

# מבוא להנדסת חשמל 2 (2000611)



## תוכן העניינים

1. חזרה כללית ומושגים יסודיים בחשמל ומגנטיות ..... (ללא ספר)
2. מבוא לאותות ומערכות ליניאריות ..... (ללא ספר)
3. יסודות המעגל החשמלי ..... (ללא ספר)
4. שיטות יסודיות בניתוח מעגלים ..... (ללא ספר)
5. משפטי הרשת ..... (ללא ספר)
6. מבוא לרכיבים ריאקטיביים במעגל החשמלי ..... (ללא ספר)
7. מעגלים מסדר ראשון ..... (ללא ספר)
8. מעגלים מסדר שני ..... (ללא ספר)
9. מעגלי זרם חילופין ומעגלי תהודה ..... (ללא ספר)
10. טורי פורייה ..... 1
11. התמרת פורייה ..... 20
12. התמרת לפלס ..... 40
13. פונקציות תמסורת, סרטוטי בודה והתמרות לפלס ..... (ללא ספר)
14. מעגלים מצומדים מגנטית ושנאים ..... (ללא ספר)
15. דיודות ..... (ללא ספר)
16. רשתות זוגיים (skrowten trop owT) ..... (ללא ספר)
17. רשתות תלת פאזיות ..... (ללא ספר)
18. מעגלים מגנטים ..... (ללא ספר)

# מבוא להנדסת חשמל 2 (2000611)

פרק 1 - חזרה כללית ומושגים יסודיים בחשמל ומגנטיות

תוכן העניינים

1. חזרה על מושגי יסוד בחשמל ..... (ללא ספר)

2. חזרה על מושגי יסוד במגנטיות ..... (ללא ספר)

# מבוא להנדסת חשמל 2 (2000611)

פרק 2 - מבוא לאותות ומערכות ליניאריות

תוכן העניינים

1. אותות ..... (ללא ספר)
2. תכונות של אותות ..... (ללא ספר)
3. מערכות ליניאריות ..... (ללא ספר)

# מבוא להנדסת חשמל 2 (2000611)

פרק 3 - יסודות המעגל החשמלי

תוכן העניינים

1. הגדרות יסודיות במעגלים חשמליים ..... (ללא ספר)

# מבוא להנדסת חשמל 2 (2000611)

פרק 4 - שיטות יסודיות בניתוח מעגלים

תוכן העניינים

1. חיבור נגדים בטור ובמקביל ..... (ללא ספר)
2. מחלק מתח ומחלק זרם ..... (ללא ספר)
3. המרת כוכב משולש ..... (ללא ספר)
4. גשר ויטסטון ..... (ללא ספר)
5. מכשירי מדידה ..... (ללא ספר)

# מבוא להנדסת חשמל 2 (2000611)

פרק 5 - משפטי הרשת

תוכן העניינים

1. ניתוח מעגלים מרובי מקורות - הקדמה כללית ..... (ללא ספר)
2. המרת מקורות ..... (ללא ספר)
3. שיטת מתחי צמתים ..... (ללא ספר)
4. נוסחת מילמן ..... (ללא ספר)
5. שיטת זרמי חוגים ..... (ללא ספר)
6. מאזן הספקים ..... (ללא ספר)
7. שיטת סופרפוזיציה ..... (ללא ספר)
8. שקולי תבנין ונורטון ..... (ללא ספר)
9. ניתוח מעגלים עם מקורות תלויים ..... (ללא ספר)

# מבוא להנדסת חשמל 2 (2000611)

פרק 6 - מבוא לרכיבים ריאקטיביים במעגל החשמלי

תוכן העניינים

1. הקבל במעגל החשמלי ..... (ללא ספר)
2. הסליל במעגל החשמלי ..... (ללא ספר)

# מבוא להנדסת חשמל 2 (2000611)

פרק 7 - מעגלים מסדר ראשון

תוכן העניינים

1. פתרון של משוואות דיפרנציאליות מסדר ראשון ..... (ללא ספר)
2. ניתוח מעגלים מסדר ראשון ..... (ללא ספר)

# מבוא להנדסת חשמל 2 (2000611)

פרק 8 - מעגלים מסדר שני

תוכן העניינים

1. פתרון של משוואות דיפרנציאליות מסדר שני ..... (ללא ספר)
2. ניתוח מעגלים מסדר שני ..... (ללא ספר)

# מבוא להנדסת חשמל 2 (2000611)

פרק 9 - מעגלי זרם חילופין ומעגלי תהודה

תוכן העניינים

1. מעגלי זרם חילופין ..... (ללא ספר)
2. הספקים במעגלי זרם חילופין ..... (ללא ספר)
3. מעגלי תהודה ..... (ללא ספר)

# מבוא להנדסת חשמל 2 (2000611)

פרק 10 - טורי פורייה

תוכן העניינים

1. טור פורייה ממשל ..... 1
2. טור פורייה מרוכב ..... 2
3. משפט פרסבל ..... 3
4. רימן לבג ..... 6
5. משפט דיריכלה ..... 7
6. המשכה זוגית ואי זוגית ..... 9
7. גזירה ואינטגרציה של טורי פורייה ..... 10
8. טור פורייה בקטע כללי ..... 13
9. התכנסות במידה שווה של טורי פורייה ..... 15
10. משפט הקונבולוציה ..... 16
11. תרגילים מסכמים ..... 18

## טור פורייה ממשי:

### שאלות:

(1) חשבו טור פורייה ממשי לפונקציה  $f(x) = x$  בקטע  $[-\pi, \pi]$ .

(2) מצאו טור פורייה של  $f(x)$  בקטע  $[-\pi, \pi]$  כאשר  $f(x) = \begin{cases} 1 & 0 < x < \pi \\ 0 & -\pi < x < 0 \end{cases}$ .

(3) מצאו טור פורייה של  $f(x)$  בקטע  $[-\pi, \pi]$  כאשר  $f(x) = \sin(|x|)$ .

(4) מצאו טור פורייה של  $f(x)$  בקטע  $[-\pi, \pi]$  כאשר  $f(x) = \begin{cases} 1 & |x| < 1 \\ 0 & \text{else} \end{cases}$ .

### תשובות סופיות:

$$\sum_{n=1}^{20} -\frac{2}{n} (-1)^n \sin(nx) \quad (1)$$

$$f(x) \sim \frac{1}{2} + \sum_{k=1}^{\infty} \frac{2}{\pi(2k-1)} \sin((2k-1)x) \quad (2)$$

$$\sin(|x|) \sim \frac{2}{\pi} + \sum_{k=1}^{\infty} \frac{4}{\pi} \frac{1}{1-(2k)^2} \cos(2kx) \quad (3)$$

$$f(x) \sim \frac{1}{\pi} + \sum_{n=1}^{\infty} \frac{2}{\pi} \frac{\sin(n)}{n} \cos(nx) \quad (4)$$

## טור פורייה מרוכב:

### שאלות:

(1) חשבו טור פורייה מרוכב לפונקציה  $f(x) = x$  בקטע  $[-\pi, \pi]$ .

(2) מצאו טור פורייה של  $f(x)$  בקטע  $[-\pi, \pi]$  כאשר  $f(x) = \begin{cases} -x & -\pi \leq x < 0 \\ 0 & 0 \leq x < \pi \end{cases}$

(3) מצאו טור פורייה של  $f(x)$  בקטע  $[-\pi, \pi]$  כאשר  $f(x) = \begin{cases} x & -\pi \leq x < 0 \\ 2x & 0 \leq x < \pi \end{cases}$

(4) מצאו טור פורייה של  $f(x)$  בקטע  $[-\pi, \pi]$  כאשר  $f(x) = \begin{cases} 1 & -\pi \leq x < 0 \\ -2 & 0 \leq x < \pi \end{cases}$

(5) מצאו טור פורייה מרוכב של  $f(x)$  בקטע  $[-\pi, \pi]$  כאשר  $f(x) = \begin{cases} 0 & -\pi \leq x < 0 \\ \sin(x) & 0 \leq x < \pi \end{cases}$

### תשובות סופיות:

$$x \sim \sum_{n=-\infty}^{n=\infty} i \frac{(-1)^n}{n} e^{inx} \quad (1)$$

$$f(x) \sim \frac{\pi}{4} + \sum_{\substack{n=-\infty \\ n \neq 0}}^{\infty} -\frac{1}{2\pi} \left\{ -\pi \frac{(-1)^n}{in} + \frac{1 - (-1)^n}{n^2} \right\} e^{inx} \quad (2)$$

$$f(x) \sim \frac{\pi}{4} + \sum_{\substack{n=-\infty \\ n \neq 0}}^{\infty} \frac{1}{2\pi} \left[ -\frac{1}{n^2} + \frac{(-1)^n}{n^2} - 3(-1)^n \frac{\pi}{in} \right] e^{inx} \quad (3)$$

$$f(x) \sim -\frac{1}{2} - \sum_{k=-\infty}^{k=\infty} \frac{3}{\pi i (2k-1)} e^{i(2k-1)x} \quad (4)$$

$$f(x) \sim \frac{1}{4i} e^{ix} - \frac{1}{4i} e^{-ix} + \sum_{k=-\infty}^{\infty} \frac{1}{\pi} \frac{1}{1 - (2k)^2} e^{i[2k]x} \quad (5)$$

## משפט פרסבל:

### שאלות:

(1) באמצעות טור הפורייה  $x \sim \sum_{n=1}^{\infty} -\frac{2}{n}(-1)^n \sin(nx)$ , חשבו את הסכום  $\sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{n^2}$ .

(2) נתון כי טור הפורייה הממשי של  $f(x) = \begin{cases} 1 & 0 < x < \pi \\ 0 & -\pi < x < 0 \end{cases}$  בקטע  $[-\pi, \pi]$

הינו  $\frac{1}{2} + \sum_{k=1}^{\infty} \frac{2}{\pi(2k-1)} \sin((2k-1)x)$ . הוכיחו כי  $\sum_{k=1}^{\infty} \frac{1}{(2k-1)^2} = \frac{\pi^2}{8}$ .

(3) נתונות הפונקציות  $f(x) = \begin{cases} 0 & 0 \leq x \leq \pi \\ x + \pi & -\pi \leq x < 0 \end{cases}$  ו- $g(x) = x - \pi$ .

מצאו להן טורי פורייה ממשיים והוכיחו באמצעותם כי  $\sum_{n=1}^{\infty} \frac{(-1)^n}{n^2} = -\frac{\pi^2}{12}$ .

(4) מצאו טור פורייה מרוכב של הפונקציה  $f(x) = \begin{cases} 1 & 0 < x \leq \pi \\ 0 & -\pi < x \leq 0 \end{cases}$  ובאמצעותו

חשבו את הסכום  $\sum_{n=-\infty}^{n=\infty} \frac{1}{(2n+1)^2}$ .

(5) נתונות הפונקציות  $f(x) = \begin{cases} 1 & 0 \leq x \leq \pi \\ e^{x^2} & -\pi \leq x < 0 \end{cases}$  ו- $g(x) = \begin{cases} 0 & 1 < x \leq \pi \\ \frac{1}{x^2+1} & 0 \leq x \leq 1 \\ 0 & -\pi \leq x < 0 \end{cases}$

נסמן את טורי פורייה המרוכבים שלהם ב- $f \sim \sum_{n=-\infty}^{n=\infty} f_n e^{inx}$ ,  $g \sim \sum_{n=-\infty}^{n=\infty} g_n e^{inx}$ .

הוכיחו כי  $\sum_{n=-\infty}^{n=\infty} f_n \cdot \overline{g_n} = \frac{1}{8}$ .

(6) נתונה פונקציה מחזורית עם מחזור  $2\pi$  :

$$f(x) = \sinh(x) = \frac{e^x - e^{-x}}{2}, \quad -\pi \leq x < \pi$$

א. שרטטו את גרף הפונקציה בקטע  $-3\pi < x < 3\pi$ .

ב. פתחו את הפונקציה לטור פורייה ממשי.

ג. חשבו את סכום הטור  $\sum_{n=1}^{\infty} \frac{n^2}{(1+n^2)^2}$ .

(7) הפונקציה  $f(x)$  מוגדרת בקטע  $[-\pi, \pi]$  על ידי הנוסחה:  $f(x) = \sum_{n=1}^{\infty} \sqrt{\frac{1}{n^2} - \frac{1}{(n+2)^2}} e^{inx}$

חשבו  $\int_{-\pi}^{\pi} |f(x+\pi) - f(x)|^2 dx$ .

(8) היעזרו בפיתוח פורייה של הפונקציה  $f(x) = \sin\left(\frac{px}{2}\right)$  בקטע  $[-\pi, \pi]$  כאשר  $p \neq 0$

כדי להוכיח את הזהות  $\sum_{n=1}^{\infty} \frac{n^2}{(1-4n^2)^2} = \frac{\pi^2}{64}$

(9) היעזרו בפיתוח פורייה של הפונקציה  $f(x) = \begin{cases} h^2 & h \leq x \leq \pi \\ 0 & -\pi \leq x \leq h \end{cases}$  בקטע  $[-\pi, \pi]$

כאשר  $0 \neq h \in [-\pi, \pi]$  ובשוויון פרסבל כדי לחשב  $\sum_{n=1}^{\infty} \frac{1 - (-1)^n \cos(2n)}{n^2}$

(10) ענו על הסעיפים הבאים:

א. מצאו טור פורייה מרוכב של  $f(x) = \sin\left(\frac{x}{2}\right)$  בקטע  $[-\pi, \pi]$ .

ב. הוכיחו באמצעות הטור מסעיף א' כי  $\sum_{n=-\infty}^{\infty} \frac{n^2}{(1-4n^2)^2} = \frac{\pi^2}{32}$

ג. הסיקו כי  $\sum_{n=1}^{\infty} \frac{n^2}{(1-4n^2)^2} = \frac{\pi^2}{64}$

## תשובות סופיות:

$$\frac{\pi^2}{6} \quad (1)$$

(2) הוכחה.

(3) הוכחה.

$$\frac{\pi^2}{4} \quad (4)$$

(5) הוכחה.

(6) א. ראו סרטון.

ג.  $\approx 0.769$ 

$$8\pi \quad (7)$$

(8) הוכחה.

$$\frac{\pi^2 - 4}{4} \quad (9)$$

$$(10) \quad \text{א. } \sin\left(\frac{x}{2}\right) \sim \sum_{n=-\infty}^{\infty} \frac{4n(-i)(-1)^n}{\pi(1-4n^2)} e^{inx} \quad \text{ב. הוכחה.}$$

ג. ראו סרטון.

## רימן לבג:

### שאלות:

$$(1) \text{ חשבו } \lim_{n \rightarrow \infty} \int_{-\pi}^{\pi} e^{x^2+2x} \cos(\sqrt{|x|}) \sin(nx) dx$$

$$(2) \text{ חשבו } \lim_{n \rightarrow \infty} \int_{-\frac{\pi}{n}}^{\frac{\pi}{n}} \frac{n}{(nt)^2 + 1} e^{i \cdot n^2 t} dt$$

$$(3) \text{ הוכיחו כי } \lim_{n \rightarrow \infty} \left( n \int_{-\pi}^{\pi} \int_0^x \frac{se^{s^2}}{\sqrt{s^2 + 2017}} e^{inx} dx \right) = 0$$

### תשובות סופיות:

0 (1)

0 (2)

הוכחה. (3)

## משפט דיריכלה:

### שאלות:

(1) בתרגיל קודם פיתחנו את הפונקציה  $f(x) = x$  בקטע  $[-\pi, \pi]$  לטור פורייה

$$. x \sim \sum_{n=1}^{\infty} -\frac{2}{n} (-1)^n \sin(nx)$$

$$. \sum_{k=1}^{\infty} \frac{(-1)^{k+1}}{2k-1} = \frac{\pi}{4}$$

היעזרו בפיתוח זה כדי להוכיח

$$. x = \frac{\pi}{2}$$

רמז: הציבו

$$. f(x) = \begin{cases} 2 + \frac{2x}{\pi} & -\pi < x < 0 \\ 2 & 0 < x < \pi \end{cases}$$

(2) נתונה פונקציה מחזורית עם מחזור  $2\pi$ :

א. שרטטו את גרף הפונקציה בתחום  $[-3\pi, 3\pi]$ .

ב. פתחו את הפונקציה לטור פורייה ממשי.

$$. \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{(2n-1)^2} = \frac{\pi^2}{8}$$

ג. הוכיחו כי

(3) במרחב הפונקציות  $L^2_{PC}[-\pi, \pi]$  נתונה הפונקציה  $f(x) = x^2$ .

א. חשבו את טור פורייה הממשי של  $f(x)$ .

$$. \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{n^4}$$

ב. חשבו את הטור

$$. \sum_{n=1}^{\infty} \frac{(-1)^n}{n^2}$$

ג. חשבו את הטור

$$. \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{n^2}$$

ד. חשבו את הטור

(4) היעזרו בפיתוח פורייה של הפונקציה  $f(x) = \cos(ax)$  בקטע  $[-\pi, \pi]$  כאשר  $a$

אינו מספר שלם כדי להוכיח את הזהויות:

$$. \frac{1}{\sin(\pi a)} = \frac{1}{\pi a} + \sum_{n=1}^{\infty} (-1)^n \left[ \frac{1}{\pi a + \pi n} + \frac{1}{\pi a - \pi n} \right]$$

א.

$$. \cot(\pi \alpha) = \frac{1}{\pi \alpha} + \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{\pi \alpha + \pi n} + \frac{1}{\pi \alpha - \pi n}$$

ב.

## תשובות סופיות:

(1) הוכחה.

(2) א. ראו סרטון.

ג. הוכחה. ב.  $f(x) \sim \frac{3}{2} + \sum_{k=1}^{\infty} \frac{4}{\pi^2 (2k-1)^2} \cos([2k-1]x) + \sum_{n=1}^{\infty} \frac{2(-1)^n}{\pi n} \sin(nx)$

(3) א.  $x^2 \sim \frac{\pi^2}{3} + \sum_{n=1}^{\infty} 4 \frac{(-1)^n}{n^2} \cos(nx)$     ב.  $\frac{\pi^4}{90}$     ג.  $\frac{\pi^2}{-12}$     ד.  $\frac{\pi^2}{6}$

(4) א. הוכחה. ב. הוכחה.

## המשכה זוגית ואי זוגית:

### שאלות:

(1) נתונה הפונקציה  $f(x) = x$  בקטע  $[0, \pi]$ .

מצאו לה טור קוסינוסים:  $f \sim \frac{a_0}{2} + \sum_{n=1}^{\infty} a_n \cos(nx)$  והוכיחו כי לכל  $0 < x < \pi$

$$. x = \frac{\pi}{2} + \sum_{n=1}^{\infty} \frac{-4}{\pi(2k-1)^2} \cos([2k-1]x) \text{ מתקיים}$$

(2) נתונה הפונקציה  $f(x) = 1$  בקטע  $[0, \pi]$ .

מצאו לה טור סינוסים:  $f \sim \sum_{n=1}^{\infty} b_n \sin(nx)$  והוכיחו כי:

$$1 = \sum_{k=1}^{\infty} \frac{4}{\pi(2k-1)} \sin([2k-1]x) \text{ מתקיים } 0 < x < \pi \text{ לכל א.}$$

$$\text{ב. } \sum_{k=1}^{\infty} \frac{(-1)^k}{(2k-1)} = -\frac{\pi}{4}$$

### תשובות סופיות:

(1) הוכחה.

(2) א. הוכחה. ב. הוכחה.

## גזירה ואינטגרציה של טורי פורייה:

### שאלות:

(1) תהי  $f(x)$  פונקציה רציפה בקטע  $[-\pi, \pi]$  המקיימת  $f(-\pi) = f(\pi)$  ונניח כי היא גזירה למקוטעין ברציפות (כלומר נניח  $f'(x) \in L^2_{pc}[-\pi, \pi]$ ).

נסמן  $f(x) \sim \sum_{n=-\infty}^{\infty} c_n e^{inx}$  אזי הטור  $\sum_{n=-\infty}^{\infty} c_n e^{inx}$  מתכנס בהחלט.

(2) נתונה הפונקציה  $f(x) = x(\pi - x)$  בקטע  $[0, \pi]$ .

א. פתחו את הפונקציה לטור סינוסים.

ב. לאיזו פונקציה מתכנס הטור?

שרטטו את גרף הפונקציה (לפחות 3 מחזורים).

ג. הוכיחו כי  $\sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{(2n-1)^6} = \frac{\pi^6}{960}$

ד. הוכיחו כי  $\sum_{k=1}^{\infty} \frac{(-1)^{k+1}}{(2k-1)^3} = \frac{\pi^3}{32}$

ה. מצאו פיתוח לטור קוסינוסים של  $g(x) = \frac{\pi x^2}{2} - \frac{x^3}{3}$  בקטע  $[0, \pi]$ .

ו. בעזרת הטור הקודם הוכיחו כי  $\sum_{k=1}^{\infty} \frac{1}{(2k-1)^4} = \frac{\pi^4}{96}$ . רמז: הציבו  $x=0$ .

(3) נתונה הפונקציה  $f(x) = e^{x^2}$  בקטע  $[-\pi, \pi]$ .

נסמן  $f(x) \sim \sum_{n=-\infty}^{\infty} |c_n| e^{inx}$  פיתוח פורייה מרוכב.

א. האם הטור  $\sum_{n=-\infty}^{\infty} |c_n|$  מתכנס?

ב. האם הטור  $\sum_{n=-\infty}^{\infty} n |c_n|$  מתכנס?

ג. האם הטור  $\sum_{n=-\infty}^{\infty} n^2 |c_n|^2$  מתכנס?

(4) נתבונן בטור הפורייה  $f(x) = \sum_{n=0}^{\infty} e^{in(x+i)}$

כמה פעמים ניתן לגזור את  $f(x)$ ?

(5) ענו על הסעיפים הבאים :

א. הוכיחו כי  $\sum_{n=1}^{\infty} \frac{\sin(nx)}{n} = \frac{\pi-x}{2}$  בקטע  $(0, 2\pi)$ .

ב. נסמון  $g(x) = \sum_{n=1}^{\infty} \frac{\sin(nx)}{n^3}$ . מצאו את  $g(x)$  באופן מפורש (ללא טור) בקטע  $(0, 2\pi)$ .

(6) תהי  $f(x)$  גזירה ברציפות  $k-1$  פעמים בקטע  $[-\pi, \pi]$ , גזירה ברציפות למקוטעין  $k$

פעמים כך שמתקיים  $f^{(j)}(-\pi) = f^{(j)}(\pi)$  לכל  $j = 0, 1, \dots, k-1$ . נסמון  $f \sim \sum_{-\infty}^{\infty} c_n e^{inx}$ .

הוכיחו כי  $\lim_{n \rightarrow \infty} (n^k c_n) = 0$ .

(7) ענו על הסעיפים הבאים :

א. תהי  $f(x) \in L^2_{PC}[-\pi, \pi]$  פונקציה גזירה ברציפות המקיימת  $f(-\pi) = f(\pi)$

ו- $\int_{-\pi}^{\pi} f(x) dx = 0$ . הראו כי מתקיים  $\int_{-\pi}^{\pi} |f(x)|^2 dx \leq \int_{-\pi}^{\pi} |f'(x)|^2 dx$ .

ב. תהי  $f(x) \in L^2_{PC}[0, \pi]$  פונקציה גזירה ברציפות המקיימת  $f(0) = f(\pi) = 0$ .

הראו כי מתקיים  $\int_0^{\pi} |f(x)|^2 dx \leq \int_0^{\pi} |f'(x)|^2 dx$ .

(8) נגדיר  $f(x) = \sum_{-\infty}^{\infty} \frac{1}{n^2+1} e^{in^2x}$ .

א. הוכיחו כי  $f(x)$  רציפה.

ב. הוכיחו כי  $f(x)$  אינה גזירה ברציפות.

(9) נגדיר  $f(x) = \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{n^3+1} \sin(n^{2.5}x)$

א. הוכיחו כי  $f(x)$  רציפה.

ב. הוכיחו כי  $f(x)$  אינה גזירה ברציפות.

(10) נסמון  $f(x) = \sum_{n=1}^{\infty} \frac{\cos(nx)}{n^{1.4}} + \frac{\sin(nx)}{n^{2.8}}$

א. האם  $f$  רציפה?

ב. האם  $f$  גזירה ברציפות?

(11) נגדיר  $f(x) = \sum_{n=1}^{\infty} \frac{\sin(nx)}{n^4}$ . הוכיחו כי  $f(x)$  אינה גזירה 4 פעמים ברציפות.

(12) נסמן  $f(x) = \sum_{n=1}^{\infty} \frac{2}{n^{3.1} + i \cdot n^{2.2}} \cdot e^{inx}$ . הוכיחו כי  $f$  גזירה ברציפות פעמיים.

### תשובות סופיות:

(1) הוכחה.

$$(2) \text{ א. } [0, \pi] \quad f(x) \sim \sum_{k=1}^{\infty} \frac{8}{\pi(2k-1)^3} \sin([2k-1]x)$$

ב. ראו סרטון. ג. הוכחה. ד. הוכחה.

$$\text{ה. } [0, \pi] \quad \frac{\pi x^2}{2} - \frac{x^3}{3} \sim \frac{\pi^3}{12} + \sum_{k=1}^{\infty} \frac{-8}{\pi(2k-1)^4} \cos([2k-1]x)$$

$$(3) \text{ א. } \sum_{-\infty}^{\infty} \left| \frac{1}{n} \cdot n c_n \right| \leq \frac{1}{2} \sum_{-\infty}^{\infty} \frac{1}{n^2} + \frac{1}{2} \sum_{-\infty}^{\infty} n^2 |c_n|^2 < \infty$$

$$\text{ב. } \sum_{-\infty}^{\infty} n |c_n| < \infty$$

$$\text{ג. } \frac{1}{2\pi} \int_{-\pi}^{\pi} |f'(x)|^2 dx = \sum_{-\infty}^{\infty} n^2 |c_n|^2$$

(4) ראו סרטון.

$$(5) \text{ א. הוכחה. ב. } -\frac{\pi}{2} \frac{x^2}{2} + \frac{x^3}{12} + \frac{\pi^2}{6} x$$

(6) הוכחה.

(7) א. הוכחה. ב. הוכחה.

(8) א. הוכחה. ב. הוכחה.

(9) א. הוכחה. ב. הוכחה.

$$(10) \text{ א. } \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{n^4} + \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{n^{2.8}} < \infty$$

ב. נניח בשלילה כי  $f$  גזירה ברציפות.

(11) הוכחה.

(12) הוכחה.

## טור פורייה בקטע כללי:

### שאלות:

- (1) חשבו טור פורייה ממשי לפונקציה  $f(x) = x^2$  בקטע  $[0, 2\pi]$ .
- (2) תהי הפונקציה  $f(x) = \min\{1, |x|\}$ .
- א. חשבו את מקדמי פורייה  $a_n$  ו- $b_n$  של טור פורייה של  $f(x)$  בקטע  $[-2, 2]$ .
- ב. חשבו את  $\sum_{k=0}^{\infty} \frac{1}{(2k+1)^2}$ ,  $\sum_{k=0}^{\infty} \frac{1}{(2k+1)^4}$ .
- (3) נתונה הפונקציה  $f(x) = e^{\frac{x}{2}}$  בקטע  $[0, 2]$ .
- א. פתחו את הפונקציה לטור פורייה מרוכב.
- ב. לאיזו פונקציה מתכנס הטור? שרטטו את גרף הפונקציה (לפחות 3 מחזורים).
- ג. חשבו את סכום הטור  $\sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{1+4\pi^2 n^2}$ .
- (4) פתחו את  $f(x) = |x|$  לטור פורייה בקטע  $[-1, 1]$ .
- (5) פתחו את  $f(x) = \begin{cases} x & 0 \leq x \leq 1 \\ 2-x & 1 < x < 2 \end{cases}$  לטור סינוסים בקטע  $[0, 2]$ .
- (6) נתונה פונקציה  $f(x)$  המקיימת  $f(x) = f(x+2)$  ובנוסף  $-1 \leq x < 1$   $f(x) = 2 - |x|$ .
- א. פתחו את הפונקציה לטור פורייה ממשי.
- ב. חשבו את סכום הטור  $\sum_{k=1}^{\infty} \frac{1}{(2k-1)^4}$ .
- ג. חשבו את הסכום  $\sum_{k=1}^{\infty} \frac{1}{(2k-1)^2}$ .
- ד. האם טור הפורייה של  $f(x)$  מתכנס במידה שווה בתחום  $[-1, 1]$ ?
- (7) מצאו טור קוסינוסים  $f(x) = x$  בקטע  $[0, 3]$ .
- (8) פתחו את  $f(x) = \cos(2x)$  לטור סינוסים בקטע  $[0, \pi]$ .

## תשובות סופיות:

$$x^2 \sim \frac{4\pi^2}{3} + \sum_{n=1}^{\infty} \frac{4}{n^2} \cdot \cos nx - \frac{4\pi}{n} \cdot \sin nx \quad 0 \leq x \leq 2\pi \quad (1)$$

$$b_n = 0, \quad a_n = \begin{cases} \frac{-4}{\pi^2 [2k-1]^2} & n = 2k-1 \\ \frac{-8}{\pi^2 [4k-2]^2} & n = 4k-2 \\ 0 & \text{else} \end{cases} \quad (2)$$

$$\sum_{k=1}^{\infty} \frac{1}{[2k-1]^4} = \frac{\pi^4}{96}, \quad \sum_{k=0}^{\infty} \frac{1}{(2k+1)^2} = \frac{\pi^2}{8} \quad \text{ב.}$$

$$\frac{3-e}{4(e-1)} \quad \text{ג.} \quad \text{ב. ראו סרטון.} \quad f(x) \sim \sum_{n=-\infty}^{\infty} \frac{(e-1)(1+2in\pi)}{1+4n^2\pi^2} e^{inx} \quad \text{א.} \quad (3)$$

$$|x| \sim \frac{1}{2} - \frac{4}{\pi^2} \sum_{k=1}^{\infty} \frac{1}{(2k-1)^2} \cos(\pi[2k-1]x) \quad (4)$$

$$f(x) \sim \sum_{k=1}^{\infty} \frac{-8\cos(\pi k)}{\pi^2 [2k-1]^2} \sin\left(\frac{\pi[2k-1]x}{2}\right) \quad (5)$$

$$\frac{\pi^2}{8} \quad \text{ג.} \quad \frac{\pi^4}{96} \quad \text{ב.} \quad f(x) \sim \frac{3}{2} + \sum_{k=1}^{\infty} \frac{4}{(2k-1)^2 \pi^2} \cos([2k-1]\pi x) \quad \text{א.} \quad (6)$$

ד. אם  $f$  רציפה בקטע  $[a, b]$ ,  $f(a) = f(b)$ , ו- $f'$  רציפה למקוטעין אזי טור פורייה של  $f$  מתכנס במישל- $f$  בקטע  $[a, b]$ .

$$f(x) \sim \frac{3}{2} + \sum_{k=1}^{\infty} \frac{-12}{\pi^2 (2k-1)^2} \cos\left(\frac{\pi(2k-1)}{3}x\right) \quad (7)$$

$$\cos(2x) \sim -\sum_{k=1}^{\infty} \frac{1}{\pi} \frac{4[2k-1]}{4-[2k-1]^2} \sin([2k-1]x) \quad (8)$$

## התכנסות במידה שווה של טורי פורייה:

### שאלות:

$$(1) \quad \text{תהי הפונקציה } g(x) = \begin{cases} -x & -\pi \leq x < 0 \\ \pi - x & 0 \leq x < \pi \end{cases}$$

א. חשבו את טור פורייה הממשי של  $g(x)$ .

$$b. \quad \text{עבור } -\pi \leq x \leq \pi \text{ נגדיר את הפונקציה } h(x) = a \sin\left(\frac{x}{2}\right) + \int_{-\pi}^x g(t) dt$$

כאשר  $g(x)$  מוגדרת בסעיף א'.

עבור אילו ערכים של  $a$  מתכנס טור פורייה של  $h(x)$  במידה שווה

ל- $h(x)$  בקטע  $[-\pi, \pi]$ .

$$(2) \quad \text{נגדיר פונקציה } f(x) = |\sin(x)| \text{ במרחב } L_{PC}^2([-\pi, \pi]) \text{ ונסמן ב-} f'(x) \text{ את הנגזרת שלה.}$$

א. חשבו את טורי הפורייה הממשיים של  $f$  ושל  $f'$ .

ב. לאילו פונקציות מתכנסים נקודתית טורי הפורייה שחיבתם?

שרטטו את הגרפים של פונקציות אלו בתחום  $[-3\pi, 3\pi]$ .

ג. באילו קטעים סגורים מתכנס טור הפורייה של  $f$  במידה שווה?

ד. באילו קטעים סגורים מתכנס טור הפורייה של  $f'$  במידה שווה?

### תשובות סופיות:

$$(1) \quad a. \quad g(x) \sim \frac{\pi}{2} + \sum_{k=1}^{\infty} \frac{1}{k} \sin(2k \cdot x) \quad b. \quad a = -\frac{\pi^2}{2}$$

$$(2) \quad a. \quad f(x) \sim \left(\frac{2}{\pi}\right) + \sum_{k=1}^{\infty} \frac{1}{\pi} \left[ \frac{-4}{(2k+1)(2k-1)} \right] \cos(2k \cdot x)$$

$$b. \quad f'(x) \sim \sum_{k=1}^{\infty} \frac{1}{\pi} \left[ \frac{8k}{(2k+1)(2k-1)} \right] \sin(2k \cdot x) \quad f'(x) = \begin{cases} \cos x & 0 < x < \pi \\ -\cos x & -\pi < x < 0 \end{cases}$$

ג.  $f(x)$  פונקציה רציפה, מחזורית- $2\pi$ , הנגזרת רציפה למקוטעין, ולכן טור פורייה שלה יתכנס אליה במידה שווה על פני כל הישר הממשי.

ד. טור פורייה של  $f'(x)$  יתכנס אליה במידה שווה בכל תת-קטע סגור שאינו מכיל

נקודות אי-רציפות של הפונקציה, כלומר בקטעים כאלו:  $[\pi n + \delta, \pi(n+1) - \delta]$

לכל  $0 < \delta < \pi$  ולכל  $n$  שלם.

## משפט הקונבולוציה:

### שאלות:

- (1) הוכח את הטענה כי אם  $f(x)$ ,  $g(x)$  רציפות למקוטעין ומחזוריות- $2\pi$  אז  $(f * g)_{(x)}$  מחזוריות- $2\pi$ .
- (2) הוכח את הטענה כי אם  $f(x)$ ,  $g(x)$  רציפות למקוטעין, מחזוריות- $2\pi$  ופונקציות זוגיות אז  $(f * g)_{(x)}$  זוגית.
- (3) נתונה  $f(x)$  רציפה למקוטעין ומחזורית- $2\pi$  כך שלכל  $x \in [-\pi, \pi]$  מתקיים  $f(x) = \sqrt{2\pi} \cdot \chi_{\left[-\frac{\pi}{2}, \frac{\pi}{2}\right]}(x)$ .  
 חשבו לכל  $x$  ממשי את הקונבולוציה  $(f * f)_{(x)}$ .  
 הערה:  $\chi_{[a,b]}(x) = \begin{cases} 1 & x \in [a,b] \\ 0 & \text{else} \end{cases}$
- (4) נתונות  $f(x)$ ,  $g(x)$  רציפות למקוטעין ומחזוריות- $2\pi$  כך שלכל  $x \in [-\pi, \pi]$  מתקיים  $f(x) = x^2$ ,  $g(x) = \cos(x)$ .  
 חשבו לכל  $x$  ממשי את הקונבולוציה  $(f * g)_{(x)}$ .
- (5) נתונות  $f(x)$ ,  $g(x)$  רציפות למקוטעין ומחזוריות- $2\pi$  כך שלכל  $x \in [-\pi, \pi]$  מתקיים  $f(x) = x$ ,  $g(x) = \chi_{[0,1]}(x)$ .  
 חשבו לכל  $x$  ממשי את הקונבולוציה  $(f * g)_{(x)}$ .

**תשובות סופיות:**

(1) הוכחה.

(2) הוכחה.

(3)  $\pi - x$ (4) לכל  $x$  ,  $-\pi \leq x \leq \pi$   $(f * g)_{(x)} = -2 \cos(x)$ 

$$(f * g)_{(x)} = \begin{cases} \frac{1}{4\pi} (x^2 - (x-1)^2) & -\pi + 1 \leq x \leq \pi \\ \frac{1}{4\pi} [x^2 - (x + (2\pi - 1))^2] & -\pi \leq x \leq -\pi + 1 \end{cases} \quad (5)$$

## תרגילים מסכמים:

### שאלות:

1 טור פורייה:

א. מצאו טור פורייה של הפונקציה  $f(t) = e^{i\alpha t}$  בתחום  $-\pi \leq t \leq \pi$  כאשר  $\alpha$  הוא מספר ממשי לא שלם.

ב. הראו שמתקיים 
$$\sum_{n=1}^{n=\infty} \frac{(-1)^n \cdot 2\alpha}{\alpha^2 - n^2} = \frac{\pi}{\sin(\pi\alpha)} - \frac{1}{\alpha}$$

ג. הראו שמתקיים 
$$\sum_{n=-\infty}^{n=\infty} \frac{1}{[\alpha - n]^2} = \frac{\pi^2}{\sin^2(\pi\alpha)}$$

ד. הראו שמתקיים 
$$\sum_{n=0}^{\infty} \frac{(-1)^n}{(2n+1)((2n+1)^2 - \alpha^2)} = \frac{\pi}{4\alpha^2} \left( \frac{1}{\cos\left(\alpha \frac{\pi}{2}\right)} - 1 \right)$$

2 נגדיר  $f(x) = |x|$  במרחב  $L^2_{PC}([-\pi, \pi])$  ונסמן ב- $f'(x)$  את הנגזרת שלה.

א. חשבו טור פורייה ממשי של  $f$ .

ב. לאיזו פונקציה מתכנס הטור הבא נקודתית בתחום  $(-\infty, \infty)$ ?

$$\sin(x) + \frac{1}{3} \sin(3x) + \frac{1}{5} \sin(5x) + \frac{1}{7} \sin(7x) + \dots$$

ג. חשבו את הטור 
$$\sum_{n=0}^{\infty} \left( \frac{1}{2n+1} \right)^2$$

3 תהי  $f \in L^2_{PC}([-\pi, \pi])$ .

נסמן ב- $c_n$  את מקדמי פורייה (המרוכבים) של  $f$ .

נסמן  $d_n = \operatorname{Re}\{c_n\}$  ובנוסף נתון כי:

•  $f$  ממשית.

•  $f$  מתאפסת על הקטע  $[-\pi, 0]$ .

• מתקיים השיוויון 
$$\sum_{n=-\infty}^{n=\infty} d_n e^{inx} = x^2 e^{|x|} \cos(x)$$

מצאו את  $f$ .

(4) תהי  $f$  פונקציה זוגית בעלת מחזור  $2\pi$  המקיימת  $f(x) = \cos(2x)$

בתחום  $0 \leq x \leq \frac{\pi}{2}$  ו- $f(x) = -1$  בתחום  $\frac{\pi}{2} \leq x \leq \pi$ .

מצאו את טור פורייה הממשי של  $f$  וחשבו את הסכום  $\sum_{n=1}^{\infty} \frac{(-1)^n}{[2n-1][2n+3](2n+1)}$

האם טור פורייה של  $f$  מתכנס אליה במידה שווה? נמקו.

(5) נתונה פונקציה  $f(x)$  רציפה למקוטעין ומחזורית  $2\pi$ .

נסמן  $f(x) \sim \sum_{n=-\infty}^{n=\infty} f_n e^{inx}$  ויהי  $h > 0$  פרמטר כלשהו.

מצאו את מקדמי פורייה של  $h(x) = \frac{1}{2h} \int_{-h}^h f(t+x) dt$  כתלות ב- $f_n$ .

### תשובות סופיות:

(1) א.  $e^{i\alpha t} \sim \sum_{n=-\infty}^{n=\infty} \frac{(-1)^n \sin(\pi\alpha)}{[\alpha - n]\pi} \cdot e^{in t}$  ב. הוכחה. ג. הוכחה. ד. הוכחה.

(2) א.  $f(x) \sim \frac{\pi}{2} + \sum_{k=0}^{\infty} -\frac{4}{\pi(2k+1)^2} \cos([2k+1]x)$

ב. כאשר  $k$  מספר שלם,  $\left\{ \begin{array}{ll} \frac{\pi}{4} & \pi k < x < \pi(k+1) \\ -\frac{\pi}{4} & \pi(k-1) < x < \pi k \\ 0 & x = \pi k \end{array} \right.$  ג.  $\frac{\pi^2}{8}$

(3)  $f(x) = \begin{cases} 2x^2 e^{|x|} \cos(x) & 0 < x < \pi \\ 0 & -\pi < x \leq 0 \end{cases}$

(4) התכנסות במידה שווה בקטע  $[-\pi, \pi]$  אם  $f$  רציפה בקטע  $[-\pi, \pi]$ ,  $f(-\pi) = f(\pi)$

ו- $f' \in E[-\pi, \pi]$  אזי טור פורייה של  $f$  מתכנס במ"ש ל- $f$  בקטע  $[-\pi, \pi]$ .

(5)  $f_0$

# מבוא להנדסת חשמל 2 (2000611)

פרק 11 - התמרת פורייה

תוכן העניינים

20	1. מבוא כללי
22	2. נוסחת כיווץ והזזה
24	3. נוסחת הנגזרת
25	4. נוסחאות כפל באקספוננט ומודולציה
27	5. נוסחת המומנט
29	6. נוסחת ההתמרה ההפוכה
(ללא ספר)	7. נוסחת התמרה כפולה
30	8. משפט פלנשראל
31	9. משפט הקונבולוציה
35	10. תרגילים מסכמים

## מבוא כללי:

### שאלות:

$$\cdot \chi_{[-1,1]}(x) = \begin{cases} 1 & x \in [-1,1] \\ 0 & \text{else} \end{cases} \quad \text{חשבו את התמרת פורייה של} \quad (1)$$

$$\cdot f(x) = \begin{cases} 1-|x| & |x| < 1 \\ 0 & \text{else} \end{cases} \quad \text{מצאו התמרת פורייה עבור} \quad (2)$$

$$\cdot f(x) = \begin{cases} e^{-x} & x > 0 \\ 0 & \text{else} \end{cases} \quad \text{מצאו התמרת פורייה עבור} \quad (3)$$

$$\cdot f(x) = \begin{cases} 1 & |x| \leq 1 \\ 2 & 1 < |x| < 2 \\ 0 & \text{else} \end{cases} \quad \text{מצאו התמרת פורייה עבור} \quad (4)$$

$$\cdot f(x) = \begin{cases} e^{-ax} & x > 0 \\ e^{bx} & x \leq 0 \end{cases} \quad \text{הוכיחו כי התמרת פורייה של} \quad (5)$$

$$\cdot f(\omega) = \frac{1}{2\pi} \left[ \frac{1}{b-i\omega} + \frac{1}{a+i\omega} \right]$$

$$\cdot f(x) = \begin{cases} 1 & 0 < x < 1 \\ 0 & \text{else} \end{cases} \quad \text{מצאו התמרת פורייה של} \quad (6)$$

$$\cdot f(x) = \begin{cases} 1 & 0 \leq x < 1 \\ 2 & 1 \leq x < 2 \\ 0 & \text{else} \end{cases} \quad \text{מצאו התמרת פורייה עבור} \quad (7)$$

$$\cdot f(x) = \begin{cases} e^{-x} & 0 \leq x < 1 \\ 0 & \text{else} \end{cases} \quad \text{מצאו התמרת פורייה עבור} \quad (8)$$

$$\cdot f(\omega) = \frac{1}{\pi} \frac{\sin[2-\omega]}{2-\omega} \quad \text{הינה} \quad f(x) = \begin{cases} e^{2ix} & -1 < x < 1 \\ 0 & \text{else} \end{cases} \quad \text{הוכיחו התמרת פורייה של} \quad (9)$$

$$\cdot f(x) = \begin{cases} \sin(x) & -1 < x < 1 \\ 0 & \text{else} \end{cases} \quad \text{מצאו התמרת פורייה של} \quad (10)$$

$$\cdot a > 0 \quad f(x) = \begin{cases} x & |x| < a \\ 0 & \text{else} \end{cases} \quad \text{חשבו את התמרת פורייה של} \quad (11)$$

$$\cdot f(\omega) = \begin{cases} 1-|\omega| & |\omega| \leq \frac{1}{2} \\ 0 & |\omega| > \frac{1}{2} \end{cases} \quad \text{האם קיימת} \quad f \in L^1_{PC}(\mathbb{R}) \quad \text{כך ש-} \quad (12)$$

## תשובות סופיות:

$$\frac{\sin(\omega)}{\pi\omega} \quad (1)$$

$$f(\omega) = \frac{1 - \cos(\omega)}{\pi\omega^2} \quad (2)$$

$$f(\omega) = \frac{1}{2\pi(1+i\omega)} \quad (3)$$

$$f(\omega) = \frac{2\sin(2\omega) - \sin(\omega)}{\pi\omega} \quad (4)$$

(5) הוכחה.

$$f(\omega) = \frac{1}{2\pi} \frac{\sin(\omega) + i[\cos(\omega) - 1]}{\omega} \quad (6)$$

$$f(\omega) = \frac{1}{2\pi} \frac{1 + e^{-i\omega} - 2e^{-i2\omega}}{i\omega} \quad (7)$$

$$f(\omega) = \frac{1}{2\pi} \frac{e^{(1-i)\omega} - 1}{1-i\omega} \quad (8)$$

(9) הוכחה.

$$f(\omega) = -i \cdot \frac{1}{2\pi} \left\{ \frac{\sin([1-\omega])}{1-\omega} - \frac{\sin([1+\omega])}{1+\omega} \right\} \quad (10)$$

$$f(\omega) = -\frac{1}{\pi} i \frac{\sin(\omega a) - \omega a \cos(\omega a)}{\omega^2} \quad (11)$$

$$\omega = \pm \frac{1}{2} \quad (12) \text{ לא. אינה רציפה בנקודות}$$

## נוסחת כיווץ והזזה:

### שאלות:

(1) מצאו התמרת פורייה של  $\chi_{[-r,r]}(x) = \begin{cases} 1 & x \in [-r,r] \\ 0 & \text{else} \end{cases}$  כאשר  $r > 0$ .

(2) מצאו התמרת פורייה של  $f(x) = e^{-4x^2-4x-1}$  על ידי שימוש בעובדה

$$F\{e^{-x^2}\} = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{\omega^2}{4}} \text{ כי}$$

(3) נתונה פונקציה  $g(x) \in G(\mathbb{R})$  בעלת התמרת פורייה  $g(\omega)$ .

מצאו פונקציה  $f(x)$  (כתלות ב- $g(x)$ ) בעלת התמרת פורייה  $g(\omega)\cos(\omega)$ .

(4) מצאו התמרת פורייה של  $f(x) = e^{-ax^2}$  כאשר  $a > 0$ .

$$F\{e^{-x^2}\} = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{\omega^2}{4}} \text{ רמז:}$$

(5) מצאו פונקציה שהתמרת פורייה שלה היא  $f(\omega) = \cos(4\pi\omega) \cdot \frac{\sin(2\omega)}{\omega}$ .

$$F\{\chi_{[-1,1]}(x)\} = \frac{\sin(\omega)}{\pi\omega} \text{ רמז:}$$

## תשובות סופיות:

$$\frac{\sin(\omega \cdot r)}{\pi \omega} \quad (1)$$

$$f(\omega) = \frac{e^{i\frac{\omega}{2}}}{4\sqrt{\pi}} e^{-\frac{\omega^2}{16}} \quad (2)$$

$$f(x) = \frac{g(x+1) + g(x-1)}{2} \quad (3)$$

$$f(\omega) = \frac{1}{2\sqrt{\pi a}} e^{-\frac{(\omega)^2}{4a}} \quad (4)$$

$$f(x) = \frac{\pi}{2} \begin{cases} 1 & 4\pi - 2 \leq x \leq 4\pi + 2 \text{ or } -4\pi - 2 \leq x \leq -4\pi + 2 \\ 0 & \text{else} \end{cases} \quad (5)$$

## נוסחת הנגזרת:

### שאלות:

(1) נניח כי  $f(x) \in G$  גזירה, מקיימת  $\lim_{|x| \rightarrow \infty} f(x) = 0$ ,  $f'(x) \in G$  ו-  $f(\omega) = \frac{\omega}{1+\omega^{30}}$ . מצאו התמרת פורייה של  $f'(x) \cos(2x)$ .

(2) יהי  $a$  ממשי כלשהו. הוכיחו כי  $F \left\{ \frac{x}{(x^2+a^2)^2} \right\}_\omega = \left( -\frac{1}{2} \right) (i\omega) \frac{1}{2|a|} e^{-|a\omega|}$

(3) מצאו פונקציה שהתמרת פורייה שלה היא  $f(\omega) = \omega^2 e^{-|\omega|}$ . רמז:  $F \left\{ \frac{1}{1+x^2} \right\} = \frac{1}{2} e^{-|x|}$

### תשובות סופיות:

$$\frac{i \cdot \frac{(\omega-2)^2}{1+(\omega-2)^{30}} + i \cdot \frac{(\omega+2)^2}{1+(\omega+2)^{30}}}{2} \quad (1)$$

(2) הוכחה.

$$f(x) = (-2) \frac{6x^2 - 2}{(1+x^2)^3} \quad (3)$$

## נוסחאות כפל באקספוננט ומודולציה:

שאלות:

$$(1) \text{ הוכיחו כי התמרת פורייה של } F\left\{\sin(cx)e^{-|x|}\right\}_{(\omega)} = \frac{1}{\pi i} \frac{2c \cdot \omega}{\left[1+(\omega-c)^2\right]\left[1+(\omega+c)^2\right]}$$

$$(2) \text{ מצאו פונקציה שהתמרת פורייה שלה היא } f(\omega) = \frac{\sin(\omega-1)}{\omega-1} - \frac{\sin(\omega+1)}{\omega+1}$$

$$(3) \text{ הוכיחו כי התמרת פורייה של } g(x) = \begin{cases} \sin(ax)e^{-bx} & x > 0 \\ 0 & x \leq 0 \end{cases} \text{ כאשר } a, b > 0 \text{ קבועים,}$$

$$\text{הינה } g(\omega) = \frac{1}{4\pi} \left[ \frac{1}{bi - (\omega - a)} - \frac{1}{bi - (\omega + a)} \right]$$

$$(4) \text{ מצאו התמרת פורייה של } g(x) = e^{-|x|} \cos(2x) \text{ על ידי שימוש בנוסחת מודולציה ובעובדה} \\ \text{כי } F\left\{e^{-|x|}\right\} = \frac{1}{\pi(1+\omega^2)}$$

$$(5) \text{ מצאו התמרת פורייה של } g(x) = e^{-|x|} \sin^2(3x) \text{ על ידי שימוש בנוסחת מודולציה} \\ \text{ובעובדה כי } F\left\{e^{-|x|}\right\} = \frac{1}{\pi(1+\omega^2)}$$

$$(6) \text{ נניח כי } f(x) \in G(R) \text{ ונגדיר } g(x) = f(3x-2) \cdot \cos(x) \text{ . בטאו את } g(\omega) \text{ על ידי } f(\omega)$$

$$(7) \text{ מצאו פונקציה שהתמרת פורייה שלה היא } f(\omega) = e^{3i\omega} \cdot e^{-|\omega-2|} \text{ . רמז: } F\left\{\frac{1}{1+x^2}\right\} = \frac{1}{2} e^{-|\omega|}$$

$$(8) \text{ תהי } H(x) = \begin{cases} 1 & x > 0 \\ 0 & x < 0 \end{cases}$$

חשבו את התמרת הפורייה של הפונקציות הבאות:

$$\text{א. } H(x)e^{-ax} \text{ כאשר } a > 0$$

$$\text{ב. } H(x)e^{-ax} \cos(bx) \text{ כאשר } a, b > 0$$

$$\text{ג. } H(x)e^{-ax} \sin(bx) \text{ כאשר } a, b > 0$$

## תשובות סופיות:

(1) הוכחה.

$$f(x) = 2\pi i \cdot \chi_{[-1,1]}(x) \cdot \sin(x) \quad (2)$$

(3) הוכחה.

$$F\{e^{-|x|} \cos(2x)\} = \frac{1}{2\pi(1+[\omega+2]^2)} + \frac{1}{2\pi(1+[\omega-2]^2)} \quad (4)$$

$$g(\omega) = \frac{1}{2} \frac{1}{\pi(1+\omega^2)} - \left[ \frac{1}{2\pi(1+[\omega+6]^2)} + \frac{1}{2\pi(1+[\omega-6]^2)} \right] \quad (5)$$

$$g(\omega) = \frac{1}{6} \left[ e^{-\frac{2}{3}(\omega+1)} f\left(\frac{\omega+1}{3}\right) + e^{-\frac{2}{3}(\omega-1)} f\left(\frac{\omega-1}{3}\right) \right] \quad (6)$$

$$F\left\{e^{2i[x+3]} \frac{2}{1+[x+3]^2}\right\} \quad (7)$$

$$\frac{1}{2\pi(a+i\omega)} \quad \text{א.} \quad (8)$$

$$\frac{1}{4\pi} \left( \frac{1}{a+i[\omega-b]} + \frac{1}{a+i[\omega+b]} \right) \quad \text{ב.}$$

$$\frac{1}{4\pi i} \left( \frac{1}{a+i[\omega-b]} + \frac{1}{a+i[\omega+b]} \right) \quad \text{ג.}$$

## נוסחת המומנט:

### שאלות:

(1) מצאו התמרת פורייה של  $g(x) = \begin{cases} x & x \in (-1,1) \\ 0 & \text{else} \end{cases}$  על ידי שימוש

$$.F\{x \cdot f(x)\} = i \frac{d}{d\omega} f(\omega)$$

(2) מצאו התמרת פורייה של  $g(x) = x^2 e^{-x^2}$  על ידי שימוש בנוסחת המומנט ובעובדה

$$.F\{e^{-x^2}\} = \frac{1}{2\sqrt{\pi}} e^{-\frac{\omega^2}{4}} \quad \text{כי}$$

(3) מצאו התמרת פורייה של  $g(x) = x \cdot e^{-|x|}$  על ידי שימוש בנוסחת המומנט ובעובדה

$$.F\{e^{-|x|}\} = \frac{1}{\pi(1+\omega^2)} \quad \text{כי}$$

(4) מצאו את התמרת פורייה של  $f(x) = e^{-x^2}$

(5) מצאו התמרת פורייה של  $f(x) = 8x^3 e^{\frac{-4(x+1)^2+5}{3}}$

(6) תהי  $f(x) = \begin{cases} \frac{1}{x^5} & x \geq 1 \\ 0 & x < 1 \end{cases}$

הוכיחו כי  $f(\omega)$  גזירה ברציפות 3 פעמים.

(7) נתון כי התמרת פורייה של  $f \in L^1_{PC}(\mathbb{R})$  רציפה היא  $f(\omega) = \frac{1}{1+|\omega|}$

הוכיחו כי האינטגרל  $\int_{-\infty}^{\infty} |x \cdot f(x)| dx$  מתבדר.

## תשובות סופיות:

$$i \cdot \frac{\omega \cos \omega - \sin \omega}{\pi \omega^2} \quad (1)$$

$$F\{x^2 e^{-x^2}\} = \frac{1}{4\sqrt{\pi}} \left(1 - \frac{\omega^2}{2}\right) e^{-\frac{\omega^2}{4}} \quad (2)$$

$$F\{x \cdot e^{-|x|}\} = -\frac{i}{\pi} \frac{2\omega}{(1+\omega^2)^2} \quad (3)$$

$$f(\omega) = \frac{1}{2\sqrt{\pi}} e^{-\frac{\omega^2}{4}} \quad (4)$$

$$f(\omega) = \frac{1}{256} \sqrt{\frac{3}{\pi}} (27i\omega^3 + 216\omega^2 - 792i\omega - 1088) e^{i\omega - \frac{3\omega^2}{16} - \frac{5}{3}} \quad (5)$$

הוכחה. (6)

הוכחה. (7)

## נוסחת ההתמרה ההפוכה:

שאלות:

(1) חשבו  $\int_{-\infty}^{\infty} \frac{\cos(\omega x)}{\pi(1+\omega^2)} d\omega$  לכל  $x$  ממשי על ידי שימוש במשפט התמרה הפוכה.

(2) חשבו  $\lim_{M \rightarrow \infty} \int_{-M}^M \frac{\sin(\omega) \cos(\omega x)}{\pi\omega} d\omega$  לכל  $x$  ממשי על ידי שימוש במשפט התמרה הפוכה.

תשובות סופיות:

(1) ראו סרטון.

$$\begin{cases} 0 & |x| > 1 \\ 1 & |x| < 1 \\ \frac{1}{2} & x = 1, x = -1 \end{cases} \quad (2)$$

## משפט פלנשראלי:

### שאלות:

(1) ענו על הסעיפים הבאים:

א. חשבו התמרת פורייה של  $f(x) = \chi_{[-a,a]}(x)$  עבור  $a > 0$ .

ב. חשבו את האינטגרל  $\int_{-\infty}^{\infty} \frac{\sin(ax)}{x} \frac{\sin(bx)}{x} dx$  עבור  $a, b > 0$ .

(2) הוכיחו כי  $\int_0^{\infty} \frac{e^{-x} \sin(x)}{x} dx = \frac{\pi}{4}$ . תוכלו להיעזר בעובדה:  $F\left\{\frac{1}{1+x^2}\right\} = \frac{1}{2} e^{-|\omega|}$ .

(3) הוכיחו כי  $\int_0^{\infty} \frac{\sin(2x)}{x(1+4x^2)} dx = \frac{\pi}{2} \left(1 - \frac{1}{e}\right)$ .

(4) הוכיחו כי לא קיימת פונקציה  $f(x) \in L^1_{PC}(\mathbb{R}) \cap L^2_{PC}(\mathbb{R})$  כך ש-  $f(\omega) = \frac{1}{\sqrt{1+|\omega|}}$ .

### תשובות סופיות:

א.  $f(\omega) = \frac{\sin(\omega a)}{\pi \omega}$ . ב.  $\pi \cdot \min\{a, b\}$ .

(2) הוכחה.

(3) הוכחה.

(4) הוכחה.

## משפט הקונבולוציה:

### שאלות:

(1) חשבו את הקונבולוציה  $(\chi_{[-1,1]} * \chi_{[-1,1]})_{(x)}$ .

תזכורת:  $\chi_{[-1,1]}(x) = \begin{cases} 1 & x \in [-1,1] \\ 0 & \text{else} \end{cases}$

רמז: חלקו למקרים.

(2) חשבו את הקונבולוציה  $(f * f)_{(x)}$  כאשר  $f(x) = \begin{cases} e^{-x} & x > 0 \\ 0 & x \leq 0 \end{cases}$

רמז: חלקו למקרים  $x > 0$  ו- $x \leq 0$ .

(3) מצאו פונקציה  $f \in G$  כך ש- $f(\omega) = \left(\frac{\sin \omega}{\omega}\right)^2$

(4) נסמן ב- $E$  את מרחב הפונקציות הממשיות הגזירות פעמיים  $f(t)$

המקיימות  $\int_{-\infty}^{\infty} |f(t)| dt < \infty$  וגם  $\int_{-\infty}^{\infty} |f(t)|^2 dt < \infty$

מצאו פונקציה  $g(x)$  כך שלכל  $f(t) \in E$  מתקיים השוויון.

$$\int_{-\infty}^{\infty} (f(t) - f''(t)) g(x-t) dt = 2f(x)$$

(5) נגדיר  $f(x) = \frac{1}{x^2+4}$ ,  $g(x) = \frac{1}{x^2+1}$ . מצאו את הקונבולוציה  $(f * g)_{(x)}$ .

תזכורת:  $F\left\{\frac{1}{x^2+a^2}\right\} = \frac{1}{2a} e^{-a|\omega|}$

(6) ענה על הסעיפים הבאים:

א. חשבו התמרת פורייה של  $(1+|x|)e^{-|x|}$ .

ב. פתרו את המשוואה האינטגרלית  $\int_{-\infty}^{\infty} e^{-|x-t|} f(t) dt = e^{-|x|} + |x|e^{-|x|}$

(7) ענו על הסעיפים הבאים :

א. חשבו את הקונבולוציה  $(f * f)_{(x)}$  כאשר  $f(x) = \chi_{[0,1]}(x)$ .

ב. הוכיחו כי  $\int_{-\infty}^{\infty} \frac{(1 - \cos x)^2}{x^4} dx = \frac{\pi}{3}$ .

(8) חשבו את הקונבולוציה  $(f * f)_{(x)}$  כאשר  $f(x) = \chi_{[1,2]}(x)$ .

(9) חשבו את הקונבולוציה  $(f * f)_{(x)}$  כאשר  $f(x) = \chi_{[0,2]}(x)$ .

(10) חשבו את הקונבולוציה  $(\chi_{[0,1]}(x) * \chi_{[1,2]}(x))_{(x)}$ .

(11) חשבו את הקונבולוציה  $(e^{-x^2} * e^{-x^2})_{(x)}$ .

א. לפי ההגדרה.

ב. על ידי שימוש במשפט הקונבולוציה.

הערה: תוכלו להיעזר בעובדה  $\int_{-\infty}^{\infty} e^{-x^2} dx = \sqrt{\pi}$ .

(12) מצאו פתרון למשוואה האינטגרלית  $\int_{-\infty}^{\infty} f(t)f(x-t)dt = e^{-\frac{3(x+1)^2}{2}}$ .

(13) נניח כי  $f(x) \in L^1_{PC}(\mathbb{R})$  רציפה ומקיימת את המשוואה האינטגרלית

$$\int_{-\infty}^{\infty} f(y)e^{-y^2}e^{2xy}dy \equiv 0$$

הוכיחו כי  $f(x) \equiv 0$ .

## תשובות סופיות:

$$\left(\chi_{[-1,1]} * \chi_{[-1,1]}\right)_{(x)} = \begin{cases} 2+x & x \in [-2,0] \\ 2-x & x \in [0,2] \\ 0 & \text{else} \end{cases} \quad (1)$$

$$(f * f)_{(x)} = \begin{cases} xe^{-x} & x > 0 \\ 0 & x \leq 0 \end{cases} \quad (2)$$

$$f(x) = \begin{cases} \frac{\pi}{2}(2+x) & x \in [-2,0] \\ \frac{\pi}{2}(2-x) & x \in [0,2] \\ 0 & \text{else} \end{cases} \quad (3)$$

$$g(x) = e^{-|x|} \quad (4)$$

$$\frac{3}{2} \cdot \frac{\pi}{x^2+9} \quad (5)$$

$$f(x) = e^{-|x|} \quad \text{ב. הוכחה.} \quad \frac{2}{\pi(1+\omega^2)^2} \quad \text{א.} \quad (6)$$

$$(f * f)_{(x)} = \begin{cases} 0 & x > 2 \\ 2-x & 1 < x < 2 \\ x & 0 < x < 1 \\ 0 & x < 0 \end{cases} \quad \text{ב. הוכחה.} \quad \text{א.} \quad (7)$$

$$(f * f)_{(x)} = \begin{cases} 0 & x > 4 \\ 4-x & 3 < x < 4 \\ x-2 & 2 < x < 3 \\ 0 & x < 2 \end{cases} \quad (8)$$

$$(f * f)_{(x)} = \begin{cases} 0 & x > 4 \\ 4-x & 2 < x < 4 \\ x & 0 < x < 2 \\ 0 & x < 0 \end{cases} \quad (9)$$

$$\left(\chi_{[0,1]}(x) * \chi_{[1,2]}(x)\right)_{(x)} = \begin{cases} 0 & x > 3 \\ 3-x & 2 < x < 3 \\ x-1 & 1 < x < 2 \\ 0 & x < 1 \end{cases} \quad (10)$$

$$\frac{\sqrt{\pi}}{2} e^{-\frac{x^2}{2}} \quad \text{ב.}$$

$$\sqrt{\frac{\pi}{2}} \cdot e^{-\frac{x^2}{2}} \quad \text{א.} \quad (11)$$

$$f(x) = \sqrt[4]{\frac{6}{\pi}} e^{-3\left(x+\frac{1}{2}\right)^2} \quad (12)$$

(13) הוכחה.

## תרגילים מסכמים:

### שאלות:

(1) ענו על הסעיפים הבאים:

א. חשבו התמרת פורייה של הפונקציה

$$f(x) = \begin{cases} \sin(x) & |x| \leq \pi \\ 0 & \text{else} \end{cases}$$

ב. חשבו התמרת פורייה של הפונקציה

$$g(x) = \begin{cases} \cos(x) & |x| \leq \pi \\ 0 & \text{else} \end{cases}$$

ג. חשבו את האינטגרל

$$\int_0^{\infty} \frac{\sin(\pi x) \sin(x)}{(1-x^2)} dx$$

ד. חשבו את האינטגרל

$$\int_{-\infty}^{\infty} \frac{x^2}{(1-x^2)^2} \sin^2(\pi x) dx$$

(2) ענו על הסעיפים הבאים:

א. חשבו התמרת פורייה של  $f(x) = x \cdot e^{-|x|}$

ב. מצאו את כל הפונקציות  $h(y)$  המקיימות

$$\int_{-\infty}^{\infty} h'(y) e^{-|x-y|} dy = x \cdot e^{-|x|}$$

(3) יהי  $A > 0$  קבוע. נגדיר

$$f(x) = \begin{cases} x & 0 \leq x \leq A \\ 0 & \text{else} \end{cases}$$

ידוע כי ישנה פונקציה  $g(x) \in G$  המקיימת  $g(\omega) = f(\omega) f(-\omega)$ . מצאו במפורש את  $g(x)$ .

(4) נניח כי  $f(x) \in C^2(-\infty, \infty)$  כך ש-  $f'(x), x \cdot f'(x), f''(x) \in L^1_{PC}(-\infty, \infty)$  ומתקיים

$$f''(x) + x \cdot f'(x) + f(x) = 0 \text{ לכל } x \text{ ממשי.}$$

א. הוכיחו כי  $f(x) \in L^1_{PC}(-\infty, \infty)$

ב. חשבו את  $f(\omega)$  אם נתון כי  $f(0) = 1$

ג. מצאו את  $f(x)$

$$f(x) = \begin{cases} 2 & |x| \leq 1 \\ 4 & 1 \leq |x| \leq 2 \\ 0 & \text{else} \end{cases} \quad \text{תהי (5)}$$

א. חשבו את  $f(\omega)$ .

ב. חשבו את האינטגרל  $\int_0^{\infty} \frac{[2 \sin(2t) - \sin(t)]^2}{t^2} dt$

ג. חשבו את האינטגרל  $\lim_{M \rightarrow \infty} \int_{-M}^M \frac{2 \sin(2t) - \sin(t)}{\pi t} \cos(t) dt$

(6) ענו על הסעיפים הבאים:

א. חשבו התמרת פורייה של הפונקציה  $f(x) = \begin{cases} 1 - \frac{x^2}{\pi^2} & |x| \leq \pi \\ 0 & \text{else} \end{cases}$

ב. חשבו את האינטגרלים:  $\int_0^{\infty} \left( \frac{\sin(\pi x) - \pi x \cos(\pi x)}{\pi^3 x^3} \right)^2 dx$

ו-  $\int_0^{\infty} \frac{\sin(\pi x) - \pi x \cos(\pi x)}{\pi^3 x^3} \cos(x) dx$

(7) נגדיר  $\phi(x) = \frac{\sin(\pi x)}{\pi x}$ . הוכיחו כי המערכת  $\{\phi(x-n)\}_{n=-\infty}^{n=\infty}$  מהווה מערכת

אורתונורמלית ב-  $L^2_{PC}(-\infty, \infty)$ .

(8) תהי  $f \in G$  פונקציה כך ש-  $f' \in G$  פונקציה רציפה. מצאו פונקציה  $g \in G$

המקיימת את המשוואה  $g(t) = \int_{-\infty}^t e^{u-t} g(u) du + f'(t)$ .

(9) מצאו פונקציה שהתמרת פורייה שלה היא  $f(\omega) = \frac{1}{(1+\omega^2)^2}$ .

(10) פתרו את המשוואה האינטגרלית  $\int_{-\infty}^{\infty} \frac{f(t)}{(x-t)^2 + b^2} dt = \frac{x}{(x^2 + a^2)^2}$

$$\cdot f(x) = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \chi_{\left[-\frac{\pi}{2}, \frac{\pi}{2}\right]}(\omega - t) \chi_{\left[-\frac{\pi}{2}, \frac{\pi}{2}\right]}(t) e^{i\omega x} dt d\omega \quad (11)$$

מצאו ביטוי מפורש (ללא אינטגרלים) עבור  $f(x)$ .

$$\cdot \chi_{[a,b]}(t) = \begin{cases} 1 & t \in [a,b] \\ 0 & \text{else} \end{cases} \quad \text{תזכורת:}$$

$$\int_{-\infty}^{\infty} \frac{x^2}{(a^2 + x^2)(x^2 + b^2)} dx \quad (12)$$

כאשר  $a, b > 0$ .

$$\cdot f(x) = e^{-(x^2 + 2x + 5)} \quad (13)$$

$$\cdot \int_0^{\infty} e^{-ax^2} \cos(bx) dx = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{\pi}{a}} e^{-\frac{b^2}{4a}} \quad (14)$$

הוכיחו כי  $a, b > 0$  לכל קבועים.

$$\cdot \int_0^{\infty} \frac{\sin^2(x) \cos(x)}{1 + x^2} dx = \frac{\pi}{8e} \left(1 - \frac{1}{e^2}\right) \quad (15)$$

$$\cdot \int_0^{\infty} \sin^3(x) x e^{-x} dx = \frac{9}{25} \quad (16)$$

## תשובות סופיות:

$$g(\omega) = \frac{1}{2\pi} \cdot \frac{2\omega \sin(\omega\pi)}{1-\omega^2} \quad \text{ב.} \quad f(\omega) = -i \cdot \frac{1}{2\pi} \cdot \sin(\omega\pi) \cdot \frac{2}{1-\omega^2} \quad \text{א. (1)}$$

$$\frac{\pi^2}{2} \quad \text{ד.} \quad \frac{\pi}{2} \sin(1) \quad \text{ג.}$$

$$-h(y) = e^{-|y|}, \quad h(y) = -e^{-|y|} \quad \text{ב.} \quad -\frac{2i\omega}{\pi(1+\omega^2)^2} \quad \text{א. (2)}$$

$$g(x) = \begin{cases} \frac{1}{2\pi} \left( \frac{(A+x)^3}{3} - \frac{(A+x)^2}{2} x \right) & -A < x < 0 \\ \frac{1}{2\pi} \left( \frac{A^3}{3} - \frac{A^2}{2} x + \frac{x^3}{6} \right) & 0 < x < A \\ 0 & \text{else} \end{cases} \quad \text{(3)}$$

$$\sqrt{2\pi} \cdot e^{-\frac{x^2}{2}} \quad \text{ג.} \quad e^{-\frac{\omega^2}{2}} \quad \text{ב.} \quad \text{א. הוכחה. (4)}$$

$$\frac{3\pi}{2} \quad \text{ג.} \quad \frac{5\pi}{2} \quad \text{ב.} \quad \frac{4 \cdot \sin(2\omega) - 2 \cdot \sin(\omega)}{\pi\omega} \quad \text{א. (5)}$$

$$\frac{1}{4} \left( 1 - \frac{1}{\pi^2} \right) \quad \text{ב.} \quad \frac{1}{15} \quad \text{ג.} \quad 2 \frac{\sin(\pi\omega) - \pi\omega \cos(\pi\omega)}{\pi^3 \omega^3} \quad \text{א. (6)}$$

(7) הוכחה.

$$g(t) = f(t) + f'(t) \quad \text{(8)}$$

$$f(x) = \begin{cases} \frac{\pi}{2} e^x (1-x) & x < 0 \\ \frac{\pi}{2} e^{-x} (1+x) & x > 0 \end{cases} \quad \text{(9)}$$

$$f(x) = \frac{1}{\pi} \frac{b}{a} \frac{(a-b)x}{(x^2 + (a-b)^2)^2} \quad \text{(10)}$$

$$f(x) = 4 \cdot \frac{\sin^2\left(\frac{\pi x}{2}\right)}{x^2} \quad \text{(11)}$$

$$\frac{\pi}{a+b} = \int_{-\infty}^{\infty} \frac{\omega}{a^2 + \omega^2} \frac{\omega}{b^2 + \omega^2} d\omega \quad \text{(12)}$$

$$f(\omega) = \frac{1}{e^4} \cdot e^{i\omega} \cdot \frac{1}{2\sqrt{\pi}} e^{-\frac{\omega^2}{4}} \quad \text{(13)}$$

(14) הוכחה.

15) הוכחה.

16) הוכחה.

# מבוא להנדסת חשמל 2 (2000611)

פרק 12 - התמרת לפלס

תוכן העניינים

40	.....	1. התמרת לפלס
43	.....	2. התמרת לפלס ההפוכה
47	.....	3. פתרון מדר בעזרת התמרת לפלס
49	.....	4. נוסחאות - התמרת לפלס

## התמרת לפלס

בסוף ספר הפרק יש דף נוסחאות להתמרת לפלס.

### שאלות

חשבו את התמרות לפלס בשאלות 1-12 בעזרת טבלת התמרות לפלס:

$$L\left(\frac{1}{2}t^4 + \frac{2}{\sqrt{\pi}}\sqrt{t+1}\right) \quad \text{(2)} \qquad L(t^2 + 4t - 2) \quad \text{(1)}$$

$$L(\cosh 4t) \quad \text{(4)} \qquad L(e^{-4t} + 10e^{2t}) \quad \text{(3)}$$

$$L(\sin 2t \cos 2t) \quad \text{(6)} \qquad L(\sinh 10t) \quad \text{(5)}$$

$$L(\sin^2 t) \quad \text{(8)} \qquad L(\sin 2t \cos 3t) \quad \text{(7)}$$

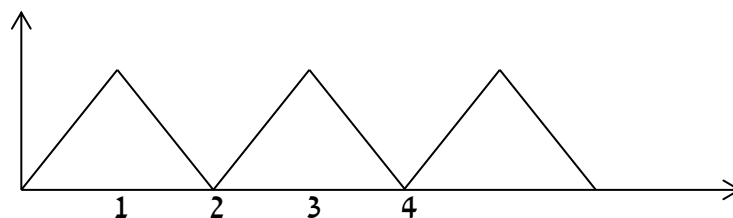
$$L(t^2 \sin 4t) \quad \text{(10)} \qquad L(\cos^2 4t) \quad \text{(9)}$$

$$L(e^{2t} \sin 4t) \quad \text{(12)} \qquad L(t^4 e^{2t}) \quad \text{(11)}$$

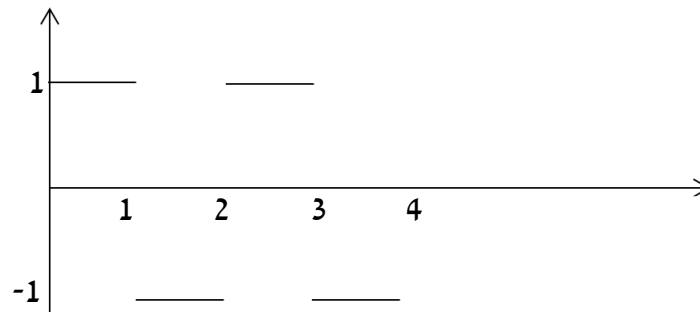
(13) מצאו את התמרת לפלס של הפונקציה  $g(t) = \begin{cases} t & 0 < t \leq 1 \\ 1 & t > 1 \end{cases}$

(14) מצאו את התמרת לפלס של הפונקציה  $g(t) = \begin{cases} t & 0 < t \leq 1 \\ 2-t & 1 < t \end{cases}$

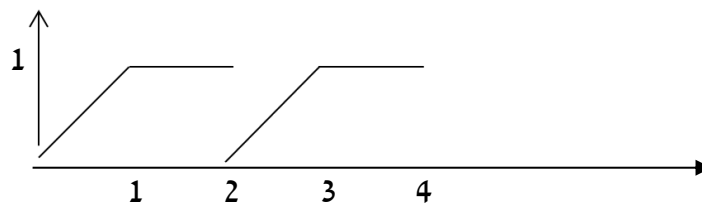
(15) מצאו את התמרת לפלס של הפונקציה המחזורית הבאה:



16 מצאו טרנספורם לפלס של הפונקציה המחזורית הבאה :



17 מצאו טרנספורם לפלס של הפונקציה המחזורית הבאה :



18 הגדירו ושרטטו את פונקציית המדרגה  $u(t)$  ואת ההזזה שלה  $u(t-k)$ .

19 שרטטו את הפונקציה  $f(t) = u(t-2) - u(t-3)$ , כאשר  $u(t)$  פונקציית המדרגה.

20 רשמו את הפונקציה  $f(t) = \begin{cases} 0 & t \leq 4 \\ 1 & t > 4 \end{cases}$ , בעזרת פונקציית המדרגה.

21 רשמו את הנוסחה להתמרת לפלס של פונקציית המדרגה  $u(t)$ ,

של הפונקציה  $u(t-k)$ , ושל הפונקציה  $f(t-k)u(t-k)$ .

22 חשבו את התמרת לפלס של הפונקציה הבאה :  $g(t) = \begin{cases} 0 & t < 4 \\ (t-4)^2 & t \geq 4 \end{cases}$ .

23 חשבו את התמרת לפלס של הפונקציה הבאה :  $g(t) = \begin{cases} 0 & t < 4 \\ t^2 & t \geq 4 \end{cases}$ .

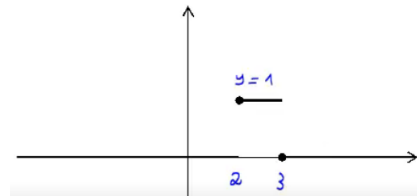
24 ענו על הסעיפים הבאים :

א. הגדירו ושרטטו את פונקציית הדלתא  $\delta(t)$ .

ב. מהי התמרת לפלס של פונקציית הדלתא, ושל ההזזה שלה  $\delta(t-a)$ ?

## תשובות סופיות

- $$\frac{12}{s^5} + s^{-3/2} + \frac{1}{s} \quad (2)$$
- $$\frac{1}{2} \left[ \frac{1}{s-4} + \frac{1}{s+4} \right] \quad (4)$$
- $$\frac{1}{2} \cdot \frac{4}{s^2+16} \quad (6)$$
- $$\frac{1}{2} \cdot \frac{1}{s} - \frac{1}{2} \cdot \frac{s}{s^2+4} \quad (8)$$
- $$\frac{8(3s^2-16)}{(s^2+16)^3} \quad (10)$$
- $$\frac{4}{(s-2)^2+16} \quad (12)$$
- $$\frac{1-2e^{-s}}{s^2} \quad (14)$$
- $$\frac{1-e^{-s}}{s(1+e^{-s})} \quad (16)$$
- $$u(t-k) = \begin{cases} 0 & t < k \\ 1 & t \geq k \end{cases} \quad (18)$$
- $$\frac{2}{s^3} + \frac{4}{s^2} - \frac{2}{s} \quad (1)$$
- $$\frac{1}{s+4} + 10 \frac{1}{s-2} \quad (3)$$
- $$\frac{1}{2} \left[ \frac{1}{s-10} - \frac{1}{s+10} \right] \quad (5)$$
- $$\frac{1}{2} \cdot \frac{5}{s^2+25} - \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{s^2+1} \quad (7)$$
- $$\frac{1}{2} \cdot \frac{1}{s} + \frac{1}{2} \cdot \frac{s}{s^2+64} \quad (9)$$
- $$\frac{24}{(s-2)^5} \quad (11)$$
- $$\frac{1-e^{-s}}{s^2} \quad (13)$$
- $$\frac{1-2e^{-s}+e^{-2}}{s^2(1-e^{-2s})} \quad (15)$$
- $$\frac{1-e^{-s}-se^{-2s}}{s^2(1-e^{-2s})} \quad (17)$$
- $$(19)$$



$$f(t) = \begin{cases} 0 & t \leq 2 \\ 1 & t > 2 \end{cases} = u(t-2) \quad (20)$$

$$L(u(t-k)f(t-k)) = e^{-ks}L(f(t)) \quad (21)$$

$$L((t-2)^2 \cdot u(t-2)) = \frac{2e^{-2s}}{s^3} \cdot \mathcal{N} \quad (22)$$

$$e^{-4s}L(t^2) + 8e^{-4s}L(t) + 16 \frac{e^{-4s}}{s} \quad (23)$$

$$L[\delta(t-2\pi)] = e^{-2\pi s} \quad (24)$$

## התמרת לפלס ההפוכה

### שאלות

חשבו את ההתמרות בשאלות 1-29:

$$L^{-1}\left(\frac{1}{s^4}\right) \quad (2)$$

$$L^{-1}\left(\frac{1}{s}\right) \quad (1)$$

$$L^{-1}\left(\frac{1}{s^2+4}\right) \quad (4)$$

$$L^{-1}\left(\frac{1}{s-10}\right) \quad (3)$$

$$L^{-1}\left(\frac{1}{(s-10)^2+4}\right) \quad (6)$$

$$L^{-1}\left(\frac{s}{s^2+4}\right) \quad (5)$$

$$L^{-1}\left(\frac{s}{(s^2+4)^2}\right) \quad (8)$$

$$L^{-1}\left(\frac{s}{(s-2)^2+4}\right) \quad (7)$$

$$L^{-1}\left(\frac{1}{\sqrt{s}}\right) \quad (10)$$

$$L^{-1}\left(\frac{1}{(s^2+4)^2}\right) \quad (9)$$

$$L^{-1}\left(\frac{5-s}{s^2+5s}\right) \quad (12)$$

$$L^{-1}\left(\frac{1}{s^2-4}\right) \quad (11)$$

$$L^{-1}\left(\frac{s^2+s-1}{s^3-s}\right) \quad (14)$$

$$L^{-1}\left(\frac{s}{s^2+5s+6}\right) \quad (13)$$

$$L^{-1}\left(\frac{10s}{s^4-13s^2+36}\right) \quad (16)$$

$$L^{-1}\left(\frac{6s^2+4s-6}{s^3-7s-6}\right) \quad (15)$$

$$L^{-1}\left(\frac{5-s}{s^3+s^2}\right) \quad (18)$$

$$L^{-1}\left(\frac{8s}{(s-2)^2(s+2)}\right) \quad (17)$$

$$L^{-1}\left(\frac{1}{(s^2-2s+1)(s^2-4s+4)}\right) \quad (20)$$

$$L^{-1}\left(\frac{9s+36}{s^3+6s^2+9s}\right) \quad (19)$$

$$L^{-1}\left(\frac{1}{s^2+s+1}\right) \quad (22)$$

$$L^{-1}\left(\frac{1}{s^2+2s+3}\right) \quad (21)$$

$$L^{-1}\left(\frac{2s^2+2s+1}{(s^2+1)(s+2)}\right) \quad (24)$$

$$L^{-1}\left(\frac{2s^2+s-1}{(s^2+1)(s-3)}\right) \quad (23)$$

$$L^{-1}\left(\frac{25s^2}{(s-1)(s^2+4)^2}\right) \quad (26)$$

$$L^{-1}\left(\frac{3}{(s^2+1)(s^2+4)}\right) \quad (25)$$

$$L^{-1}\left(\frac{e^{-4s}}{s+1} + \frac{e^{-2s}}{s^2+1}\right) \quad (28)$$

$$L^{-1}\left(\frac{3}{s} - \frac{4e^{-s}}{s^2} + \frac{4e^{-3s}}{s^2}\right) \quad (27)$$

$$L^{-1}\left(\frac{e^{-10s}}{(s-1)(s-2)}\right) \quad (29)$$

\* בשאלה 27 כתבו את התוצאה בצורה מפורטת ושרטטו אותה.

$$(30) \text{ נתון } F(s) = \frac{e^{-s} + 2}{s}$$

חשבו את  $f(0)$  ו- $f(\infty)$ , כאשר  $f(t) = L^{-1}(F(s))$ . פתרו בשתי דרכים שונות.

$$\text{הערה: } f(\infty) = \lim_{t \rightarrow \infty} f(t), \quad f(0) = \lim_{t \rightarrow 0} f(t)$$

(31) הסבירו והדגימו את משפט הקונוולוציה.

השתמשו במשפט הקונוולוציה כדי לחשב את התרגילים הבאים:

$$L^{-1}\left(\frac{1}{s^3(s-1)}\right) \quad (32)$$

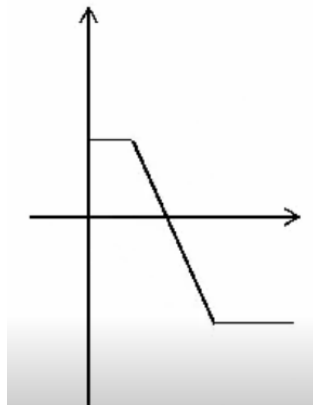
$$L^{-1}\left(\frac{2}{s^2(s^2+4)}\right) \quad (33)$$

$$L^{-1}\left(\frac{1}{s(s-4)^2}\right) \quad (34)$$

$$L^{-1}\left(\frac{1}{s(s^2+1)^2}\right) \quad (35)$$

## תשובות סופיות

- $$\frac{t^3}{3!} \quad (2) \qquad 1 \quad (1)$$
- $$\frac{1}{3} \sin 2t \quad (4) \qquad e^{10t} \quad (3)$$
- $$e^{10t} \frac{1}{2} \sin 2t \quad (6) \qquad \cos 2t \quad (5)$$
- $$\frac{1}{4} t \sin 2t \quad (8) \qquad e^{2t} \left\{ \cos 2t + 2 \frac{1}{2} \sin 2t \right\} \quad (7)$$
- $$\frac{1}{\sqrt{\pi} \sqrt{x}} \quad (10) \qquad \frac{1}{4} t \sin 2t \quad (9)$$
- $$1 - 2e^{-5t} \quad (12) \qquad \frac{1}{4} e^{2t} - \frac{1}{4} e^{-2t} \quad (11)$$
- $$1 + \frac{1}{2} e^t - \frac{1}{2} e^{-t} \quad (14) \qquad 3e^{-3t} - 2e^{-2t} \quad (13)$$
- $$e^{-3t} + e^{3t} - e^{-2t} - e^{2t} \quad (16) \qquad e^{-t} + 2e^{-2t} + 3e^{3t} \quad (15)$$
- $$-6 + 5t + 6e^{-2t} \quad (18) \qquad e^{2t} + 4te^{2t} - e^{-2t} \quad (17)$$
- $$2e^t + te^t - 2e^{2t} + te^{2t} \quad (20) \qquad 4 - 4e^{-3t} - 3te^{-3t} \quad (19)$$
- $$\frac{1}{\sqrt{0.75}} e^{-0.5t} \sin \sqrt{0.75} t \quad (22) \qquad \frac{1}{\sqrt{2}} e^{-t} \sin \sqrt{2} t \quad (21)$$
- $$\cos t + e^{-2t} \quad (24) \qquad \sin t + 2e^{3t} \quad (23)$$
- $$\sin t - \frac{1}{2} \sin 2t \quad (25)$$
- $$e^t - \cos 2t - \frac{1}{2} \sin 2t + 5t \sin 2t + \frac{5}{4} (\sin 2t - 2t \cos 2t) \quad (26)$$
- $$3 - 4u(t-1) \cdot (t-1) + 4u(t-3) \cdot (t-3) \quad \text{א.} \quad (27)$$
- $$\text{שרטוט: } \begin{cases} 3 & t < 1 \\ 7 - 4t & 1 < t < 3 \\ -5 & t \geq 3 \end{cases} \quad \text{ב.}$$



$$u(t-4)e^{-(t-4)} + u(t+2)\sin(t+2) \quad (28)$$

$$u(t-10)(e^{t-10} - e^{2(t-10)}) \quad (29)$$

$$f(0) = 2 \quad f(\infty) = 3 \quad (30)$$

שאלת הסבר. (31)

$$-\frac{1}{2}(t^2 + 2t + 2) + e^t \quad (32)$$

$$0.5t - \frac{1}{4}\sin 2t \quad (33)$$

$$\frac{1}{4}e^{4t}(t-1) + \frac{1}{4} \quad (34)$$

$$\frac{1}{2}(-2\cos t + 2 - t\sin t) \quad (35)$$

## פתרון מדר בעזרת התמרת לפלס

### שאלות

פתרו את המשוואות הבאות בעזרת התמרת לפלס:

$$y(0) = 0 ; y' + 4y = e^{-3t} \quad (1)$$

$$y(0) = -1, y'(0) = 4 ; y'' + 4y' + 4y = 10e^{-2t} \quad (2)$$

$$y(0) = -1, y'(0) = -4 ; y'' - 4y' = 16 \quad (3)$$

$$y(0) = y'(0) = 0 ; y'' + 4y' = 8t + 2 \quad (4)$$

$$y(0) = y'(0) = \frac{1}{4} ; 4y'' - 4y' = te^t + e^t \quad (5)$$

$$, y(0) = y'(0) = 0 ; y'' - 3y' + 2y = u(t-4) \quad (6)$$

$$\text{כאשר } u(t) = \begin{cases} 0 & t < 0 \\ 1 & t \geq 0 \end{cases} \text{ היא פונקציית המדרגה.}$$

$$. f(t) = \begin{cases} 0 & t < 1 \\ 2 & t \geq 1 \end{cases} \text{ כאשר } , y(0) = y'(0) = 0 ; y'' + y' = f(t) \quad (7)$$

$$. h(t) = \begin{cases} 1 & 0 < t < 2 \\ 0 & t \geq 2 \end{cases} \text{ כאשר } , y(0) = y'(0) = 0 ; y'' + 5y' + 6y = h(t) \quad (8)$$

$$y(0) = y'(0) = 0, y''(0) = 3 ; y'' + 4y' + 5y = 10\cos t \quad (9)$$

$$y(0) = 0, y'(0) = 0 ; y'' + 2y' + 2y = \delta(t - \pi) \quad (10)$$

$$y(0) = 2, y'(0) = -3 ; y'' + 3y' - 10y = 4\delta(t - 2) \quad (11)$$

$$y(0) = 0, y'(0) = 0 ; -y'' + 4y = \delta(t - 2\pi) - \delta(t - \pi) \quad (12)$$

## תשובות סופיות

$$y(t) = e^{-3t} - e^{-4t} \quad (1)$$

$$y(t) = e^{-2t}(5t^2 + 2t - 1) \quad (2)$$

$$y(t) = -4t - 1 \quad (3)$$

$$y(t) = t^2 \quad (4)$$

$$y(t) = \frac{1}{8}e^t(t^2 + 2) \quad (5)$$

$$y(t) = u(t-4)(0.5 - e^{t-4} + e^{2(t-4)}) \quad (6)$$

$$y(t) = 2u(t-1) \cdot (-1 + (t-1) + e^{-(t-1)}) \quad (7)$$

$$y(t) = \frac{1}{6}[1 - 3e^{-2t} + 2e^{-3t}] - u(t-2) \frac{1}{6}[1 - 3e^{-2(t-2)} + 2e^{-3(t-2)}] \quad (8)$$

$$y(t) = -\cos t + 2\sin t + 2e^{-t} - 2te^{-t} - e^{-2t} \quad (9)$$

$$y(t) = -u(t-\pi)e^{-(t-\pi)} \sin(t) \quad (10)$$

$$y(t) = \frac{4}{7}u(t-2)[e^{2(t-2)} - e^{-5(t-2)}] + e^{2t} + e^{-5t} \quad (11)$$

$$y(t) = -\frac{1}{2}u(t-2\pi)[\sinh(2(t-2\pi))] + \frac{1}{2}u(t-\pi)[\sinh(2(t-\pi))] \quad (12)$$

## נוסחאות – התמרת לפלס

$G(s)$	$g(t)$
$\frac{1}{s}$	1
$\frac{1}{s^2}$	$t$
$\frac{n!}{s^{n+1}}$	$t^n$ (for $n = 1, 2, 3, \dots$ )
$\frac{1}{s^n}$	$\frac{t^{n-1}}{(n-1)!}$ (for $n = 1, 2, 3, \dots$ )
$\frac{1}{s-a}$	$e^{at}$
$\frac{1}{(s-a)^n}$	$\frac{t^{n-1}}{(n-1)!} e^{at}$
$\frac{(n-1)!}{(s-a)^n}$	$t^{n-1} e^{at}$
$\frac{s}{s^2+a^2}$	$\cos(at)$
$\frac{a}{s^2+a^2}$	$\sin(at)$
$\frac{s}{s^2-a^2}$	$\cosh(at)$
$\frac{a}{s^2-a^2}$	$\sinh(at)$
$\frac{s}{(s^2-a^2)^2}$	$\frac{t}{2a} \sin(at)$
$\frac{s^2}{(s^2-a^2)^2}$	$\frac{1}{2a} (\sin(at) + at \cos(at))$
$\frac{a}{[(s+b)^2+a^2]}$	$e^{-bt} \sin at$

$\frac{s+b}{[(s+b)^2+a^2]}$	$e^{-bt} \cos at$
$\frac{2sa}{(s^2+a^2)^2}$	$t \sin at$
$\frac{s^2-a^2}{(s^2+a^2)^2}$	$t \cos at$
$\frac{1}{(s-a)^2}$	$te^{at}$
$\frac{1}{(s^2+a^2)^2}$	$\frac{1}{2a^3}(\sin(at) - at \cos(at))$
$\frac{1}{2} \sqrt{\pi} s^{-\frac{3}{2}}$	$\sqrt{t}$
$\sqrt{\pi} s^{-\frac{1}{2}}$	$\frac{1}{\sqrt{t}}$
$\frac{1}{s}$	$u(t)$
$\frac{e^{-ks}}{s}$	$u(t-k)$
$e^{-ks} \cdot F(s)$	$u(t-k) f(t-k)$
$(-1)^n (F(s))^{(n)}$	$t^n g(t)$

### תוספות

- נניח שנתונה התמרת לפלס ההפוכה  $F(s)$ , של פונקציה  $f(t)$ , ורוצים את  $f(0)$  ו- $f(\infty)$ . אז במקום למצוא את  $f(t)$  ולהציב, ניתן להיעזר בנוסחאות הבאות:

$$f(0) = \lim_{s \rightarrow \infty} s \cdot F(s)$$

$$f(\infty) = \lim_{s \rightarrow 0} s \cdot F(s)$$

$$f(t) * g(t) = \int_0^t f(x) g(t-x) dx$$

- קונוולוציה:

$$\boxed{L(f(t) * g(t)) = F(s) \cdot G(s)}$$

$$L^{-1}(F(s) \cdot G(s)) = f(t) * g(t)$$

$$L^{-1}(F(s) \cdot G(s)) = \int_0^t f(x) g(t-x) dx$$

# מבוא להנדסת חשמל 2 (2000611)

פרק 13 - פונקציות תמסורת, סרטוטי בודה והתמרות לפלס

תוכן העניינים

1. פונקציות תמסורת ..... (ללא ספר)
2. סרטוטי בודה ..... (ללא ספר)
3. ניתוח מעגלים באמצעות התמרת לפלס ..... (ללא ספר)

# מבוא להנדסת חשמל 2 (2000611)

פרק 14 - מעגלים מצומדים מגנטית ושנאים

תוכן העניינים

1. מעגלים מצומדים מגנטית ..... (ללא ספר)
2. השנאי האידיאלי ..... (ללא ספר)

# מבוא להנדסת חשמל 2 (2000611)

פרק 15 - דיודות

תוכן העניינים

1. דיודה אידיאלית ..... (ללא ספר)
2. דיודה לא אידיאלית ..... (ללא ספר)
3. קו עומס של מעגל ונקודת עבודה ..... (ללא ספר)
4. דיודת זנר ..... (ללא ספר)
5. מעגלים לוגים עם דיודות ..... (ללא ספר)

# מבוא להנדסת חשמל 2 (2000611)

פרק 16 - רשתות זוגיים (Two port networks)

תוכן העניינים

1. כללי ..... (ללא ספר)

# מבוא להנדסת חשמל 2 (2000611)

פרק 17 - רשתות תלת פאזיות

תוכן העניינים

1. כללי ..... (ללא ספר)

# מבוא להנדסת חשמל 2 (2000611)

פרק 18 - מעגלים מגנטיים

תוכן העניינים

1. המעגל המגנטי ..... (ללא ספר)
2. צימוד ומעגלים מגנטיים בזרם חילופין ..... (ללא ספר)