

## תרגיל מחשב

### חלק ב'

מטרת התרגיל: לתכנן מסנן ספרתי ע"י תכנון מסנן Butterworth אנלוגי והמרתו למסנן ספרתי באמצעות התמרה בי לינארית.

1. נתונים אותות  $z(t)$  ו-  $y(t)$  הדגומים בתדר  $F_s = 8192 \text{ Hz}$  (יש לפתוח את הקובץ sig\_2.mat במטלב או כל תוכנה אחרת).

a. שרטט/י את הערך המוחלט בריבוע של התמרת פורייה האנלוגית של כל אחד מהאותות באמצעות מחשב ע"י שימוש ב-DFT.

b. מה ההבדל בין שני האותות?

c. האזן/י לאותות  $y$  ו-  $z$ . אם עובדים במטלב, אפשר להשתמש בשורות הבאות

```
playerObj = audioplayer(y,Fs);
```

```
start = 1;  
stop = playerObj.SampleRate * 3;  
play(playerObj,[start,stop]);
```

d. תאר/י את ההבדל בין האותות.

מעוניינים לסנן את אחד מהאותות (  $y(t)$  או  $z(t)$  ) כך שהאותות ישמעו דומה זה לזה ככל שניתן. את זאת יש לעשות ע"י מסנן ספרתי  $H(z)$  השקול למסנן אנלוגי  $H_c(s)$  מעביר נמוכים (low-pass) בעל המאפיינים הבאים

$$A_s = 20 \text{ dB}$$

$$A_p = -20 \log_{10}(1 - \delta_p) < 5 \text{ dB}$$

$$\Omega_p = 3600 \times 2\pi \text{ K rad/sec}$$

$$\Omega_s = 3800 \times 2\pi \text{ K rad/sec}$$

א. מה הם המאפיינים של המסנן הספרתי (תדר מעבר, עצירה, ניחות וגליות) כך שהמערכת האנלוגית השקולה  $H_c(s)$  תעמוד בדרישות המפורטות מעלה?

מעוניינים לתכנן מסנן ספרתי IIR בעל פונקציית תמסורת  $H(z)$  באמצעות המרה של מסנן Butterworth  $\tilde{H}(s)$  ע"י ההתמרה הבי-לינארית:

$$H(z) = \tilde{H}(s) \Big|_{s=\frac{z-1}{z+1}}$$

- ב. חשבי תדרים אנלוגיים מתאימים למסנן Butterworth  $\tilde{H}(j\Omega)$  המבוקש. האם תדרים אלה צריכים להיות זהים לתדרים האנלוגיים הנדרשים ל- $H_c(j\Omega)$ ?
- ג. תכנן/י מסנן אנלוגי מסוג Butterworth כתוב/י ביטוי כללי לאפסים של המסנן Butterworth ושרטט במחשב את מגניטודת תגובת התדר  $\tilde{H}(j\Omega)$  במחשב.
- ד. שרטט/י את מגניטודת תגובת התדר של המסנן הספרתי  $H(e^{j\omega})$ .
- ה. שרטט/י את תגובת התדר של המסנן הספרתי השקול  $H_c(j\Omega)$ .
- ו. סנן את אחד מהאותות ( $z(t)$  או  $y(t)$ ) כך שישמעו קרוב זה לזה ככל שניתן.

2. בתרגיל זה נתבונן ב-  $x(t) = x_0(t) + x_1(t)$  כאשר:

$$x_0(t) = A_0 \sin(\Omega_0 t)$$

$$x_1(t) = A_1 \sin(\Omega_1 t)$$

כאשר  $\Omega_0$  ו-  $\Omega_1$  הינם תדרים לא ידועים למעט  $2\pi \times 3200 < \Omega_0, \Omega_1$ . האות  $x(t)$  נדגם בתדר  $\Omega_s = 6720 \times 2$  וממור לסידרה  $x[n], n = 0, \dots, N-1$ .

א. עבור  $A_0 = A_1$  מהו הפרש התדרים  $\Delta\Omega = |\Omega_1 - \Omega_0|$  המינימאלי המאפשר להבחין בין התדרים  $\Omega_0$  ו-  $\Omega_1$  עבור  $N = 16, 32, 64, 128, 256$ . יש להציג את הספקטרום לכל  $N$  ולהדגים את ההפרדה.

נאמר ששני תדרים כעת ברי הפרדה אם אונות הצד של הספקטרום באורך  $N$  נמוכות מהאונה הראשית של כל תדר.

ב. עבור  $A_0 = 0.05, A_1 = 1$  משתמשים בחלון Hann. מהו  $\Delta\Omega = |\Omega_1 - \Omega_0|$  המינימאלי המאפשר להבחין בין התדרים  $\Omega_0$  ו-  $\Omega_1$  עבור  $N = 16, 32, 64, 128, 256$ . יש להציג את הספקטרום לכל  $N$  ולהדגים את ההפרדה.

ג.  $A_0 = 0.001, A_1 = 1$ . האם ניתן להבחין בין התדרים השונים? אם כן, איזה חלון דרוש ומהו  $\Delta\Omega = |\Omega_1 - \Omega_0|$  המינימאלי המאפשר להבחין בין התדרים  $\Omega_0$  ו-  $\Omega_1$  עבור  $N = 16, 32, 64, 128, 256$ . יש להציג את הספקטרום לכל  $N$  ולהדגים את ההפרדה.