

פרויקט 1 בקורס תמסורת גלים

תשובות לשאלות נוספות לפרויקט

חלק 1:

1. המגמטיות: המגמטיות שאנו מבחינים בה מתארת למעשה התייבבות שך גל סינוסי. תדר הסינוס נשמר שהרי התדר של כל ההדהודים זהה, ולכן יתכנו רק תזוזות פאזה ושינויי אמפליטודה. ההתייבבות באה לידי ביטוי בכך שאמפליטודות הסינוס המושפעת מסופרפוזיציה של ההדהודים הקודמים משפיעה פחות ככל שהדהוד מסדר גבוה יותר. כלומר להתאבכויות מסדרים גבוהים השפעה זניחה על הגל שהינו התאבכות של הגלים מהסדר הראשון עד השלישי בערך. הפאזה גם כן מתייבבת ונעשית תואמת לתחומי הזמן הבאים ככל שתחום שהזמן גדל מנקודת ההתחלה $t=0$, זאת מכיוון שיש יותר גלים הרמוניים בסופרפוזיציה ולכן לגורם ה"חדש" שנוסף פחות השפעה על הפאזה.

2. תחומים בהם האות 0:

סעיף B: גרף עליון – עד לזמן הופעת הגל ב- $t = \frac{T}{2} = 1.76 \text{ nsec}$ האות שווה ל-0 שהרי אנו מסתכלים על אמצע הקו, אליו עדיין לא הגיע הגל המתקדם הראשון.
סעיף C: בגרף העליון, בהתאם לתיאוריה, הגל עדיין לא מגיע למקומות בהם $z > \frac{L}{2}$ לכן המתח במיקומים אלו אפסי.
ההבדלים נובעים כמובן מכך שבסעיף B אנחנו מסתכלים על נקודת האמצע של הקו כתלות בזמן, לעומת סעיף C בו אנו מסתכלים על זמן מסוים לאורך כל הקו. או בקיצור דגימה במקום לעומת דגימה בזמן.

חלק 2:

3. מצב יציב: מצב המערכת החל מרגע מסוים בו התנהגות המערכת נשמרת (תיאורטית עד לזמן אינסוף). מרגע ההתחלה עד למצב היציב ישנן "תופעות מעבר", במקרה שלנו תופעות המעבר הן התווספות של הדהודים אשר גורמים לשינויי פאזה או אמפליטודה.
למעשה, במקרה שלנו ההגעה למצב היציב תתרחש כאשר תרומתם של ההדהודים לסכום הגלים תהיה זניחה, מה שגורם לסינוס "להתייבב" על פאזה ואמפליטודה אחידה לאורך מישור הזמן.
4. סעיף B: נבחין כי השינויים הבולטים הם בגרף העליון.
בגרף העליון בחלק 1 האות אפסי עד לזמן שבו $t = T/2$ שהרי עד לרגע זה האות לא מספיק להגיע למרכז הקו, בעוד שבמקרה השני האות התחיל בזמן מינוס אינסוף לכל בכל רגע בתחום ניתן להבחין באות במרכז הקו. ניתן לראות בברור כי יש שוני באמפליטודה ובפאזה בין הגרפים, שינויים אלו נובעים מהעובדה שהגרף הראשון מכיל את ההדהודים הראשונים בלבד והגרף של חלק 2 מכיל את הסכום של כל ההדהודים. לכן למעשה הם מייצגים גלים שונים.
בגרף האמצעי גם כן ניתן להבחין בשינוי קטן בין החלקים השונים אך נבחין כי השוני ניכר רק בתחילת תחום הזמן בעוד שבסופו כבר נראה שהגרפים מתלכדים.
ניתן להסביר תופעה זו מתוך ההבנה שלאורך תחום זמן זה, לגל של חלק א יש תוספת של שני גלים לאורך התחום (V_2^- ו V_2^+ ברגעים 2.5T, 3.5T). בקירוב טוב, ההדהודים של הסדר השני הם ההדהודים המשמעותיים האחרונים לאחר הסדר הראשון ואת ההדהודים מסדר שלישי ומעלה ניתן להזניח. ואכן, כפי שניתן לראות לאחר התוספת של הגל החוזר מסדר שני נראה שהגרף של החלק הראשון מתלכד עם גרף של החלק השני.
מתוך הסבר זה ברור מדוע אנחנו רואים התלכדות בגרף התחתון.

סעיף C: כמו במקרה הקודם גם כאן השוני הניכר ביותר הינו בגרף העליון.

זאת מכיוון שעבור תחום זמנים אלו עדיין מתרחשות תופעות המעבר כיוון הגל של החלק הראשון אינו כולל את ההדהודים מהסדר השני אלא רק את הגל המתקדם מהסדר הראשון.

לכן, עבור החלק הראשון אנחנו רואים אות אפסי עבור כל נקודה לאורך הקו שנמצאת אחרי המרכז שהרי האות לא מספיק להגיע לנקודות אלו ברגע $T/2$.

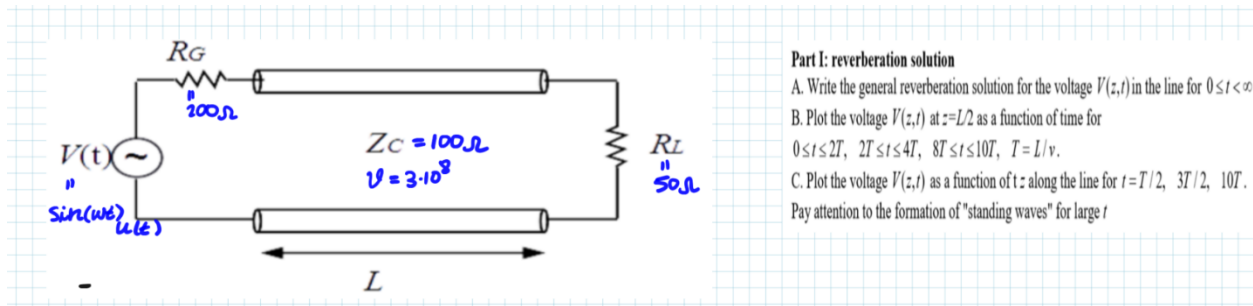
בגרף האמצעי נראה כי האמפליטודות קרובות אך יש שינוי פאזה ניכר.

ברגע $\frac{3T}{2}$ הגרף בחלק 1 הינו סכום של ההדהודים מסדר ראשון בלבד והגיוני להסיק שהתוספת של ההדהודים מהסדר השני גורמים לשינוי ניכר בפאזה אשר בא לידי ביטוי בגרף האמצעי כמו שאנחנו יכולים לראות.

ברגע $10T$ הגרפים זהים. כפי שהסברנו במקרה B, בקירוב טוב ניתן להניח שעבור זמן הגדול מ- $3.5T$ נעבור למצב היציב (עבור האות שבגרף בחלק 1).

לכן **בגרף התחתון** בזמן $10T$ אנחנו כבר נמצאים עמוק בתוך המצב היציב של חלק 1 ולכן הגרף של חלק 2 המתאר את המצב היציב מתלכד עם הגרף של חלק 1.

חלק 1



סעיף א':

חישוב פרמטרים:

$$T = \frac{L}{v} = \frac{1 \text{ m}}{3 \cdot 10^8 \frac{\text{m}}{\text{sec}}} = 3.33 \text{ nsec}$$

$$\Gamma_L = \frac{R_L - Z_C}{R_L + Z_C} = \frac{50 - 100}{150} = -\frac{1}{3}$$

$$\Gamma_G = \frac{R_G - Z_C}{R_G + Z_C} = \frac{200 - 100}{300} = +\frac{1}{3}$$

צורת הפתרון הכללית של המתח $V(z,t)$ בתחום הזמנים $0 \leq t \leq \infty$:

$$\begin{aligned} V(z,t) &= \frac{1}{3} \left\{ \sin \left[\omega \cdot \left(t - \frac{z}{v} \right) \right] + \Gamma_L \cdot \sin \left[\omega \cdot \left(t - 2T + \frac{z}{v} \right) \right] + \Gamma_L \cdot \Gamma_G \sin \left[\omega \cdot \left(t - 2T - \frac{z}{v} \right) \right] + \Gamma_L^2 \right. \\ &\quad \left. \cdot \Gamma_G \sin \left[\omega \cdot \left(t - 4T + \frac{z}{v} \right) \right] + \dots \right\} \\ &= \frac{1}{3} \left\{ \sin \left[\omega \cdot \left(t - \frac{z}{v} \right) \right] - \frac{1}{3} \cdot \sin \left[\omega \cdot \left(t - 2T + \frac{z}{v} \right) \right] - \frac{1}{9} \sin \left[\omega \cdot \left(t - 2T - \frac{z}{v} \right) \right] \right. \\ &\quad \left. + \frac{1}{27} \sin \left[\omega \cdot \left(t - 4T + \frac{z}{v} \right) \right] + \dots \right\} \end{aligned}$$

כאשר המקדם שליש נובע ממחלק מתח בין אות הכניסה לאימפדנס קו התמסורת.

סעיף ב':

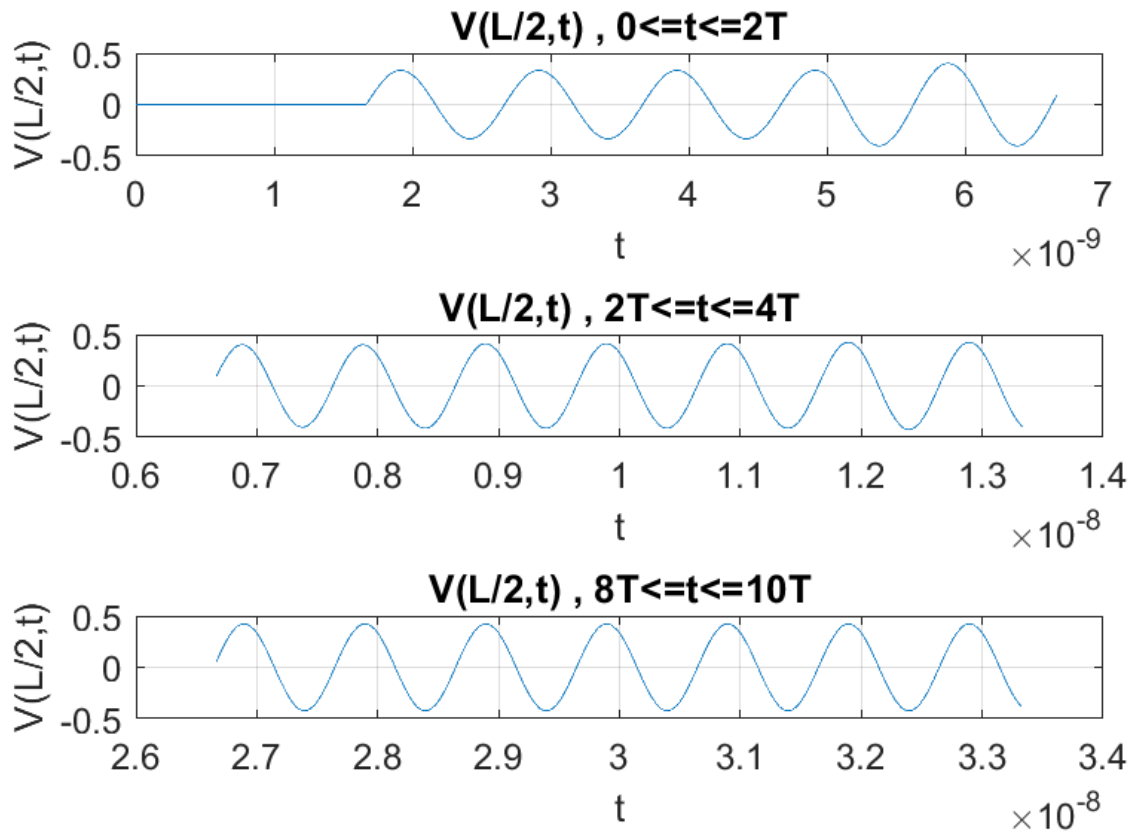
ננסה להסביר את התוצאה שהתקבלה מקוד המטלב, באמצעות חלוקה לתחומי זמנים.

בסעיף זה $z = \frac{L}{2}$

ניתוח הזמנים מניב:

| רצף החוספה | | תחומי זמן החוספה | | | $x \in [0, 2T]$ $x \in [2T, 4T]$ $x \in [4T, 10T]$ |
|------------|--------------------|---------------------|---|---|--|
| | $z = \frac{L}{2}$ | | | | |
| V_1^+ | $\frac{T}{2}$ | ✓ | ✓ | ✓ | |
| V_1^- | $1.5T$ | ✓ | ✓ | ✓ | |
| V_2^+ | $2.5T$ | | ✓ | ✓ | |
| V_2^- | $3.5T$ | | ✓ | ✓ | |
| V_3^+ | $4.5T$ | | | ✓ | |
| V_3^- | $5.5T$ | | | ✓ | |
| V_4^+ | $6.5T$ | | | ✓ | |
| V_4^- | $7.5T$ | | | ✓ | |
| V_5^+ | $8.5T$ | | | ✓ | |
| V_5^- | $9.5T$ | | | ✓ | |
| V_6^+ | $10.5T \leftarrow$ | | | | |

להלן התוצאה שהתקבלה בסעיף זה:



הסבר:

גרף עליון – כמצופה, זמן הופעת הגל ב- $t = \frac{T}{2} = 1.76 \text{ nsec}$ כי עד לרגע האות שווה ל-0 שהרי אנו מסתכלים על אמצע הקו.

נשים לב שהחל מרגע $t = \frac{3T}{2} \cong 5 \text{ nsec}$ האות גדל במקצת (בערכו המוחלט), זאת מכיוון שבזמן זה נוספת תרומתו של הגל המתקדם בכיוון השלילי (ההחזרה הראשונה).

הגרפים האמצעי והתחתון דומים מאוד, גם בערכם וגם בפאזה המופע שלהם.

קיים הבדל בין תחומי הזמנים השונים שהרי ההדהודים המשפיעים על הגל במרכז הקו בזמנים השונים אינו זהה.

בגרף האמצעי, ההדהודים המשתתפים הם מ-1 עד 2.

בגרף התחתון, ההדהודים המשתתפים הם מ-1 עד 5.

למעשה ניתן להבהיר את הדמיון בין הגרף התחתון לאמצעי מתוך העובדה שהשפעת ההדהודים 3-5 זניחה ביחס להדהודים הראשונים והשניים. (מקדמי ההחזרה נעשים קטנים יותר מהדהוד להדהוד ביחס ריבועי)

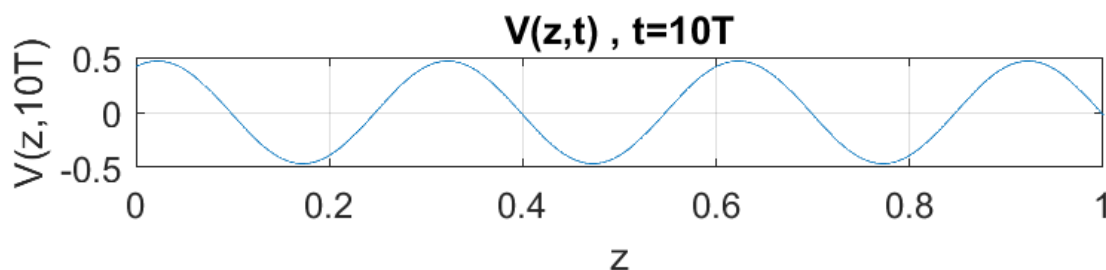
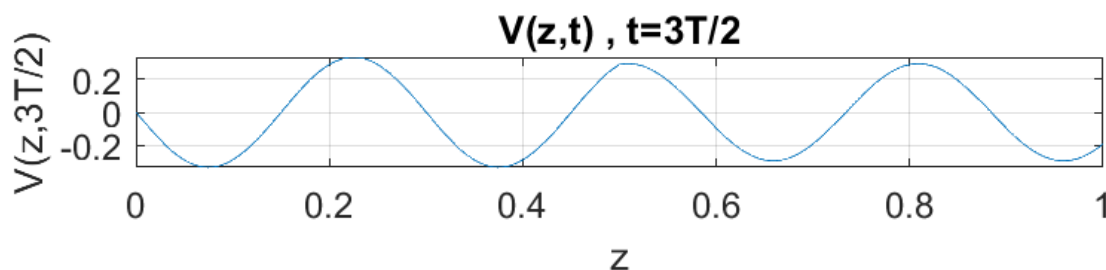
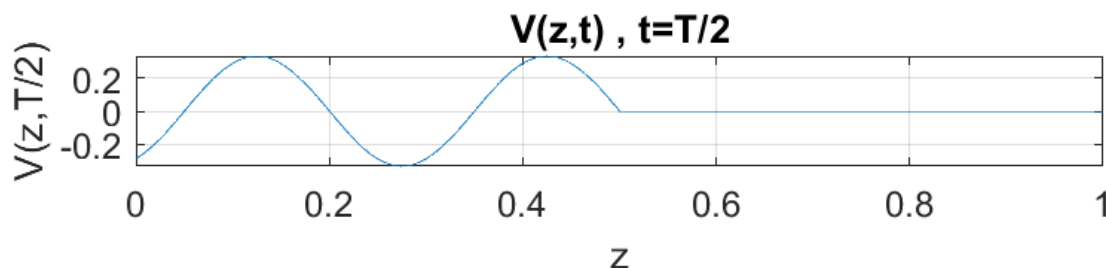
ולכן ההבדלים בין בגרפים המתארים את תחומי הזמן הללו קטנים מאוד.

הסברים נוספים:

המגמתיות: המגמתיות שאנו מבחינים בה מתארת למעשה התייבבות שך גל סינוסי. תדר הסינוס נשמר שהרי התדר של כל ההדהודים זהה, ולכן יתכנו רק תזוזות פאזה ושינויי אמפליטודה. ההתייבבות באה לידי ביטוי בכך שאמפליטודות הסינוס המושפעת מסופרפוזיציה של ההדהודים הקודמים משפיעה פחות ככל שהדהוד מסדר גבוה יותר. כלומר להתאבכויות מסדרים גבוהים השפעה זניחה על הגל שהינו התאבכות של הגלים מהסדר הראשון עד השלישי בערך. הפאזה גם כן מתייבבת ונעשית תואמת לתחומי הזמן הבאים ככל שתחום שהזמן גדל מנקודת ההתחלה $t=0$, זאת מכיוון שיש יותר גלים הרמוניים בסופרפוזיציה ולכן לגורם ה"חדש" שנוסף פחות השפעה על הפאזה.

סעיף ג':

התוצאות שהתקבלו עבור $t \in \{\frac{T}{2}, \frac{3T}{2}, 10T\}$



בגרף העליון, בהתאם לתיאוריה, הגל עדיין לא מגיע למקומות בהם $z > \frac{L}{2}$ לכן המתח במיקומים אלו אפסי.

בגרף האמצעי אפשר להבחין בשני גלים שונים ה"מודבקים זה לזה" במרכז הקו.

זאת מכיוון שמימין למרכז הקו, אנחנו רואים גל שהינו סכום הגל הראשון, כלומר סכום של הגל המתקדם עם המוחזר, בעוד שמשמאל למרכז אנחנו רואים את הגל המתקדם בלבד שהרי הגל המוחזר לא "הספיק" להתקדם מעבר למרכז הקו בכיוון הפונה אל המקור.

הגרף האמצעי והגרף התחתון בעלי אמפליטודות שונות מכיוון שהגרף האמצעי מתבסס על התאבכות של גלים מהסדר הראשון בלבד, והגרף התחתון מתבסס על מתח שנוצר מהתאבכות של גלים עד לסדר 5 כולל.

בנוסף, לא ניתן להבחין בשינויי אמפליטודה לאורך הגרף התחתון מכיוון שהוא מקובע בזמן שהנו כפולה שלמה של T .

משמע הגל המתקדם בכיוון השלילי בדיוק הגיע למקור ולכן הסכום של ההדודים לאורך הקו הינו אחיד.

חלק ב:

סעיף ד':

Part II: Stead-state solution

D. Assume now that $V_g(t) = \sin(\omega t)$ has been turned on at $t = -\infty$. Derive the general expression for the phasor voltage $\tilde{V}(z)$ and then for $V(z, t)$ in the line using time-harmonic circuit theory.

E. Repeat items B and C for the voltage calculated in item D, and compare the results.

תנאי התחלה:

$$V_g(z, t) = \sin(\omega t) = \cos(\omega t - 90)$$

$$\Rightarrow \tilde{V}_g = \tilde{V}_z(z=0) = -j$$

$$Z_{in} = Z(z=0) = Z_c \frac{1 + \Gamma_L(0)}{1 - \Gamma_L(0)} = Z_c \frac{1 + \Gamma_L \cdot e^{-2j\beta(L-0)}}{1 - \Gamma_L \cdot e^{-2j\beta(L-0)}}$$

נחשב את הקבוע βL :

$$\lambda = \frac{v}{f} = 3 \cdot \frac{10^8}{10^9} = 0.3L$$

$$\beta L = \frac{2\pi L}{\lambda} = \frac{2\pi}{0.3} = \frac{20\pi}{3}$$

ומהסעיף הקודם:

$$\Gamma_L = -\frac{1}{3}$$

לכן:

$$Z_{in} = Z(z=0) = Z_c \frac{1 + \Gamma_L \cdot e^{-2j\beta(L-0)}}{1 - \Gamma_L \cdot e^{-2j\beta(L-0)}} = 100 \cdot \frac{1 - \frac{1}{3} e^{-\frac{40}{3}\pi j}}{1 + \frac{1}{3} e^{-\frac{40}{3}\pi j}} = 114.3 - 74.23j$$

$$\tilde{V}_{in} = \tilde{V}_g \cdot \frac{Z_{in}(0)}{Z_{in}(0) + R_g} = -j \cdot \frac{114.3 - 74.23j}{114.3 - 74.23j + 200} = 0.14 - 0.4j$$

כעת נחליץ את $\tilde{V}^+(0)$:

$$\tilde{V}^+(0) = \frac{\tilde{V}_{in}}{1 + \Gamma_L(0)} = \frac{0.14 - 0.4j}{1 - \frac{1}{3}e^{-\frac{40}{3}\pi j}} = 0.036 - 0.35j$$

נכליל לכל z :

$$\tilde{V}^+(z) = \tilde{V}^+(0) \cdot e^{-jz\beta}$$

ונחזור למתח שכולל את הגלים משני הכיוונים:

$$\tilde{V}(z) = \tilde{V}^+(z) \cdot (1 + \Gamma_L \cdot e^{-2j\beta(L-z)}) = (0.036 - 0.35j)e^{-\frac{20jz}{3}} \left(1 - \frac{1}{3}e^{-\frac{40j}{3}(1-z)}\right)$$

ונקדם בזמן (ניפטר מהפאזור):

$$V(z, t) = \text{Real}\{\tilde{V}(z)e^{j\omega t}\} = \text{Re}\left\{(0.036 - 0.35j)e^{-\frac{20\pi jz}{3}} \left(1 - \frac{1}{3}e^{-\frac{40\pi j}{3}(1-z)}\right)e^{j\omega t}\right\} = \dots =$$
$$= 0.35 \cos(\omega t - \beta z - 0.47\pi) - 0.12 \cos(\omega t + \beta z - 2\beta - 0.47\pi)$$

כאשר $t \in (-\infty, \infty)$, $z \in [0, L = 1 \text{ meter}]$, $\omega = 2\pi f = 2\pi \cdot 10^9$

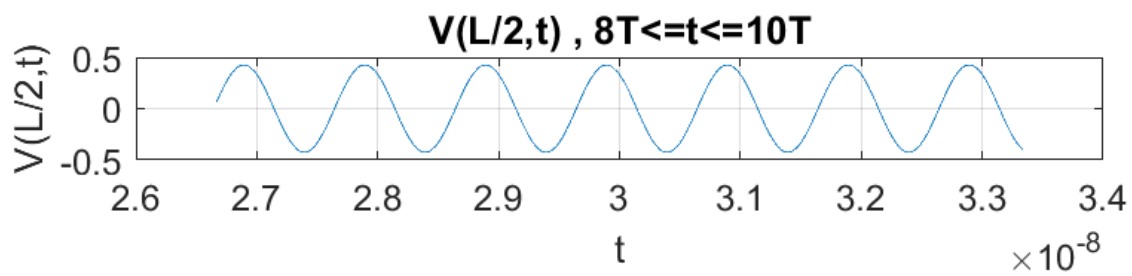
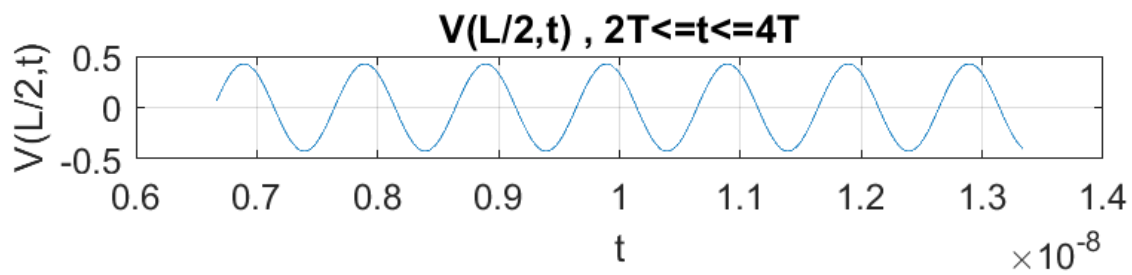
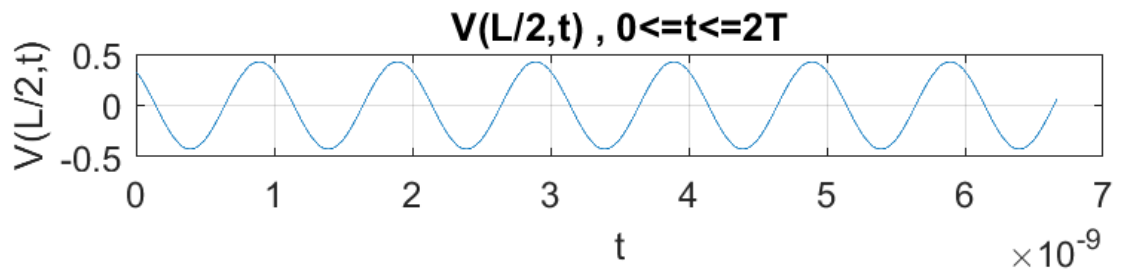
וכאשר בחישוב השתמשנו במעבר לקורדינטות פולריות: $0.036 - 0.35j = 0.35e^{-0.47j\pi}$

תוצאות החישוב אומתו על ידי חישוב של מטלב וחישוב של הכלי החישובי wolfram alpha.

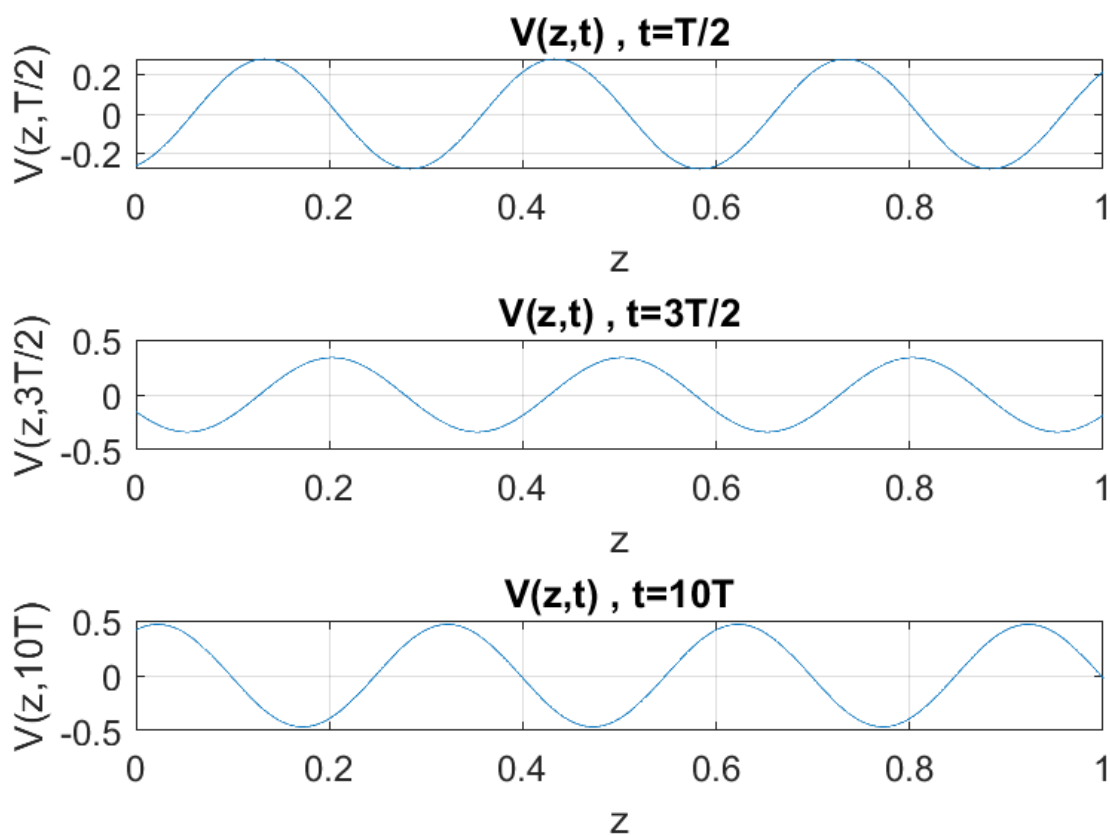
סעיף ה':

במטלב התקבלו התוצאות הבאות:

עבור $z = \frac{L}{2}$:

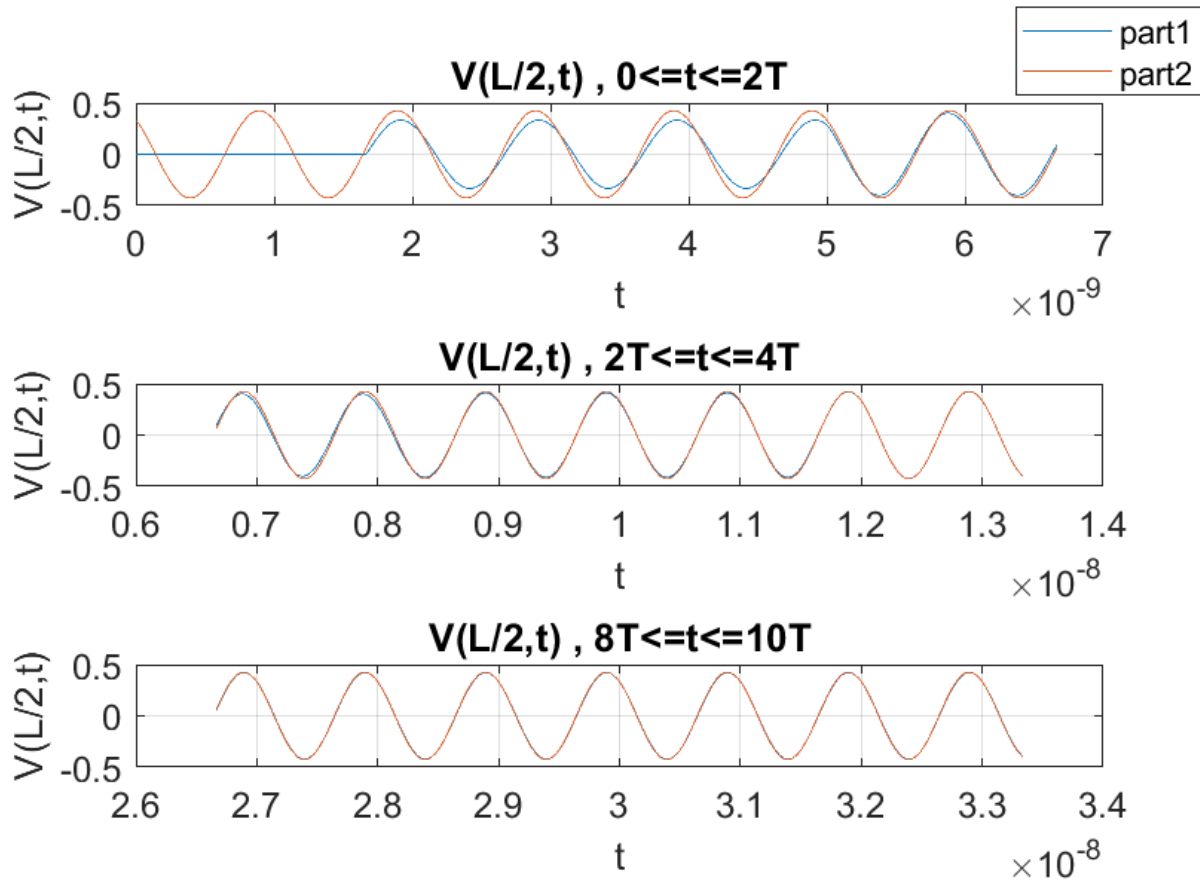


ועבור $t \in \{\frac{T}{2}, \frac{3T}{2}, 10T\}$



כעת נשווה בין התוצאות שהתקבלו:

עבור חלק B:



כאשר המקרא זהה בכל הגרפים.

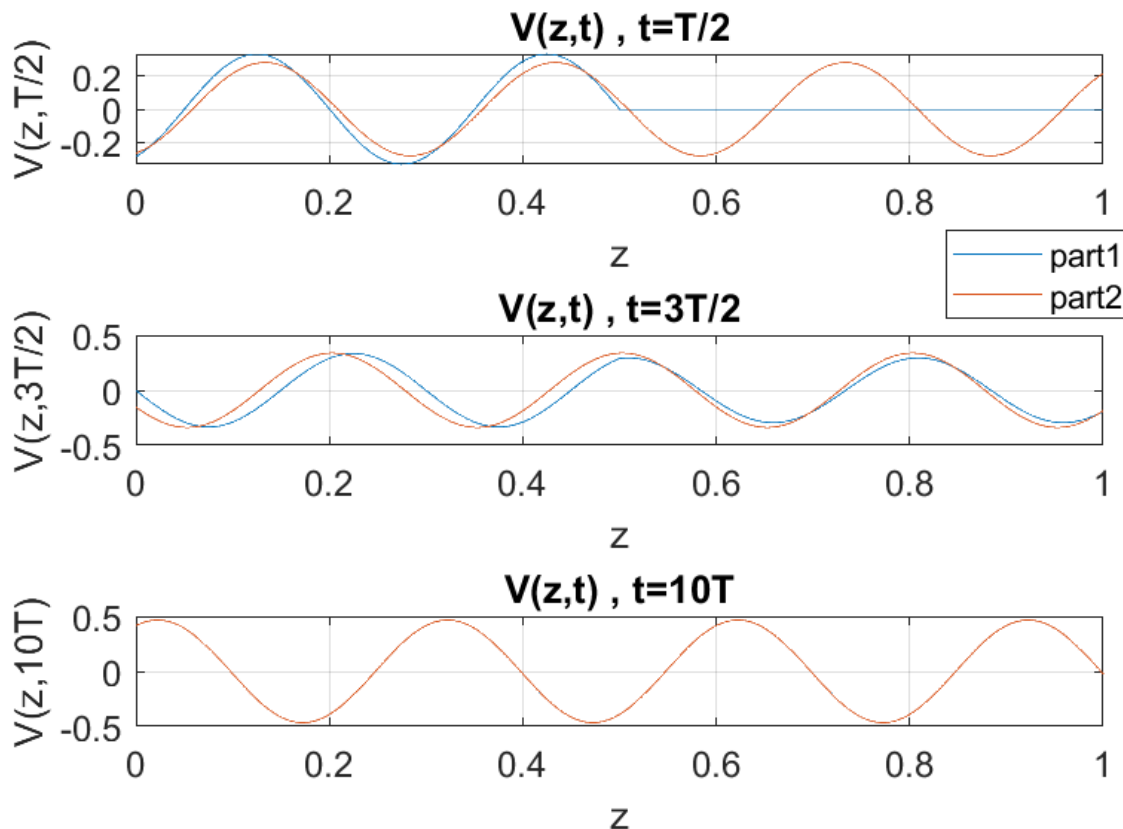
נבחין כי השינויים הבולטים הם בגרף העליון.

בגרף העליון בחלק 1 האות אפסי עד לזמן שבו $t = T/2$ שהרי עד לרגע זה האות לא מספיק להגיע למרכז הקו, בעוד שבמקרה השני האות התחיל בזמן מינוס אינסוף לכל בכל רגע בתחום ניתן להבחין באות במרכז הקו. ניתן לראות בברור כי יש שוני באמפליטודה ובפאזה בין הגרפים, שינויים אלו נובעים מהעובדה שהגרף הראשון מכיל את ההדהודים הראשונים בלבד והגרף של חלק 2 מכיל את הסכום של כל ההדהודים. לכן למעשה הם מייצגים גלים שונים.

בגרף האמצעי גם כן ניתן להבחין בשינוי קטן בין החלקים השונים אך נבחין כי השוני ניכר רק בתחילת תחום הזמן בעוד שבסופו כבר נראה שהגרפים מתלכדים. ניתן להסביר תופעה זו מתוך ההבנה שלאורך תחום זמן זה, לגל של חלק א יש תוספת של שני גלים לאורך התחום (V_2^+ ו V_2^- ברגעים $2.5T, 3.5T$). בקירוב טוב, ההדהודים של הסדר השני הם ההדהודים המשמעותיים האחרונים לאחר הסדר הראשון ואת ההדהודים מסדר שלישי ומעלה ניתן להזניח. ואכן, כפי שניתן לראות לאחר התוספת של הגל החוזר מסדר שני נראה שהגרף של החלק הראשון מתלכד עם גרף של החלק השני.

מתוך הסבר זה ברור מדוע אנחנו רואים התלכדות בגרף התחתון.

עבור חלק C:



נתייחס לגרפים בצבע האדום למתח במצב היציב ולגרפים בצבע הכחול למתחים בחלק 1.

כמו במקרה הקודם גם כאן השנוי הניכר ביותר הינו בגרף העליון.

זאת מכיוון שעבור תחום זמנים אלו עדיין מתרחשות תופעות המעבר כיוון הגל של החלק הראשון אינו כולל את ההדהודים מהסדר השני אלא רק את הגל המתקדם מהסדר הראשון.

לכן, עבור החלק הראשון אנחנו רואים את אפסי עבור כל נקודה לאורך הקו שנמצאת אחרי המרכז שהרי האות לא מספיק להגיע לנקודות אלו ברגע $T/2$.

בגרף האמצעי נראה כי האמפליטודות קרובות אך יש שינוי פאזה ניכר.

ברגע $\frac{3T}{2}$ הגרף הכחול הינו סכום של ההדהודים מסדר ראשון בלבד והגיוני להסיק שהתוספת של ההדהודים מהסדר השני גורמים לשינוי ניכר בפאזה אשר בא לידי ביטוי בגרף האמצעי כמו שאנחנו יכולים לראות.

ברגע $10T$ הגרפים זהים. כפי שהסברנו במקרה B, בקירוב טוב ניתן להניח שעבור זמן הגדול מ- $3.5T$ נעבור למצב היציב (עבור האות שבגרף הכחול).

לכן בגרף התחתון בזמן $10T$ אנחנו כבר נמצאים עמוק בתוך המצב היציב של חלק 1 ולכן הגרף האדום המתאר את המצב היציב מתלכד עם הגרף הכחול.

נספח: קוד Matlab:

```
%%  
clear all;  
close all;  
clc;  
%%  
% Variables Setting for Part1  
Zc=100; %[ohm]  
v=3*(10^8); %[m/sec]  
L=1; %[m]  
f=1*(10^9); %[Hz]  
w=2*pi*f;  
RG=200; %[ohm]  
RL=50; %[ohm]  
coef_G= (RG-Zc)/(RG+Zc);  
coef_L=(RL-Zc)/(RL+Zc);  
T=L/v; %[sec]  
V_D= Zc/(RG+Zc); %voltage divider, relation between V(z,t) and V(t)  
%%  
% Vectors setting for section B  
t=0:T/1000:(10*T); % Time vector  
V_B=0;  
z0=L/2;  
for i = 1:5  
    Vi_pls =V_D*(coef_L^(i-1))*(coef_G^(i-1))*sin(w*(t-(z0/v)-2*T*(i-1))).*heaviside((t-(z0/v)-2*T*(i-1))); %  
    for the V+ vector  
    Vi_min =V_D*(coef_L^i)*(coef_G^(i-1))*sin(w*(t+(z0/v)-2*T*i)).*heaviside((t+(z0/v)-2*T*i)); % for the V-  
    vector  
    V_B=V_B+Vi_pls+Vi_min; % Summing the voltage vector  
end  
  
%% section (B)  
figure('Name','part 1- B','NumberTitle','off');  
  
subplot(3,1,1);  
plot(t(1:2001),V_B(1:2001));  
grid on  
set(gca,'FontSize',12);  
title ('V(L/2,t) , 0<=t<=2T');  
xlabel('t');  
ylabel('V(L/2,t)');  
  
subplot(3,1,2);  
plot(t(2001:4001),V_B(2001:4001));  
grid on  
set(gca,'FontSize',12);  
title ('V(L/2,t) , 2T<=t<=4T');  
xlabel('t');  
ylabel('V(L/2,t)');  
  
subplot(3,1,3);  
plot(t(8001:10001),V_B(8001:10001));  
grid on  
set(gca,'FontSize',12);  
title ('V(L/2,t) , 8T<=t<=10T');  
xlabel('t');  
ylabel('V(L/2,t)');  
  
%% section (C)  
z=0:L/1000:L; % space vector  
times=[T/2,3*T/2,10*T];  
V_C={};  
for index=1:3  
    V_C{index}=0;  
    for i =1:(floor(times(index)/(2*T))+1)  
        Vi_pls =V_D*(coef_L^(i-1))*(coef_G^(i-1))*sin(w*(times(index)-(z./v)-2*T*(i-1))).*heaviside((times(index)-(z./v)-2*T*(i-1))); % for the V+ vector  
        Vi_min =V_D*(coef_L^i)*(coef_G^(i-1))*sin(w*(times(index)+(z./v)-2*T*i)).*heaviside((times(index)+(z./v)-2*T*i)); % for the V- vector  
        V_C{index}=V_C{index}+Vi_pls+Vi_min; % Summing the voltage vector  
    end  
end  
  
figure('Name','part 1- C','NumberTitle','off');  
subplot(3,1,1);  
plot(z,V_C{1});
```

```

grid on
set(gca,'FontSize',12);
title ('V(z,t) , t=T/2');
xlabel('z');
ylabel('V(z,T/2)');

subplot(3,1,2);
plot(z,V_C{2});
grid on
set(gca,'FontSize',12);
title ('V(z,t) , t=3T/2');
xlabel('z');ylabel('V(z,3T/2)');

subplot(3,1,3);
plot(z,V_C{3});
grid on
set(gca,'FontSize',12);
title ('V(z,t) , t=10T');
xlabel('z');
ylabel('V(z,10T)');

%% section (D)
beta= w/v;
Vg_p=-1i;
Zin_0=Zc*(1+coef_L*exp(-2*1i*beta*L))/(1-coef_L*exp(-2*1i*beta*L));
Vin_0_p=Vg_p*Zin_0/(Zin_0+RG);
V0_plus_p=Vin_0_p/(1+coef_L*exp(-2*1i*beta*L));
Vz=V0_plus_p.*exp(-1i*beta.*z).*(1+coef_L.*exp(-2*1i*beta.*(L-z))); % Vz calculation
Vz= transpose(Vz);
Vzt=real(Vz.*exp(1i.*w.*t)); % V_z.t calculation
%Vzt is a matrix; the rows rep' the z, the cols rep' the time

%% Part 2 - Section E-B
figure('Name','part 1-E.B','NumberTitle','off');

subplot(3,1,1);
plot(t(1:2001),Vzt(500,1:2001));
grid on
set(gca,'FontSize',12);
title ('V(L/2,t) , 0<=t<=2T');
xlabel('t');
ylabel('V(L/2,t)');

subplot(3,1,2);
plot(t(2001:4001),Vzt(500,2001:4001));
grid on
set(gca,'FontSize',12);
title ('V(L/2,t) , 2T<=t<=4T');
xlabel('t');
ylabel('V(L/2,t)');

subplot(3,1,3);
plot(t(8001:10001),Vzt(500,8001:10001));
grid on
set(gca,'FontSize',12);
title ('V(L/2,t) , 8T<=t<=10T');
xlabel('t');
ylabel('V(L/2,t)');
%% Part 2 - Section E-C

figure('Name','part 1-E.C','NumberTitle','off');
subplot(3,1,1);

plot(z,Vzt(:,500));
grid on
set(gca,'FontSize',12);
title ('V(z,t) , t=T/2');
xlabel('z');
ylabel('V(z,T/2)');

subplot(3,1,2);
plot(z,Vzt(:,1500));
grid on
set(gca,'FontSize',12);
title ('V(z,t) , t=3T/2');
xlabel('z');
ylabel('V(z,3T/2)');

subplot(3,1,3);
plot(z,Vzt(:,10001));

```

```
grid on
set(gca,'FontSize',12);
title ('V(z,t) , t=10T');
xlabel('z');
ylabel('V(z,10T)');

%% compare results

figure('Name','Compare results -Section B','NumberTitle','off');

subplot(3,1,1);
plot(t(1:2001),V_B(1:2001));
hold on;
plot(t(1:2001),Vzt(500,1:2001));
grid on;
set(gca,'FontSize',12);
title ('V(L/2,t) , 0<=t<=2T');
xlabel('t');
ylabel('V(L/2,t)');
legend('part1','part2');

subplot(3,1,2);
plot(t(2001:4001),V_B(2001:4001));
hold on;
plot(t(2001:4001),Vzt(500,2001:4001));
grid on;
set(gca,'FontSize',12);
title ('V(L/2,t) , 2T<=t<=4T');
xlabel('t');
ylabel('V(L/2,t)');
legend('part1','part2');

subplot(3,1,3);
plot(t(8001:10001),V_B(8001:10001));
hold on;
plot(t(8001:10001),Vzt(500,8001:10001));
grid on;
set(gca,'FontSize',12);
title ('V(L/2,t) , 8T<=t<=10T');
xlabel('t');
ylabel('V(L/2,t)');
legend('part1','part2');

figure('Name','Compare results -Section C','NumberTitle','off');

subplot(3,1,1);
plot(z,V_C{1});
hold on;
plot(z,Vzt(:,500));
grid on;
set(gca,'FontSize',12);
title ('V(z,t) , t=T/2');
xlabel('z');
ylabel('V(z,T/2)');
legend('part1','part2');

subplot(3,1,2);
plot(z,V_C{2});
hold on;
plot(z,Vzt(:,1500));
grid on;
set(gca,'FontSize',12);
title ('V(z,t) , t=3T/2');
xlabel('z');ylabel('V(z,3T/2)');
legend('part1','part2');

subplot(3,1,3);
plot(z,V_C{3});
hold on;
plot(z,Vzt(:,10001));
grid on;
set(gca,'FontSize',12);
title ('V(z,t) , t=10T');
xlabel('z');
ylabel('V(z,10T)');
legend('part1','part2');
```