

צמד תרמי

מילות מפתח:

צמד תרמי Thermocouple, אפקט סיבק Seebeck, נקודת היתוך, תרמיסטור.

הציוד הדרוש: מחשב, גוף חימום, כורית עם בדיל, כורית מתכת ריקה, מולטימטר, צמד תרמי, טרמומטר דיגיטלי, טרמיסטור, כלי לקרח, משקפי מגן, מלקחיים.

מטרות הניסוי:

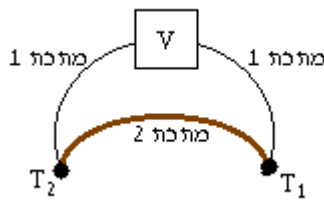
- להכיר ולהבין את התנהגותו של צמד תרמי.
- לכייל צמד תרמי למדידת טמפרטורה.
- למדוד עקומת קירור של בדיל באמצעות צמד תרמי.
- למדוד התנגדות של טרמיסטור כתלות בטמפרטורה.

1. תיאוריה

בניסוי זה נעסוק בהשפעת שינויי טמפרטורה על תכונות חשמליות של חומרים.

1.1 צמד תרמי

שני חוטים העשויים ממתכות שונות ומחוברים בקצותיהם נקראים צמד תרמי. אם הקצוות מוחזקים בטמפרטורות שונות נוצר במעגל מתח חשמלי התלוי בהפרש הטמפרטורות. אפקט זה נקרא אפקט סיבק. ראו איור 1.



איור 1: צמד תרמי

אפקט סיבק קשור להימצאותם של אלקטרונים חופשיים במתכת, אלקטרונים אלו אינם קשורים לאטום מסוים במתכת אלא חופשיים לנוע במתכת. קיומם של אלקטרונים חופשיים מאפשר מוליכות חשמלית טובה וכן הולכת חום. צפיפות האלקטרונים תלויה בסוג המתכת וכן בטמפרטורה. למעשה אפקט סיבק

נובע כתוצאה של שתי תופעות: (א) תופעת פלטייה (Peltier) - תופעה זו קשורה לנקודת המגע של שתי מתכות שונות. בכל אחת מהמתכות ישנה צפיפות אלקטרונים שונה, ולכן בנקודת המגע זורמים האלקטרונים מהצפיפות הגבוהה לנמוכה ונוצר מתח מגע. (ב) תופעת תומסון (Thomson) - תופעה זו קשורה לשינוי בצפיפות האלקטרונים במתכת עקב שינויי טמפרטורה. כאשר הקצוות של חוט מתכת מוחזקים בטמפרטורות שונות נגרם שינוי בצפיפות האלקטרונים וכתוצאה מכך נוצר זרם בתוך החוט.

אפקט סיבק הינו צירוף של שתי תופעות אלו. גודל המתח הנוצר באפקט סיבק תלוי בסוג המתכות מהם מורכב הצמד התרמי. לדוגמא: בצמד תרמי נחושת-ברזל נוצר מתח של $14 \cdot 10^{-6} V / ^\circ C$, ובצמד תרמי כרומל-אלומל נוצר מתח של $40 \cdot 10^{-6} V / ^\circ C$. הצמד התרמי משמש בעיקר למדידה רגישה של טמפרטורות. את המתח המתקבל ניתן לבטא באמצעות:

$$(1) \quad V = k(T_2 - T_1)$$

כאשר k הוא קבוע סיבק.

1.2 נקודת היתוך

מעבר של חומר ממצב מוצק לנוזל נקרא היתוך, המעבר מנוזל למוצק נקרא התמצקות. כאשר מחממים חומר במצב מוצק, החומר קולט את אנרגיית החום ודבר זה מתבטא בעליית הטמפרטורה. כאשר הטמפרטורה מגיעה לנקודה מסוימת הנקראת נקודת ההיתוך מתחיל ההיתוך, בשלב זה האנרגיה הנקלטת ע"י החומר מושקעת בהפיכת המוצק לנוזל ללא שינוי בטמפרטורה. רק לאחר שהחומר הותך כליל, ממשיכה הטמפרטורה לעלות. תהליך דומה מתרחש בעת קירור חומר הנמצא במצב נוזל עד לנקודת ההיתוך בה איבוד החום ע"י החומר מתבטאת בהתמצקות והטמפרטורה נשארת קבועה עד להתמצקות מוחלטת ורק אז ממשיכה הטמפרטורה לרדת.

❖ [סרטון המדגים את התופעה](#)

1.3 תרמיסטור

"תרמיסטור" זהו נגד אשר התנגדותו תלויה בטמפרטורה (Thermic resistor). נגד כזה עשוי מחומר מוליך למחצה (כמו גרמניום או תחמוצת של ניקל) והתנגדותו החשמלית יורדת באופן אקספוננציאלי עם עליית הטמפרטורה.

$$R = R_0 e^{-\alpha T} \quad (2)$$

כאשר:

R_0 - התנגדות התרמיסטור ב- $0^\circ C$, α - מקדם התרמיסטור

מדידה מדויקת של התנגדות התרמיסטור יכולה לשמש כאמצעי למדידת שינויי טמפרטורה הקטנים מאלפית המעלה.

1.4 שאלת הכנה

1. הסבר מדוע משתמשים במי קרח כדי לשמור על טמפרטורה של $0^\circ C$ ולא במים או בקרח.

2. קצה אחד של צמד תרמי מוחזק בטמפרטורה $T_1 = 60^\circ C$, המתח שמופיע במעגל 6 mV וקבוע סיבך $k = 0.04 \text{ mV}/^\circ C$. מהי הטמפרטורה בקצה השני T_2 ?

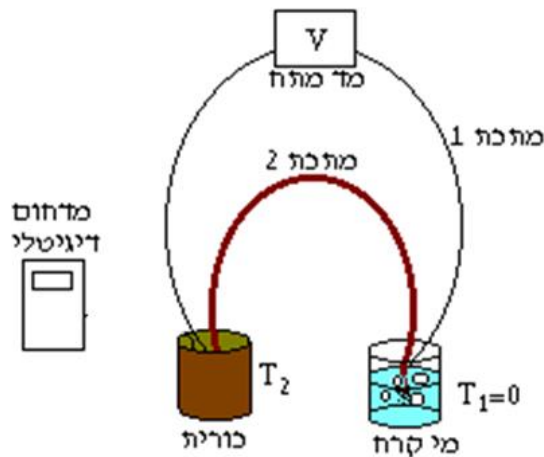
3. כאשר טמפרטורה שווה ל- $100^\circ C$ התנגדות התרמיסטור שווה ל- $4 \text{ k}\Omega$, כאשר טמפרטורה שווה ל- $50^\circ C$ התנגדות התרמיסטור שווה ל- $20 \text{ k}\Omega$. מהי תהיה ההתנגדות עבור $T = 0^\circ C$?

2. מהלך הניסוי

2.1 כיול הצמד התרמי

על מנת להשתמש בצמד תרמי למדידת טמפרטורה יש צורך לכיילו, כלומר, למצוא את הקשר בין המתח בצמד התרמי לטמפרטורה. בניסוי זה נשתמש בצמד תרמי כרומל-אלומל, נמדוד את הטמפרטורה בקצה אחד של הצמד באמצעות מדחום דיגיטלי כאשר הקצה השני יוחזק בטמפרטורה קבועה של $0^\circ C$. כמו כן נמדוד את המתח באמצעות מד-מתח דיגיטלי. המערכת מתוארת באיור 2.

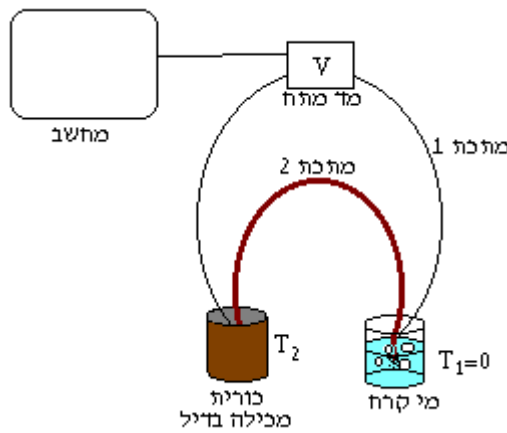
-צמד תרמי-



איור 2: מערכת לכיול צמד תרמי.

2.2 מדידת עקומת קירור של בדיל

בניסוי זה נשתמש בצמד התרמי למדידת עקומת הקירור של בדיל. נתיך בדיל בכורית (כור היתוך קטן), נרכיב את המערכת כמתואר באיור 3, ונחבר את מד המתח למחשב על מנת למדוד את המתח כתלות בזמן באמצעות תוכנה.

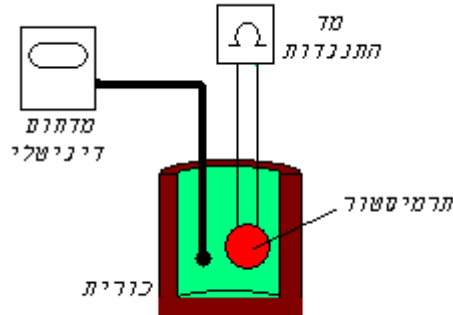


איור 3: מדידת עקומת קירור של בדיל

כאשר נתאר את הטמפרטורה כפונקציה של הזמן בגרף, נקבל תחום שבו במשך זמן מסוים הטמפרטורה קבועה. טמפרטורה זו היא טמפרטורת ההיתוך (התמצקות) של בדיל.

2.3 מדידת התנגדות של תרמיסטור

למדידת התנגדות של תרמיסטור, נשתמש במערכת המתוארת בציור 4. נחמם את התרמיסטור בתוך הכורית, נמדוד את התנגדותו באמצעות מד התנגדות דיגיטלי ואת הטמפרטורה באמצעות מדחום דיגיטלי.



איור 4: מדידת התנגדות של תרמיסטור.

3. הנחיות ביצוע

אזהרה כללית: נא לא להכניס שום דבר לתוך הבדיל המותך, מלבד הקצה האחד של הצמד התרמי (יש לפעול בדיוק לפי ההנחיות של התדריך).

3.1 כיול הצמד התרמי

- כווננו את מד המתח למדידה ברגישות של 200 mV (DC).
- חברו את הצמד התרמי למד המתח, הכניסו את שני הקצוות למי קרח, וודאו שהמתח הוא 0. (הופעת מתח שונה מ-0 מצביעה על שגיאה שיטתית במערכת או על תקלה).
- השאירו קצה אחד של הצמד התרמי במי קרח, העבירו את הקצה השני לכורית הגלילית והכניסו לשם גם מדחום דיגיטלי.
- תחממו את הכורית ע"י גוף החימום עד לטמפרטורה של 210°C, הפסיקו את החימום ע"י ניתוק מרשת החשמל.
- תוך כדי קירור הכורית רישמו את המתח כפונקציה של הטמפרטורה כל 10 מעלות בין 200°C ל 100°C.

- ציירו גרף של המתח כפונקציה של הטמפרטורה, תמצאו את השיפוע. הגרף שהתקבל הוא גרף הכיול ובו נשתמש בניסוי הבא. תיצרו גרף מנתוני הנספח המופיע בסוף התדריך והשוו את קבוע סיבך שקיבלתם לקבוע מנתוני הנספח.

3.2 מדידת עקומת קירור של בדיל

אזהרה !! לפני הכנסת הצמד התרמי לבדיל יש לייבשו היטב !! חובה ללבוש משקפי מגן !!

- חברו את הצמד התרמי למד המתח כמו בניסוי הקודם, את מד המתח חברו למחשב.
- תפתחו את תוכנת Recmeter במחשב, תפתחו את sample rate וכוונו את זמן המדידה ל-2sec. בתפריט File ליחצו על Name והכניסו את שם קובץ התוצאות עם סיומת csv. לדוגמא: name.csv
- תחממו את הכורית אשר בתוכה הבדיל עד להתכת הבדיל. הכניסו קצה אחד של הצמד התרמי למי קרח ואת הקצה השני הכניסו לבדיל המותך.
- תלחצו בתוכנה על Start recording, לאחר 15 שניות מתחילת המדידה הפסיקו את חימום הבדיל (אך אל תוציאו את הכורית ממתקן החימום).
- המשיכו את המדידה במשך 10 דקות ובסיומן ליחצו על End recording.
- התוצאות יישמרו בקובץ שיצרתם (לדוגמא: name.csv). הקובץ נמצא בתיקיית recmeter הממוקמת בשולחן העבודה.
- תחממו שוב את הבדיל עד להתכתו על מנת לשחרר את הצמד התרמי.
- שרטטו גרף של המתח כפונקציה של הזמן ותמצאו את התחום בו הגרף שטוח.
- חישבו את הטמפרטורה, בה מתרחשת ההתמצקות (היעזרו בגרף הכיול) ואת השגיאה.
- השוו עם טמפרטורת ההיתוך של בדיל המופיעה בספרות (ניתן להיעזר בגוגל).

3.3 מדידת התנגדות של תרמיסטור

- חברו את התרמיסטור למד התנגדות, תבחרו סקלת התנגדות המתאימה בין 200Ω - $200k\Omega$.
- תמדדו את ההתנגדות התרמיסטור בטמפרטורת החדר והכניסו אותו ואת המדחום הדיגיטלי לכורית הגלילית.
- תחממו את הכורית הגלילית בעזרת גוף החימום עד לטמפרטורה של 80°C .
- תוציאו את הכורית מגוף החימום והניחו לה להתקרר, רישמו את ההתנגדות R כל 2°C בתחום שבין 80°C ל 30°C .
- על סמך משוואה (2), תערכו גרף של $\ln R$ כפונקציה של הטמפרטורה T . מתוך שיפוע הגרף תמצאו את α . העריכו את ההתנגדות ב $T=0^{\circ}\text{C}$ וב- $T=100^{\circ}\text{C}$.
- שרטטו גרף של R כפונקציה של T ותמצאו את התחום שבו ההתנגדות רגישה ביותר לשינויי טמפרטורה.

נספח - צמד תרמי כרומל אלומל

| טמפרטורה $^{\circ}\text{C}$ | מתח mV | טמפרטורה $^{\circ}\text{C}$ | מתח mV |
|-----------------------------|--------|-----------------------------|--------|
| 0 | 0.00 | 110 | 4.51 |
| 10 | 0.40 | 120 | 4.92 |
| 20 | 0.80 | 130 | 5.33 |
| 30 | 1.20 | 140 | 5.73 |
| 40 | 1.61 | 150 | 6.13 |
| 50 | 2.02 | 160 | 6.53 |
| 60 | 2.43 | 170 | 6.93 |
| 70 | 2.85 | 180 | 7.33 |
| 80 | 3.26 | 190 | 7.73 |
| 90 | 3.68 | 200 | 8.13 |
| 100 | 4.10 | 210 | 8.54 |