

הטכניון - מכון טכנולוגי לישראל  
הפקולטה להנדסת חשמל



## מעבדה 1

### מגברי שרת 1 תדריך למעבדה

גרסה 2.41

קיץ 2018

עדכנו: אברהם קפלן, דודי בר-און, ליאת שורץ  
על פי חוברות של י.לרון

מועד	ביצוע עד סעיף	שם המדריך בפועל	תאריך
ביצוע הניסוי			
השלמת חלקים חסרים 1-			
השלמת חלקים חסרים 2-			

סטודנט	שם פרטי	שם משפחה
1	ברק	זן
2	בועז	טייטלר

## תוכן עניינים – ניסוי מגברי שרת 1

### Contents

3.....	הגבלת זרם הספקים, שליפת רכיב.....	1
3.....	ספקים.....	1.1
3.....	חיווט קווי אספקה למטריצה.....	1.2
3.....	תזכורת - שליפת רכיב במהלך העבודה.....	1.3
4.....	מגבר הופך מופע.....	2
7.....	מגבר הופך מופע ברוויה.....	3
8.....	אדמה "וירטואלית".....	3.1
9.....	מגבר שומר מופע.....	4
11.....	מגבלה של מגברי שרת: רוחב הסרט.....	5
13.....	מגבלות נוספות של מגברי שרת: Slew-Rate.....	6
13.....	מדידת Slew-Rate של המגבר.....	6.1
15.....	תדר גבוה.....	6.2
16.....	טכנולוגיה.....	6.3
17.....	השפעת גודל נגדים.....	7
17.....	נגדים קטנים.....	7.1
19.....	נגדים גדולים וזרמי כניסה.....	7.2
20.....	סיכום.....	7.3
21.....	תיקוני OFFSET.....	8
21.....	טכנולוגיה: מגבר השרת LF411.....	8.1
21.....	סיכום.....	8.2

### הנחיות

- קובץ זה הוא גם התבנית לדוח המסכם, בסוף המעבדה יש לשמור ב PDF ולהגיש במודל

### מטרות הניסוי:

1. בניית מעגלים בסיסיים עם מגברי שרת.
2. מגבלות של מגברי שרת.
3. בחינת ההשפעה של בחירת רכיבים חיצוניים על ביצועי המעגלים.

### הוראות כלליות:

בחיבור המעגל יש להקפיד על הפעלת מתחי אספקה ואח"כ חיבור אות המבוא. בעת ניתוק יש לכבות תחילה את אות המבוא ורק אח"כ לכבות את מתחי האספקה.

**רשום את השעה בה התחלת את המעבדה: 14:45**

# 1 הגבלת זרם הספקים, שליפת רכיב

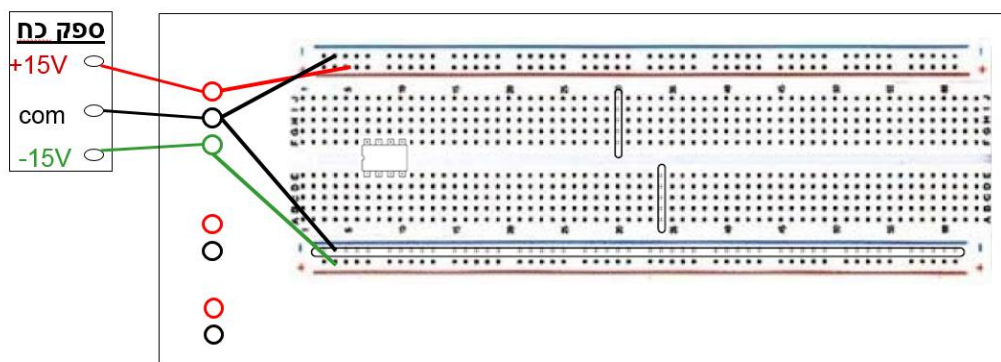
## 1.1 ספקים

כוון את המתח והגבל את הזרם המכסימלי של שלושת הספקים: ל-15V, +15V, 6V, ול-100mA.  
לאחר שסיימת לכוון, סמן V עבור כל אחד מהספקים.

<input type="checkbox"/>	100 mA	זרם מקסימלי	6V למתח	-	כוון ספק
<input type="checkbox"/>	100 mA	זרם מקסימלי	15V למתח	-	כוון ספק
<input type="checkbox"/>	100 mA	זרם מקסימלי	-15V למתח	-	כוון ספק

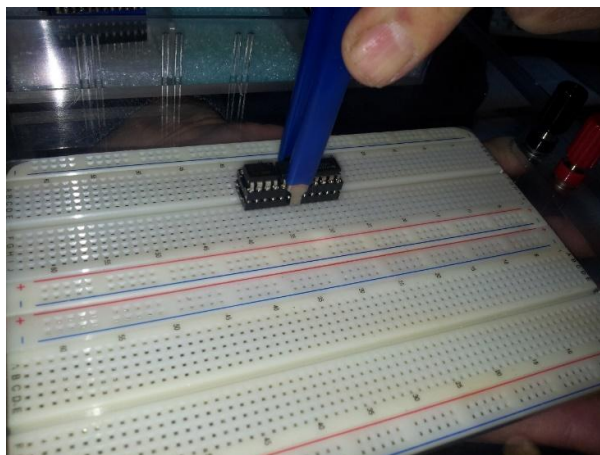
## 1.2 חיווט קווי אספקה למטריצה

יש לחבר חוטים אדום וירוק ושחור בין המטריצה לבננות - חוטים אלו יישארו על המטריצה שלכם עד סיום הקורס.



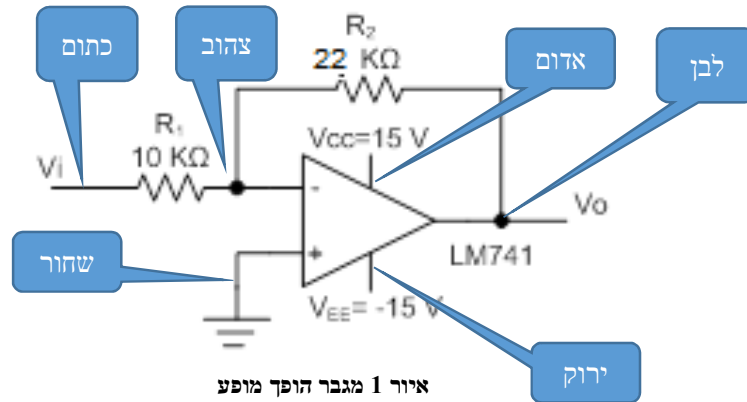
## 1.3 תזכורת - שליפת רכיב במהלך העבודה

שליפת רכיב כאשר נדרש, יש לבצע באמצעות הכלי המיועד לכך כמתואר בתמונה שלמטה.



## 2 מגבר הופך מופע

- בנה את המעגל המתואר באיור 1 :
- האותיות בשם המגבר אינן חשובות, LM AD וכו' מייצגות את היצרן. רק המספר 741 קובע.
- להזכירך: יש להקפיד על חוטים קצרים, צבעי חוטים זהים לאותו צומת וסדר במעגל.
- רשום על השרטוט את צבעי החוטים שבחרת לכל צומת.



1 כוון את המחולל לגל **סינוס** בתדר 1KHz ואמפליטודה כמו בדוח ההכנה, חבר אותו לכניסה (Vi).

1. **חשב** את ההגבר הצפוי (הגבר DC) של המעגל. –וודא שהמעגל אינו ברוויה

תשובה: 2.2-, סה"כ האמפליטודה מקסימלית 11V [v] ולכן אין רוויה

2. הצג את אות המבוא ואות המוצא ע"ג מסך האוסצילוסקופ.
3. כוון את הגברי הערוצים של הסקופ כך ששני האותות יראו במלואם על המסך וקווי ה-0V יתלכדו.
4. מדוד את הערכים Vpp של 2 האותות.
5. מדוד את הפרש הפאזה בין 2 האותות (וודא ש source=1).
6. באפשרותך להציג על מסך האוסצילוסקופ עד ארבע מדידות, **בחר והצג** את הרלוונטיות ביותר:

ציין מה המדידות שתמצא להציג על המסך:	
VPP1	1
VPP2	2
freq	3
phase	4

6. הורד לדוח את תמונת המסך עם תוצאות המדידה.

DSO-X 2002A, MY56274675: Wed Aug 29 20:22:46 2018

1 2.00V/ 2 2.00V/

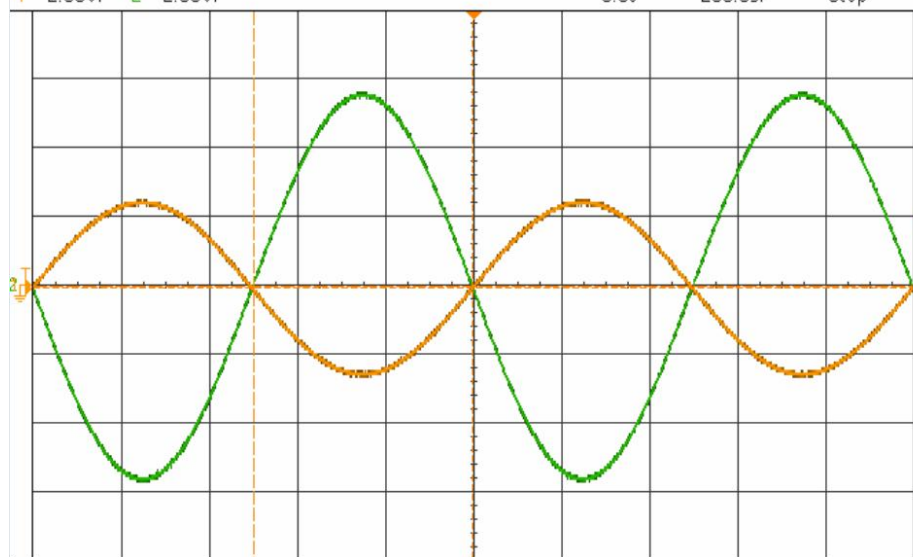
0.0s

200.0%/

Stop

f 1

-107V



KEYSIGHT TECHNOLOGIES	
Acquisition	
Normal	
25.0MSa/s	
Channels	
DC	1.00:1
DC	1.00:1
Measurements	
Pk-Pk{2}	11.3V
Pk-Pk{1}	5.1V
Freq{1}	999.76Hz
Phase{1→2}	-179.42°

- עמוד 5 - מגברי שרת 1, תדריך למעבדה

7. רשום את הערכים של המתחים שמדדת, חשב בעזרתם את הגבר המעגל, את השגיאה ביחס להגבר שחישבת בסעיף 1 והסבר מהו לדעתך הגורם העיקרי לשגיאה.

תשובה :  
ערכים – in: 5.1V, out: 11.3 V  
הגבר – 2.216  
שגיאה (%) – 0.7%  
הסבר- דיוק מכשירים, התוצאה צפויה עד כדי הבדל זניח

8. רשום את הערך של הפרש הפאזה שמדדת, את השגיאה ביחס להפרש הפאזה הצפוי והסבר מהו לדעתך הגורם העיקרי לשגיאה.

תשובה : 180  
הפרש פאזה מדוד – : 179.42  
שגיאה (%) – 0.3%  
הסבר- דיוק מכשירים, התוצאה צפויה עד כדי הבדל זניח

קרא למדריך, רשום את השעיה בה הוא ראה את המעגל: 15:26

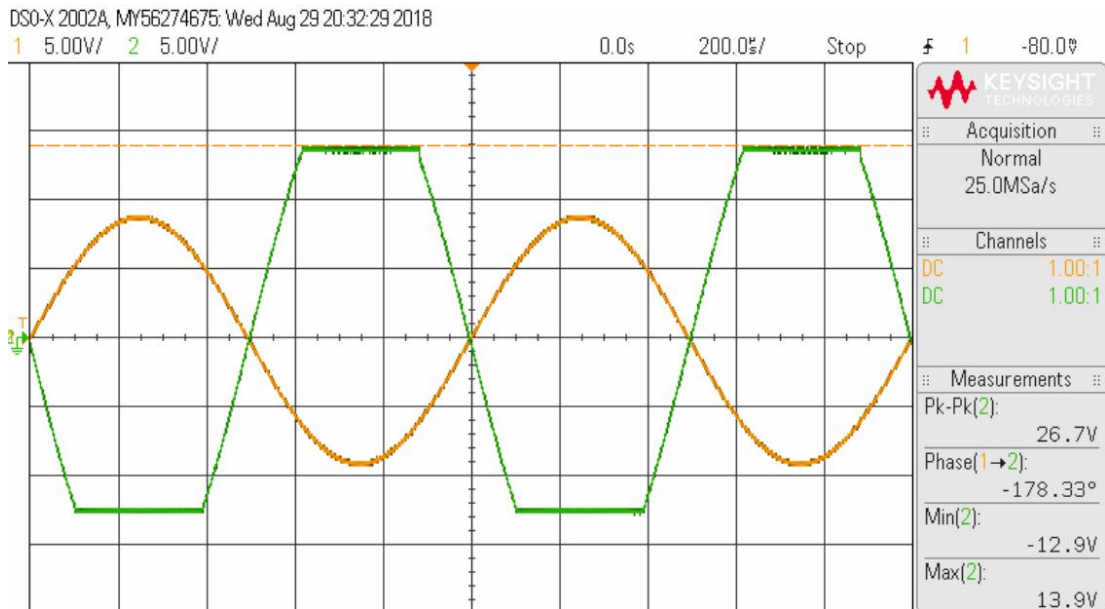
### 3 מגבר הופך מופע ברוויה

במעגל הנוכחי

1. כוון את המחולל לגל **סינוס** בתדר 1KHz ואמפליטודה 18Vpp.
2. הצג את אות המבוא ואות המוצא ע"ג מסך האוסצילוסקופ כך שקווי אפס וולט של שני האותות יתלכדו.
3. כוון את הגברי הערוצים של הסקופ כך ששני האותות יראו במלואם על המסך.
4. מדוד את הערכים המינימלי ומקסימלי של אות היציאה.
5. באפשרותך להציג על מסך האוסצילוסקופ עד ארבע מדידות **בחר והצג** את הרלוונטיות ביותר:

ציין מה המדידות שתוצאה להציג על המסך:	
vpp out	1
phase	2
min out	3
max out	4

6. הורד לדוח את תמונת המסך



7. רשום את הערכים של המתחים שמדדת.

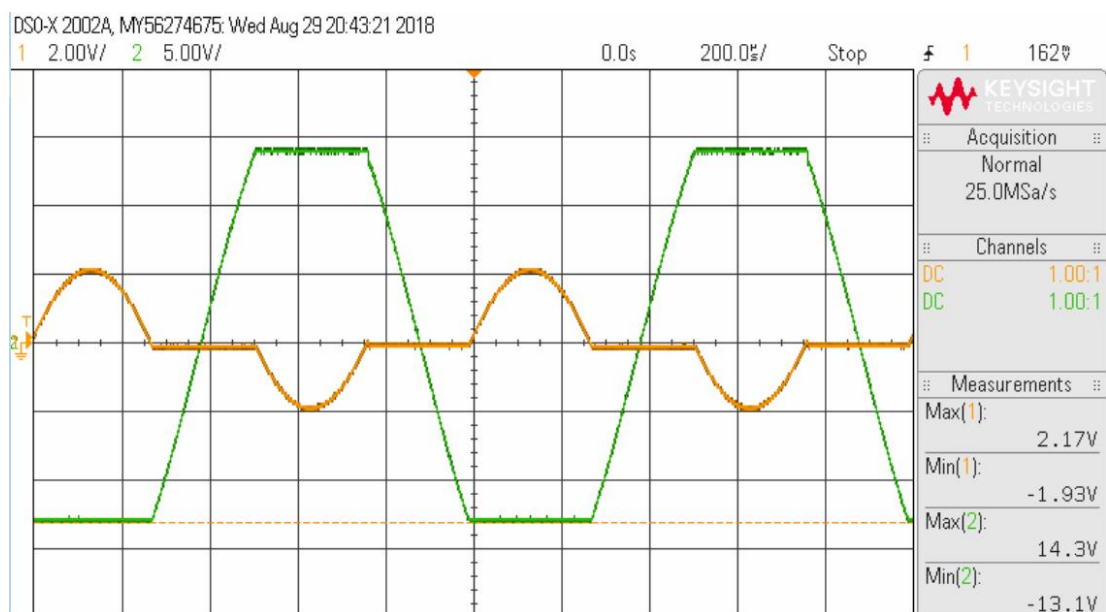
תשובה : vpp out: 26.7V, min: -12.9V, max: 13.9V

### 3.1 אדמה "וירטואלית"

1. הצג על הסקופ את האות בכניסה ההופכת ואת האות ביציאה.  
כוון את הגברי הערוצים של הסקופ כך ששני האותות יראו במלואם על המסך. וקווי ה-0V יתלכדו
2. באפשרותך להציג על מסך האוסילוסקופ עד ארבע מדידות **בחור והצג** את הרלוונטיות ביותר:

ציין מה המדידות שתצצה להציג על המסך:			
max 1	1		
min 1	2		
max 2	3		
min 2	4		

3. הורד לדוח את תמונת המסך



4. האם מתקיימת אדמה וירטואלית? אם לא – מדוע?

תשובה: לא, כיוון שהמגבר נמצא ברוויה

5. האם המעגל מתפקד כמגבר הופך בצורה תקינה (האם הוא טוב להגברת מוסיקה)? נמק את תשובתך.

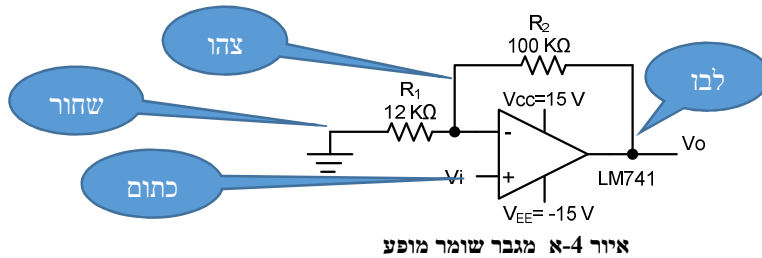
תשובה: המעגל לא מתפקד בצורה תקינה כיוון שהיציאה לא ניראת כמו סינוס ולכן תישמע רע



## 4 מגבר שומר מופע

- בנה את המעגל המתואר באיור הבא.

שים לב! יש להשאיר רווח בין תושבות מגברי השרת והנגדים כך שניתן יהיה להזיז את תושבת מגברי השרת כדי להחליף למגבר אחר.



1. כוון את מחולל האותות לגל סינוס בתדר 1KHz ובאמפליטודה של  $1V_{pp}$ .
2. חשב את ההגבר DC של המעגל.

תשובה A:  $(100+12)/12=9.3333$

3. מדוד את מתחי  $V_{pp}$  של המבוא והמוצא

תשובה  $V_i$ : 1.05V

תשובה  $V_o$ : 9.18V

4. חשב את ההגבר המעשי.

תשובה A: 8.75

5. מדוד את הפרש המופע

תשובה: 0.6

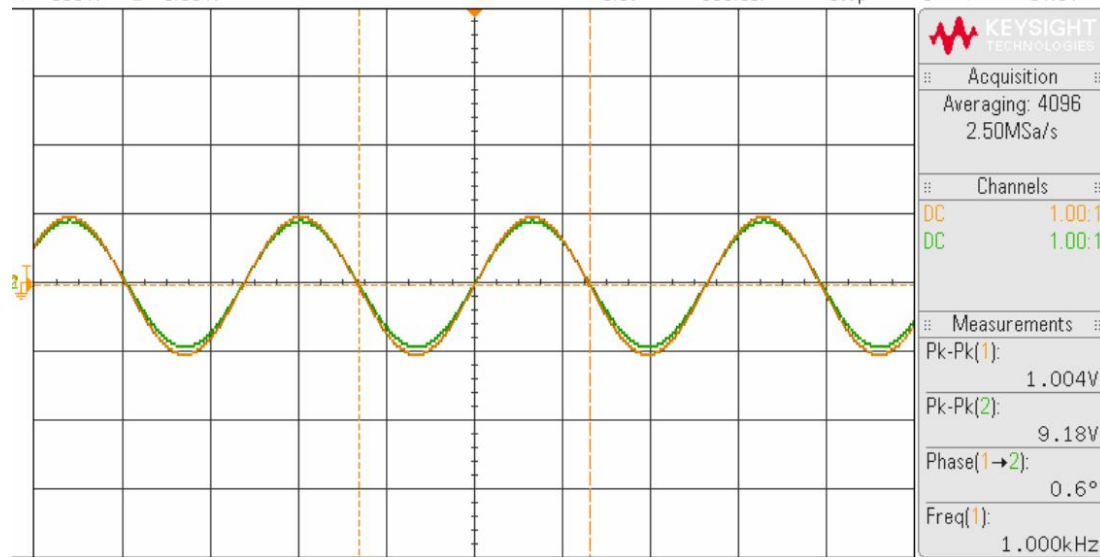
6. באפשרותך להציג על מסך האוסילוסקופ עד ארבע מדידות בחר והצג את הרלוונטיות ביותר:

ציין מה המדידות שתוצא להציג על המסך:	
VPP in	1
VPP out	2
phase	3
freq	4

7. - הורד לדוח את תמונת המסך

DSO-X 2002A, MY56274675: Wed Aug 29 21:02:23 2018

1 500% 2 5.00V/ 0.0s 380.0% Stop 1 -31.3%



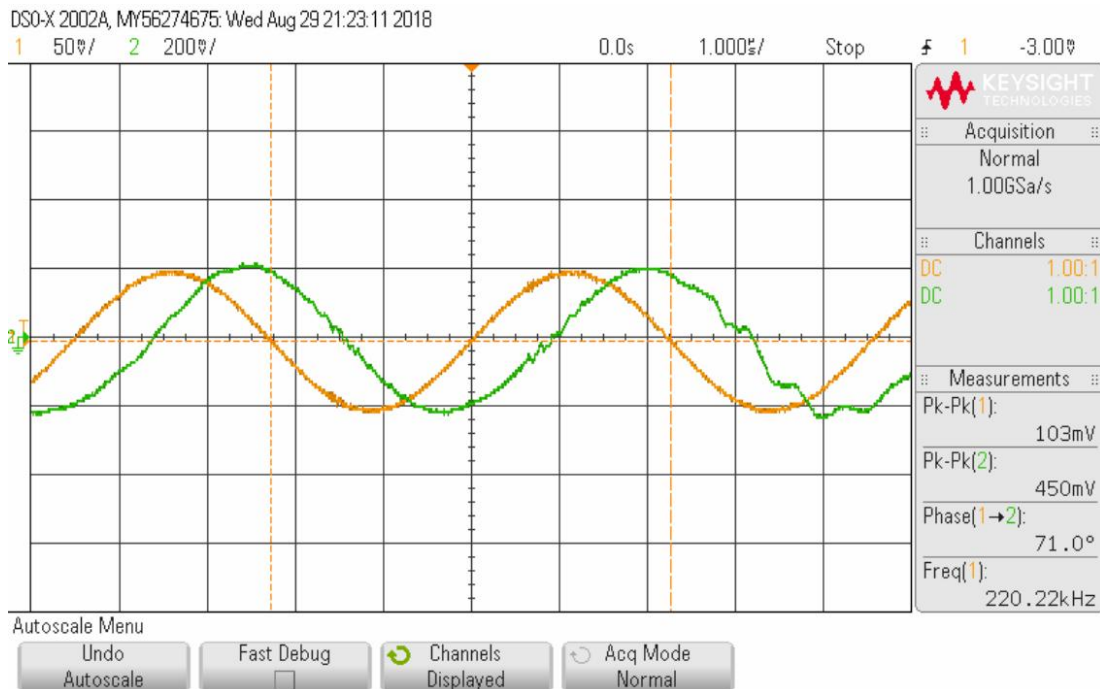
## 5 מגבלה של מגברי שרת: רוחב הסרט

- שנה את אות מבוא לגל סינוס באמפליטודה של  $0.1V_{(pp)}$  ותדר של 220 KHz.

**שים לב! לקבלת אמפליטודה נמוכה מאד מהמחולל יש להשתמש במנחת 1/10 (לקבל מהמדריך)**



- הצג ע"ג צג האוסצילוסקופ את אות המבוא ואות המוצא ודגום את צורת הגלים. במידה והאות רועש יש להשתמש במיצוע העזר ב-Instruments Cook Book



- האם הגל המתקבל מעוות? הסבר.

תשובה: כן, הגל מעוות כיוון שהאות חלש מאוד ויש רעשים

- מהו ההגבר התיאורטי בתדר 220 KHz (חישוב אנליטי) במעגל?

תשובה: ההגבר התיאורטי הוא 4.09

$$\left( H(f) = \frac{A_{DC}}{1 + j * f / f_0} \right) 9.3333 / \sqrt{1 + (220000 / 10714)^2} =$$

- חשב את הגבר המעגל מתוך מדידת האמפליטודות של האותות.

$A_v = \frac{V_o}{V_i} = 4.09$	תשובה
--------------------------------	-------

5. חזור על הניסוי בתדרים הבאים ומלא את הטבלה:

תדר	220 KHz	100 KHz	50 KHz	5 KHz
הגבר	4.2	7	8.5	9
הפרש פאזה	68	44	25	2.6

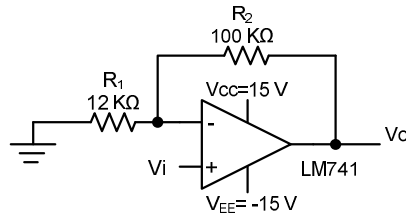
6. הסבר מדוע ואיך התוצאות משתנות עם שינוי התדר.

תשובה : ככל שהתדר קטן ההגבר עולה
----------------------------------

## 6 מגבלות נוספות של מגברי שרת: Slew-Rate

### 6.1 מדידת Slew-Rate של המגבר

- במעגל מהתרגיל הקודם.



איור 6-א מגבר שומר מופע

8. כוון את מחולל האותות לגל **ריבועי** בתדר 1 KHz ובאמפליטודה של  $4V_{ptp}$ . מדוד את ה Slew Rate של המגבר בעליה ובירידה ( $Slew\ Rate \equiv \frac{\Delta v}{\Delta t} (\frac{V}{\mu s})$ ) ורשום את ערכיהם.
9. מתח את ציר הזמן - כך שהעליה או ירידה יהיו למעלה משליש מרוחב המסך (מדוד בסקופ (rise-time, fall-time), אח"כ לחץ על כפתור cursers ותקבל את הגדלים המבוקשים)

$$\frac{\Delta V_{rise}}{\Delta t_{rise}} = \frac{27}{35} = 0.77$$

תשובה:  $[V/\mu sec]$

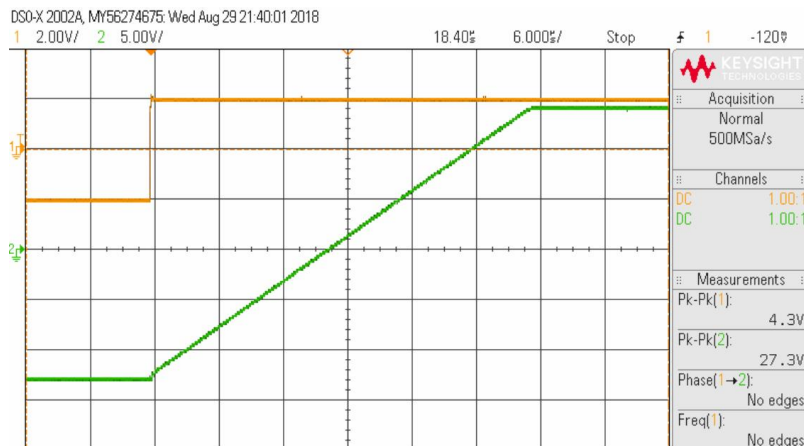
$$\frac{\Delta V_{fall}}{\Delta t_{fall}} = \frac{27}{34.3} = 0.787$$

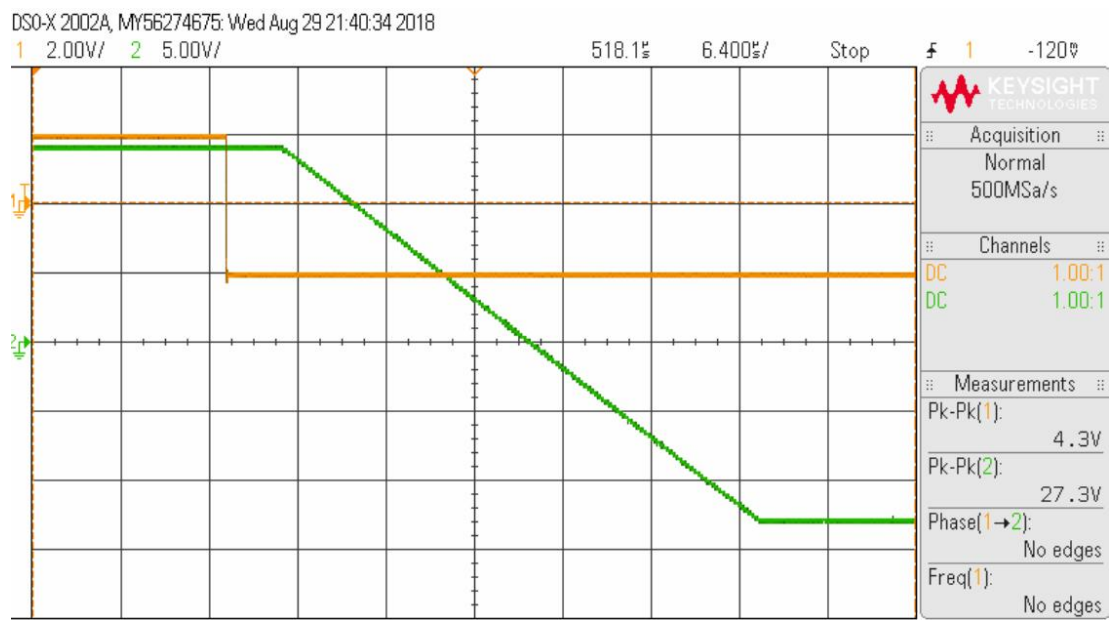
תשובה:  $[V/\mu sec]$

10. מדוד גם את הפרש הפזה, הצג ע"ג צג אוסצילוסקופ את אות המבוא ואות המוצא ואת תוצאות המדידות. דגום את צורת הגלים לקובץ דוח המעבדה.

ציין מה המדידות שתוצאה להציג על המסך:	
VPP 1	1
VPP 2	2
phase	3
freq	4

לעשות בנפרד לעליה ולירידה





11. השווה לערכי הפרמטרים המתאימים של ה Slew Rate מדפי הנתונים שנמצאים במודל.

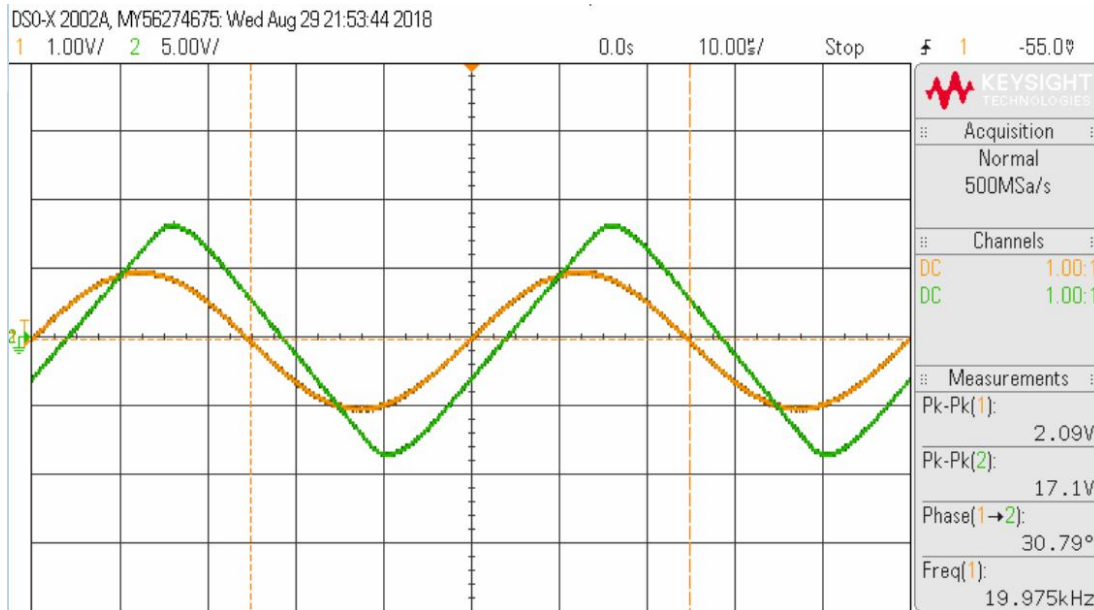
תשובה : בדפי הנתונים כתוב slew rate של  $0.5 \text{ [v/us]}$  ולנו יצא  $0.77 \text{ [v/us]}$

## 6.2 תדר גבוה

- קבע את מתח המבוא לגל סינוס בתדר 20 KHz ואמפליטודה  $2V_{(pp)}$ .

12. הצג ע"ג צג אוסצילוסקופ את אות המבוא ואות המוצא. כוון את הגברי הערוצים של הסקופ כך ששני האותות ייראו במלואם על המסך וקווי ה-0V יתלכדו.

13. דגום את צורת הגלים



14. האם המעגל מתפקד בצורה תקינה? אם לא - מהי המגבלה של מגבר שרת הגורמת לעיוות גל המוצא?

תשובה: המגבר לא מתפקד בצורה תקינה, כיוון ששינויים בכניסה מהירים מאוד, הוא לא מספיק "לעמוד בקצב" השינוי והאות יוצא משולשי

## 6.3 טכנולוגיה

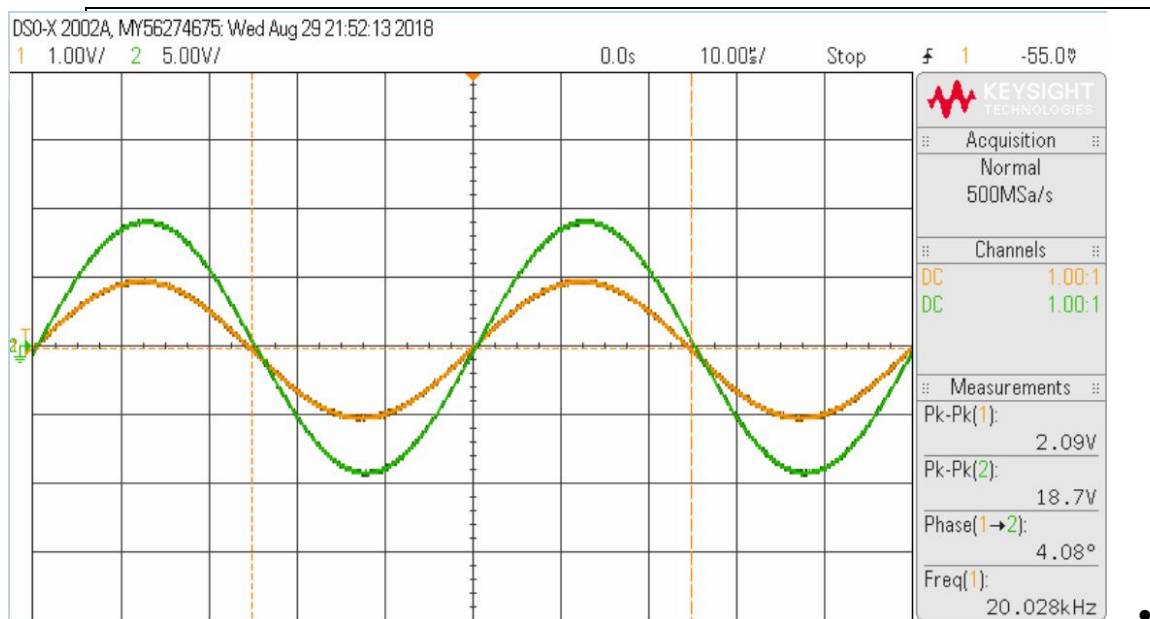
- כדי לבדוק כיצד משפיעות תכונות המגבר על ביצועיו, נבדוק מגבר שרת מסוג אחר.

### הדרכה

בכל פעם שתרכזה להחליף מגבר או מעגל משולב אחר, פעל לפי סדר הפעולות הבא:

- א. כבה את יציאת מתחי האספקה. Output off
- ב. החלף את המגבר.
- ג. הפעל מתחי האספקה.

1. החלף את המגבר LM741 למגבר LF411. על ידי הזזת ה-HEADER.
2. הצג ע"ג צג אוסצילוסקופ את אות המבוא ואות המוצא. דגום את צורת הגלים.



3. האם עכשיו המעגל מתפקד נכון? הסבר בעזרת נתונים מדפי היצרן (במודול) של שני הרכיבים.

תשובה: המגבר מתפקד נכון, כיוון שה-slew rate שלו משמעותי יותר גבוהה (13 לעומת 0.5) ולכן הוא יכול לעמוד בקצב של שינויים מהירים יותר פי 20

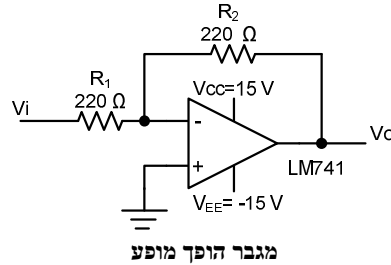


## 7 השפעת גודל נגדים

**שים לב:** שני המעגלים הבאים זהים בקונפיגורציה ושונים רק בערך הנגדים. החלפת הנגדים תתבצע על ידי הזזת התושבת עליה מורכבים הנגדים (בלי שינוי החיוט).

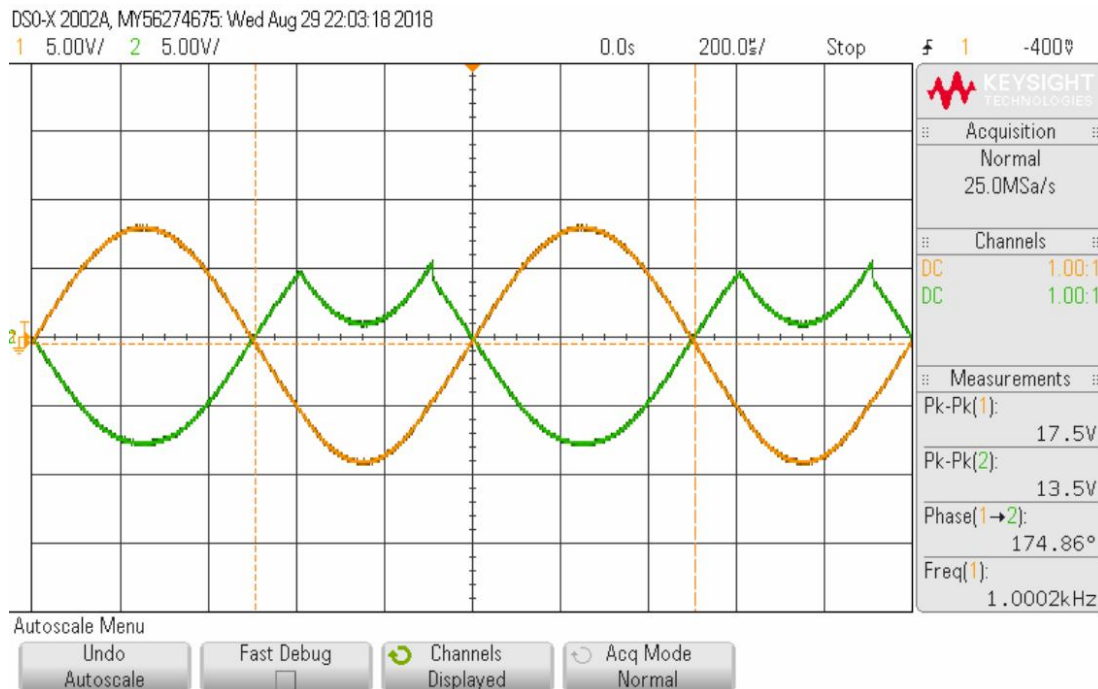
### 7.1 נגדים קטנים

- בנה את המעגל המתואר ב. Error! Reference source not found. – השתמש ב 741



- כוון את מחולל האותות למתח סינוס בתדר 1 KHz ואמפליטודה  $20V_{(pp)}$ .

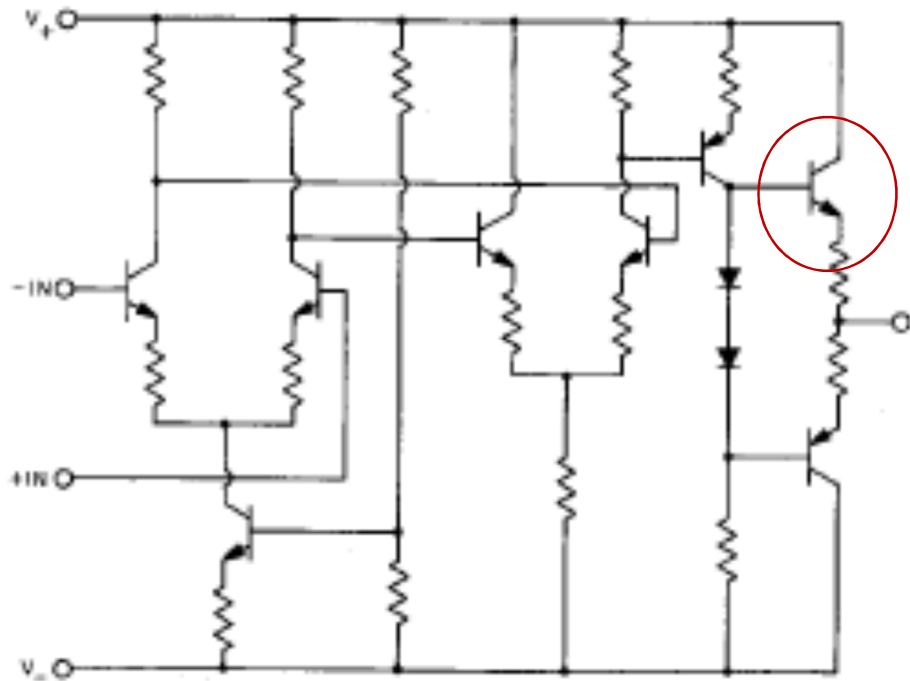
1. הצג את אות המבוא ואות המוצא ע"ג מסך הסקופ.
2. הורד לדוח את תמונת המסך.



3. האם המעגל מתפקד כמגבר הופך בצורה תקינה? אם לא – איזו מגבלה של מגבר שרת גורמת לפעולה לא תקינה של המעגל? (רמז: על איזה גודל חשמלי במעגל משפיעה הקטנת הנגדים?) הסבר את צורת הגל המתקבלת. (שים לב שבאיזור העיוות, אות היציאה משתנה באותו כיוון כמו אות הכניסה למרות שזהו מגבר הופך מופע).

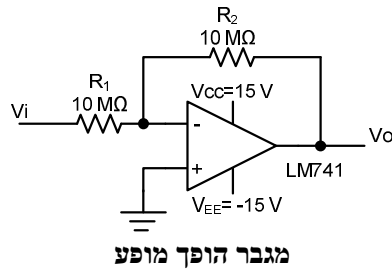
תשובה: המעגל לא מתפקד בצורה תקינה כיוון שרוב הזרם שעובר דרך המגבר שרת צריך לעבור דרך אותו טרנזיסטור

4. סמן על השרטוט את החלק במעגל שגורם לעיוות – האם זו דרגת המבוא, דרגת הביניים או דרגת היציאה.



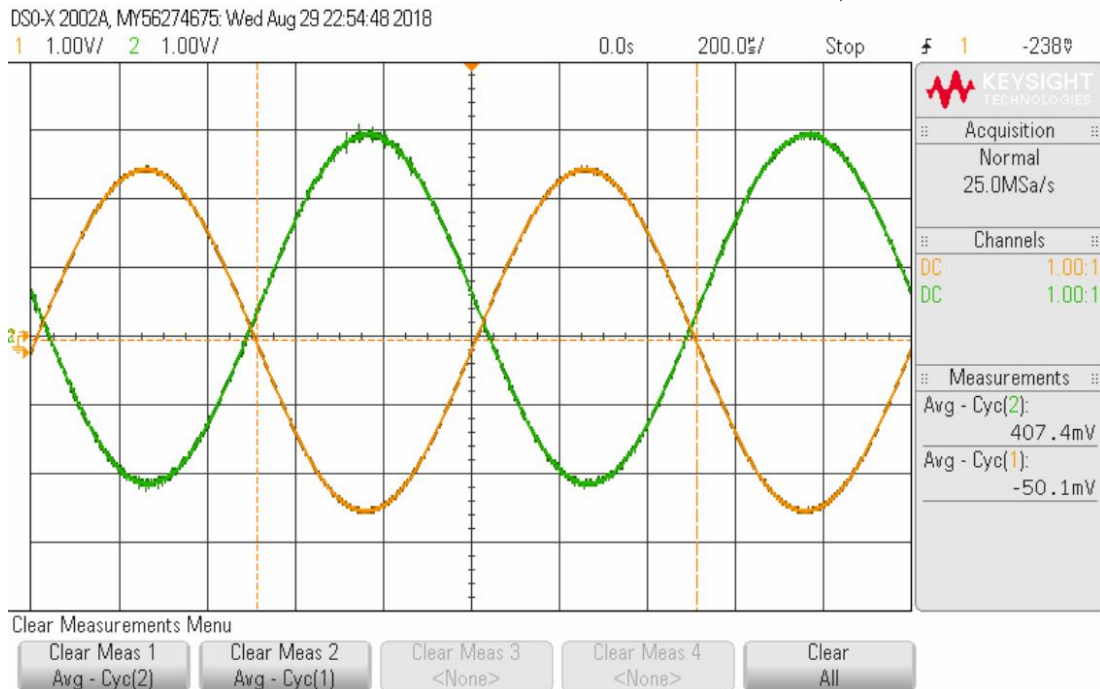
## 7.2 נגדים גדולים וזרמי כניסה

- החלף את הנגדים לקבלת מעגל המתואר ב-6. Error! Reference source not found.



- אמפליטודת אות המבוא הנה 5V<sub>tp</sub>.

1. הצג את אות המבוא ואות המוצא ע"ג מסך הסקופ.
2. מדוד את רמת ה-DC של אות המבוא ושל אות המוצא.
3. הורד לדוח את תמונת המסך.



רמת ה-DC שמדדנו ביציאה נובעת מרמת DC של אות הכניסה ומרמת DC שתורם המגבר. אנחנו מעוניינים לחשב את תרומת המגבר בלבד בקיזוז שגיאת המקור, ולכן:

1. ציין מה רמת ה-DC של אות היציאה הנגרמת מרמת DC של אות הכניסה.

תשובה: 407mV from -50mV

2. חשב את תרומת המגבר לרמת ה-DC של אות היציאה (זהו מתח הנובע מזרמי היסט שאינם רצויים).

תשובה: 457mV

3. חשב את זרמי הממתח שגורמים למתח זה

$$I_{B-} = \frac{-v_0 - \frac{R_2}{R_1} \cdot v_i + \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) \cdot v_{os}}{R_2} =$$

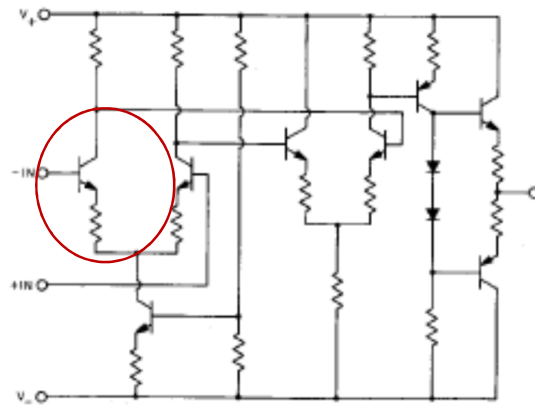
תשובה :

$$\frac{-0.407 + 0.05 + 2 \cdot 0.457}{10000000} = -5.57 \times 10^{-8} A$$

4. האם המעגל מתפקד כמגבר הופך בצורה תקינה? אם לא - איזו מגבלה של מגבר שרת גורמת לפעולה לא תקינה של המעגל? כיצד נוכל להתגבר על בעיה זו?

תשובה : המעגל לא מתפקד בצורה תקינה כיוון שקיים היסט בין אות המוצא לאות היציאה, זה נובע מכך שהנגד בתוך המגבר הינו סופי ולכן זורם דרכו זרם כשאר מחברים אליו מעגל עם נגדים גדולים מאוד וזרם זה כבר לא זניח

5. סמן על השרטוט את החלק במעגל שגורם לעיוות האם זו דרגת המבוא, דרגת הביניים או דרגת היציאה



### 7.3 סיכום

- על סמך התוצאות שקבלת בניסוי, מהו תחום (סדר גודל) של ערכי נגדים חיצוניים,  $R_1$  ו-  $R_2$ , שיש לחבר כדי שהמעגל עם מגבר LM741 יתפקד בצורה תקינה? הסבר מדוע אסור להשתמש בנגדים קטנים מדי או גדולים מדי.

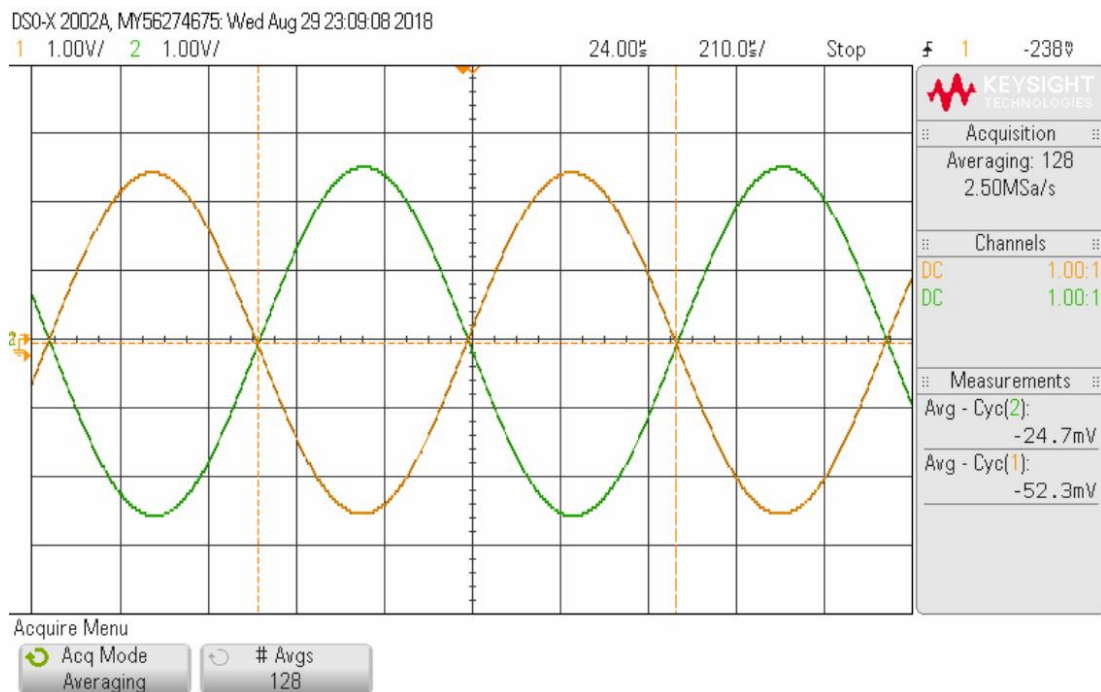
תשובה : מספר קילואוהמים

קרא למדריך, רשום את השעיה בה הוא ראה את המעגל: [1810]

## 8 תיקוני OFFSET

### 8.1 טכנולוגיה: מגבר השרת LF411

- החלף את המגבר LM741 למגבר שרת LF411.
- 1. מדוד בעזרת הסקופ את רמת מתח DC במוצא (זוהי שגיאת ההיסט) הורד לדוח את תמונת המסך.



2. רשום את רמת ה-DC שמדדת.

תשובה : בכניסה -52.3mV  
ביציאה -24.7mV

3. חשב את זרמי הממתח שגורמים למתח זה

תשובה :

$$I_{B-} = \frac{-v_0 - \frac{R_2}{R_1} \cdot v_i + \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) \cdot v_{os}}{R_2} =$$

$$\frac{0.024 + 0.052 + 2 \cdot 0.077}{10000000} = 1.54 \times 10^{-8} A$$

### 8.2 סיכום

4. רשום בטבלה את מתח ההיסט שמדדת, את זרם הממתח שחישבת ואת זרם הממתח המופע בדפי הנתונים בכל אחד מהמקרים:

411 שיפור טכנולוגיה	741	
-77mV	457mV	מתח היסט
$1.54 \times 10^{-8} A$	$-5.57 \times 10^{-8} A$	זרם היסט
$2 \times 10^{-11} A$	$5 \times 10^{-7} A$	דפי הנתונים

5. האם יש שיפור? אם כן – הסבר.

תשובה : כן, הזרם קטן יותר ולכן התופעה תקרה בנגדים עוד יותר גדולים, ועבור סט נדגים מסויים קיבלנו היסט קטן יותר

קרא למדריך, רשום את השעה בה הוא ראה את המעגל: 1827

רשום את השעה בה סיימת את המעבדה: 18:40