



חלק ראשון (60 נק'): תיאום, החזרות ורוחב סרט עבור פתרון TEM

מעוררים את מוליך הגלים כך שמתקיים בו אופן TEM בלבד. רוצים לתאם בין מקטע בו מתקיים $\mu_1 = \mu_0$, $\epsilon_1 = 3.9\epsilon_0$ לבין כזה בו $\mu_3 = \mu_0$, $\epsilon_3 = 2.5\epsilon_0$.

ד. שרטטו ע"ג דיאגרמת Smith (ניתן לבנות את המעגלים בעצמכם או להשתמש ב smithplot) את מסלול מקדם ההחזרה המרוכב עם השתנות התדר בתחום $\omega \in [-4\omega_0, 4\omega_0]$. הסבירו את התרשים שקיבלתם.

ו. קבלו ביטוי למקדם ההעברה תלוי תדר הכולל של המערכת $\tau_{13}(\omega)$ (כלומר מקו "1" לקו "3"), המוגדר כ-

$$\tau_3(\omega) \triangleq \frac{\tilde{V}_3^+(\omega, z=0)}{\tilde{V}_1^+(\omega, z=-l_2)}$$

ושרטטו (plot) את $|\tau_3(\omega)|$ עבור $\omega \in [-4\omega_0, 4\omega_0]$. הסבירו התוצאה המתקבלת. הערה: הקפידו שלא "לאבד סימן" בפעולות על ערכי תדר שליליים.

כעת מחברים את הקו למקור פולסי המייצר אות מאופנן אמפליטודה (עם תדר גל נושא f_0) מהצורה

$$V_0(t) = \cos(\omega_0 t) \cdot g(t) = \cos(2\pi f_0 t) \cdot g(t)$$

כאשר $g(t)$ הינו פולס גאوسی $g(t) = v_0 \exp(-t^2 / \tau^2)$ עם $\tau = 60\text{ps}$. נקודת חיבור המקור הינה ב- $z = -l_2 - \delta$ כאשר δ מרחק מזערי (שואף ל-0) מנקודת הכניסה לניתן להניח כי למקור אין התנגדות פנימית.

ז. חשבו, אנליטית, את התמרת פורייה של מתח הכניסה, לקבלת ספקטרום האות $\tilde{V}_0(\omega)$. היעזרו בתכונות התמרת

$$\text{פורייה של אות מאופנן אמפליטודה ובנוסחה: } \int_{-\infty}^{\infty} e^{-j\omega t} \exp(-at^2) dt = \sqrt{\frac{\pi}{a}} \exp\left(\frac{-\omega^2}{4a}\right)$$

נגדיר את רוחב הסרט של אות כלשהו $\tilde{V}(\omega)$ כהפרש בין התדרים בהם $|\tilde{V}(\omega)|$ יורד ל- e^{-1} מערכו המקסימלי.

ח. חשבו את רוחב הסרט של $\tilde{V}_0(\omega)$ והראו כי הוא קטן יחסית ל- f_0 . שרטטו את $|\tilde{V}_0(\omega)|$ עבור $\omega \in [-4\omega_0, 4\omega_0]$.

ט. הכפילו את $\tilde{V}_0(\omega)$ ב- $\tau_3(\omega)$ וקבלו ביטוי אנליטי לספקטרום האות המועבר $\tilde{V}_3^+(\omega)$. שרטטו (plot) את $|\tilde{V}_3^+(\omega)|$ כפונקציה של התדר עבור $\omega \in [-4\omega_0, 4\omega_0]$. מתוך התוצאה, מצאו את רוחב הסרט של $\tilde{V}_3^+(\omega)$.

- נרצה לחשב את האות המועבר הזמני $V_3^+(t)$. לשם כך, נפעיל התמרת פורייה הפוכה על $\tilde{V}_3^+(\omega)$.
- I. דגמו את $\tilde{V}_3^+(\omega)$ במרווחי דגימה שווים בתדר, בתחום $\omega \in [-4\omega_0, 4\omega_0]$, לקבלת וקטור באורך $N=1024$.
 - II. הפעילו את פקודת cirsift להזזה ציקלית של הוקטור בשיעור של $N/2$.
 - III. על התוצאה הפעילו את פונקציית ifft וכפלו בקבוע $1/\Delta t$ (כאשר $\Delta t = \pi/4\omega_0$).
 - IV. הפעילו על התוצאה שוב את cirsift לקבלת וקטור דגימות של $V_3^+(t)$, כך שמרכז הפולס יהיה ממוקם הרחק משולי הוקטור, לשם נוחות ההצגה בתרשים.
 - V. הציגו את האות שהתקבל כפונקציה של הזמן בתחום $t \in [-N\Delta t/2, N\Delta t/2]$.
 - VI. לצורך השוואה, על גבי אותו תרשים, הציגו גם את המעטפת המושהית $v_0 g(t - I_2/v_2)$.
 - VII. הסבירו את התוצאה שהתקבלה.

חלק שני (40 נק'): אופני תנודה, קיטעון, דיספרסיה אופנית

כעת מעוררים את מוליך הגלים כך שיתפשטו בו אופני תנודה מסוג TM. מניחים מקטע יחיד עם $\mu = \mu_0$, $\epsilon = 3.9\epsilon_0$. נחקור תחילה את תכונות מוליך הגלים:

יא. עבור שלושת אופני התנודה הראשונים - $TM_{1,2,3}$, חשבו את תדר הקיטעון וכתבו ביטויים ל- $\beta(\omega)$ ולמהירויות הפאזה והחבורה כפונקציה של ω . הדפיסו את עקום הדיספרסיה $\text{Re}\{\beta(\omega)\}$ בתחום $\omega \in [-4\omega_0, 4\omega_0]$. הערה: הקפידו לבחור את סימן השורש של מספר שלילי כך שיתאים ל**דעיכת** הגל עם כיוון ההתפשטות.

משתמשים במקור המפיק את הפולס הגאומטרי מאופן האמפליטודה מהחלק הראשון, באופן כזה שמתעורר האופן היסודי בלבד. מניחים כי המוליך ארוך מאוד כך שאין החזרות בקו. מעוניינים לבחון כיצד פולס זה מתפשט במוליך הגלים.

יב. הניחו כי $\tilde{V}_1^+(z=0, \omega) = \tilde{V}_0^+(\omega)$. כפלו את ספקטרום האות $\tilde{V}_0^+(\omega)$ במקדם ההתפשטות $e^{-j\beta(\omega)z}$ לקבלת ביטוי ל- $\tilde{V}_1^+(z, \omega)$ לאורך מוליך הגלים. עבור $z \in [0, 10\text{mm}]$, חשבו את $\tilde{V}_1^+(z_m, \omega)$ ב-3 נקודות דגימה z_m במרווחים שווים לאורך מוליך הגלים. הדפיסו על גבי תרשים אחד את הפונקציות $|\tilde{V}_1^+(z_m, \omega)|$ ו- \log ועל גבי תרשים שני את $\angle \tilde{V}_1^+(z_m, \omega)$ עבור $\omega \in [-4\omega_0, 4\omega_0]$. הסבירו את התוצאות שהתקבלו.

יג. באמצעות התמרת פורייה הפוכה (בדיוק כפי שמוסבר בחלק הראשון), חשבו את הפונקציות הזמניות $V_1^+(z_m, t)$ עבור מיקומי מיקומי z_m השונים. הדפיסו, על גבי תרשים אחד, את האותות $V_1^+(z_m, t)$ כפונקציה של הזמן ואת המעטפת הגאומטרית $v_0 g(t)$. הסבירו את התוצאה שהתקבלה - דונו בגורמי עיוות האות השונים.

יד. עבור כל אחד מערכי z_m שבסעיפים הקודמים, השוו תוצאת סעיף י"ג לתוצאה המתקבלת ע"י שימוש בפיתוח האנליטי שנלמד בהרצאה, העושה שימוש בקירוב עבור אות צר-סרט. הצביעו על ההבדלים בתוצאות והסבירו מה הגורמים להם.

טו. כיצד ישתנו התשובות לסעיף י"ג ו-י"ד עבור ערך $\tau = 600\text{ps}$? מהם הגורמים להבדלים, אם יש כאלה?