מעבדה בחשמל

הנדסה ביורפואית

מגישים:

דן טורצקי

סול אמארה

תאריך:

30.10.2021

תוכן עניינים:

רקע תאורטי:

אות מתח סינוסודיאלי הוא אות המתואר ע"י:

$$(1)\ V(t) = V_0 \sin(\omega t + \phi)$$

כאשר V_0 הינו האמפליטודה , ω הינה התדירות הזוויתית, ϕ את הפאזה ו $t-$ מתאר את הזמן.

אמפליטודה היא הגודל המקסימלי/ מינימלי של אות מחזורי. כיוון שפונקציית הסינוס חסומה בערך מוחלט ע"י 1, האמפליטודה קובעת את עוצמת האות המקסימלית/מינימלית. אות מחזורי הינו אות בעל מקטע סופי החוזר על עצמו.

הזמן הדרוש לבצע חזרה אחת של מקטע כזה נקרא **זמן מחזור** ומסומן ב $-T$.

ניתן לראות כי אות מחזורי חוזר על מקטע כזה (מחזור אחד) באמצעות ההגדרה המתמטית:

$$(2)\ V(t) = V(t+T)$$

תדירות מוגדרת להיות - $f = \frac{1}{T}\left[\frac{1}{s}\right]$. מהיחידות של התדירות ניתן לראות כי תדירות מתארת אירוע ליחידת זמן כאשר המצאות זמן המחזור בהגדרת התדירות מגדירה את התדירות להיות מספר המחזורים ליחידת זמן.

ההגדרה ל**תדירות זוויתית** הינה - $\omega = \frac{2\pi}{T}$ (3). בחירת התדירות הזוויתית משפיעה על הקצב בו מתבצע זמן מחזור אחד.

באופן דומה לנוסחה (1), אות זרם סינוסדיאלי, שזורם במעגל כתוצאה ממקור מתח/זרם סינוסודיאלי מוגדר ע"י:

$$I(t) = I_0 \sin(\omega t + \phi)$$

כאשר הגדרות המשרעת, תדירות זוויתית זהות להגדרות של אות המתח הסינוסודיאלי. במעגל חשמלי בעל מקור מתח/זרם סינוסדיאלי נקרא מעגל AC. במעגל המסופק ע"י מקור כזה יזרום כתוצאה ממקור זה זרם סינוסודיאלי בעל אותה תדירות זוויתית כמו של המקור.[1]

ישנם מספר מושגים שימושיים בניתוח של אותות סינוסודיאליים:

מתח שיא – נסמנו V_{peak}. הערך המקסימלי/מינימלי של אות מתח סינוסודיאלי. עבור אות מתח סינוסודיאלי כפי שהוגדר בנוסחה (1) ניתן לראות כי $V_{peak} = V_0$ (4).

מתח/זרם שיא לשיא – נסמנו V_{p-p} (או I_{p-p} עבור זרם בהתאמה). עבור אות מתח סינוסודיאלי, מתח שיא לשיא הינו $V_{p-p} = 2V_0$ (5). גודל זה מתאר את השינוי במתח מנקודת המקסימום לנקודת המינימום של המתח הסינוסודיאלי.

ערך אפקטיבי (RMS) של מתח או זרם – נסמנו (עבור מתח) V_{eff} או V_{rms}. הערך האפקטיבי של אות סינוסי הוא הערך של האות עבורו אם נחליף את האות הנתון באות DC (אות בעל ערך קבוע) עם מתח/זרם שגודלו V_{eff} (או I_{eff} עבור זרם), ההספק הכולל על פני זמן מחזור אחד (או כפולות שלמות של זמן המחזור) במעגל יהיה זהה. ההגדרה המתמטית של RMS:

$$(6)\ V_{rms} = \sqrt{\frac{1}{T}\int_0^T V(t)^2 dt}$$

כיוון שהאות סינוסודיאלי, מפיתוח המשוואה הנתונה לעיל נובע כי :

$$(7)\ V_{rms} = \frac{V_{peak}}{\sqrt{2}}$$

ערך ממוצע של זרם או מתח – נסמנו V_{avg} עבור מתח (I_{avg} עבור זרם). הביטוי המתמטי הינו :

$$[4](8)\ V_{avg} = \frac{1}{T}\int_0^T V(t)dt$$

[2]

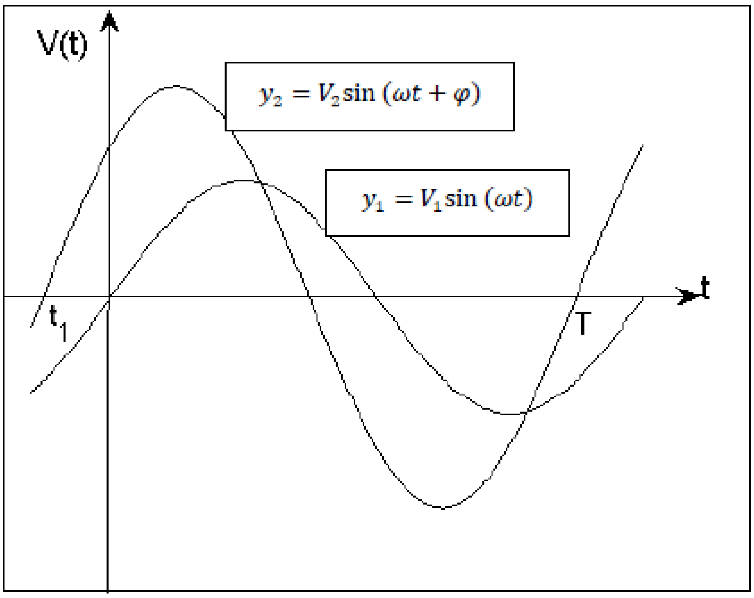
מכשירי המדידה בהם נשתמש במעבדה זו :

מחולל אותות הוא מכשיר המאפשר לייצר סוגים שונים של אותות מתח במעגל. באמצעותו ניתן לבחור אם סוג האות יהיה סינוסדיאלי, ריבועי וכדומה וניתן לשלוט בפרמטרים שונים של האות למשל עבור אות סינוסדיאלי במשרעת ובפאזה תחת מגבלות המכשיר.

משקף הוא מכשיר המאפשר להציג אותות נבחרים על גבי צג, ניתן לבחור אם האופיין יהיה מתח כתלות בזמן או כתלות במתח אחר. אופן פעולת המשקף המסורתי מתבססת על פעולת השק"ק : קרן אלקטרונים (קרן קתודית) משוגרת ממחולל אלקטרונים לכיוון קבלים חשמליים המוזנים מהמתח אותו נרצה להציג על גבי המסך. בין הקבלים נוצר שדה חשמלי (כתוצאה מהמתח) הגורם להסתה של האלקטרונים ובאמצעות הסתה זו ופגיעה במסך פלורסנטי ניתן להציג את האות. [3]

רב מודד ספרתי הוא מכשיר המאפשר למדוד גדלים פיזיקליים במעגל, למשל מתח, זרם, השראות, קיבול וכדומה. אופן השימוש במכשיר זה הוא באמצעות חיבור שני כבלי "בננה" אל המכשיר וחיבורם בין שתי נקודות במעגל החשמלי ביניהן נרצה למדוד את הערך הרצוי.[4]

הפרש מופע כפי שהסברנו קודם, כאשר מקור המתח\הזרם במעגל בעל תדירות זוויתית ω מסוימת, כל המתחים והזרמים במעגל יהיו בעלי אותה תדירות. מה שמשתנה בין הערכים השונים הוא המשרעת עליה הרחבנו והפאזה. הפאזה מתארת את ההזזה של האות הסינוסי המקורי (ללא הפאזה) של אופיין המתח\הזרם על ציר הזמן.



איור 1 : שני גלי סינוס עם פאזה שונה

באיור 1 ניתן לראות שני גלי סינוס עם פאזה שונה, כלומר בוצעה הזזה בציר הזמן של הגל הכחול לעומת הגל הירוק המקורי שהוא ללא מופע(פאזה). ההגדרה המתמטית להפרש פאזה מתבטאת במשוואה הבאה:

$$V = \sin(\omega t + \phi)$$

כאשר ϕ הוא הפאזה. ניתן לראות כי אם נבחר נקודה על גבי הגרף הירוק בזמן t_0, נקודה זו תופיע בגרף הכחול בזמן $t_0 + \phi$.

על מנת שנוכל למדוד הפרש מופע נצטרך להשוות בין גלים בעלי תדירות זהה כיוון שכאשר התדירות שונה הדבר מתבטא בגרף בכיווץ\מתיחה של הגל ובמקרה זה הגלים כבר אינם זהים ולכן אין משמעות להזזה בציר הזמן.

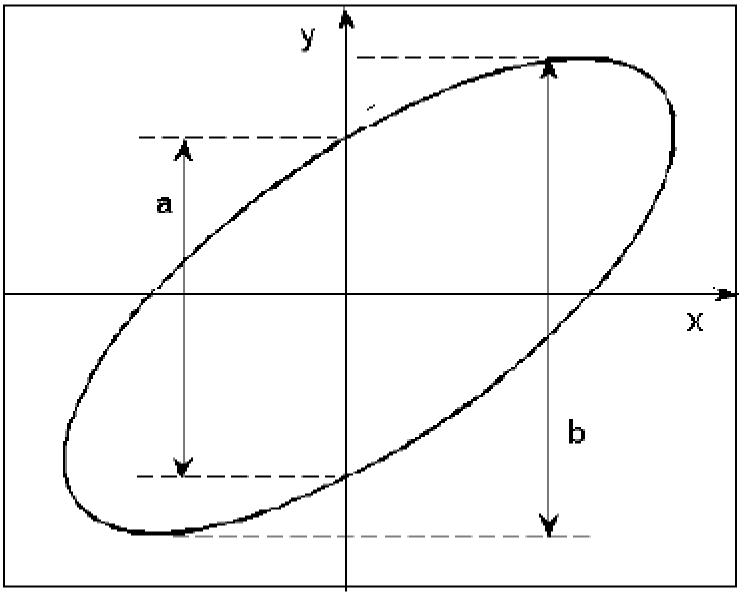
כאשר יש שני גלים בעלי פאזות שונות נרצה לדעת מה ההפרש בין המופעים שלהם. כלומר, מהו ההפרש בין נקודות זהות על הגרפים. לצורך חישוב זה קיימות שתי שיטות שונות. **בשיטה הראשונה**, מציגים את שני האותות על המשקף. כיוון שהתדר הזוויתי שלהם זהה, זמן המחזור שלהם זהה ולכן ההפרש בין חיתוך הגרפים עם ציר הזמן הוא הפרש הפאזות. נמצא את נקודת החיתוך של כל גרף עם ציר הזמן, כפי שמתואר באיור 1 ונשתמש בקשרים הבאים:

$$y_1 = V_1 \sin(\omega t) \quad y_2 = V_2 \sin(\omega t + \varphi)$$

$$y_1 = 0 \rightarrow \sin(\omega t_1 + \varphi) = 0 \rightarrow \omega t_1 + \varphi = 0 \rightarrow t_1 = -\frac{\varphi}{\omega}$$

$$\omega = \frac{2\pi}{T} \rightarrow \varphi = -t_1 \cdot \omega = -\frac{t_1 2\pi}{T}\ [rad]$$

השיטה השנייה היא באמצעות עקומי ליסג'ו. שיטה זו מבוססת על כך שאם מציגים שני אותות סינוסודיאלים בעלי אותה תדירות זוויתית כפונקציה אחד של השני, נקבל שהקשר הוא אליפטי, כמוצג בתמונה:



איור 2: עקומי לסיג'ו

בגרף זה הצירים מיוצגים על ידי המשוואות: $x = \sin(\omega t)\ \ y = C\sin(\omega t + \phi)$. נבחר את הנקודות בהן $x = 0\ (t = \frac{2\pi}{\omega})$ ונסמן את הפרש המרחק ב - a . הנקודה b תיהיה ההפרש בין

הנקודה המקסימלית למינימלית של האליפסה.

כאשר נציב את ערכים אלה במשוואות הצירים נראה כי

$$b = 2C, \qquad a = 2Csin\left(\omega \cdot \frac{2\pi}{\omega} + \phi\right) = 2Csin(2\pi + \phi) = 2Csin(\phi)$$

ובאמצעות שתי משוואות אלה ניתן למצוא את ϕ המתאר את הפרש הפאזה.

<u>תשובות לשאלות הכנה:</u>

<u>3.1.</u>

הביטוי הכללי לאות סינוסי הינו :

$$V = V_0 \sin(\omega t + \phi)$$

ניתן לראות מאיור 3.1 - $V_0 = 2$, $\omega = \frac{2\pi}{T} = \frac{2\pi}{2\cdot 10^{-3}} = \pi \cdot 10^3 \left[\frac{rad}{sec}\right]$ ולכן $V_1 =$ $2\sin(\pi \cdot 10^3 t)\ [V]$, כיוון שבזמן אפס האות המתח הוא אפס אין פאזה.

א.

$$V_{1,avg} = \frac{1}{T}\int_0^T V_1(t)dt = \frac{1}{2\cdot 10^{-3}}\int_0^{2\cdot 10^{-3}} 2sin(\pi t)dt = \mathbf{0}$$

$$|V|_{1,avg} = \frac{1}{2\cdot 10^{-3}}\int_0^{2\cdot 10^{-3}} |2sin(10^3 \cdot \pi t)|dt = \frac{\mathbf{4}}{\boldsymbol{\pi}}$$

כצפוי, אות AC יהיה בעל מתח ממוצע השווה ל- 0.

ב.

$$V_{1,RMS} = \sqrt{\frac{1}{T}\int_0^T V_1(t)^2 dt} = \sqrt{\frac{1}{2\cdot 10^{-3}}\int_0^{2\cdot 10^{-3}} (2\sin(10^3\pi t))^2 dt} = \sqrt{\mathbf{2}}$$

$$|V|_{1,RMS} = \sqrt{\frac{1}{T}\int_0^T |V_1(t)|^2 dt} \underset{|\sin^2 x| = \sin^2 x}{=} \sqrt{\frac{1}{2\cdot 10^{-3}}\int_0^{2\cdot 10^{-3}} (2\sin(10^3\pi t))^2 dt}$$

$$= \sqrt{\mathbf{2}}$$

<u>3.2.</u>

ניתן לראות מהאיורים 3.1, 3.2 כי הפונקציה המוצגת באיור 3.2 הינה הזזה כלפי מעלה ב 2 של המתח לעומת המתח המוצג באיור 3.1, כלומר הוספה של אות DC עם גודל $V = 2[V]$ לאות הAC מסעיף 3.1.

$$V_2 = 2 + 2\sin(10^3 \pi t)$$

א.

$$V_{2,avg} = \frac{1}{T}\int_0^T V_2(t)dt = \frac{1}{2\cdot 10^3}\int_0^{2\cdot 10^3} 2 + 2sin(10^3\pi t)dt = \mathbf{2}$$

$$|V|_{2,avg} = \frac{1}{2}\int_0^2 |2 + 2sin(10^3\pi t)|dt = \mathbf{2} + \frac{\mathbf{4}}{\boldsymbol{\pi}}$$

ב.

$$V_{2,RMS} = \sqrt{\frac{1}{T}\int_0^T V_2(t)^2 dt} = \sqrt{\frac{1}{2\cdot 10^{-3}}\int_0^{2\cdot 10^{-3}} (2 + 2\sin(10^3\pi t))^2 dt} = \sqrt{\mathbf{6}}$$

$|V|_{2,RMS}$

$$= \sqrt{\frac{1}{T}\int_0^T |V_2(t)|^2 dt} \underset{|2+2\,sin(x)|^2=(2+2\sin(x))^2}{=} \sqrt{\frac{1}{2\cdot 10^{-3}}\int_0^{2\cdot 10^{-3}} (2+2\sin(\pi t))^2 dt}$$

$$= \sqrt{\mathbf{6}}$$

.3.3

$$V_3 = -2u(t-2k) + 4u(t-1-2k) - 2u(t-2-2k)\ ,k \in \mathbb{N}$$

א.

$$V_{3,avg} = \frac{1}{T}\int_0^T V_3(t)dt = \frac{1}{2\cdot 10^{-3}}\int_0^{1\cdot 10^{-3}} -2dt + \frac{1}{2\cdot 10^{-3}}\int_{1\cdot\, 10^{-3}}^{2\cdot 10^{-3}} 2dt = \mathbf{0}$$

$$|V|_{3,avg} = \frac{1}{2\cdot 10^{-3}}\int_0^{2\cdot 10^{-3}} 2dt = \mathbf{2}$$

ב.

$$V_{3,RMS} = \sqrt{\frac{1}{T}\int_0^T V_3(t)^2 dt} = \sqrt{\frac{1}{2\cdot 10^{-3}}\int_0^{1\cdot 10^{-3}} (-2)^2 dt + \frac{1}{2\cdot 10^{-3}}\int_{1\cdot 10^{-3}}^{2\cdot 10^{-3}} 2^2 dt} = \mathbf{2}$$

$$|V|_{3,RMS} = \sqrt{\frac{1}{T}\int_0^T |V_3(t)|^2 dt} = \sqrt{\frac{1}{2\cdot 10^{-3}}\int_0^{2\cdot 10^{-3}} 2^2 dt} = \mathbf{2}$$

.3.4

א.

$$V_{4,avg} = \frac{1}{T}\int_0^T V_4(t)dt$$

$$= \frac{1}{4\cdot 10^{-3}}\int_0^{1\cdot 10^{-3}} 2tdt + \frac{1}{4\cdot 10^{-3}}\int_{1\cdot 10^{-3}}^{3\cdot 10^{-3}} (4-2t)dt + \frac{1}{4\cdot 10^{-3}}\int_{3\cdot 10^{-3}}^{4\cdot 10^{-3}} (2t-8)dt$$

$$= \mathbf{0}$$

$$|V|_{4,avg} = \frac{1}{T}\int_0^T |V_4(t)|dt$$

$$= \frac{1}{4\cdot 10^{-3}}\int_0^{1\cdot 10^{-3}} 2tdt + \frac{1}{4\cdot 10^{-3}}\int_{1\cdot 10^{-3}}^{3\cdot 10^{-3}} |4-2t|dt + \frac{1}{4\cdot 10^{-3}}\int_{3\cdot 10^{-3}}^{4\cdot 10^{-3}} |2t-8|dt$$

$$= \mathbf{1}$$

ב.

$$V_{4,RMS}=\sqrt{\frac{1}{T}\int_0^T V_4(t)^2dt}$$

$$=\sqrt{\frac{1}{4\cdot 10^{-3}}\int_0^{1\cdot 10^{-3}}(2t)^2dt+\frac{1}{4\cdot 10^{-3}}\int_{1\cdot 10^{-3}}^{3\cdot 10^{-3}}(4-2t)^2dt+\frac{1}{4\cdot 10^{-3}}\int_{3\cdot 10^{-3}}^{4\cdot 10^{-3}}(2t-8)^2dt}$$

$$=\sqrt{\frac{1}{3}+\frac{8}{12}+\frac{4}{12}}=\boldsymbol{\frac{2}{\sqrt{3}}}$$

$$|V|_{4,RMS}=\sqrt{\frac{1}{T}\int_0^T |V_4(t)|^2dt}\underset{for\ any\ real\ function}{=}\sqrt{\frac{1}{T}\int_0^T V_4(t)^2dt}=\boldsymbol{\frac{2}{\sqrt{3}}}$$

3.5

א. באות סינוסדיאלי ניתן למצוא את זמן המחזור באמצעות אופיין של מתח כתלות בזמן על ידי בחירת נקודות המקסימום ומציאת הזמן של המרווח בין שתי נקודות מקסימום סמוכות.

ב. לאחר שנמצא את זמן המחזור, הקשר בין התדירות לזמן מחזור נתון ע"י:

$$f=\frac{1}{T}$$

ג. נגדיר את תצוגת המשקף לשינוי המתח כתלות בזמן. נזהה בקטע של מחזור אחד את נקודת המקסימום והמינימום כאשר מתח שיא לשיא הוא ההפרש בין הערכים (בציר ה – y המייצג את המתח).

ד. הקשר בין אמפליטודה למתח שיא לשיא נתון ע"י: $V_{P-P}=2V_{peak}$ כאשר V_{peak} הינו האמפליטודה.

.3.6

א.

$$V_{in}=V_0\cos(\omega t+\phi_{in})\to \tilde{V}_{in}=V_0e^{j\phi_{in}}$$

$$\tilde{V}_R=\tilde{V}_{in}\cdot\frac{R}{R+\frac{1}{j\omega C}}=\frac{V_0e^{j\phi_{in}}R}{R+\frac{1}{j\omega C}}\to V_R(t)=\left|\tilde{V}_R\right|\cdot\cos\left(\omega t+arctan\left(\frac{Im(\tilde{V}_R)}{Re(\tilde{V}_R)}\right)\right)$$

$$\left|\boldsymbol{\tilde{V}_R}\right|=\left|\frac{V_0e^{j\phi}R}{R+\frac{1}{j\omega C}}\right|=\left|\frac{V_0e^{j\phi}R}{R-\frac{j}{\omega C}}\right|=\left|\frac{V_0e^{j\phi}R}{R-\frac{j}{2\pi fC}}\right|=\boldsymbol{\frac{V_0R}{\sqrt{R^2+\frac{1}{4\pi^2f^2C^2}}}}$$

$$\left|\boldsymbol{\frac{V_R}{V_{in}}}\right|=\frac{\frac{V_0R}{\sqrt{R^2+\frac{1}{4\pi^2f^2C^2}}}}{V_0}=\boldsymbol{\frac{R}{\sqrt{R^2+\frac{1}{4\pi^2f^2C^2}}}}$$

$$\boldsymbol{\phi_R} = \measuredangle\left(V_0 R e^{j\phi_{in}}\right) - \measuredangle\left(R - \frac{j}{\omega C}\right) = \phi_{in} - \arctan\left(-\frac{\frac{1}{\omega C}}{R}\right)$$

$$= \phi_{in} - \arctan\left(\frac{-1}{\omega RC}\right) = \boldsymbol{\phi_{in} - \arctan\left(\frac{-1}{2\pi fRC}\right)}$$

$$\boldsymbol{\phi_R - \phi_{in}} = \phi_{in} - \arctan\left(\frac{-1}{\omega RC}\right) - \phi_{in} = -\arctan\left(\frac{-1}{\omega RC}\right) = \boldsymbol{-\arctan\left(\frac{-1}{2\pi fRC}\right)}$$

ב.

טבלה 1: האמפליטודה והפאזה עבור תדירויות שונות

פאזה $\boldsymbol{\phi_R - \phi_{in}}\ [\boldsymbol{rad}]$	**אמפליטודה** $\left\lvert\frac{\tilde{V}_R}{\tilde{V}_{in}}\right\rvert\ [\boldsymbol{V}]$	**תדירות** $\boldsymbol{f}\ [\boldsymbol{Hz}]$
1.4582	0.1124	200
1.2952	0.2721	500
1.0561	0.4922	1000
0.7240	0.7492	2000
0.3399	0.9428	5000
0.1750	0.9847	10000

ניתן לראות מטבלה זו כי ככל שהתדירות גדלה כך גם המשרעת גדלה ושואפת ל1. תוצאה זו תואמת לביטוי המתמטי שקיבלנו בסעיף א':

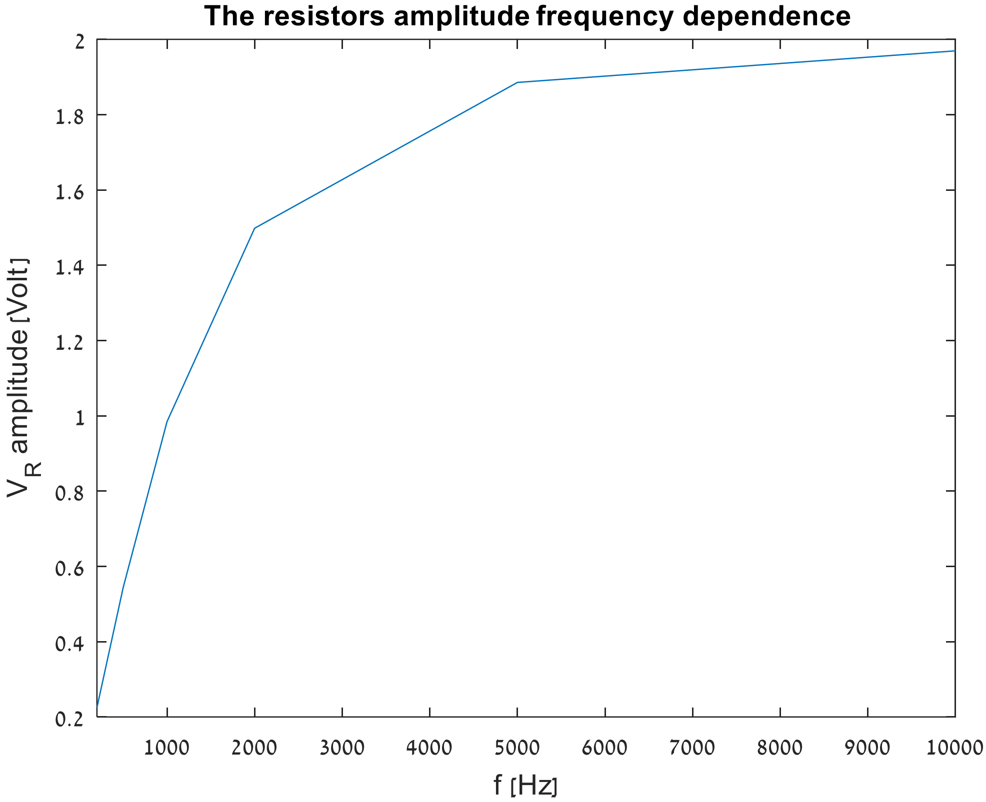
$$\left|\frac{V_R}{V_{in}}\right| = \frac{R}{\sqrt{R^2 + \frac{1}{4\pi^2 f^2 C^2}}} = \frac{R}{\sqrt{\frac{4\pi^2 f^2 C^2 R^2 + 1}{4\pi^2 f^2 C^2}}} = \frac{4\pi fCR}{\sqrt{4\pi^2 f^2 C^2 R^2 + 1}}$$

$$\lim_{f\to\infty} \frac{4\pi fCR}{\sqrt{4\pi^2 f^2 C^2 R^2 + 1}} = \frac{4\pi CR}{\sqrt{4\pi^2 C^2 R^2}} = 1$$

בנוסף, ניתן לראות מהטבלה כי ככל שהתדירות גדלה הפאזה קטנה. תוצאה זו תואמת לביטוי המתמטי שקיבלנו בסעיף א':

$$\lim_{f\to\infty} -\arctan\left(\frac{-1}{2\pi fRC}\right) = -\arctan(0) = 0$$

ג.

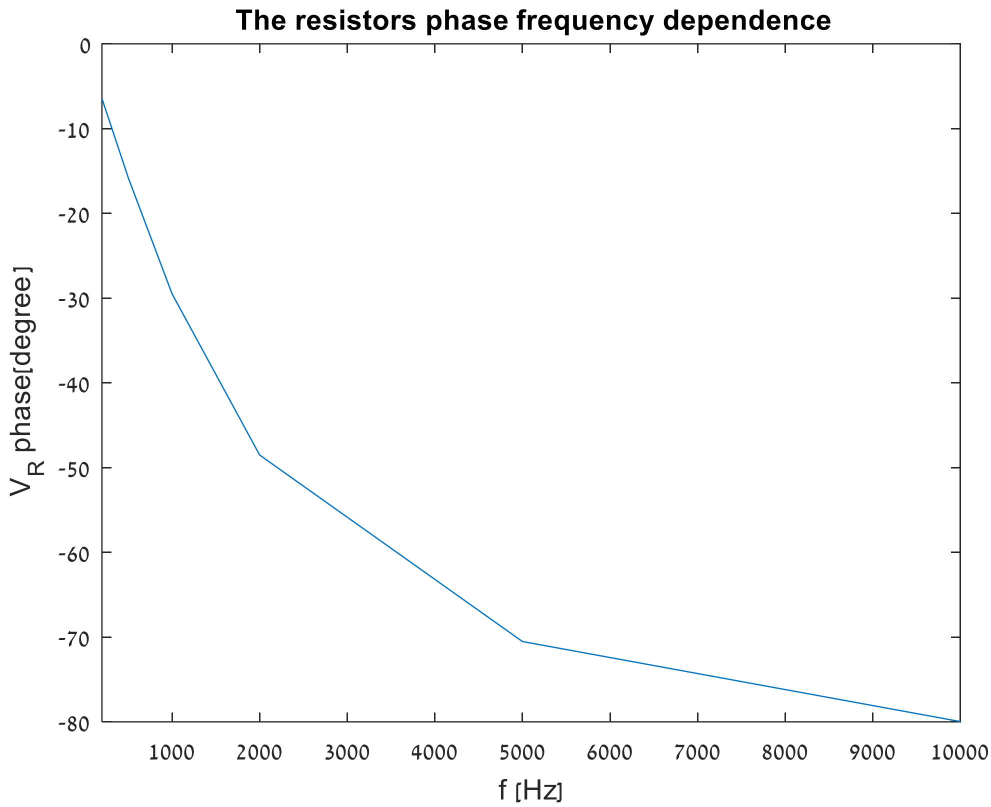


איור 3 : גרף המשרעת של מתח הנגד כתלות בתדירות

ראינו בסעיף ב׳ כי ככל שהתדירות גדלה, אמפליטודת התמסורת שואפת ל-1.

$$\lim_{f\to\infty}\left|\frac{V_R}{V_{in}}\right| = 1 \quad \to \quad \lim_{f\to\infty}|V_R| = 1\cdot\lim_{f\to\infty}|V_{in}| = 2$$

כלומר, כפי שראינו בחישוב המתמטי אמפליטודת המתח של הנגד שואפת ל2 ככל שהתדירות גדלה וניתן לראות זאת גם באמצעות גרף זה.

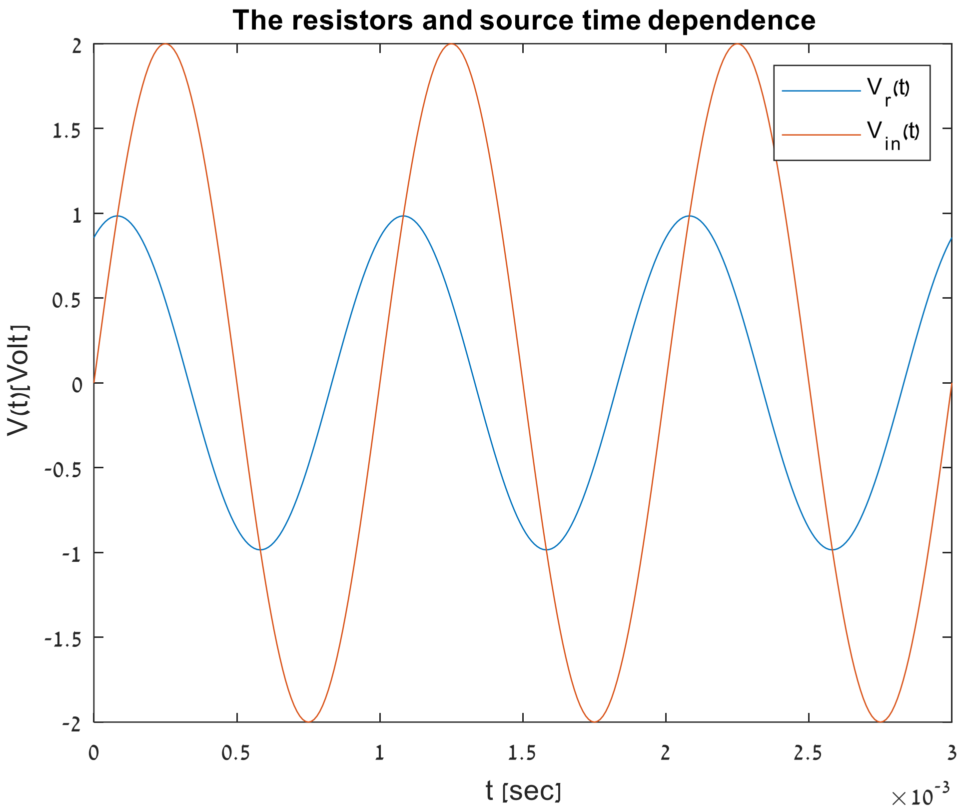


איור 4 : גרף המופע של מתח הנגד כתלות בתדירות

באמצעות גרף זה ניתן לראות כי ככל שהתדירות גדלה הפאזה קטנה ושואפת ל--90^{o}. תוצאה זו תואמת לחישוב המתמטי שהצגנו בסעיף ב':

$$\lim_{f\to\infty}\phi_R-\phi_{in}=0 \;\;\rightarrow\;\; \lim_{f\to\infty}\phi_R=0+\lim_{f\to\infty}\phi_{in}=-\frac{\pi}{2}\;[rad]$$

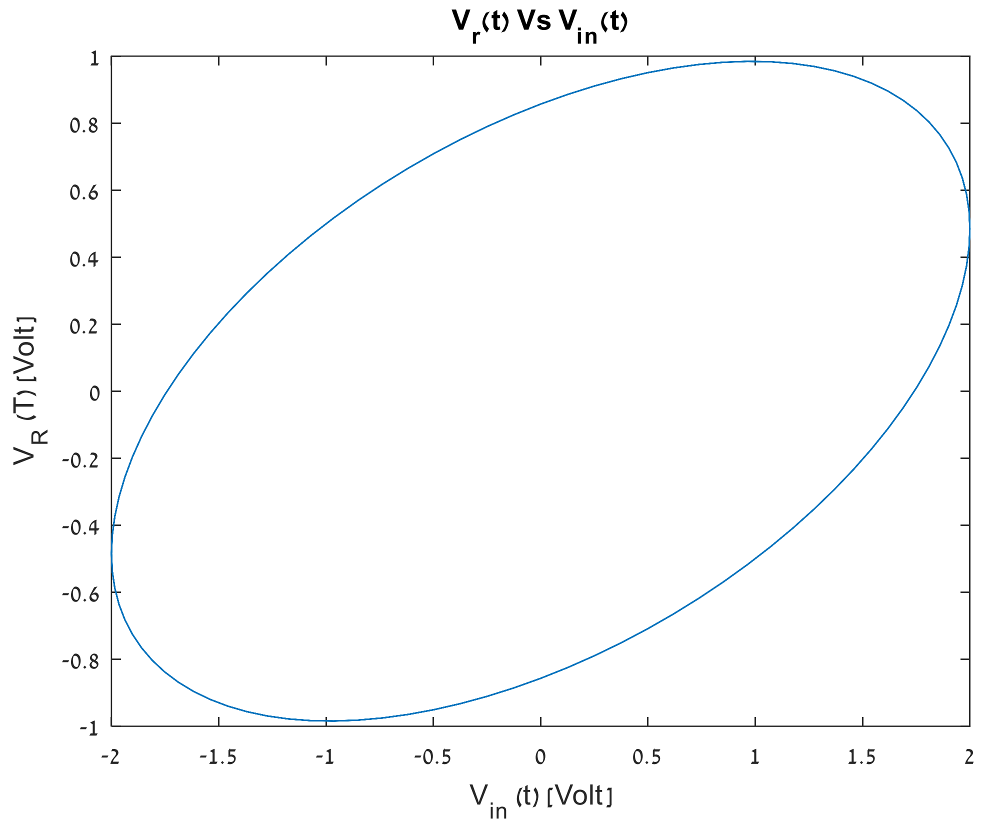
ד.



איור 5 : גרף המתחים כתלות בזמן עבור תדר מקור *1000Hz*

בגרף זה ניתן לראות את הביטויים הזמניים של מתח הנגד ומתח המקור. ניתן לראות כי קיים הבדל פאזה בין שני הגרפים וכי הגרף תואם אותות סינוסדיאלים.

ה.



איור 6 : גרף מתח הנגד כתלות במתח המקור (עקומת ליסג'ו) עבור תדר מקור *1000Hz*

נשתמש בשיטה השנייה למציאת הפרש הפאזה- שיטת עקומת לסיג'ו :

מתוך המטלאב נקבל שהמקסימום של הגרף הוא 0.9844 והחיתוך עם ציר ה y הוא ב= y ± 0.8569.

$$b = 2C = 2 \cdot 0.9844 = 1.9688 \;\; a = 0.8569 \cdot 2 = \;1.7139$$

$$a = 2 \cdot 0.9844 \cdot sin(\phi) = 1.7139 \rightarrow \;\phi = 1.0563\;[\text{rad}]$$

לכן הפרש הפאזה בין הגרפים של הפונקציות הינו $\boldsymbol{\phi = 1.0563}\;[\text{rad}]$.

ניתן לראות כי בסעיף ב' בשאלה זו, עבור אותו תדר מקור קיבלנו פאזה של $1.0561\;[rad]$ בדומה לתוצאה בסעיף זה.

<u>3.7</u>

א. הנחיות בטיחות שיש לקיים לפני התחלת הניסויים :

1. לוודא את תקינות המכשירים
2. לבדוק היכן ממוקמות היציאות חירום והמטף
3. לוודא את מיקומם ודרך פעולתם של משטפות עיניים ומקלחות חירום.

ב. הוראות חשובות במיוחד לדעתנו :

1. לא להשתמש בכבל פגום.
2. לא להשתמש במכשירי חשמל החשופים לחדירת מים.
3. להרחיק חומרים דליקים ממכשירי חשמל.

ג. בסוף המעבדה צריך להחזיר את כל המכשירים למקום ולזרוק את החומרים שהשתמשנו בהם למקום המתאים ולהשאיר את העמדה נקייה.

ביבליוגרפיה

[1] C. K. Alexander, “Fundamentals of electric circuits.” McGraw-Hill, Boston [Mass, 2000.
[2] D. R. Patrick, “Understanding AC circuits.” Newnes, Boston, 2000.
[3] I. Hickman, “Oscilloscopes how to use them, how they work.” Newnes, Oxford ;, 2001.
[4] D. M. Kaplan, “Hands-on electronics: a one-semester course for class instruction or self-study.” University Press, Cambridge, 2003.

נספחים

```matlab
%% 3.6.B:
f=[200,500,1000,2000,5000,10000]; %[Hz]
R=3000; %[ohem]
C=0.03*10^(-6) ; %[F]
%V_in=2*sin(wt)=2*cos(wt-pi/2)
V_0=2; %[V]
Phi_Vin=-pi/2; %[rad]  ,
H=R./sqrt(R^2 +1./(4*pi^2*f.^2*C^2));  %H=|VR/Vin|
V_R_amp=H.*V_0;
Phi_VR=Phi_Vin-atan(-1./(2*pi*f*C*R)); %[rad]
Phi_VR_degree=Phi_VR*180/pi; %[degree]
disp(H)
disp(Phi_VR-Phi_Vin)

%% 3.6.C
figure;  %phase vs. frequency
plot(f,Phi_VR_degree);
xlabel('f [Hz]');
ylabel('V_R phase[degree]');
xlim([200 10000])
title('The resistors phase frequency dependence');
figure; %amplitude vs. frequency
plot(f,V_R_amp);
xlabel('f [Hz]');
xlim([200 10000])
ylabel('V_R amplitude [Volt]');
title('The resistors amplitude frequency dependence');

%% 3.6 D
t=0:0.00001:0.003; %[sec]
f=1000; %[Hz]
V_int=2*sin(2*pi*f*t);
H=R/sqrt(R^2 +1/(4*pi^2*f^2*C^2));  %H=|VR/Vin| for f=1000 Hz
V_R_amp=H*V_0;
Phi_VR=Phi_Vin-atan(-1/(2*pi*f*C*R)); %[rad]
V_Rt=V_R_amp*cos(2*pi*f.*t+Phi_VR); %[V]
figure;
plot(t,V_Rt);
xlabel('t [sec]');
ylabel('V(t)[Volt]');
hold on
plot(t,V_int);
legend('V_r(t)','V_i_n(t)');
title('The resistors and source time dependence');

%% 3.6. E
V_Rt=V_R_amp*sin(pi/2+2*pi*f.*t+Phi_VR);
figure;
plot(V_int,V_Rt);
xlabel('V_i_n (t) [Volt]');
ylabel('V_R (T) [Volt]');
title('V_r(t) Vs V_i_n(t)');
disp(max(V_Rt)) % to find C
index=find(V_int==0);
k=abs(V_Rt(index)); % to find when the ellipse intersects the y-axis
disp(k)
```