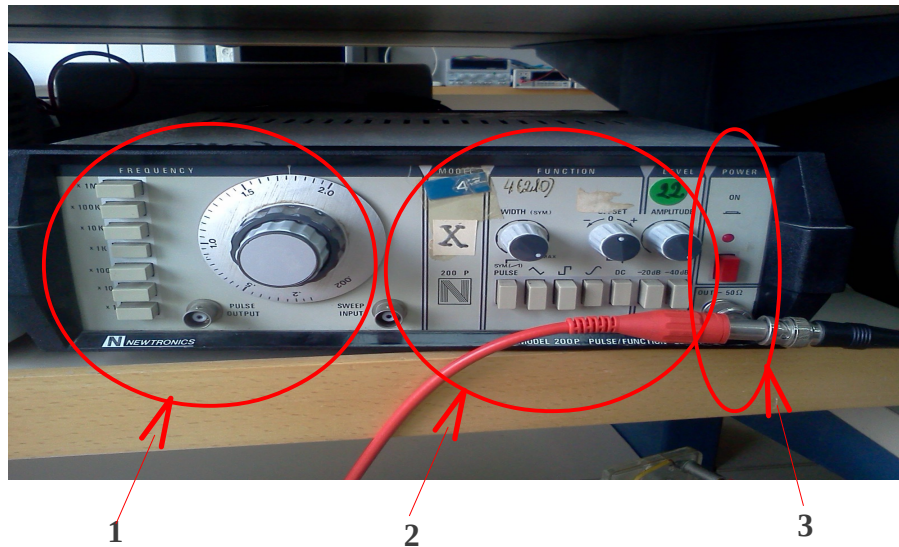
מצאו שתי שיטות לחשב את התדירויות של מרכיבי האות. עבור כל אחת מהן רשמו את הערכים ושגיאותיהם והשוו ביניהם.

שאלות עזר לסיכום:

1. באיזה תחום תדרים הדיוק טוב יותר? הסבירו.
2. איזו משתי השיטות למדידת התדר טובה יותר? (התיחסו הן לדיוק השיטות והן לאינפורמציה חשובה נוספת שניתן לקבל באמצעות אחת מהשיטות)
3. מהם גורמי השגיאה הדומיננטיים בניסוי וכיצד ניתן להקטיןם?

נספח א' – מחולל האותות

מחולל האותות מופיע בתרשים הבא:



הפאנל השמאלי(1) מאפשר שינוי של תדר האות, בסקאלה גסה(כפתורים) ורציפה(גלגל).
הפאנל האמצעי(2) קובע את אופי האות: צורת הגל(במקרה שלנו – נבחר סינוס),
האפליטודה והרוחב שלו והסטת הסיגנל מ-DC.
בחלק הימני(3) נמצא כפתור אדום לכיבוי/הדלקת המכשיר ומחבר היציאה של האות
מסוג BNC.

נספח ב' - האוסצילוסקופ

נתוני סקופ (DSO1002A Agilent) רלוונטיים:

:DC vertical gain accuracy

mV/div to 5 mV/div: $\pm 4.0\%$ full scale 2

:Timebase accuracy

ppm from 0 °C to 30 °C ± 50

ppm + 2 ppm per °C from 30 °C to 45 °C ± 50

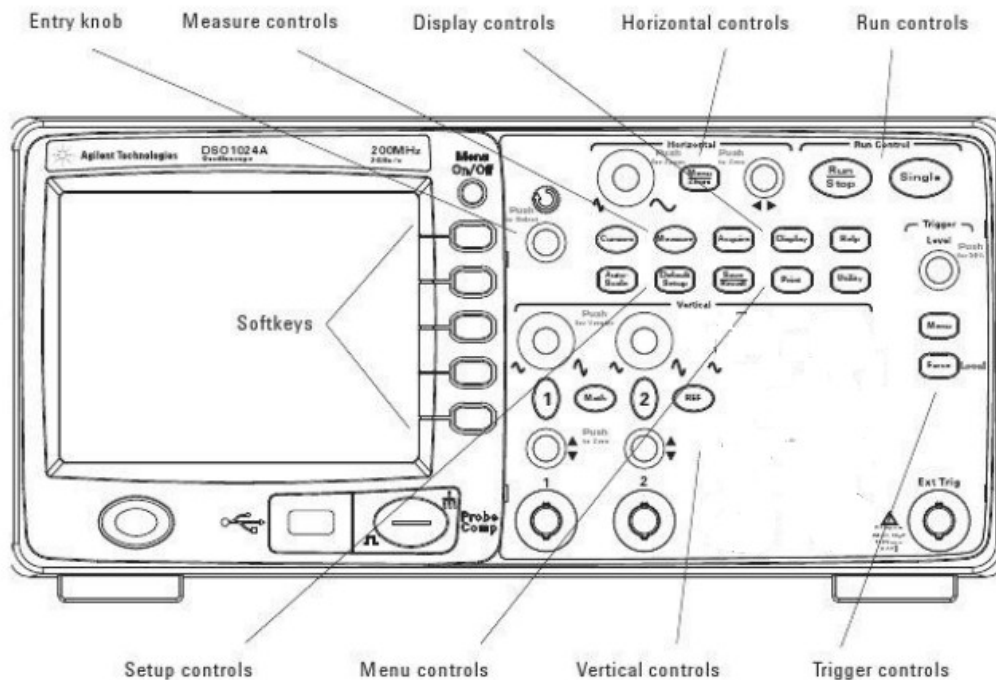
(ppm * (years since manufacture 5 +

Max sample rate: 2 GSa/s half channel2, 1 GSa/s each channel

Memory depth: 20 kpts half channel2, 10 kpts each channel

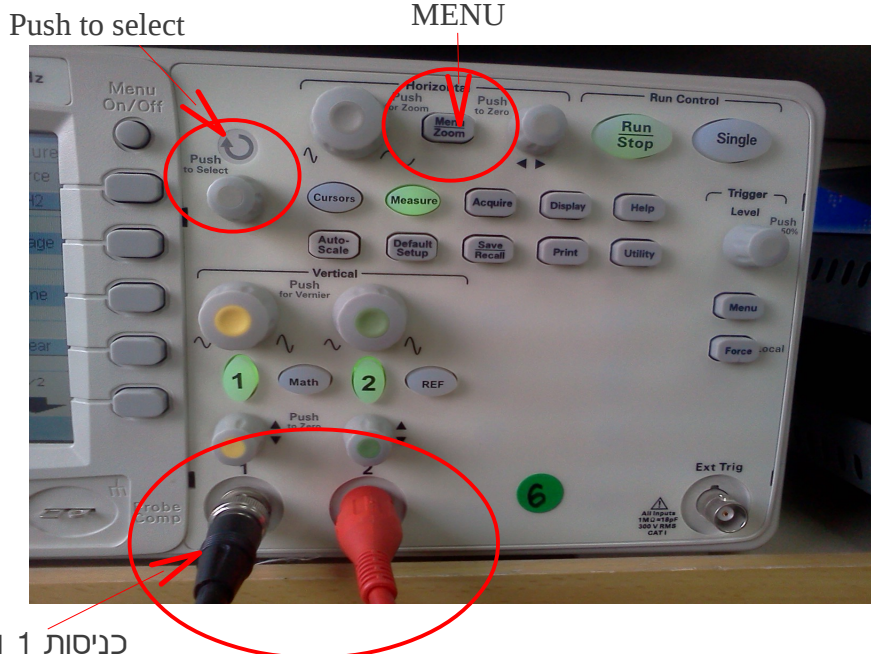
Vertical resolution: 8 bits

Input impedance: $1\text{ M}\Omega \pm 1\%$ || $18 \pm 3\text{ pF}$



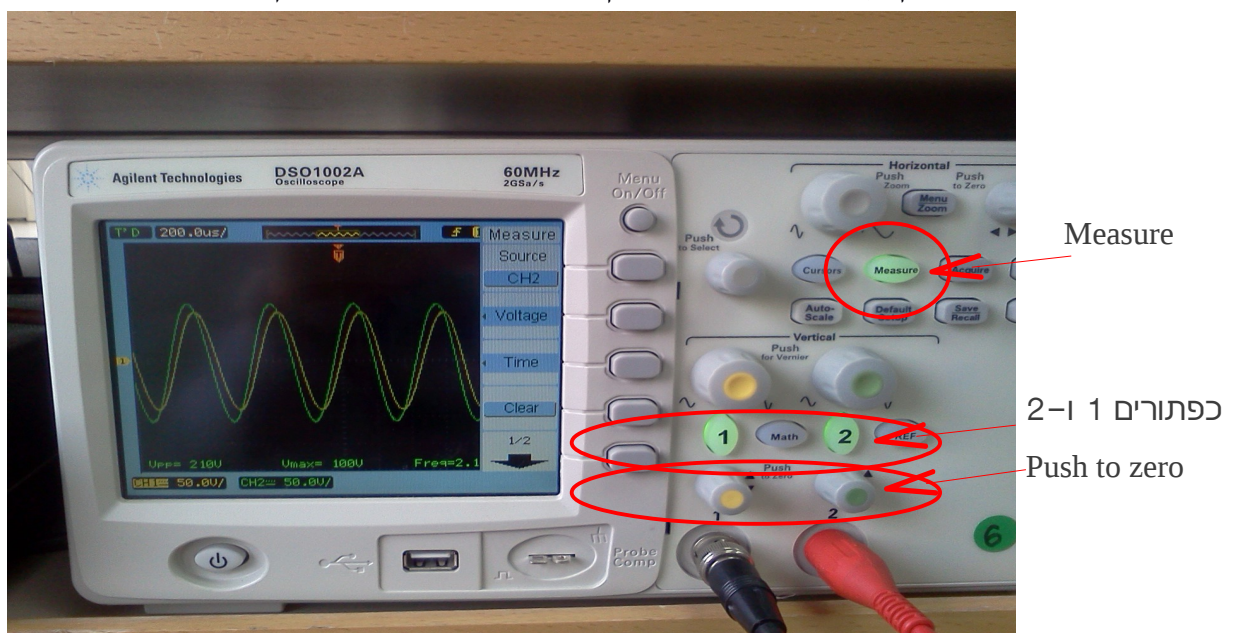
הוראות הפעלה בסיסיות:

- ניתן לצפות בסקופ ב-2 ערוצים במקביל, על ידי חיבורם באמצעות כבל קואקסיאלי ומחבר BNC לכניסות 1 ו-2 שלו.
- כדי לעבור לבסיס הזמן של הסקופ(אם לא מופיע כברירת מחדל) יש ללחוץ על menu. בתפריט הבחירה שמופיע, ללחוץ על Time Base. ניתן לסובב את הכפתור push to select לקבלת מישור Y-T (האותות כפונקציה של הזמן) וללחוץ עליו לבחירת האפשרות.



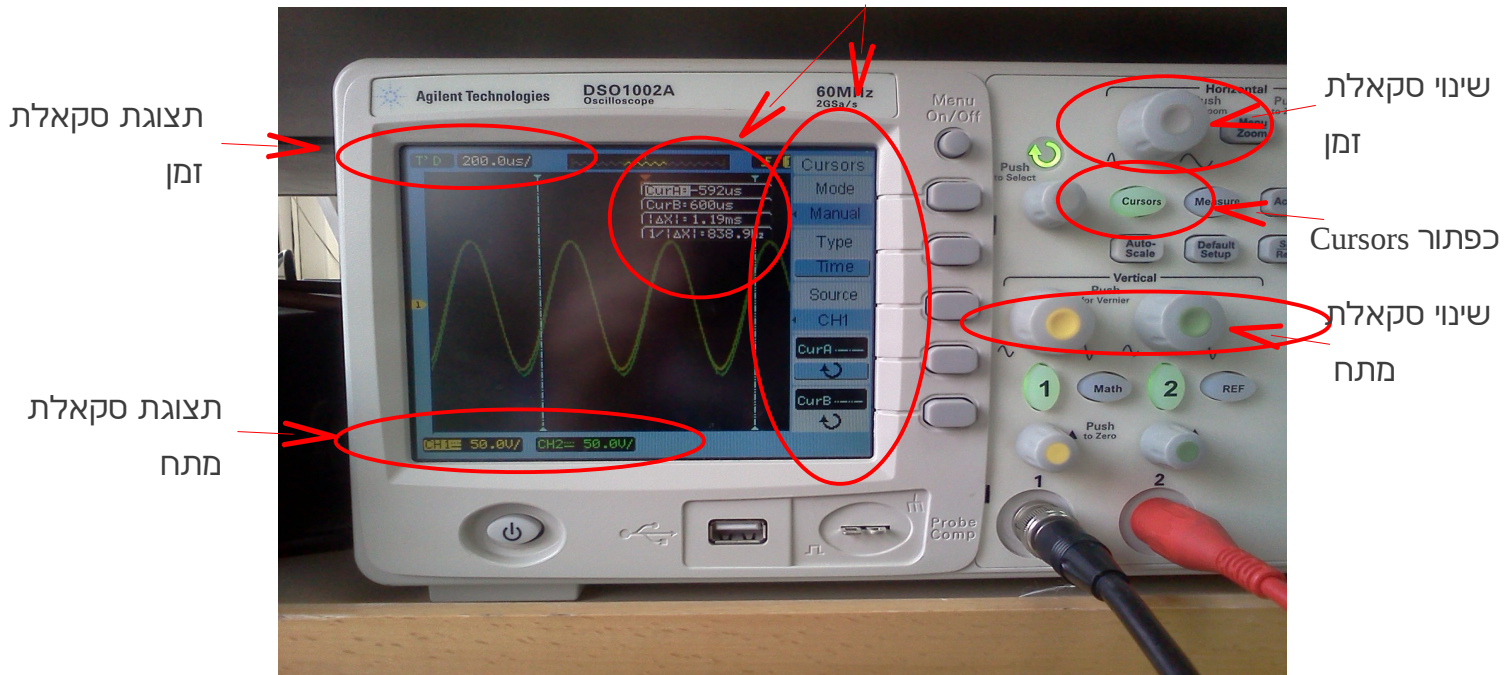
כניסות 1 ו-2

- על מנת להציג את שני האותות במקביל יש ללחוץ על הכפתורים הממוספרים 1-2.
- כדי שהאותות יוצגו סביב האפס, יש ללחוץ לחיצה ארוכה על שני הכפתורים ליד הכיתוב Push To Zero.
- לצורך ביצוע מדידות על הסיגנלים יש ללחוץ על כפתור measure. בתפריט שיפתח, ניתן לבחור את הערוץ עליו תתבצע המדידה, וסוג המדידה – מתחים או זמנים. לאחר לחיצה על התפריט המתאים, ניתן לסובב את כפתור Push to Select לקביעת סוג המדידה וללחוץ עליו לסיום הבחירה. ניתן למדוד 3 מדידות שונות במקביל.



- יש לשים לב כי מדידת התדירות נותנת את f , ולא את התדירות הזוויתית. כמו כן, מדידת V_p-p מודדת את האות מהמינימום למקסימום, וזו אינה האמפליטודה שלו.
- ניתן לשנות את הסקאלות של הסקופ לקבלת קריאות מדויקות. הגלגלים בתפריטי Vertical ו-Horizontal משנים את הסקאלה בזמן ובמתח בהתאמה. סקאלות המתח מוצגות בתחתית המסך וסקאלת הזמן בחלק העליון(המספר מתייחס למשבצת אחת המוצגת על המסך).
- כדי למדוד ידנית הפרש בין זמנים/מתחים בשתי נקודות, ניתן להשתמש ב-Cursors. לחיצה על כפתור Cursors תפתח תפריט, בו ניתן להציג סמנים אופקיים/אנכיים (Amplitude/Time), לבחירה באמצעות הגלגל Push to select. ניתן להזיז כל סמן, ויופיע תפריט שציג את הפרש הזמנים/מתחים בין שניהם.

תפריט cursors ותוצאות

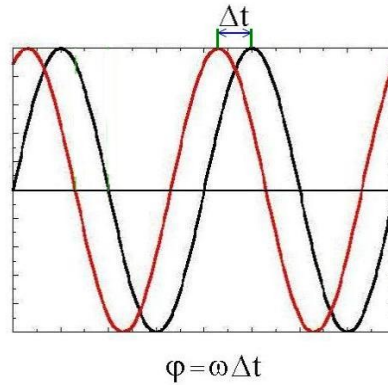


בנוסף, יש אפשרות בסקופ לעבוד במצב X-Y. זהו מסך שמציג את היחס בין אמפליטודות אות מספר 1 ואמפליטודות אות מספר 2 בדיאגרמה דו מימדית. יש ללחוץ על Menu ו Time Base. ולבחור עם כפתור push to select את מישור X-Y. במוד זה עדיין ניתן לבצע את כל הפעולות שהוסברו בסעיפים הקודמים(סקאלות, Cursor-ים, איפוס וכו'...)



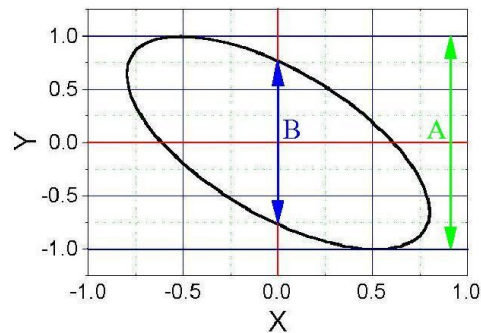
נספח ג': שיטות למדידת הפרש המופע בין האותות

1. שיטה אחת למדידת הפרש המופע בין שני אותות מבוצעת במצב Y-T בסקופ כאשר כל אות מחובר לערוץ אחר.



איור : מדידת הפרש מופע במצב Dual בסקופ

שיטה נוספת למדידת הפרש המופע בין שני אותות מתבצעת בסקופ במצב X-Y כאשר כל אות מחובר לערוץ אחר (CH1, CH2). הקשר בין זווית המופע לפרמטרים של האליפסה מתואר ב .



איור : מדידת הפרש מופע במצב X-Y בסקופ

$$\sin(\phi) = \frac{B}{A}$$

Menu
Zoom

ניתן להגיע לתצוגה זו של נתונים בסקופ על ידי לחיצה על הכפתור המתואר
בנספח ב' ולאחריו בחירה בתפריט time based, ולהחליף את האופציה הנבחרת מ: Y-T
לאופציה: X-Y.

נספח ד': מכשירי מדידה

KEITHLEY 175 AUTORANGING MULTIMETER נתונים עבור

OHMS		ACCURACY (1 Year) 18°–28°C ±(%rdg + counts)		MAX.VOLTAGE ACROSS UNKNOWN ON RANGE
RANGE	RESOLUTION			
200 Ω	10 mΩ	0.05 + 2*		0.2 V
2 kΩ	100 mΩ	0.05 + 1		2.0 V
20 kΩ	1 Ω	0.05 + 2		0.2 V
200 kΩ	10 Ω	0.05 + 1		2.0 V
2 MΩ	100 Ω	0.05 + 2		0.2 V
20 MΩ	1 kΩ	0.2 + 1		2.0 V
200 MΩ	100 kΩ	2.0 + 1		2.0 V



Lutron LCR Meter זגם LCR-9073 נתונים עבור

Inductance Ranges: 2, 20, 200 mH, 2, 20 H
Capacity Ranges: 2, 20, 200 nF, 2, 20, 200, 1000 μF
L Accuracy: $\leq 0.5 \text{ H} \pm (2\% + 1 \text{ d})$; $\geq 0.5 \text{ H} \pm (5\% + 1 \text{ d})$
C Accuracy: 2nF range $\pm (1.5\% + 1 \text{ d})$; others $\pm (1\% + 1 \text{ d})$
Sampling time: ~0.5 seconds
Operating Temperature: 0 °C to 50 °C
Operating Humidity: <80% RH



נתונים רלוונטיים עבור רב-מודד Tabor זגם 608A

:RESISTANCE

Full Scale Ranges: 199.9 ohms, 1.999 Kohms, 19.99 Kohms, 199.9 Kohms, 1999 Kohms and 19.99 Mohms

Accuracy: $\pm 0.2\%$ of reading $\pm 0.05\%$ full scale, except for 19.99 Megahom range: $\pm 0.5\%$ of reading, $\pm 0.05\%$ full scale

Specifications Warranted over the temperature range of $25 \pm 10^\circ\text{C}$ and a period of 1 year

נתונים עבור Lutron LCR Meter זגם LCR-9053

Inductance Ranges: 0 to 2.20, 200 mH, 2.20 H

Capacity Ranges: 0 to 2.20, 200 mF, 2, 20, 200 μF

(L Accuracy: $< 0.5 \text{ H} \pm (2\% + 1 \text{ d})$; $> 0.5 \text{ H} \pm (5\% + 1 \text{ d})$

(C Accuracy: $< 0.5 \mu\text{F} \pm (1.5\% + 1 \text{ d})$; $> 0.5 \mu\text{F} \pm (2\% + 1 \text{ d})$

Over-range: a "1" on the screen

Sampling time: 0.4 seconds

Time base crystal oscillator

Operating Temperature: 0°C to 50°C

Operating Humidity: $< 80\% \text{ RH}$