

**מעבדה במכשור**

**הנדסה ביורפואית**

מגישים :

נדב אמיתי

יובל כסיף

סול אמארה

תאריך: 27.06.2022

## תוכן עניינים:

|    |  |  |
|----|--|--|
| 1  | מעבדה במכשור הנדסה ביורפואית               |  |
| 3  | 1 תקציר                                    |  |
| 4  | 2 ניסויים                                  |  |
| 4  | 2.1 ניסוי 1 : תכונת תחליפיות של תרמיסטורים |  |
| 4  | 2.1.1 היפותזה :                            |  |
| 4  | 2.1.2 מתודולוגיה :                         |  |
| 4  | 2.1.3 תוצאות :                             |  |
| 10 | 2.1.4 מסקנות :                             |  |
| 12 | 2.2 ניסוי 2 :                              |  |
| 12 | 2.2.1 היפותזה :                            |  |
| 12 | 2.2.2 מתודולוגיה :                         |  |
| 12 | 2.2.3 תוצאות :                             |  |
| 15 | 2.2.4 מסקנות :                             |  |
| 16 | 2.3 ניסוי 3 :                              |  |
| 16 | 2.3.1 היפותזה :                            |  |
| 16 | 2.3.2 מתודולוגיה :                         |  |
| 16 | 2.3.3 תוצאות :                             |  |
| 16 | 2.3.4 מסקנות :                             |  |
| 17 | 3 מסקנות כלליות                            |  |
| 18 | 4 מקורות                                   |  |
| 19 | 5 נספחים                                   |  |

במעבדה זו הכרנו ועבדנו עם התרמיסטור, רכיב חשמלי, העשוי חומר מוליך למחצה, שנועד למדוד טמפ' בתווך מסוים. כמו כן, ידיעת הטמפ' הינה חשובה מאוד בעולמנו, הן באופן כולל והן בפן הביורפואי, שכן מדידת טמפ' הגוף הינה מאפיין חשוב באבחון מצבו הבריאותי של מטופל. בניסוי הראשון בדקנו את התחליפיות של התרמיסטורים, בנינו מודלים התואמים את התרמיסטורים ובדקנו האם מודל של תרמיסטור מתאים לתרמיסטור אחר, בשלב זה הבנו שהייתה בעיה במדידת המתח. בניסוי השני בדקנו כיצד תרמיסטורים בעלי שטח פנים שונה מתייצבים בעת שינוי פתאומי של טמפ'. ראינו כי תרמיסטור בעל שטח פנים גדול יותר מתייצב מהר יותר מאשר תרמיסטור בעל שטח פנים קטן. בניסוי השלישי בדקנו האם התייצבות של מדחום ותרמיסטור בסביבות שונות וראינו כי מדחום מתייצב מהר יותר מתרמיסטור בבית השחי, בעוד שתרמיסטור מתייצב מהר יותר באמבט ממד חום. שיערנו כי תוצאה זו נובעת מכך שלתרמיסטור שטח פנים גדול יותר ביחס למד חום ולכן בסביבה יציבה יתייצב מהר יותר לעומת סביבה שאינה יציבה בה מד החום יתייצב מהר יותר.

## 2 ניסויים:

### 2.1 ניסוי 1: תכונת תחליפיות של תרמיסטורים

#### 2.1.1 היפותזה:

בניסוי זה נבדוק ונשווה את תכונת התחליפיות בין תרמיסטורים ונראה כיצד משפיע מימד החיישן על מעבר החום. בהנחה שתיכנון המעגל נכון על פי הדוח המכין נצפה כי ערכי השגיאה בטמפ' יהיו קטנים מ  $0.1 [^{\circ}\text{C}]$ . כמו כן, נצפה כי ישנה תחליפיות כלומר אם נכליל מודל עבור תרמיסטור מסוים נוכל להשתמש בו על תרמיסטור אחר.

#### 2.1.2 מתודולוגיה:

**מכשור וציוד:** מטריצת אלביס, נגדים, מגבר מכשור, תרמיסטור, כבלים בננה BNC, כבלי חיבור. **מהלך הניסוי:** נרכיב את המעגל אותו בנינו בדוח המכין על גבי מטריצת האלביס, פתחתנו את תיקיית C:\Documents\Public\Users\ Launcher, הפעלנו את תוכנת האלביס באמצעות קיצור ה' Launcher Instrument ELVISmx NI. בתפריט VPS בחרנו מתח הזנה של  $9 \pm$  וולט. הכנסנו את שני התרמיסטורים לאמבט וחיברנו כל אחד מהם בנפרד ורשמנו את מתח המוצא עליו התייצב כל אחד. ביצענו ניסוי זה בטמפ': 35.5, 36.5, 37.8, 40.5, 42 (כל הטמפ' במעלות צלזיוס).

#### 2.1.3 תוצאות:

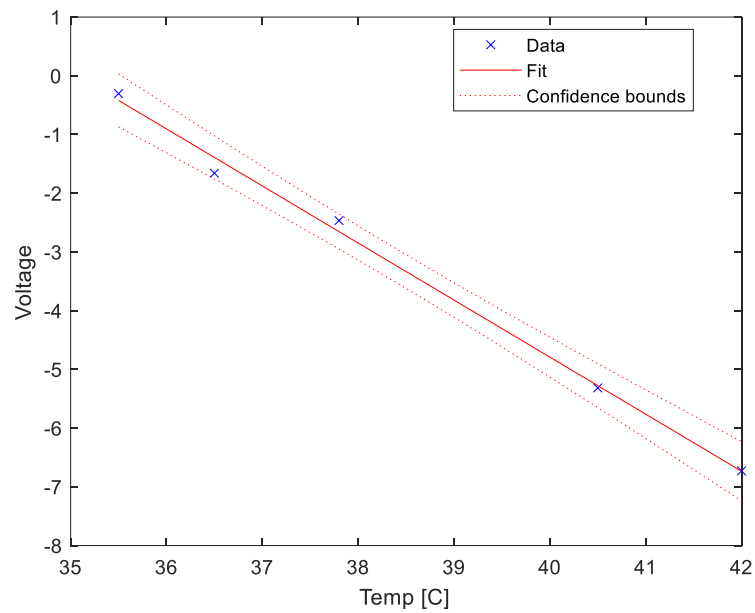
טבלה א - מדידת המתח כתלות בטמפרטורה עבור תרמיסטור דגם YSI B409 (גדול)

| בדיקה  |        | כיוול  |        |        |        |        |                                    |
|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|------------------------------------|
| 41     | 37     | 42     | 40.5   | 37.8   | 36.5   | 35.5   | טמפרטורה<br>[ $^{\circ}\text{C}$ ] |
| -5.558 | -1.620 | -6.412 | -4.372 | -2.513 | -1.391 | -0.098 | מתח<br>[V]                         |

טבלה ב - מדידת המתח כתלות בטמפרטורה עבור תרמיסטור דגם YSI 402 (קטן)

| בדיקה  |        | כיוול  |        |        |        |        |                                    |
|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|------------------------------------|
| 41     | 37     | 42     | 40.5   | 37.8   | 36.5   | 35.5   | טמפרטורה<br>[ $^{\circ}\text{C}$ ] |
| -5.709 | -1.571 | -6.729 | -5.316 | -2.466 | -1.659 | -0.304 | מתח<br>[V]                         |

## תשובה לשאלה א:



איור 1 - התאמה לינארית של המתח כתלות בטמפ' תרמיסטור קטן

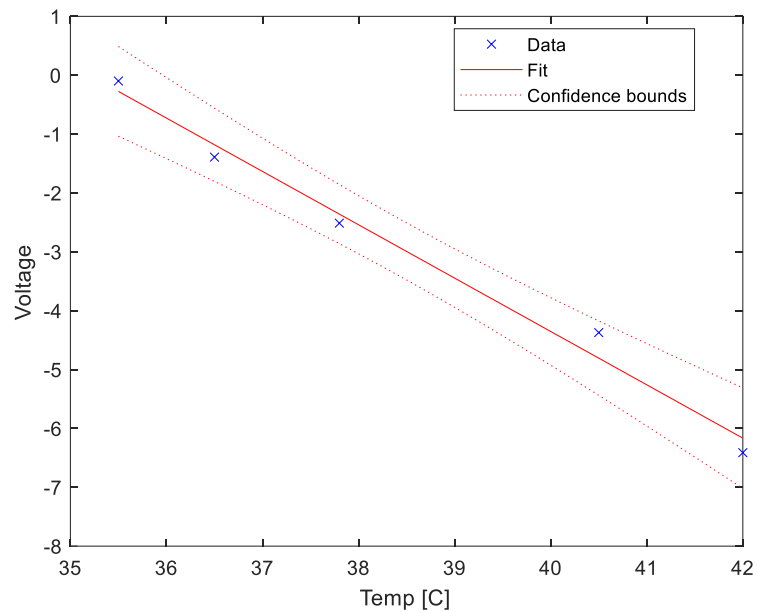
בגרף ניתן לראות שימוש בפונקציית fitlm, ההתאמה הליניארית שקיבלנו עבור המתח כתלות בטמפ':

$$V = -0.97 \cdot T + 34.071$$

$$R^2 = 0.9942$$

$$b1_{CI} = [-1.0893 \quad -0.8538]$$

עשינו התאמה לינארית למתח ולטמפ' עבור התרמיסטור הקטן וקיבלנו ערך רגרסיה קרוב לאחד מה שמראה על התאמה לינארית טובה. בנוסף נשים לב כי בתוך הרווח בר סמך של השיפוע לא ניתן למצוא את 0 ולכן נוכל לומר כי התאמה זו היא התאמה מובהקת.



איור 2 - התאמה לינארית של המתח כתלות בטמפ' תרמיסטור גדול

בגרף ניתן לראות שימוש בפונקציית fitlm, ההתאמה הליניארית שקיבלנו עבור המתח כתלות בטמפ':

$$V = -0.906 \cdot T + 31.894$$

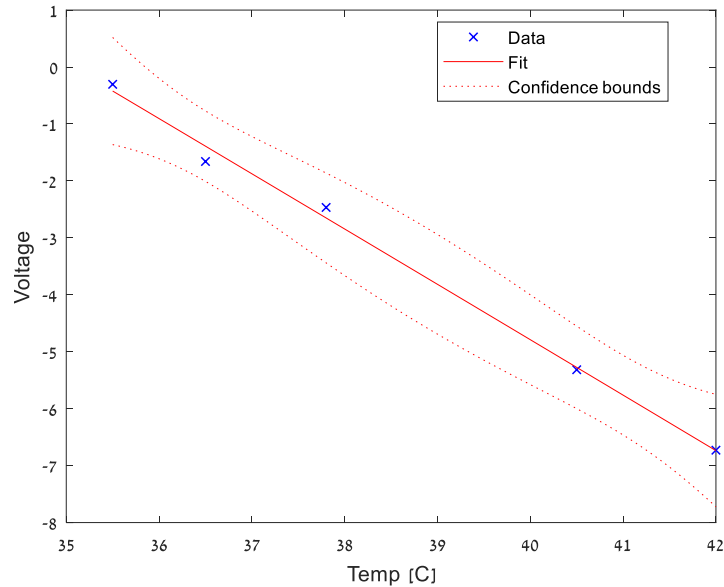
$$R^2 = 0.9813$$

$$b1_{CI} = [-1.1050 \quad -0.7073]$$

עשינו התאמה לינארית למתח ולטמפ' עבור התרמיסטור הגדול וקיבלנו ערך רגרסיה קרוב לאחד מה שמראה על התאמה לינארית טובה בנוסף נשים לב כי בתוך הרווח בר סמך של השיפוע לא ניתן למצוא את 0 ולכן נוכל לומר כי התאמה זו היא התאמה מובהקת.

### תשובה לשאלה ב:

ההתאמה מסדר 2 שביצענו הינה:



איור 3: התאמה מסדר שני של המתח כתלות בטמפ' תרמיסטור קטן

בגרף ניתן לראות שימוש בפונקציית fitlm, ההתאמה הליניארית שקיבלנו עבור המתח כתלות בטמפ':

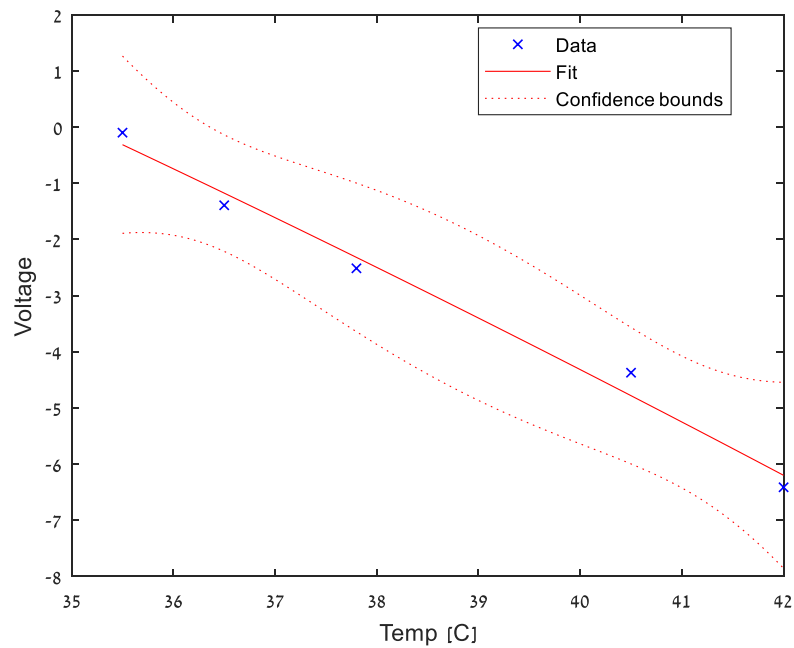
$$V = -5.3622 \cdot 10^{-4} \cdot T^2 - 0.93 \cdot T + 33.2680$$

$$R^2 = 0.9913$$

$$b1_{CI} = [-10.3253 \quad 8.4654]$$

$$b2_{CI} = [-0.1216 \quad 0.1206]$$

עשינו התאמה מסדר שני למתח ולטמפ' עבור התרמיסטור הקטן וקיבלנו ערך רגרסיה קרוב לאחד מה שמראה על התאמה טובה. עם זאת, ניתן לראות כי אפס מוכל ברווח בר סמך של שני המקדמים ולכן ניתן להסיק כי ההתאמה אינה מובהקת.



איור 4: התאמה מסדר שני של המתח כתלות בטמפ' תרמיסטור גדול

בגרף ניתן לראות שימוש בפונקציית fitlm, ההתאמה הליניארית שקיבלנו עבור המתח כתלות בטמפ':

$$V = -0.008 \cdot T^2 - 0.2892 \cdot T + 19.9781$$

$$R^2 = 0.9723$$

$$b1_{CI} = [-16.0493 \quad 15.4710]$$

$$b2_{CI} = [-0.2111 \quad 0.1952]$$

עשינו התאמה מסדר שני למתח ולטמפ' עבור התרמיסטור הגדול וקיבלנו ערך רגרסיה קרוב לאחד מה שמראה על התאמה טובה. עם זאת, ניתן לראות כי אפס מוכל ברווח בר סמך של שני המקדמים ולכן ניתן להסיק כי ההתאמה אינה מובהקת.



# תשובה לשאלה ג:

טבלה ג: הצבת ערכי הטמפ' במשוואות ומציאת ההפרש במתח

| טמפרטורה |        |        |        |        |                        |        |             | שגיאת מתח [V] |
|----------|--------|--------|--------|--------|------------------------|--------|-------------|---------------|
| בדיקה    |        | כיוול  |        |        |                        |        |             |               |
| 41       | 37     | 42     | 40.5   | 37.8   | 36.5                   | 35.5   |             |               |
| 0.0535   | 0.3053 | 0.3321 | 0.9048 | 0.1406 | 0.0004                 | 0.321  | ליניארי 402 |               |
| 0.2991   | 0.0142 | 0.5639 | 0.5102 | 0.1069 | 0.4779                 | 0.0291 | ליניארי 409 |               |
| 0.0529   | 0.3038 | 0.3244 | 0.9031 | 0.1378 | $9.0039 \cdot 10^{-4}$ | 0.3235 | סדר שני 402 |               |
| 0.3081   | 0.0087 | 0.5297 | 0.5348 | 0.1473 | 0.4846                 | 0.0084 | סדר שני 409 |               |

מתוך המידע של הכיוול ניתן לראות כי עבור התרמיסטור הקטן ישנה עדיפות קטנה לסדר השני כיוון שערכי השגיאה נמוכים יותר. בנוסף, גם עבור הבדיקה קיבלנו תוצאה זהה ולכן נסיק כי המודל הריבועי הינו מדויק יותר עבור התרמיסטור הקטן. עבור התרמיסטור הגדול, אין מסקנה חד משמעית גם לתוצאות הכיוול וגם לתוצאות הבדיקה כיוון שזה משתנה בין התוצאות.

נסיק כי בשניהם הפולינום מסדר 2 עדיף כיוון שהוא קירוב טוב יותר של אקספוננט ונוסחת התרמיסטור הינה אקספוננציאלית.

כעת נמצא את הטמפ' מתוך המתח:

$$V_{sqr} = aT^2 + bT + c \rightarrow T = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4a(c - V)}}{2a}$$

טבלה ד': הצבת ערכי המתח למציאת השגיאה בטמפ'

| טמפרטורה |        |        |        |        |        |        |                | שגיאת<br>טמפ'<br>[C] |
|----------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|----------------|----------------------|
| בדיקה    |        | כיול   |        |        |        |        |                |                      |
| 41       | 37     | 42     | 40.5   | 37.8   | 36.5   | 35.5   |                |                      |
| 0.0622   | 0.1919 | 0.3395 | 0.9043 | 0.1659 | 0.0016 | 0.3437 | ליניארי<br>402 |                      |
| 0.3359   | 0.0874 | 0.5342 | 0.5091 | 0.1589 | 0.5874 | 0.0623 | ליניארי<br>409 |                      |
| 0.0550   | 0.2072 | 0.3157 | 0.9178 | 0.1864 | 0.0138 | 0.3350 | סדר שני<br>402 |                      |
| 0.3684   | 0.0944 | 0.5254 | 0.5494 | 0.1946 | 0.5944 | 0.0128 | סדר שני<br>409 |                      |

מטבלה זו ניתן לראות את ערכי השגיאה שקיבלנו בטמפ' לאחר הצבה במשוואות ההפוכות של המודלים שקיבלנו מסעיפים א' וב'. בניגוד לצפייה שלנו שערכי השגיאה בטמפ' יהיו נמוכים מ[ $0.1^{\circ}\text{C}$ ] קיבלנו במקרים רבים שגיאה מעל טווח זה. נשער כי בעיה זו נובעת מכך שלא חיכינו מספיק להתייצבות או לחילופין שזה הושפע מאי דיוק של הנגדים שכן ההתנגדויות שמדדנו אינן זהות לחלוטין לערכים התאורטיים.

תשובה לשאלה ד'

נבחר בקירוב מסדר שני מכיוון שלרוב יצא לו שגיאה יותר נמוכה ובנוסף קירוב מסדר שני הוא קירוב טוב יותר לפונקציית אקספוננט. נבדוק כיצד המודל של התרמיסטור הגדול מוכלל על הקטן:

טבלה ג'- השגיאה עבור הכללה של התרמיסטור הקטן לגדול

| טמפרטורה |        |        |        |        |        |        |                               | שגיאת<br>טמפ'<br>[C] |
|----------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|-------------------------------|----------------------|
| בדיקה    |        | כיול   |        |        |        |        |                               |                      |
| 41       | 37     | 42     | 40.5   | 37.8   | 36.5   | 35.5   |                               |                      |
| 0.4744   | 0.0944 | 0.2118 | 0.4170 | 0.1946 | 0.2535 | 0.2458 | מתח הקטן<br>למודל של<br>הגדול |                      |

טבלה זו מתארת את הניסיון להכליל מודל אחד על תרמיסטור אחר, לקחנו את המודל של התרמיסטור הגדול והבאנו לו בתור קלט את המתחים של התרמיסטור השני. ניתן לראות כי השגיאות אינן תואמות את השגיאה אותה דרשו ( $0.1^{\circ}\text{C}$ ).

**2.1.4 מסקנות:**

בניסוי זה בדקנו את תכונת החלופיות של התרמיסטורים, בנינו מודל לכל תרמיסטור ובדקנו האם המודל עומד בשגיאה של  $0.1^{\circ}\text{C}$ , קיבלנו שאף מודל לא עמד בדרישה זו, לרוב קיבלנו שגיאות שעלו על  $0.5^{\circ}\text{C}$  הדבר יכול להיות מוסבר ע"י העובדה שייתכן ולא חיכינו מספיק זמן כדי

שהמערכת תתייצב ולכן ייתכן ולא בדקנו את המערכת במצב של פלטו. מכאן שהנוסחאות שלמדנו לא תואמות את המצב הנמדד. לאחר מכן בדקנו האם מודל אחד תואם לתרמיסטור השני, גם כאן התוצאות אינן מזהירות אך במקרה זה לא היינו מצפים שיעבוד שכן המודל לא עבד על תרמיסטור שהוא חושב עליו ולכן אין סיבה שיעבוד על תרמיסטור אחר. מכאן שלא ניתן להסיק מסקנה שכן המודלים שגויים מילכתחילה.

## 2.2 ניסוי 2:

### 2.2.1 היפותזה:

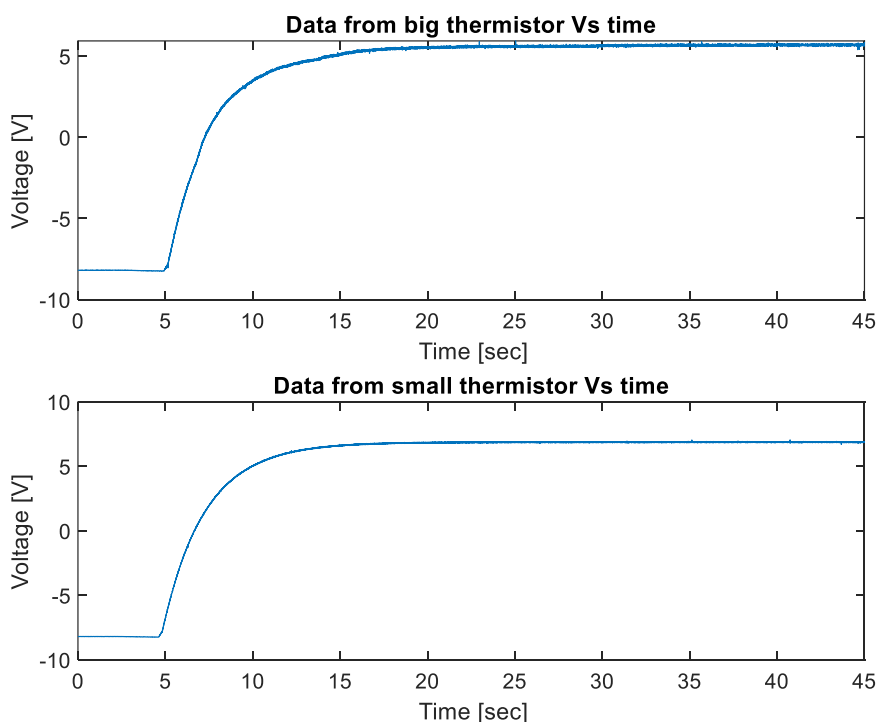
בניסוי זה נרצה לבחון את ההבדל בזמן ההתייבבות של שני תרמיסטורים (גדול, קטן). נבחן זאת באמצעות מעבר התרמיסטורים ממי קרח לאמבט מים חמים. אנו מצפים כי התרמיסטור הגדול יתייבב מהר יותר מהתרמיסטור הקטן, זאת מכיוון שלתרמיסטור הגדול שטח פנים גדול יותר, כלומר יותר מולקולות של מים חמים באות באינטראקציה עם התרמיסטור ובכך התנגדות הנגד המשתנה יורדת מהר יותר. כלומר, הטמפר' המשוערכת גדלה מהר יותר לכיוון הערך האמיתי של האמבט. בנוסף נשער כי עקב שטח הפנים הגדול יותר, התרמיסטור הגדול יחוזה יותר רעשים מאשר התרמיסטור הקטן.

### 2.2.2 מתודולוגיה:

**מכשור וציוד:** מטריצת אלביס, נגדים, מגבר מכשור, תרמיסטור, כבלים בננה BNC, כבלי חיבור. **מהלך הניסוי:** בניסוי זה תחילה הכנסנו את שני התרמיסטורים למי קרח. לאחר ששהו במי הקרח, התחלנו להקליט בעזרת תוכנת ה-Lab view והעברנו את התרמיסטורים לאמבט החם בטמפר' 42 מעלות צלזיוס, לאחר מכן חיכינו להתייבבות של המתח ברב המודד, כך שהקלטנו בסך הכל 45 קצת יותר מ45 שניות.

### 2.2.3 תוצאות:

נציין כי המתחים שנמדדו בניסוי היו הפוכים, לכן הכפלנו אותם במינוס 1.



איור 5 - התוצאות שקיבלנו מתוכנת ה-LabView

באיור מעלה ניתן לראות את התוצאות שקיבלנו מתוכנת ה-LabView, ניתן לראות כי בשני התרמיסטורים התקבל גרף אשר עולה אסקפוננציאלי כפי שציפינו. כמו כן, ניתן לראות כי שני

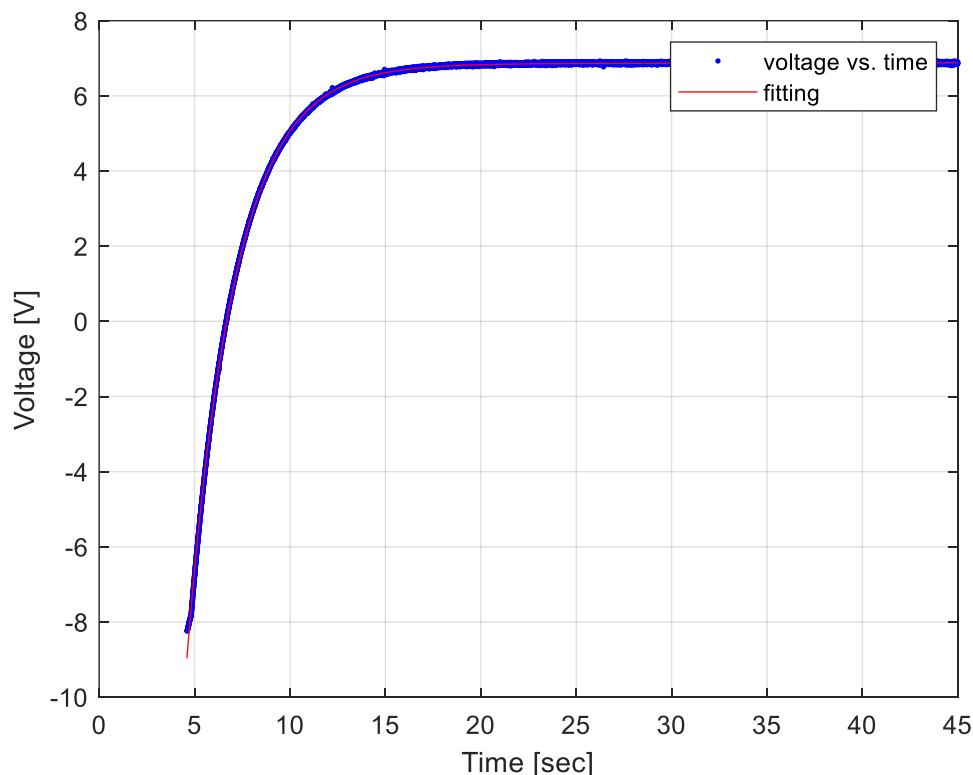
הגרפים מתחילים ומסיימים באותו ערך של מתח, מה שמתיישב עם העובדה שהם מדדו בהתחלה ובסוף את אותה הטמפרטורה. בנוסף ניתן לראות כי באזור 5 שניות בשני הגרפים החל תהליך שינוי הטמפרטורה. נציין כי עבור התרמיסטור הגדול נראה כי האות שהתקבל מורעש יותר מהאות שהתקבל מהתרמיסטור הקטן.

#### תשובה לשאלה ה':

תחילה בגלל שהמעבר לאמבט החום החל לאחר זמן מסוים, קטמנו את האותות כך שיתחילו מזמן 4.5 שניות, כך ההתאמה האקספוננציאלית תעבוד טוב יותר. לאחר מכן קיבלנו את ההתאמות הבאות:

עבור התרמיסטור הגדול:

$$V(t) = 6.844 \cdot e^{0.0001t} - 100.7 \cdot e^{-0.4024t} \approx 6.844 - 100.7 \cdot e^{-0.4024t}$$



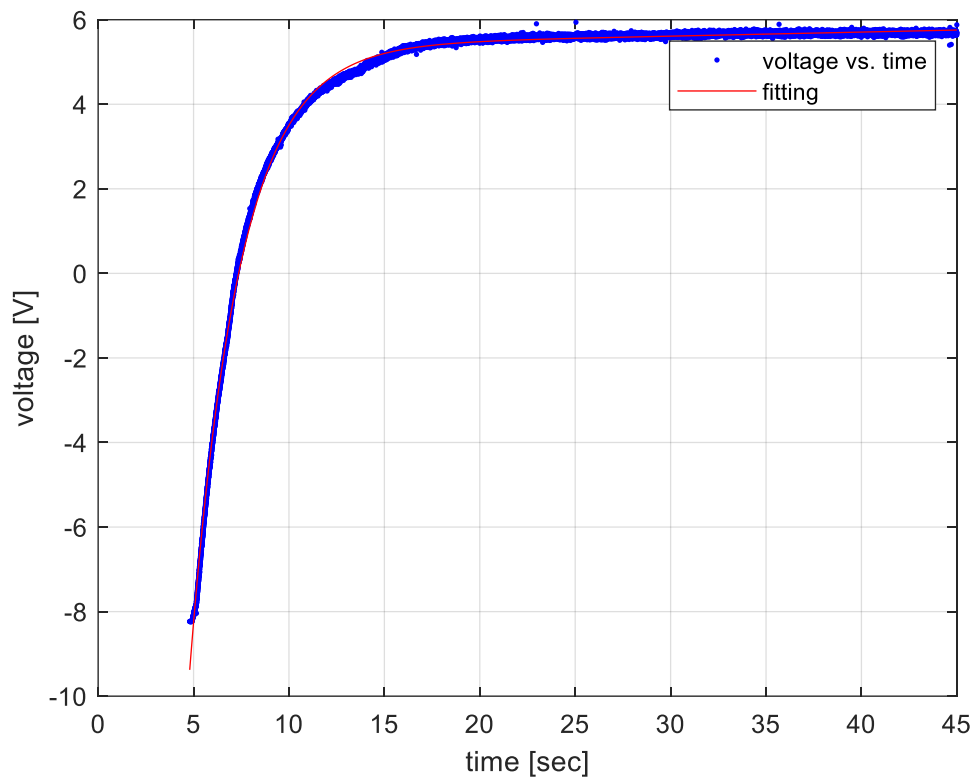
איור 6 - התאמת מודל אקספוננציאלי לנתונים מהתרמיסטור הגדול

באיור מעלה ניתן לראות את הדאטה שלנו מהתרמיסטור הגדול בכחול, ואת ההתאמה האקספוננציאלית באדום. כמו כן ניתן לראות כי ישנה התאמה טובה מאוד, ונציין כי קיבלנו

$$R^2 = 0.9958$$

עבור התרמיסטור הקטן:

$$V(t) = 5.335 \cdot e^{0.0001t} - 96.82 \cdot e^{-0.392t} \approx 5.335 - 96.82 \cdot e^{-0.392t}$$



איור 7 - התאמת מודל אקספוננציאלי לנתונים מהתרמיסטור הקטן

באיור מעלה ניתן לראות את הדאטה שלנו מהתרמיסטור הקטן בכחול, ואת ההתאמה האקספוננציאלית באדום. כמו כן ניתן לראות כי ישנה התאמה טובה מאוד, ונציין כי קיבלנו  $R^2 = 0.9995$ .

כעת נשווה בין קבועי הזמן של כל אחד מהמודלים.

$$\tau_{big} = \frac{1}{0.4024} = 2.4851[sec] \rightarrow 5\tau = t_{ss} = 12.4255[sec]$$

$$\tau_{small} = \frac{1}{0.392} = 2.551[sec] \rightarrow 5\tau = t_{ss} = 12.755[sec]$$

כלומר, קיבלנו כי זמן ההתייצבות של התרמיסטור הגדול קצר יותר מאשר זמן ההתייצבות של התרמיסטור הקטן.

באשר למדידה בפה ולא באמבט, אנו מצפים כי עקב הסביבה הלא יציבה (בפה הטמפי לא אחידה באופן מוחלט) יכולות להתקבל תוצאות קצת יותר אקראיות, כלומר בכל פעם שנמדוד נוכל לקבל תוצאה אחרת לגבי מי מהתרמיסטורים מתייצב מהר יותר, שכן ראינו כי באמבט החם התרמיסטור הגדול ניצח בהפרש קטן.

### תשובה לשאלה ו':

ראשית, לצורך שיערוך הרעש נרצה להסתכל על הסיגנלים לאחר התייצבות, לכן, ניקח כל סיגנל החל מהזמן ששיערכנו שהוא התייצב. בכדי לעשות זאת נקח את הסיגנל החל מהאינדקס ששווה לזמן ההתייצבות כפול תדר הדגימה, עד לסופו.

לאחר יצירת הווקטורים החדשים של הסיגנלים לאחר התייצבות, קיבלנו שהשונויות של הווקטורים הינם:

$$Noise_{big} = 0.0052 ; Noise_{small} = 0.00066$$

כמו כן, ניתן לראות כי קיבלנו רעש גדול יותר בתרמיסטור הגדול כמצופה.

לאחר בדיקת הוראות היצרן, ראינו כי עבור טמפ' יציבה ישנה שגיאה של  $\pm 0.02 [C^\circ]$ .

נרצה להעביר טווח זה למתח, נעשה זאת באמצעות המודלים מסעיף א'.

עבור התרמיסטור הקטן:

$$\Delta V_{small} = -0.97 \cdot 0.02 + 34.071 - (-0.97 \cdot -0.02 + 34.071) = 0.0388$$

עבור התרמיסטור הגדול:

$$\Delta V_{big} = -0.906 \cdot 0.02 + 31.894 - (-0.906 \cdot -0.02 + 31.894) = 0.0362$$

לפי ניתוח זה נסיק:

$$Noise_{big} = 0.0052 \pm 0.0362 ; Noise_{small} = 0.00066 \pm 0.0388$$

נשים לב כי טווח השגיאה במתח הנמדד, עקב טווח השגיאה בטמפ' של האמבט, גדול מהרעשים שחישבנו לכל אחד מהתרמיסטורים. נוכל להסיק מכך שהרעשים של התרמיסטורים לא באמת שונים ואינם משפיעים רבות על חישוב זמן ההתייצבות של כל אחד מהתרמיסטורים. [1]

### 2.2.4 מסקנות:

בניסוי זה בדקנו את השפעתו של גודל התרמיסטור על זמן התייצבותו, ועל הרעש הנכנס אליו. ראשית, ראינו כי לשני התרמיסטורים היה ניתן לבצע התאמה אקספוננציאלית במטלב שהניבה ערכי התאמה גבוהים מאוד. באמצעות התאמה זו חישבנו את קבוע הזמן של כל אחד מהתרמיסטורים וממנו את קצב ההתייצבות. קיבלנו כי התרמיסטור הגדול בעל זמן התייצבות קטן יותר מאשר התרמיסטור הקטן. בנוסף, שיערכנו את הרעש של כל תרמיסטור, וראינו כי הרעש של התרמיסטור הגדול אכן גדול יותר מאשר הרעש של התרמיסטור הקטן כפי שציפינו, אך כאשר בדקנו את השגיאה של הטמפ' באמבט לפי הוראות היצרן ראינו שרעש זה הינו זניח ולא משפיע רבות על תוצאות המדידה.

## **2.3 ניסוי 3:**

### **2.3.1 היפותזה:**

בניסוי זה נבדוק את זמן ההתייצבות לתרמיסטור ולמד חום בשני מצבים שונים- מעבר ממי קרח לאמבט מים חמים ומעבר ממי קרח לבית שחי. בשני המקרים נרצה לדעת מי מהמכשירים התייצב מהר יותר ונצפה כי התרמיסטור יתייצב מהר יותר בשניהם כיוון ששטח הפנים שלו גדול יותר מאשר של המד חום.

### **2.3.2 מתודולוגיה:**

**מכשור וציוד:** אמבט חום, תרמיסטור, מד חום.

**מהלך הניסוי:** בניסוי זה ביצענו שתי מדידות על מנת להשוות התייצבות של מד חום לעומת תרמיסטור. ראשית, הכנסנו את שניהם לתוך מי קרח ולאחר דקה העברנו לאמבט מים חמים ומדדנו את הזמן שלקח להתייצבות לכל אחד בנפרד. לאחר מכן, הכנסנו את שניהם אל מי קרח ולאחר כדקה העברנו למתחת לבית שחי ומדדנו את זמן ההתייצבות לכל אחד.

### **2.3.3 תוצאות:**

תוצאות הניסוי הינן-

מעבר ממי קרח לבית שחי : מד חום מתייצב מהר יותר מהתרמיסטור  
מעבר ממי קרח למים חמים : תרמיסטור מתייצב מהר יותר מהמד חום

### **תשובה לשאלה ז':**

ניתן לראות כי באמבט המים החמים התרמיסטור התייצב מהר יותר כמצופה. התרמיסטור הינו בעל שטח פנים גדול יותר מהשטח פנים של מד החום ולכן במגע גדול יותר זמן ההתייצבות שלו יקטן. לעומת זאת עבור בית השחי קיבלנו תוצאה הפוכה. נשער כי זה כתוצאה מכך שבית השחי אינו בעל טמפרטורה אחידה כפי שקורה באמבט המים ולכן מד החום מתייצב מהר יותר כיוון ששטח הפנים שלו קטן יותר ולכן מודד טמפרטורה אחידה ומדויקת יותר.

### **תשובה לשאלה ח':**

על מנת לבדוק את היציבות של מערכת בקרת הטמפרטורה של גוף האדם, הנמדדת באמצעות טמפרטורת העור בלבד (ההנחה הנתונה בשאלה) נצטרך לשלוט בטמפרטורה החיצונית של הגוף ובאמצעותה לבדוק את מערכת המשוב על ידי מדידה של חום הגוף. לכן נצטרך לשים את האדם במקום מחומם כמו למשל אמבט חם וכך נוכל לשלוט בטמפרטורה החיצונית של העור.

### **2.3.4 מסקנות:**

בניסוי בדקנו את זמני ההתייצבות והשוואה בין מד חום לתרמיסטור. ראינו כי תרמיסטור הוא בעל שטח פנים גדול יותר ולכן בסביבה יציבה יתייצב מהר יותר ולעומת זאת בסביבה משתנה יתייצב לאט יותר. ראינו כי המד חום יתייצב מהר יותר בבית השחי כיוון ששטח הפנים שלו קטן יותר ולכן מודד איזור יותר קטן ויותר אחיד.



במעבדה זו הכרנו ועבדנו עם התרמיסטור, רכיב חשמלי, העשוי חומר מוליך למחצה, שנועד למדוד טמפ' בתווך מסוים. כמו כן, ידיעת הטמפ' הינה חשובה מאוד בעולמנו, הן באופן כולל והן בפן הביורפואי, שכן מדידת טמפ' הגוף הינה מאפיין חשוב באבחון מצבו הבריאותי של מטופל. בניסוי הראשון בחנו את תחליפיות התרמיסטור, ראינו כי לא קיבלנו את השגיאה שציפינו בטמפ' ולכן הסקנו כי היינו צריכים לחכות זמן ממושך יותר להתייצבות התרמיסטורים על מנת לקבל תוצאות מדויקות יותר. בניסוי השני, בדקנו האם גודל שטח הפנים משפיע על קצב התייצבות התרמיסטור, במעבר חד בין טמפ' – ממי קרח לאמבט חם. בניסוי זה ראינו כי התרמיסטור בעל שטח הפנים הגדול יותר אכן התייצב מהר יותר כפי שציפינו, שיערנו כי הדבר קורה עקב העובדה שיותר מולקולות של מים בטמפ' של האמבט החם באות במגע עם התרמיסטור ובכך משנות מהר יותר את התנגדות הנגד – כלומר את הטמפ'. ראינו שכאשר שטח הפנים גדול יותר, נכנס יותר רעש, אך עם התרמיסטורים שאנחנו עבדנו איתם ראינו כי הפער ברעשים לא גדול. בניסוי השלישי, בדקנו את השוואה בין זמני ההתייצבות של תרמיסטור ומד חום במעבר ממי קרח לאמבט מים חמים או לבית השחי. כמצופה במעבר אל אמבט מים חמים ראינו כי התרמיסטור התייצב מהר יותר כיוון ששטח הפנים שלו גדול יותר. לעומת זאת, במעבר לבית השחי ראינו כי המד חום התייצב מהר יותר והסקנו כי זה נובע מכך שהטמפ' פחות אחידה בבית השחי וכתוצאה מכך שמד חום בעל שטח פנים קטן יותר הוא מושפע מחוסר היציבות פחות ומתייצב מהר יותר.

- [1] J. Mb, "Open Bath Circulator with stainless-steel bath tank for internal and external temperature applications," p. 2.

- EXP 1
- Exp 2

## 5.1 EXP 1

```
temp = [35.5 36.5 37.8 40.5 42];

YSI402 = [-.304 -1.659 -2.466 -5.316 -6.729];

YSI409 = [-.098 -1.391 -2.513 -4.372 -6.412];

mdl402 = fitlm(temp,YSI402),figure,plot(mdl402),xlabel 'Temp [C]',ylabel
'Voltage',title ''
R2 =mdl402.Rsquared.Adjusted, CI402 = coefCI(mdl402)
mdl409 = fitlm(temp,YSI409),figure,plot(mdl409),xlabel 'Temp [C]',ylabel
'Voltage',title ''
R2 =mdl409.Rsquared.Adjusted, CI409 = coefCI(mdl409)

%testing the models
test = [35.5 36.5 37 37.8 40.5 41 42 ] ;
y409 = [-.304 -1.659 -1.620 -2.466 -5.316 -5.558 -6.729];
y402 = [-.098 -1.391 -1.571 -2.513 -4.372 -5.709 -6.412];
%%predicting
yhat402 = predict(mdl402,test');
yhat409 = predict(mdl409,test');

%poly2
mdl2402 = fitlm(temp,YSI402,'poly2');
CI=coefCI(mdl2402);
plot(mdl2402)
xlabel 'Temp [C]'; ylabel 'Voltage'; title ' ';

mdl2409 = fitlm(temp,YSI409,'poly2');
CI=coefCI(mdl2409);
plot(mdl2409)
xlabel 'Temp [C]'; ylabel 'Voltage'; title ' ';

test = [35.5 36.5 37 37.8 40.5 41 42]
y402 = [-.098 -1.391 -1.571 -2.513 -4.372 -5.709 -6.412];
y409 = [-.304 -1.659 -1.620 -2.466 -5.316 -5.558 -6.729];

yhat402=predict(mdl2402,test');
yhat409=predict(mdl2409,test');

error402=abs(yhat402-y402');
error409=abs(yhat409-y409');

a=mdl.Coefficients.Estimate(1,1);b=mdl.Coefficients.Estimate(2,1);
c=mdl.Coefficients.Estimate(3,1);
inv(a+b.*temp+c.*temp.^2)

%inverse model
mdl402inv = fitlm(YSI402,temp);mdl409inv = fitlm(YSI409,temp);

temp402 = predict(mdl402inv,y402'); ERRinv402 = abs(temp402'-test)
temp409 = predict(mdl409inv,y409'); ERRinv409 = abs(temp409'-test)
```

```

a = mdl2409.Coefficients.Estimate(3); b = mdl2409.Coefficients.Estimate(2);
c = mdl2409.Coefficients.Estimate(1);
mdlbigplus = @(x) (-b+sqrt(b^2-4*a*(c-x)))/(2*a);
mdlbigminus = @(x) (-b-sqrt(b^2-4*a*(c-x)))/(2*a);

a = mdl2402.Coefficients.Estimate(3); b = mdl2402.Coefficients.Estimate(2);
c = mdl2402.Coefficients.Estimate(1);
mdlsmallplus = @(x) (-b+sqrt(b^2-4*a*(c-x)))/(2*a);
mdlsmallminus = @(x) (-b-sqrt(b^2-4*a*(c-x)))/(2*a);

A = abs(mdlbigplus(y409)-test); sum(A<0.1)
A = abs(mdlbigminus(y409)-test); sum(A<0.1)

A = abs(mdlsmallplus(y402)-test); sum(A<0.1)
A = abs(mdlsmallminus(y402)-test); sum(A<0.1)

%generalize
A = abs(mdlbigplus(y402)-test); sum(A<0.1)
A = abs(mdlbigminus(y402)-test); sum(A<0.1)

A = abs(mdlsmallplus(y409)-test); sum(A<0.1)
A = abs(mdlsmallminus(y409)-test); sum(A<0.1)

```

## 5.2 Exp 2

```

% loading data
big = lvm_import('Ex2_Tbig_G3.lvm'); small =
lvm_import('Ex2_Tsmall_G3.lvm');
Fs = 1e3; Ts = 1/Fs; N = numel(big.Segment1.data);
time = 0 : Ts : (N-1) * Ts;

databig = -big.Segment1.data;
datasmall = -small.Segment1.data;

dbig = databig(4.8*Fs : end);
dsmall = datasmall(4.6*Fs : end);
btime = time(4.8*Fs : end);
stime = time(4.6*Fs : end);

% plotting the data
figure
subplot(211), plot(time, databig), xlabel 'Time [sec]', ylabel 'Voltage
[V]';
title 'Data from big thermistor Vs time'; xlim([4 time(end)])
subplot(212), plot(time, datasmall), xlabel 'Time [sec]', ylabel 'Voltage
[V]';
title 'Data from small thermistor Vs time'; xlim([4 time(end)])
% getting the noise
noisebig = dbig(round(12.4255*Fs):end);
noisesmall = dsmall(round(12.755*Fs):end);

varnoisebig = var(noisebig);
varnoisesmall = var(noisesmall);

```