

דוח מכין 1

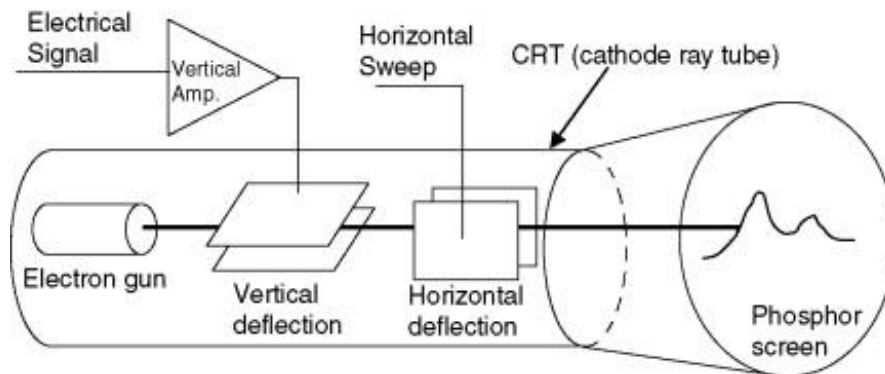
אור שאול

אריאל רנה

שאלה 1

1. אוסילוסקופ הוא מכשיר מדידה שמטרתו להציג בצורה ויזואלית נוחה אותות מתח חשמלי כפונקציה של הזמן, או כפונקציה של מתח חשמלי אחר. האוסילוסקופ יכול להציג באופן גרפי את השינוי המתרחש באות ובכך לאבחן את מקור התקלה במידה וישנה תקלה או תופעה בכרטיסים אלקטרוניים שונים התנהגות המתח כפונקציה של הזמן.

2.



איור 1: Block diagram of an analog oscilloscope (CRT)

a. **Electron gun**: בתוך ה-CRT רובה האלקטרונים מייצר זרם של אלקטרונים שיוצר את אלומת האלקטרונים. אלומה זו מופנית לעבר מסך מצופה זרחן, שם היא יוצרת את הייצוג החזותי של האות.

b. **Vertical Amplifier**-נועד להגביר או להנמיך את אות הכניסה. אות גבוה מידי עלול לפגוע במכשיר ולכן נרצה להנמיך אותו בכניסה. לעומת זאת, אות חלש נרצה להגביר ובכך נוכל למדוד אותו טוב יותר.

c. **(CRT) Cathode Ray Tube** – צינור ה-CRT הוא יחידת התצוגה החזותית של האוסילוסקופ, שבה קרן האלקטרונים מקיימת אינטראקציה עם המסך המצופה בזרחן כדי ליצור ייצוג חזותי של צורת הגל של אות הכניסה. האזור מורכב מארבעה משטחים 2 אופקיים ו-2 אנכיים - Deflections. לוחות אלו קובעים את מידת השבירה של הקרניים המגיעות מתחת האלקטרונים. את גודל סטיית הלוחות ניתן לכוון על ידי הפרוב

המתאים. סטיה אנכית: מערכת ההטיה האנכית מנחה את תנועת האלקטרונים למעלה ולמטה על פני מסך הזרחה של ה-CRT. סטיה אופקית: מערכת ההטיה האופקית שולטת בתנועה מצד לצד של קרן האלקטרונים, וקובעת את ציר הזמן של הגל המוצג על פני מסך הזרחה.

3. המסך של אוסילוסקופ אנלוגי מתאים יותר לניתוח אותות בזמן אמת, מכיוון שניתן לכוון את המיקוד ואת עוצמת התצוגה לתצוגת מסך ברורה יותר. לעומת זאת, מודלים דיגיטליים טובים יותר לאחסון צורות גל לניתוח מאוחר יותר, בגלל יכולת הזיכרון הגדולה יותר. מודלים אנלוגיים כוללים גם פונקציה הנקראת "דירוג עוצמה", המדגישה באופן אוטומטי חריגות באות, מה שמקל על איתור בעיות. טכנולוגיית תצוגה: אוסילוסקופים אנלוגיים משתמשים בשפופרת קרני קתודה (CRT) לתצוגה, בעוד אוסילוסקופים דיגיטליים משתמשים במסכי LCD או LED. עיבוד האות: אוסילוסקופים אנלוגיים מציגים באופן ישיר את אות הקלט בעוד שאוסילוסקופים דיגיטליים ממירים את אות הכניסה לאות דיגיטלי, מעבדים אותו ואז מציגים אותו דיגיטלית. רזולוציית אות: לאוסילוסקופים אנלוגיים יש רזולוציה מוגבלת בשל האופי האנלוגי של ה-CRT בעוד שאוסילוסקופים דיגיטליים מציעים רזולוציה ודיוק גבוהים יותר. קצב הדגימה: לאוסילוסקופים דיגיטליים יש קצב דגימה מוגדר, המגדיר באיזו תדירות הם לוכדים נקודות נתונים. אוסילוסקופים אנלוגיים לוכדים אותות מתמשכים ללא נקודות דגימה נפרדות. הפעלה ויציבות. ניידות וגודל: אוסילוסקופים אנלוגיים הם בדרך כלל גדולים וכבדים יותר בגלל ה-CRT בעוד שאוסילוסקופים דיגיטליים הם לרוב קומפקטיים וניידים יותר.

4. **צימוד DC** מודד לנו את כל הסיגנל כפי שהוא כולל DC offset. מעביר את כל התדרים שנכנסו לסקופ החל מתדר אפס. כלומר, אנו נראה את סיגנל ה-AC רכוב על גבי סיגנל ה-DC.

צימוד AC מודד את רכיב ה-AC של הסיגנל הנדגם ומוריד את רכיב ה-DC. המדידה מתבצעת בעזרת קבל המסנן את אות ה-DC. כלומר, התדרים הנמוכים מסוננים. נעזרים בכך כאשר רוצים לראות רזולוציה טובה של האות אשר נמצא במתח גבוה, המאלץ להגדיל את הסקאלה כדי לראות את הסיגנל במסך התצוגה של הסקופ.

5. טריגר משמש כ"נקודת ייחוס". מסנכרן בין בסיס הזמן של הסקופ לבין האות הנבחר כך שתצוגת האות על המסך תהיה יציבה. הנוב של הטריגר מאפשר לבחור את נקודת הסינכרוניזציה של האות (אמפליטודת האות ממנה מתחילה הסינכרוניזציה).

שאלה 2:

הפרוב הינו תוסף חיצוני לסקופ החיוני לצורך ביצוע המדידות. הפרוב הינו החלק שמגיע במגע פיזי עם הנקודה אותה נרצה לדגום. הפרוב יכול להגיע עם הגבר פנימי ואפילו לתאם אימפדנסים. קיימים סוגים שונים של פרובים, למשל פרוב דיפרנציאלי שמודד הפרשים בין שני הקווים הנדגמים.

1. מטרת הפרוב היא להנחית את הסיגנל הנכנס לסקופ פי 10 על מנת להגן על המכשיר מפני מתחים גבוהים היכולים להזיק לו, ניתן לכוון את הסקופ להנחתה הספציפית על מנת לקבל קריאה תקינה ומאפשרת מדידה בטוחה של אותות החורגים מטווח הכניסה של המתח של המכשיר. הפרוב חיוני לתדר גבוה או מעגלי מתח גבוה.

2. הסקופ מתאם את העכבה הקיבולית של קלט האוסילוסקופ באמצעות תיאום אימפדנסים. כלומר, כאשר האימפדנס הכולל של הפרוב והאוסילוסקופ יהיה ממשי בלבד נקבל שהאימפדנס של הפרוב מתואם לזה של הסקופ. התאמה זו מבטיחה מדידת אותות מדויקת ומונעת עיוות.

3.

a.

$$R_1 = 6M\Omega$$

$$Z_2 = \frac{R_2 * \frac{1}{SC_2}}{R_2 + \frac{1}{SC_2}} = \frac{R_2}{SC_2 R_2 + 1}$$

$$Z_1 = \frac{R_1 * \frac{1}{SC_x}}{R_1 + \frac{1}{SC_x}} = \frac{R_1}{SC_x R_1 + 1}$$

$$\frac{V_0}{V_i} = \frac{Z_2}{Z_2 + Z_1} = \frac{\frac{R_2}{SC_2 R_2 + 1}}{\frac{R_1}{SC_x R_1 + 1} + \frac{R_2}{SC_2 R_2 + 1}} = \frac{R_2(1 + SR_1 C_x)}{R_1(1 + SR_2 C_2) + R_2(1 + SR_1 C_x)}$$

b.

$$H(j\omega) = \frac{R_2 + j\omega R_1 R_2 C_x}{j\omega R_1 R_2 (C_2 + C_x) + R_2 + R_1} * \frac{R_2 + R_1 - j\omega R_1 R_2 (C_2 + C_x)}{R_2 + R_1 - j\omega R_1 R_2 (C_2 + C_x)} =$$

$$= \frac{R_2(R_2 + R_1) + \omega^2 R_2^2 R_1^2 (C_2 + C_x)(1 + C_x) + (R_2 + R_1)^2}{(R_1 + R_2)^2 + \omega^2 R_1^2 R_2^2 (C_2 + C_x)^2} + j \frac{\omega R_1 R_2 (R_1 C_x - R_2 C_2)}{(R_1 + R_2)^2 + \omega^2 R_1^2 R_2^2 (C_2 + C_x)^2}$$

התנאי מתקיים כאשר החלק המדומה מתאפס. כלומר:

$$R_1 C_x = R_2 C_2$$

c.

$$C_x = \frac{R_2 C_2}{R_1} = \frac{1.1 * 10^6 * 25 * 10^{-12}}{6 * 10^6} = 4.58 [pF]$$

d.

כאשר ההתאמה הינה אידאלית, נקבל פונקציית תמסורת ממשית ואינה תלויה בתדר. מכאן נסיק כי רוחב הפס התיאורטי האידאלי הינו אינסופי.

שאלה 3:

A. **מולטימטר (Multimeter)** – מולטימטר הוא כלי אלקטרוני רב-תכליתי המשמש למדידת פרמטרים שונים במערכות חשמל, לרבות מתח, זרם, התנגדות, קיבול והשראות. הוא גם מבצע בדיקות המשכיות לזיהוי הפסקות מעגלים, בדיקת דיודות לפונקציונליות דיודות ומדידות קיבול עבור קבלים. על מנת למדוד מתח באמצעות המולטימטר נחבר במקביל את המכשיר בין 2 הנקודות הרצויות. מדידה של זרם תעשה על ידי חיבור טורי של המכשיר בין 2 נקודות רצויות.

B. **ספק מתח (Power supply)** – מכשיר המספק מתח וזרם למעגל. הספק יכול להכיל מספר ערוצים, תלויים ובלתי תלויים. נוכל לכוון את המתח הרצוי וכן לקבוע הגבלת זרם במעגל המחובר על מנת למנוע נזקים בלתי צפויים. ספק המתח מאפשר למשתמשים בו לשלוט ולהתאים רמות מתח עבור יישומים שונים. הספק עשוי לכלול יציאות מתח קבועות עבור צרכים ספציפיים וכולל הגנת זרם יתר כדי למנוע נזק מעומסי יתר פוטנציאליים.

C. **מחולל אותות (Signal generator)** – מחולל אותות מייצר צורות גל אלקטרוניות לבדיקה וכיול. הפונקציות האופייניות שלו כוללות יצירת גלי סינוס, ריבוע, משולש ויצירת פולסים עם מאפיינים מתכווננים.

שאלה 4:

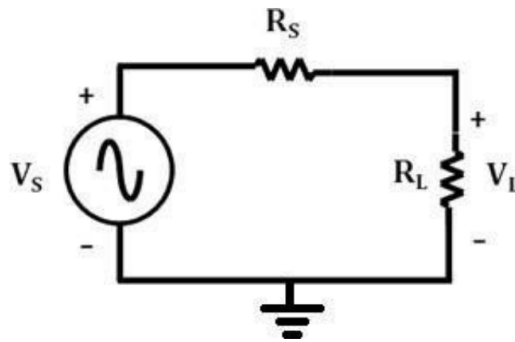


Figure 2. A resistive network.

מתח הנגד- נבצע מחלק מתח:

$$V_L = V_s \cdot \frac{R_L}{R_L + R_s}$$

ההספק מתקבל על ידי מכפלת המתח בזרם:

$$P(R_L) = V_L I_L = V_s \cdot \frac{R_L}{R_L + R_s} \cdot \frac{V_s}{R_L + R_s} = \frac{V_s^2 R_L}{(R_L + R_s)^2}$$

כעת נמצא את נקודת המקסימום באמצעות הנגזרת על ההספק לפי R_L והשוואה לאפס:

$$P'(R_L) = \frac{V_s^2 [(R_L + R_s)^2 - R_L \cdot 2(R_L + R_s)]}{(R_L + R_s)^4} = \frac{V_s^2 [(R_L + R_s) - R_L \cdot 2]}{(R_L + R_s)^3} = \frac{V_s^2 [R_s - R_L]}{(R_L + R_s)^3} = 0$$

כלומר מקסימום מתקבל כאשר $R_s = R_L$.

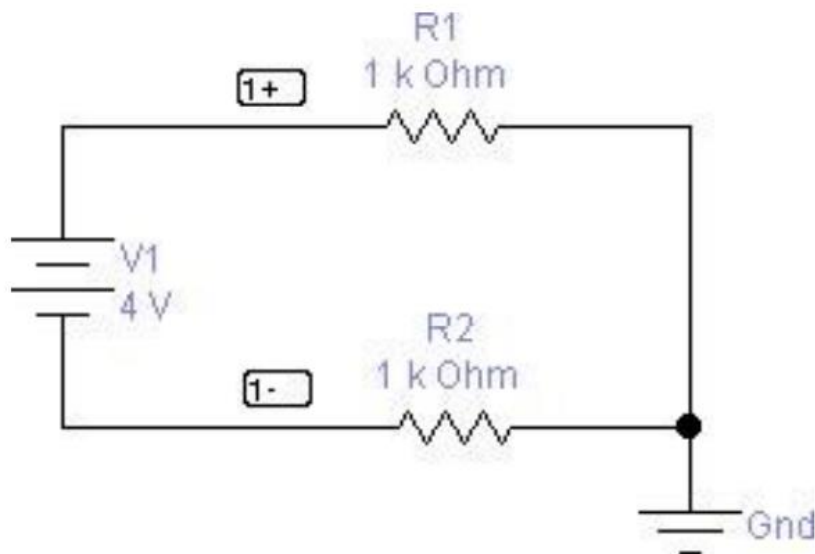
על מנת לקבל את ההספק ב RMS נחלק את מתח המקור ב- $\sqrt{2}$.

$$P_{RMS}(R_L = R_s = 10\Omega) = \frac{\left(\frac{12}{\sqrt{2}}\right)^2 10}{(10 + 10)^2} = 1.8[W]$$

עבור $R_L \gg R_s$ כל המתח ייפול על העומס כי R_s נהיה זניח, ולכן ההספק הוא:

$$P_{L_{RMS}} = \frac{\left(\frac{12}{\sqrt{2}}\right)^2 10}{(10 + 0)^2} = 7.2[W]$$

שאלה 5:



1. כיוון שהנגדים זהים המתח, הזרם וההספק המתפתח על שניהם זהים:

$$V = 2[V], I = \frac{4}{2K} = 2[mA], P = IV = 4[mW]$$

2. בנקודה 1- ישנו מתח של 2V- כיוון שזהו המתח הנופל על R_2 ובגלל שההדק השלילי של המקור מתח נמצא בנקודה 1-. לאחר מכן המקור מעלה את המתח בנקודה 1+ ל2V, ולבסוף המתח מתאפס אחרי $R1$ באדמה.

3. עבור סעיף א: הזרם במעגל יהיה $I = \frac{4}{6k} = 0.667[mA]$ המתחים וההספקים הם:

$$V_1 = 1k \cdot 0.667m = 0.667[V], V_2 = 5k \cdot 0.667m = 3.33[V]$$

$$P_1 = IV_1 = 0.445[mW], P_2 = IV_2 = 2.22[mW]$$

עבור סעיף ב: מתוך מחלק מתח נובע שהפרש המתחים על נגד 2 הינו

$$V_{1+} = -3.333 + 4 = 0.667[V] \text{ והמתח בנקודה } V_{1-} = -\frac{5}{6} \cdot 4 = -3.333[V]$$

שאלה 6:

1. התמרת פורייה עוזרת לנתח אותות מחזוריים על ידי הצגת התדרים השונים שלהם והופכת אות מתחום הזמן לתחום התדר, מה שמקל על הבנת הרכיבים הבודדים. זה שימושי למשימות כמו סינון וזיהוי תדרים ספציפיים באות.

2. חישוב התמרת פורייה:

$$FT\{V_1\} = FT\left\{\frac{2}{2j} \cdot (e^{j\omega t} - e^{-j\omega t})\right\} = \frac{2\pi}{j} \cdot [\delta(t - \omega) - \delta(t + \omega)], \quad \omega \equiv 2\pi f$$

$$h(t) = \begin{cases} 1, & 0 < t < \frac{T}{2} \\ 0, & \frac{T}{2} < t < T \end{cases}, \quad H(\omega) = e^{-\frac{j\omega T}{4}} \frac{T}{4\pi} \text{sinc}\left(\frac{T\omega}{4\pi}\right)$$

$$V_2 = -2 + 4 \sum_{k=-\infty}^{\infty} h(t - nT) = -2 + 4h(t) * \sum_{k=-\infty}^{\infty} \delta(t - nT)$$

$$FT\{V_2\} = -4\pi\delta(\omega) + 4\frac{2\pi}{T} \sum_{k=-\infty}^{\infty} e^{-\frac{j\omega T}{4}} \frac{T}{4\pi} \text{sinc}\left(\frac{T\omega}{4\pi}\right) \cdot \delta\left(\omega - \frac{2\pi k}{T}\right)$$

$$FT\{V_2\} = -4\pi\delta(\omega) + 2 \sum_{k=-\infty}^{\infty} e^{-\frac{j\pi}{2}} \text{sinc}\left(\frac{k}{2}\right) \cdot \delta\left(\omega - \frac{2\pi k}{T}\right)$$

3. FFT הינו אלגוריתם רקורסיבי לחישוב התמרת פורייה באופן מהיר, ומבוסס על חישוב ה-DFT (התמרת פורייה בדידה). שיטת הפעולה של האלגוריתם הרקורסיבי היא חלוקה של חישוב ה-DFT באינדקסים הזוגיים והאי זוגיים בנפרד ולבסוף איחוד של התוצאות. אלגוריתם זה שימושי במיוחד כיוון שזמן הריצה שלו קטן יותר בצורה משמעותית מהאלגוריתם לחישוב באופן ישיר של DFT. זמן ריצה $O(n \log n)$ לעומת $O(n^2)$.

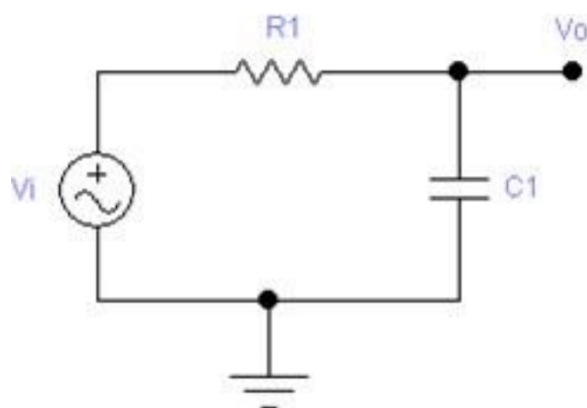
תוצאת הFFT עבור V1 היא:

$$\frac{2\pi}{j} \cdot [\delta(t - \omega) - \delta(t + \omega)]$$

תוצאת הFFT עבור V2 היא:

$$2e^{-\frac{j\omega T}{4}} \frac{T}{4\pi} \text{sinc}\left(\frac{T\omega}{4\pi}\right) - 2e^{-\frac{3j\omega T}{4}} \frac{T}{4\pi} \text{sinc}\left(\frac{T\omega}{4\pi}\right)$$

שאלה 7:



. An RC circuit

1. מחלק מתח:

$$\frac{V_{OUT}}{V_{IN}} = \frac{Z_C}{Z_C + R} = \frac{\frac{1}{j\omega C}}{\frac{1}{j\omega C} + R} = \frac{1}{1 + j\omega RC}$$

תדר הברק מתקבל בתדר:

$$\omega = \frac{1}{RC} = 10^5 \left[\frac{rad}{sec} \right]$$

2. מעגל זה הוא בעל קוטב בודד ולכן מייצג מסנן תדרים נמוכים בעל הגבר 1.

א. בתדר הברק : (ההמרה ל db הינה קירוב אך ידוע כי בתדר ברק ההגבר האמיתי הינו קטן ב-3 db מהערך האסימפטוטי)

$$A = 20 \log(1) - 3 = -3dB$$

$$A = 10^{-\frac{3}{20}} = 0.7 \left[\frac{V}{V} \right]$$

ב. אחרי תדר הברק: הגבר מתאפס.

$$\frac{V_{OUT}}{V_{IN}} = 0$$

ג. לפני תדר הברק: הגבר 1.

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

3. במקרה זה הקבוע של ההתנגדות כפול הקיבול לא משתנה ולכן אין שינוי בתוצאה.

שאלה 8:

(8.1

עקומות Lissajous הן דפוסים ויזואליים הנובעים מהייצוג הגרפי של התנועה של שני משתנים מתנודדים, בדרך כלל בצורה של פונקציות סינוס או קוסינוס. כדי ליצור עקומות Lissajous, שני אותות מתנודדים (בדרך כלל פונקציות סינוס או קוסינוס) מצוירים זה מול זה על מערכת קואורדינטות. צורת העקומה המתקבלת תלויה ביחסי התדר והפאזה בין שני האותות. עקומות אלו לא נותנות לנו מידע אודות ההגבר של האות. בהתאם להפרשי הפאזה נקבל צורות שונות כגון קו ישר, אליפסה ומעגל (כנראה באיור 5). כדי לייצר עקומות מסוג זה בעזרת הסקופ נרצה שכל ערוץ יקבל גל שישמש כציר שונה.

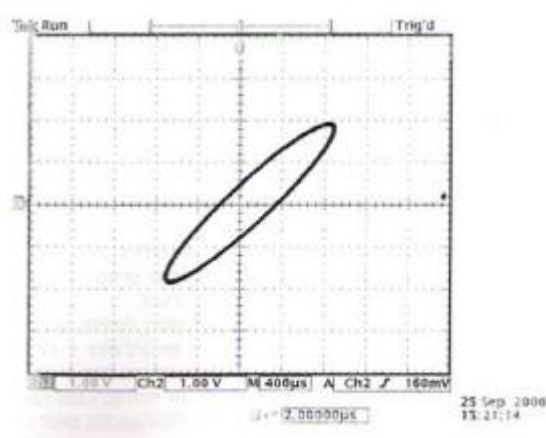


Figure 5. A Lissagous curve generated by the RC circuit in Fig. 4.

8.2) במעגל ה RC אות הכניסה והמוצא יהיו בעלי אותו תדר אך עלולים להיות נבדלים בפאזה ובאמפליטודה. הפרש הפאזה ייתן לנו צורה אליפטית, ושינויי האמפליטודה את הטיית הצורה לכיוון מסוים. שינויים אלו נובעים מרכיבי המעגל עצמו.