

תקשורת אופטית תרגיל מטלב 1

בתרגיל זה נחשב ונבחן כיצד צורות פולסים שונות מתפשטות בתווך דיספרסיבי. בהרצאה ראינו שניתן להתייחס לתווך הדיספרסיבי כמערכת לינארית עם תגובת תדר מהצורה:

$$H_{fiber}(\omega) = \exp\left(-j\frac{\beta_2}{2}L\omega^2\right)$$

נשתמש בנוסחה זו וב-MATLAB כדי לבחון התפשטות צורות פולס שונות לאורך הסיב. נניח את הנתונים הבאים:

$$\beta_2 = -20 \frac{ps^2}{km}$$
$$L = 50 km$$

1. נתון פולס גאوسی בעל מעטפת שדה מהצורה: $A(t) = A_0 \exp(-t^2/2T_0^2)$ ברוחב $T_0 = 25 ps$, הצג/י על גרף אחד את צורת הפולס בכניסה וביציאה מהסיב. חשבו את התרחבות הפולס והשווה/י לנוסחה שפותחה בהרצאה, ציינו פי כמה התרחב הפולס. הצג/י גם את צורת הפולסים (בכניסה וביציאה מהסיב) **בתדר** (ערך מוחלט).

ניעזר בנוסחה מההרצאה על מנת לחשב את התרחבות הפולס:

$$T_1(L) = T_0 \cdot \sqrt{1 + \left(\frac{\beta_2 L}{T_0^2}\right)^2} \Rightarrow \frac{T_1(L)}{T_0} = \sqrt{1 + \left(\frac{\beta_2 L}{T_0^2}\right)^2}$$

נציב את הנתונים שקיבלנו:

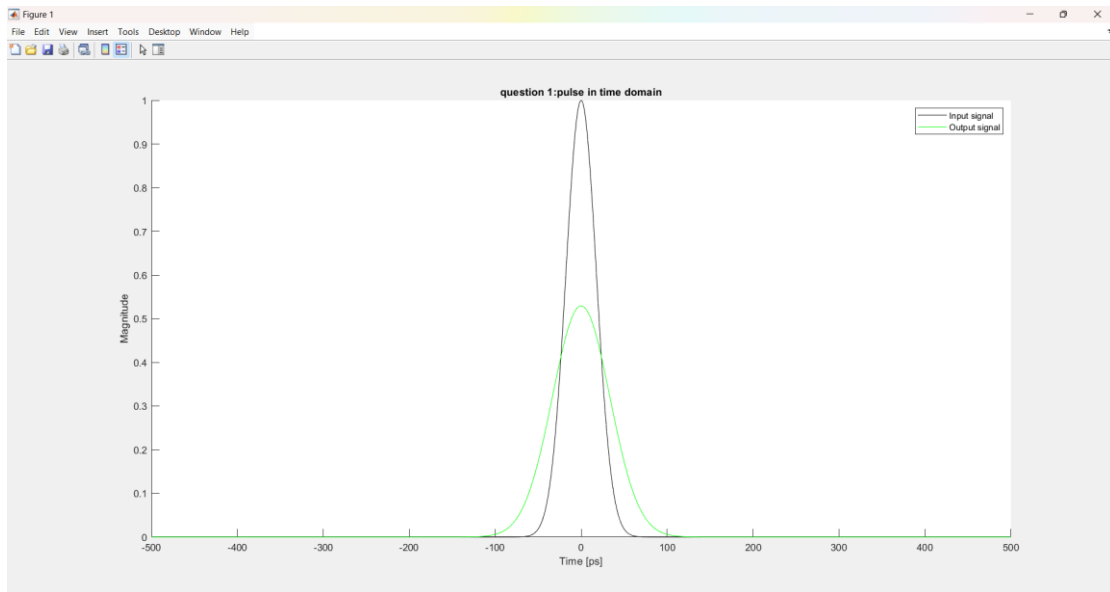
$$\beta_2 = -20 \left[\frac{ps^2}{km} \right], \quad L = 50 [km] \quad \Rightarrow \quad T_1(L) = 47.169 [psec]$$

$$\frac{T_1(L)}{T_0} \approx 1.88$$

עכשיו נעבור לפתרון במטלב ונשווה לפתרון שקיבלנו לפי חישוב:

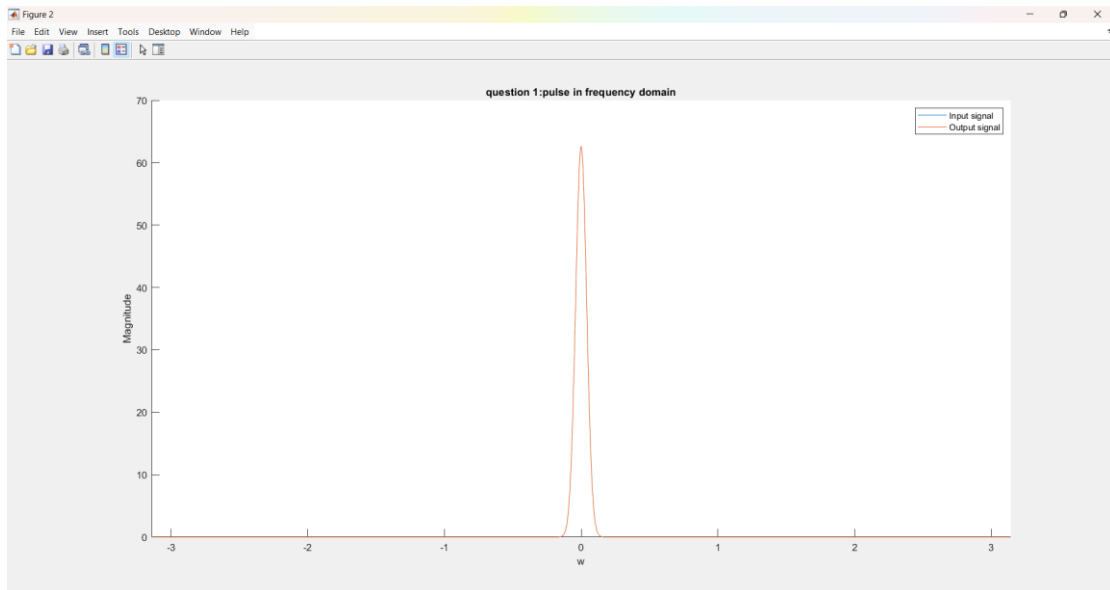
נמצא את הפולס בכניסה וביציאה מהסיב-נזכור שנתון לנו שניתן להתייחס לתווך כאל פונקציית תמסורת שנתונה לנו $H_{fiber}(w) = e^{-\frac{j\beta_2}{2}Lw^2}$, לכן-אם נרצה למצוא את הפולס בזמן ביציאה פשוט נבצע קונבולוציה עם הפונקציית תמסורת הזו-בפועל נעשה זאת בתדר ולאחר מכן נבצע התמרה הפוכה (קונבולוציה בזמן היא מכפלה בתדר).

כעת, מכיוון שהסיב גורם להנחתה של הפולס-נצפה שמשמור אנרגיה הפולס ייתרחב במוצא והגובה שלו יירד:



ניתן לראות שאכן קיבלנו את המצופה.

כאשר אנו מחשבים את האות במוצא בתדר, יש לזכור כי בתדר בסך הכול הכפלנו את האות במסן, שהוא רכיב מרוכב מהצורה $e^{-\frac{j\beta_2}{2}Lw^2}$ משמעות הדבר היא שהפאזה של האות משתנה, אך המשרעת נשארת ללא שינוי. לכן, לאחר חישוב הערך המוחלט, הפאזה מתבטלת, והאות בתדר נותר ללא שינוי:



ואכן קיבלנו את המצופה: ניתן לראות שאכן הפולס בתדר בכניסה ובמוצא נראים אותו דבר בדיוק.

נחשב את רוחב הפולס ביציאה ובכניסה, שוב-נצפה שיהיה רוחב פולס גדול יותר במוצא מאשר בכניסה:

The T_0 for the input of $A_0 \exp(-t^2/2T_0^2)$ is: 25 [ps]

The T_0 for the Output of $A_0 \exp(-t^2/2T_0^2)$ is: 47 [ps]

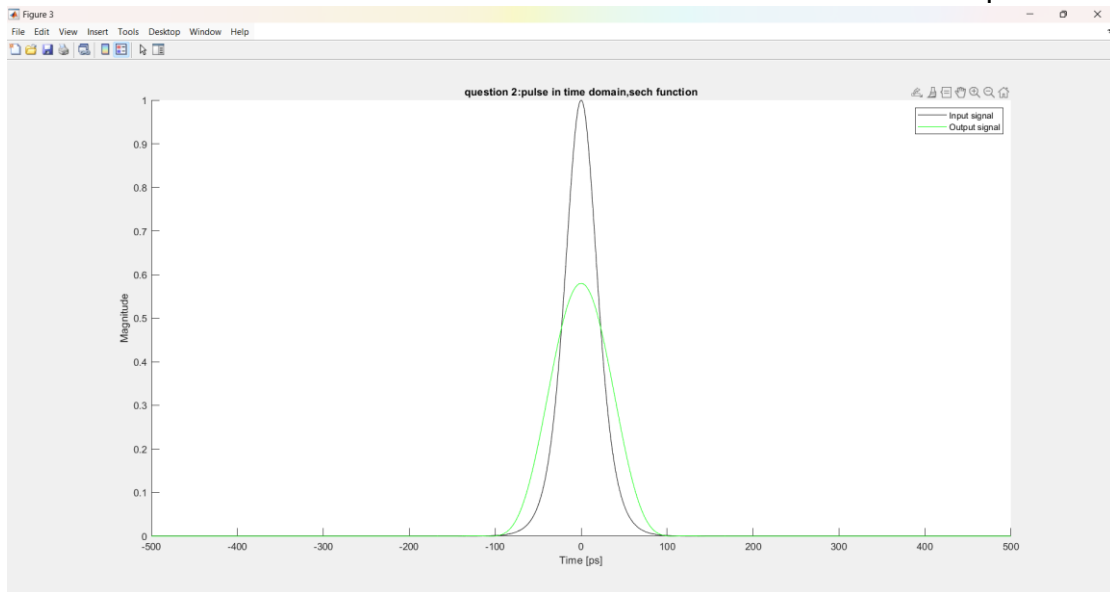
אכן אפשר לראות שקיבלנו כאן 47 ולפי החישוב המתמטי למעלה קיבלנו 47.169 שאכן זה קרוב לתוצאה שרצינו לקבל.

2. פתורי באופן דומה עבור פולס בעל מעטפת שדה מהצורה שלהלן ועם רוחב זמני זהה לזה מהסעיף הקודם $T_0 = 25 \text{ ps}$: (הצורה מוגדרת ב-MATLAB, חפשו sech)

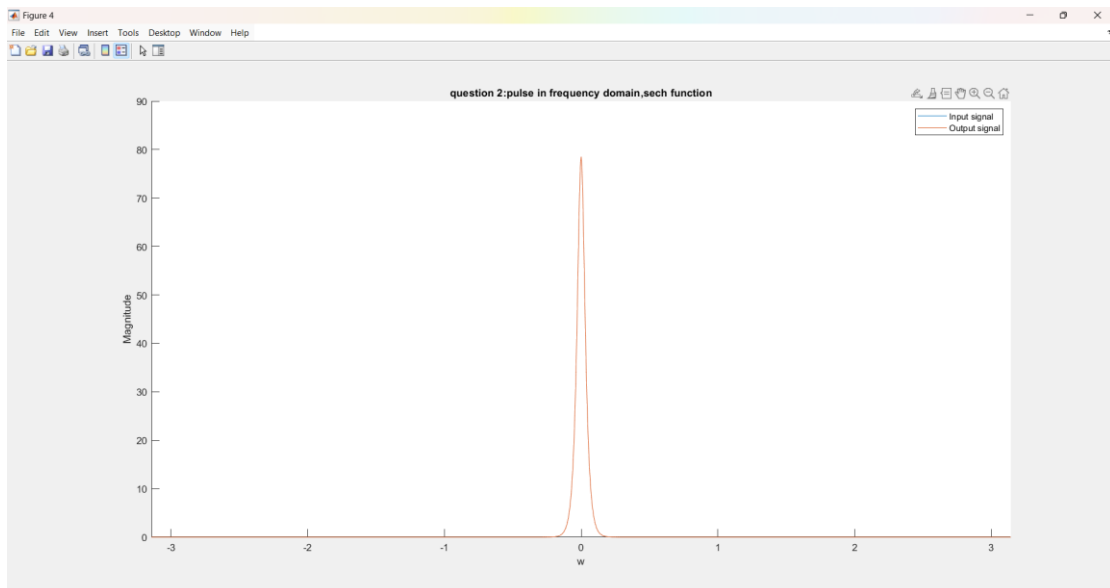
$$A(t) = \text{sech}\left(\frac{t}{T_0}\right), \quad \left\{ \text{sech}(z) = \frac{1}{\cosh(z)} \right\}$$

ציין/י בכמה התרחב הפולס. (השווה יחסית ל T_0)

הפולס בזמן בכניסה וביציאה יהיה:



בתדר:



שוב-קיבלנו שני פולסים ממורכזים סביב האפס כשהפולס בכניסה גבוה וצר יותר וביציאה הוא נמוך ו"שמן" יותר ובתדר קיבלנו את אותו הפולס ביציאה.

נחשב את רוחב הפולסים בכניסה ובמוצא:

The T_0 for the input of $A0\text{sech}(t/T0)$ is: 25 [ps]

The T_0 for the Output of $A0\text{sech}(t/T0)$ is: 46 [ps]

גם במקרה הזה קיבלנו תוצאה שקרובה לתוצאה מהחישוב התיאורטי אך בפחות מדויק מהמקרה הראשון, יחס הפולס במקרה זה הינו:

$$\frac{T_1(L)}{T_0} \approx 1.84$$

3. בשימוש ברוחב הפולס ו- β_2 מסעיף 1, ובהינתן הפסדי הולכה של $\alpha = 0.2 \left[\frac{dB}{km} \right]$, ובהנחה שהמקלט מסוגל לגלות את המידע לאחר הנחתה מקסימלית של 20 dB ביחס לכניסה (שימו לב לאורך הסיב כאן), מהו הקצב המקסימלי בו אפשר לעבוד בלי שהדיספרסיה תציג מגבלה קשה יותר מההפסדים?

תחילה נחפש את אורך Z המרבי של הסיב שנוכל להשתמש כך שנקבל הפסד מקסימלי של 20 [dB]

$$\alpha * z = 20 \text{ [dB]} \rightarrow z = \frac{20}{0.2} = 100 \text{ [km]}$$

כעת נרצה למצוא את התרחבות הפולס במוצא:

$$T_1(z) = T_0 \cdot \sqrt{1 + \left(\frac{z}{L_D} \right)^2} = 83.815 \text{ [psec]}$$

כעת נותר רק להציב בנוסחה המקשרת בין הרוחב לקצב העברת המידע:

$$B \leq \frac{1}{\sqrt{8}T_1(z)} = 4.218 \left[\frac{\text{Gbit}}{\text{sec}} \right]$$

*מצורף גם פיתרון במטלב

4. כעת, נתון פולס גאוסי ברוחב $T_0 = 5 \text{ ps}$ ומניחים את הנתונים הבאים:

$$\beta_1 = 4.83 \frac{\text{ns}}{\text{m}}, \quad \beta_2 = -20 \frac{\text{ps}^2}{\text{km}}, \quad L = 5 \text{ km}$$

הציגו את צורת הפולס בכניסה וביציאה מהסיב. חשבו את התרחבות הפולס והשווה/י לנוסחה שפותחה בהרצאה. האם השהיה בזמן וההרחבה תואמת את ציפיותיכם? הסבירו. שימו לב שיש צורך לשנות את תגובת התדר של הסיב (הציגו גם עבור פולס ברוחב $T_0 = 25 \text{ ps}$).

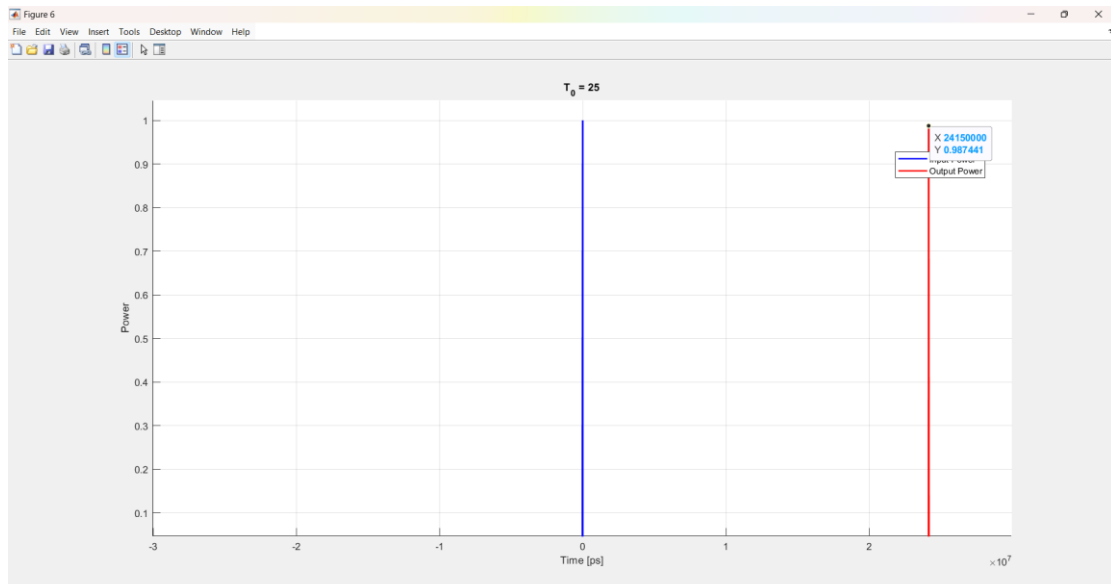
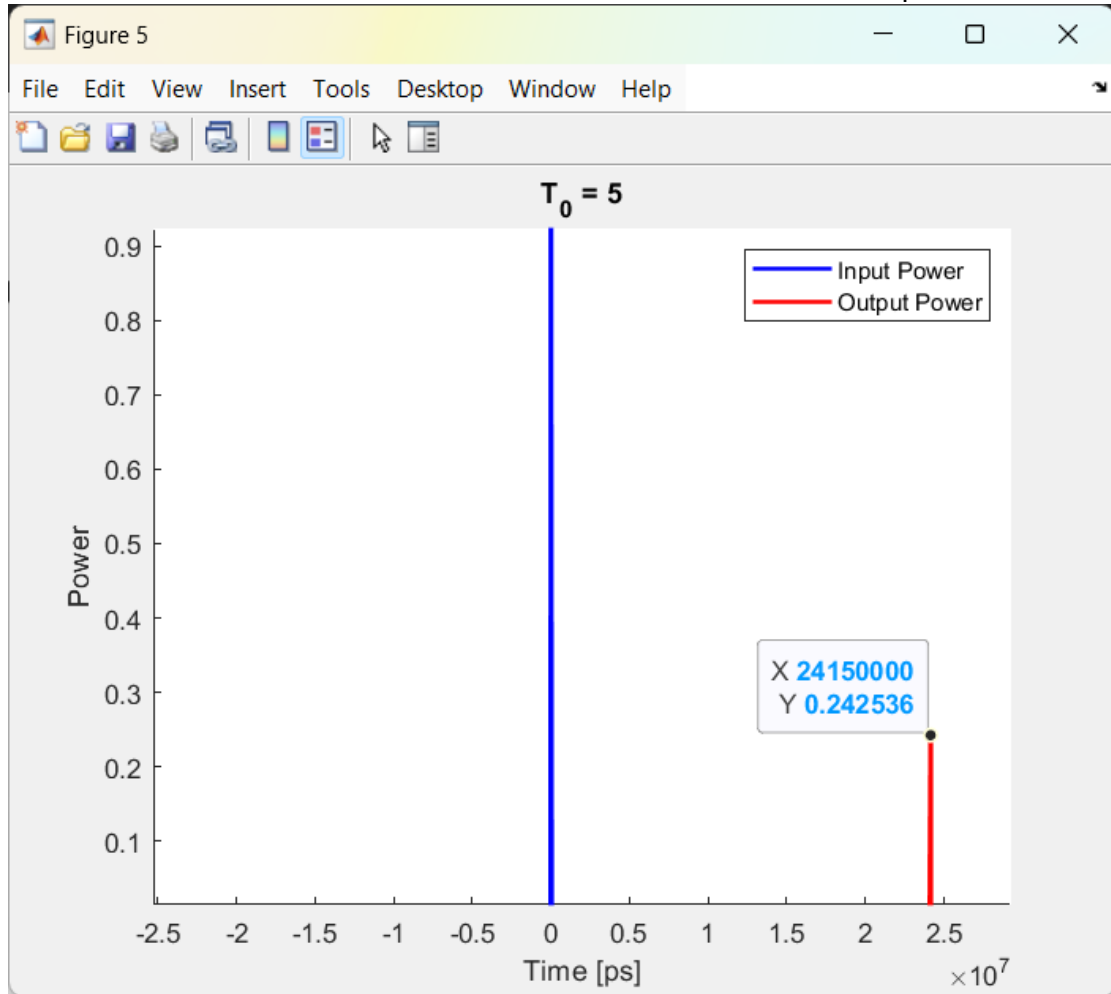
נשים לב שכעת-בשונה משאלות קודמות-יש רכיב נוסף- β_1 שגורם לשהייה בזמן:

נצפה לראות הזזה של הפולס בזמן בנוסף לשינוי של רוחב הפולס בגודל של $\beta_1 * L = \frac{4.83[\text{ns}]}{[\text{m}]} * 5 * 10^3 [\text{m}]$

$$5[\text{km}] = 4.83 * \frac{10^3[\text{ps}]}{[\text{m}]} * 5 * 10^3 [\text{m}] = 24.15 * 10^6 [\text{ps}]$$

כלומר לפי הנוסחה נצפה לקבל השהייה של $24150000 [\text{psec}]$

בפועל מה שאנו מקבלים:



ואכן קיבלנו את המצופה-יש הזזה בזמן ושינוי של רוחב הפולס בשני המקרים זהה לחישוב המתמטי כמו שרצינו לקבל.

נשים לב שלא ניתן לראות מהמטלב שינוי נראה לעין של רוחב הפולס-כנראה מכיוון של קטן מכדי שלא יהיה זניח.

עכשיו נבדוק את רחבי הפולס בשני המקרים:

The pulse width T_0 for the input ($T_0 = 5$) is: 5 [ps]
The pulse width T_0 for the output ($T_0 = 5$) is: 20 [ps]
The pulse width T_0 for the input ($T_0 = 25$) is: 25 [ps]
The pulse width T_0 for the output ($T_0 = 25$) is: 25 [ps]

ואם נשווה אותם לתוצאה החישובית:

$$T_1(L) = T_0 \cdot \sqrt{1 + \left(\frac{\beta_2 L}{T_0^2}\right)^2}$$

$$T_0 = 5 [ps]: T_1 = 20.615 [psec]$$

$$T_0 = 25 [ps]: T_1 = 25.318 [psec]$$

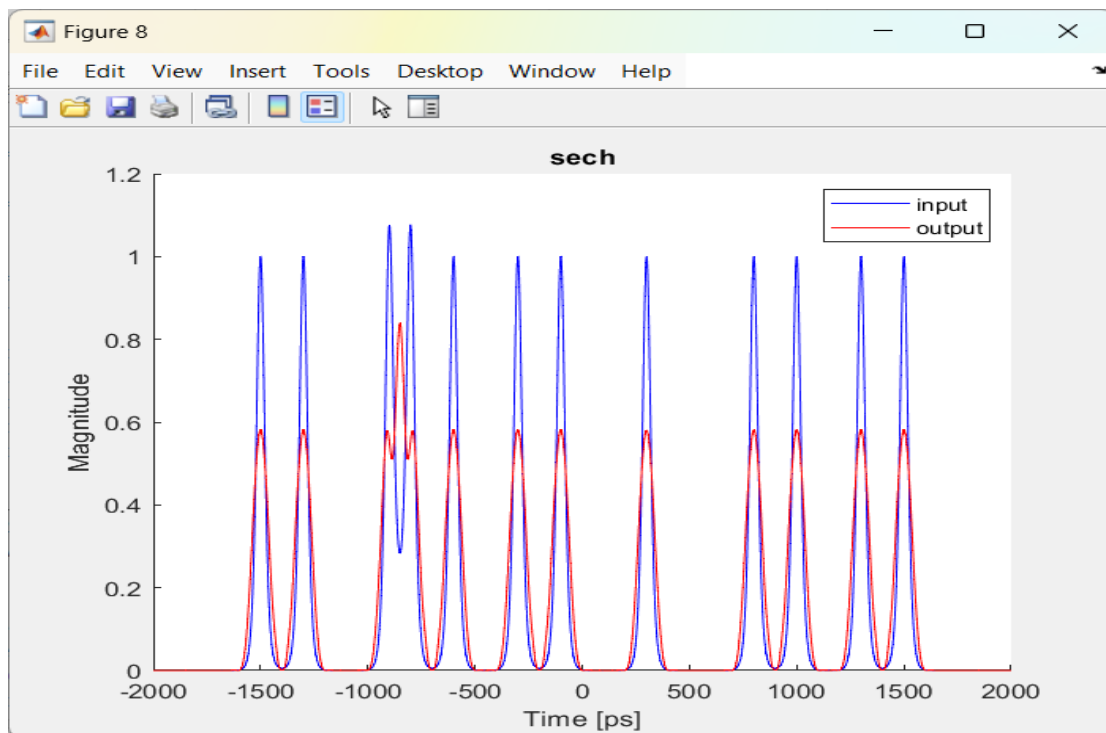
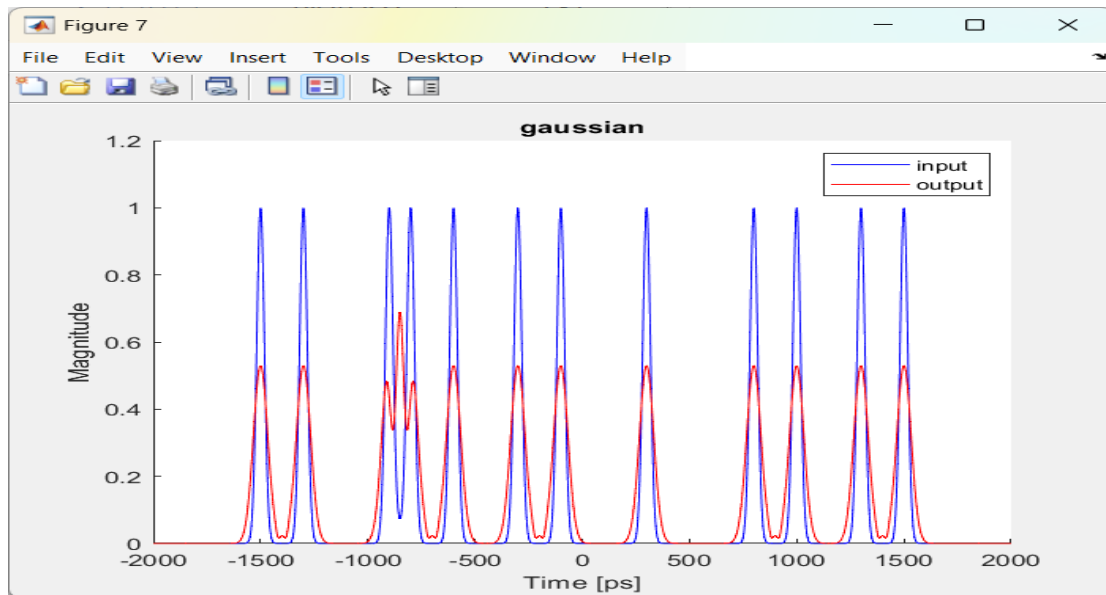
ניתן להגיד שאכן קיבלנו תוצאות זהות.

5. כעת בחרו מילה בינארית כלשהי בת 32 ביטים והרכיבו אותה על שתי צורות הפולסים מהסעיפים הקודמים (סעיפים 1 ו-2). קדמו את המילה ליציאה מסיב באורך $L = 50 km$, כאשר קצב השידור הינו $B = 10 Gbit/s$ ורוחב הפולס הוא $T_0 = 25 ps$. הציגו את צורת האות בכניסה ויציאה עבור שתי המעטפות והסבירו. אם ביציאה לא ניתן להבחין בין הביטים השונים, הסבירו וחשבו מה ניתן לעשות.

כאשר נרצה להעביר פולסים בתווך, עלינו לשים לב לבעיה אפשרית של "דריכות (overlapping)" בין הפולסים. מצב זה עשוי להתרחש מכיוון שכפי שהוסבר בסעיפים קודמים, הפולסים מתרחבים עם הזמן. כתוצאה מדיספרסיה.

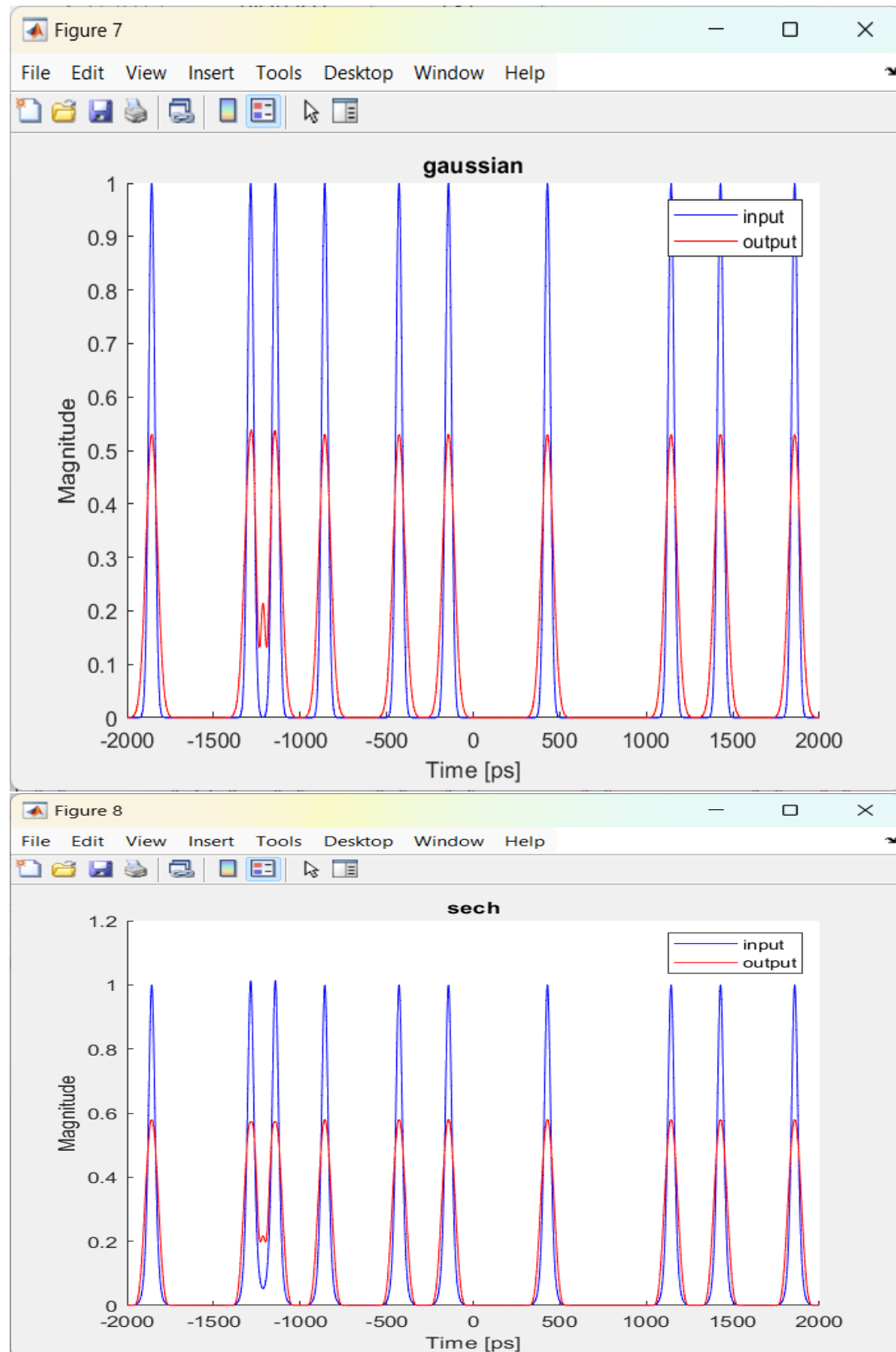
כדי להתגבר על הבעיה ולהבטיח שניתן יהיה לזהות את הפולסים במוצא בצורה ברורה, עלינו לשדר פולסים בצורה מתוכננת בכניסה.

תחילה נשדר לפי התנאים הנתונים לנו:



ניתן לראות שבאופן כללי, הפולסים מתקבלים במוצא באותם מיקומים שבהם הם שודרו בכניסה. עם זאת, כאשר שני פולסים קרובים מדי זה לזה (לדוגמה, סביב -750) מתרחשת סופרפוזיציה בין שני הפיקים. התוצאה היא הופעת פיק גדול נוסף במיקום שבו לא אמור להיות פיק.

כדי לפתור את הבעיה, ננסה להקטין את קצב השידור כך שיהיה מרווח גדול יותר בין הפיקים. לשם כך, נקטין את הפרמטר B להיות $B=7/1000$:

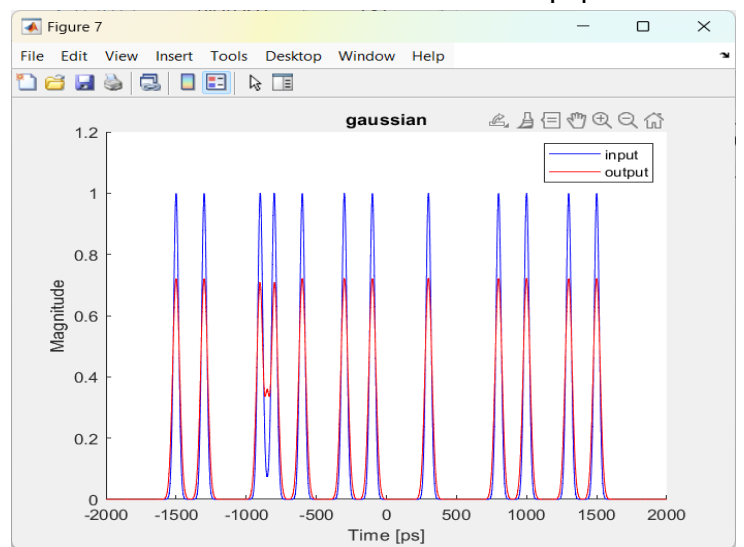
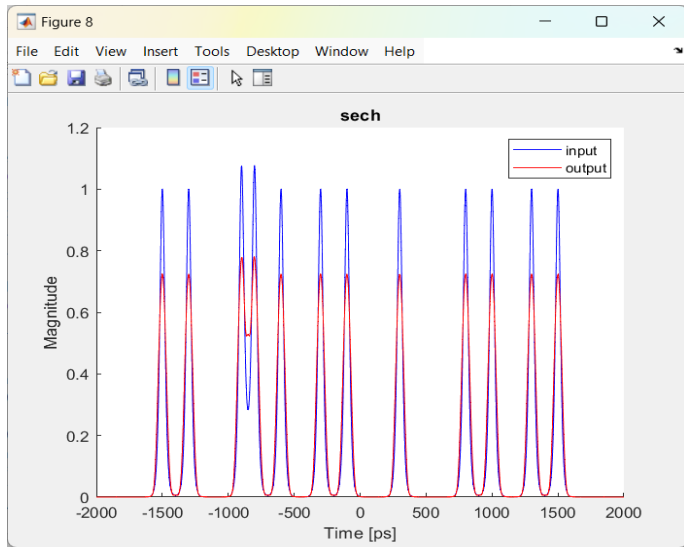


ואכן, ניתן לראות שהפתרון הצליח – הפיק העודף שהיה נוצר כתוצאה מהסופרפוזיציה התקטן מאוד, וכעת ניתן להבחין בינו לבין הפיקים האמיתיים.

נסה גישה נוספת: הקטנת אורך הסיב L :

ההנחה כאן היא שכאשר האות עובר מרחק קצר יותר, הוא יישתנה פחות כתוצאה מדיספרסיה במהלך המעבר, וכפועל יוצא יהיה קרוב יותר לצורתו המקורית.

נקטין את L להיות $L=30$:



ואכן ניתן לראות שהצלחנו-הרכיב המיותר התקטן וניתן להבחין בין הפולסים.