



מעבדת חשמל ואלקטרוניקה 2

מערכת בקרת טמפרטורה

מגישים:

אוהד יהודה דהן – 323912352

רפאל קונב – 206548232

עידו בן הרוש – 316439116

בהנחיית: מר אלחנדרו גוליחוב

שנה"ל - תשפ"ד

• מקדמה

הפרויקט שבחרנו הוא מערכת בקרת מיזוג (טמפ') ה"נשלטת" על ידי קלט המשתמש שמכתיב מה יהיו תנאי החדר הרצויים.

• בחירת הנושא

לאחר חשיבה ממושכת, בחרנו בנושא זה מכיוון שחשנו מאתגרים משימוש ברכיבים חדשים ולא מוכרים וראינו בזאת כהזדמנות פז להעשיר את הידע שלנו כפרויקטורים ומהנדסים.

יתר על כן, רצינו לבחור בנושא אשר משתמש בידע קודם שלנו מקורסים אחרים (כגון מידול וסימולציה של מערכות דינמיות, מיתוג, תקבילית) על ידי שימוש פיזי ברכיבים שנלמדו רק באופן תיאורטי בהרצאות (כגון ממירים, מערכות צירופים, מגברי שרת וכו').

• ציפיות ראשוניות ומטרה

הציפיות שלנו הן שנעשיר את הידע שלנו ו"נצא" מהפרויקט כמהנדסים טובים יותר, שנתמודד בהצלחה עם עבודה בצוות, לווא דווקא עם אנשים בעלי אותו "קו חשיבה", ונלמד להיות מכילים וגמישים מבחינת עבודה בצוות, וכמובן שנדע לעסוק טוב יותר עם רכיבים אלקטרוניים נפוצים בתעשייה.

מטרתנו הסופית היא בניית מערכת אוטונומית ללא תקלות אשר שולטת באקלים בחדר מקרוב ומרחוק.

Contents

2	מבוא
3	תוכן עניינים
4	תקציר
4	תיאור הבעיה
5	תיאור דרישות לפתרון
5	• מפרט פונקציונלי
5	• מפרט טכני
5	• רשימת מכלולים
5	• תרשים מלבנים
6	• עקרון פעולה
7	שיקולי תכנון
7	•מכלולים
14	סכימה חשמלית
14	• באופן מעשי:
16	רשימת רכיבים
17	תיאור ניסויים ותוצאות (מצב קירור מצב חימום)
18	מסקנות ורפלקציה
18	○ תקלות
18	○ מסקנות
19	○ רפלקציה

תקציר

- בפרויקט זה בנינו בקר טמפרטורה אוטומטי וחסכוני לפי דרישת המשתמש.
- על ידי הזנת טמפרטורה רצויה על ידי המשתמש המערכת משנה טמפרטורת החדר בהתאם על ידי הפעלת קירור/חימום לפי הצורך.

תיאור הבעיה

- טכנאי אלקטרוניקה רוצה להקים מעבדה ביתית לתיקון מכשירים. לטכנאי סקופ ישן וספק כוח ומחולל אותות ויש לי DVM מהתיכון. הרכיבים רגישים לטמפרטורה ואין לו מחסן מבוקר חום אבל יש לו תנור ומזגן והוא צריך לדעת כל הזמן מה המצב, גם כשהוא מחוץ למעבדה.

נחלק את הבעיה לבעיות הנדסיות:

1. בחירת הרכיבים הדרושים למערכת בהתאם לזמינות.
2. תכנון כל רכיב של המערכת תחת מגבלות ואילוצים.
3. מציאת פתרון אפקטיבי ויצירתי לבעיה הנ"ל.
4. בעיית חוסר אחידות במדידות, שנובעות משחיקת והתחממות הרכיבים לאורך הניסוי.
5. הצגת טמפרטורת חדר וטמפרטורת קלט המשתמש על אותו צג.
 - a. התחשבות בזמני התגובה של הרכיבים.
 - b. התחשבות בהיסטרזיס.
6. קליטת הטמפרטורה מהמשתמש.

תיאור דרישות לפתרון

• מפרט פונקציונלי

• מערכת המסוגלת לקבל קלט מהמשתמש ומהסביבה באופן ספונטני ולהפעיל חימום וקירור בהתאם ליחס בין הטמפרטורות הנקלטות.

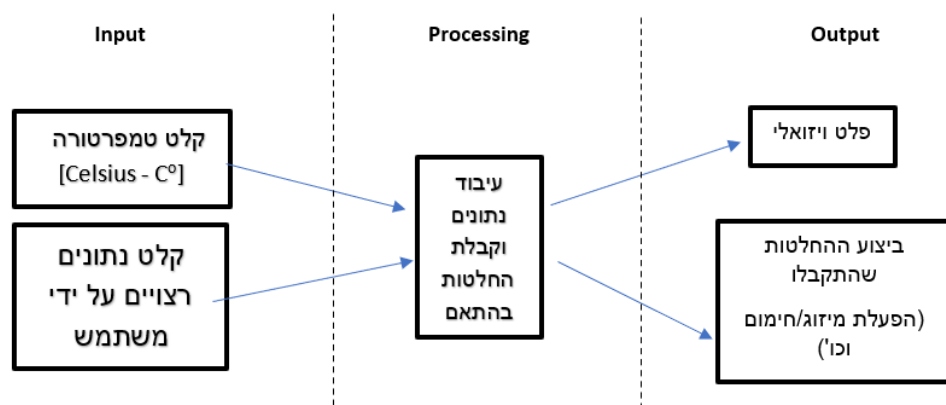
• הצגת הטמפרטורות על צג אשר מחליף בין הצגת הטמפרטורה בחדר ובין הטמפרטורה הרצויה על ידי המשתמש כל מספר שניות באופן אוטומטי, ואפשרות להצגת הטמפרטורה הרצויה על ידי המשתמש בלבד.

• מפרט טכני

• רשימת מכלולים

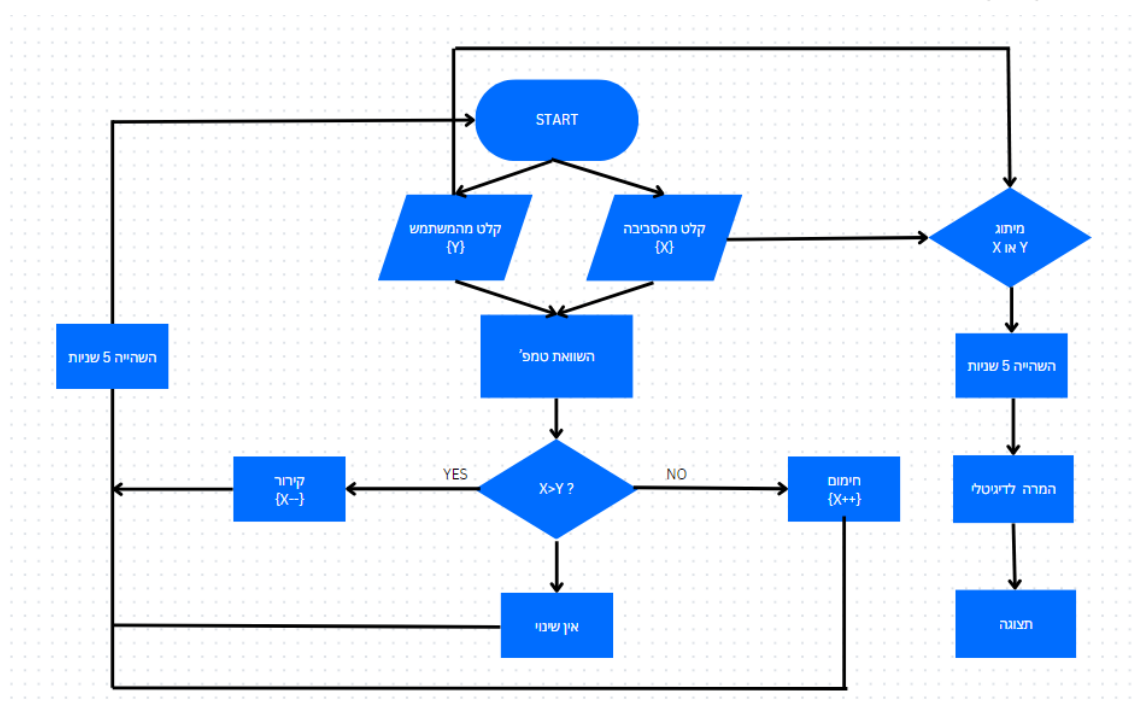
שם המכלול	תיאור	מדד ביצועי
יכולת קלט טמפרטורה	קליטת טמפ' מהמשתמש ומהסביבה.	יכולת קליטת טווח טמפרטורות של 0-50 מעלות צלסיוס.
יכולת תצוגה	תצוגת הטמפרטורות שנקלטות.	הצגת הטמפרטורות הנקלטות על ידי המרת המתח הנקלט (מטווח מתחים מחושב מראש) להצגתו בתור אות דיגיטלי בHex.
יכולת קבלת החלטות	שינוי הטמפרטורה בחדר.	שינוי הטמפרטורה בחדר על ידי חימום/קירור לפי הצורך לפרק זמן מוגדר מראש.
יכולת תזמון ו-Switching	תמרון רכיבי המעגל.	תמרון התצוגה, קבלת ההחלטות וההמרה על ידי טיימרים יציבים וחד-יציבים.

• תרשים מלבנים



• עקרון פעולה

- המערכת שלנו תפתור את הבעיה על ידי שימוש ברכיבים אנלוגיים להשוואה בין המידע הנקלט על ידי המשתמש ועל ידי המידע המתקבל מהסביבה, רכיבי המרה של ערכים אנלוגיים לספרתיים, ומערכת ניתוב/תזמון מכלולי המערכת בהתאם.
- במרווחי זמן ידועים, המערכת קולטת מידע מהסביבה ומהמשתמש, תעבד ותשווה את הנתונים הנקלטים ותקבל החלטות בהתאם, כלומר תבחר אם לחמם או לקרר את החדר לפי הצורך. בנוסף, תציג המערכת את הנתונים הנקלטים ואת השינויים המתרחשים במרווחי הזמן הידועים.
- לפי הצורך, יש אופציה לתצוגה ידנית של הטמפ' הנקלטת על ידי המשתמש על מנת לעקוב אחרי התצוגה באופן רציף וסינכרוני.

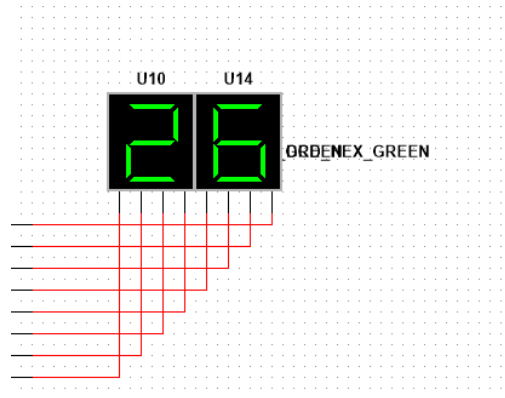


שיקולי תכנון

•מכלולים

• מכלול תצוגה

- במוצאו של ממיר ADC מחוברים 2 רכיבי 7seg שמטרתם להציג את הטמפרטורות הנקלטות על ידי המערכת בייצוג Hex.

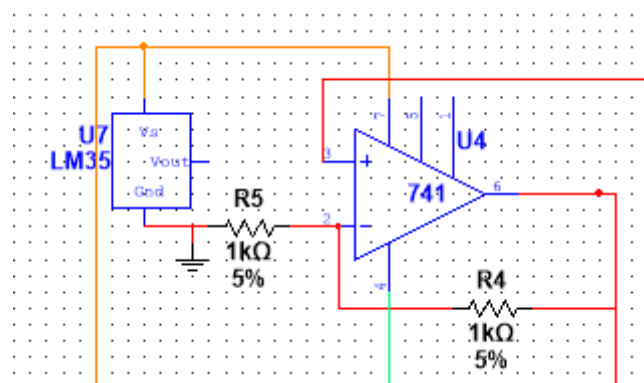


• מכלול קלט מידע

- מכלול זה מחולק ל-2 חלקים: קלט מהסביבה וקלט מהמשתמש.

○ קלט מהסביבה

- המערכת מקבלת קלט טמפרטורה מחיישן אשר נמצא בחדר שתפקידו להמיר את המידע שהוא מקבל למתח ישר ומותאם לערך הטמפ' שהוא קולט, לדוגמה $(25^{\circ}[C^{\circ}] \rightarrow 0.25[V])$.
- * הפלט מוגבר פי 2 על מנת שיהיה מותאם לטווח מספרים הקסדצימלים רצויים.



○ קלט מהמשתמש

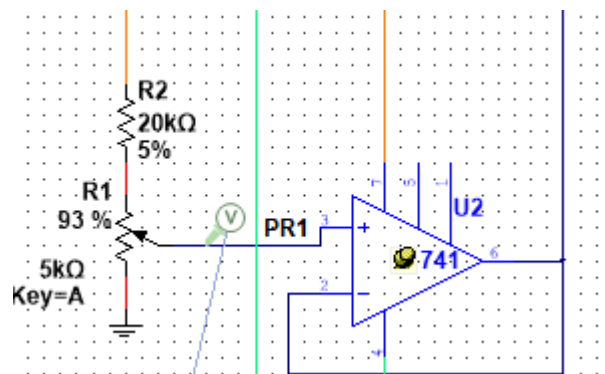
על ידי כיוון פוטנציומטר, המשתמש משנה חלוקת מתח בצורה כזו שטווח המתחים המתקבל

מותאם לטווח המתחים שהחיישן פולט והוא $0[V] \leq V_{\text{Out Potentiometer}} \leq 2[V]$.

*משמעות הטווח היא בהתאם להגברה של מתח פלט החיישן על מנת לקבל טווח מספרים

הקסדצימלים רצויים בפלט התצוגה.

*תפקיד המגבר במוצא הפוטנציומטר הוא חוצץ מתח על מנת שלא נקבל הפרעות משאר המעגל.



● מכלול תזמון

● שלושה רכיבי LM555, כאשר שניים מהם מחוברים באופן חד-יציב והנותר מחובר באופן אל-יציב.

○ אל-יציב

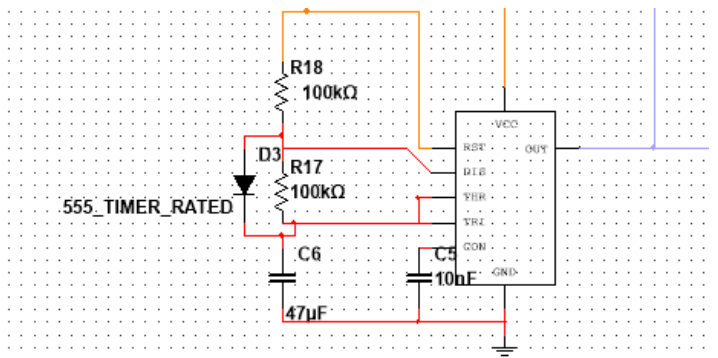
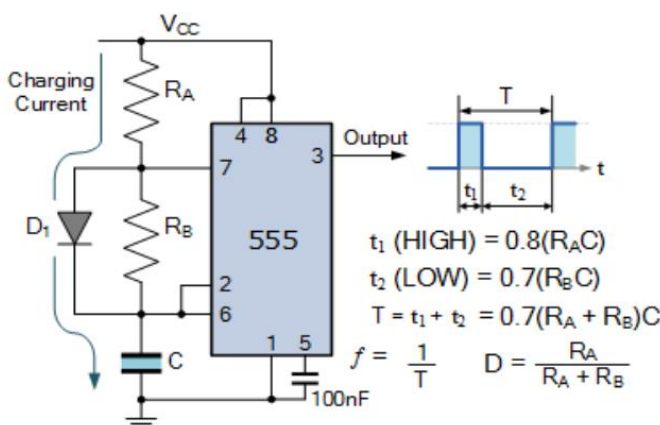
מייצר גל ריבועי במוצאו בתדירות קבועה מחושבת מראש, כך שמשך זמן הדופק החיובי הינו 3

שניות על ידי קביעת הקבל והנגדים בהתאם:

$$t_{\text{high}} = 0.7(R_A C) = 3[s] ; t_{\text{low}} = 0.7(R_B C) = 3[s]$$

$$R_A = R_B = 100 \text{ k}[\Omega] ; C = 47 \mu[F]$$

$$D.C = \frac{t_{\text{high}}}{t_{\text{high}} + t_{\text{low}}} = 50[\%]$$

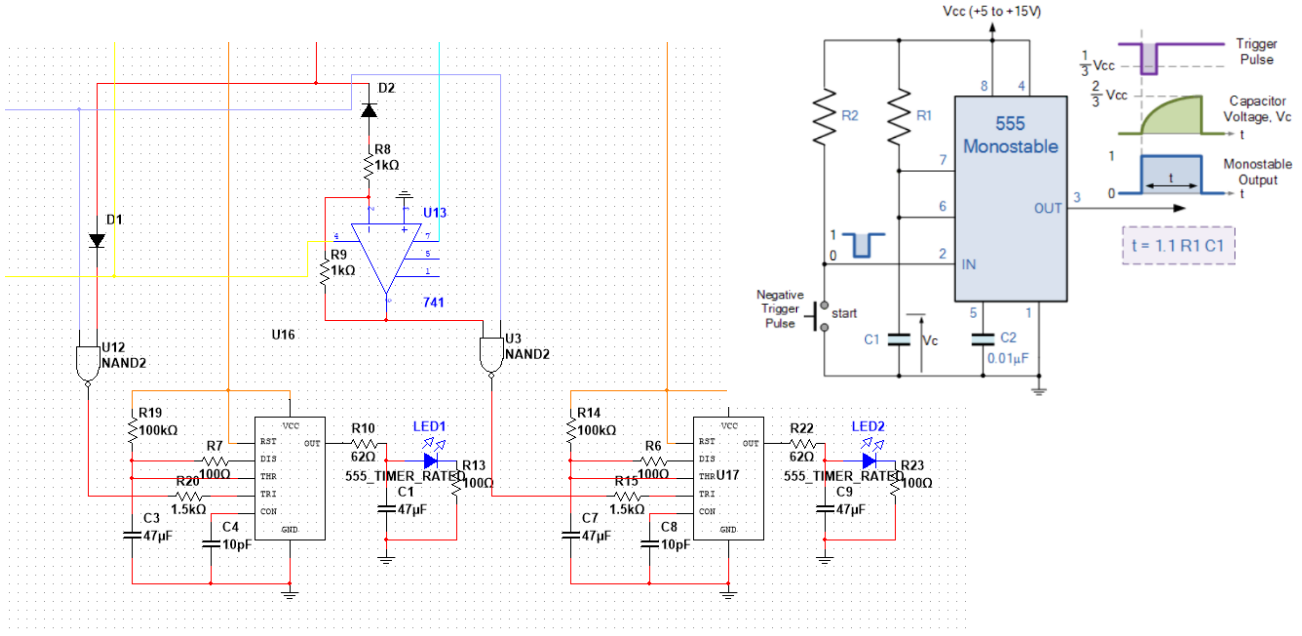


○ חד-יציב

מעגלים אשר מספקים פולס ריבועי ביציאה במשך זמן ידוע, בהתאם לכניסת טריגר.

מטרת מכלול זה הוא סינון רעשים זמניים והדלקת קירור/חימום לפרק זמן מוגדר.

* במטרת השערים הלוגיים ובדיודות נדון במכלול קבלת החלטות



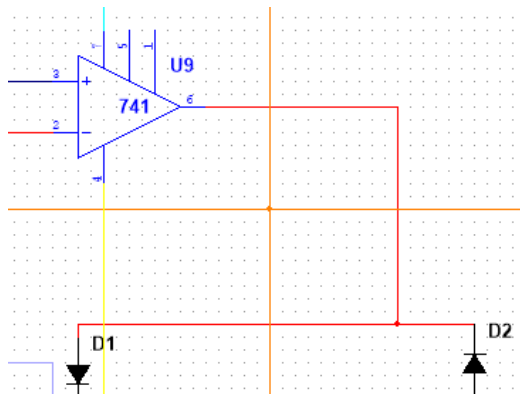
• מכלול עיבוד נתונים וקבלת החלטות

• מכלול זה מורכב מממסר 5V, דיודות, משוויים שערים לוגיים ומפסק ידני. נדון במטרת כל אחד בנפרד:

○ החלטת חימום/קירור

ההחלטה מתבצעת ראשית על ידי משוואה אשר מבצע השוואה בין פלט החיישן לבין פלט הפוטנציומטר.

לאחר מכן, תוצאת המשוואה, 0 או 1 לוגי בהתאם לחימום/קירור תכנס ל-2 דיודות המחוברות בצורה מנוגדת אחת מהשנייה. מטרת הדיודות היא למנוע ביצוע חימום וקירור בו זמנית, והפרדה בין בחירת המערכת לשינוי הטמפרטורה.

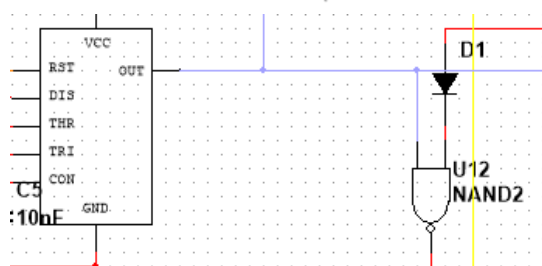


○ שערים לוגיים (NAND)

במעגל ישנם 3 שערי NAND אשר כל אחד בעל מטרה שונה:

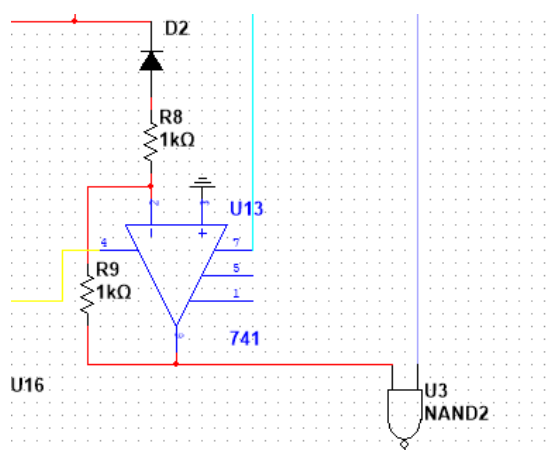
1. **NAND קירור** – בכניסתו יחוברו דיודה ופלט רכיב ה-555 המחובר באופן אל-יציב. תפקיד

הדיודה היא למנוע מצב שבו יתבצע חימום וקירור במקביל ותפקיד ה-555 הוא לבצע
השהייה שמטרתה לוודא שבין פעולה לפעולה יש מרווח זמן (מקדם ביטחון) שבעזרתו אנחנו
מוודאים שיש הפרדה מוחלטת בין מצבי המעגל.



2. **NAND חימום** – בכניסתו יחוברו דיודה, אשר מחוברת למגבר מהפך על מנת שהרכיב הלוגי

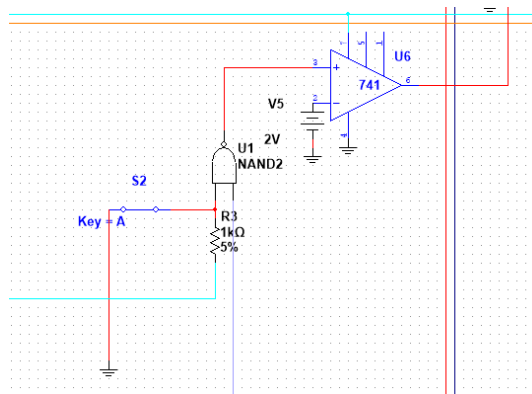
יגיב לפעולת הדיודה ההפוכה, ופלט רכיב ה-555 המחובר באופן אל-יציב. תפקיד הדיודה
היא למנוע מצב שבו יתבצע חימום וקירור במקביל ותפקיד ה-555 הוא לבצע השהייה
שמטרתה לוודא שבין פעולה לפעולה יש מרווח זמן (מקדם ביטחון) שבעזרתו אנחנו מוודאים
שיש הפרדה מוחלטת בין מצבי המעגל.



3. NAND "מעבר מאוטומטי לידיני" – NAND אשר לכניסתו מחובר הרב רטט אל-יציב,

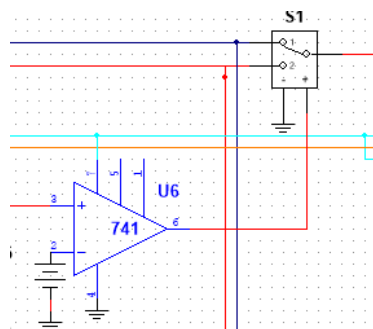
שמטרתו לגרום להחלפת פלט התצוגה מקלט החיישן לקלט המשתמש ובחזרה כל פרק זמן קבוע, ומפסק שמטרתו למנוע את ההחלפה האוטומטית והצגת טמפרטורת המשתמש בלבד. משמעות מניעת ההחלפה האוטומטית היא על מנת שבמידה ונרצה לעקוב בצורה רציפה אחרי שינוי התצוגה בהתאם לשינוי הפוטנציומטר, נוכל להפעיל את המפסק ולכבות אותו כאשר נסיים לשנות את הפוטנציומטר.

* ביציאתו של השער הלוגי נחבר משוואה אשר משמש אותנו אך ורק בבניית המעגל במעשי, זאת מכיוון שביציאת שער לוגי מסוג TTL אנחנו לא מקבלים ערכים ברורים של 1 ו-0 לוגי, אלא טווח ערכים אשר נקבע מראש על ידי היצרן. על ידי המשוואה אנחנו מגדירים מחדש את 1 לוגי כ-5 וולט ו-0 לוגי כ-0 וולט. יציאת המשוואה תתחלף בין 0 לוגי ל-1 לוגי כל פרק זמן מוגדר אלא אם המפסק סגור.



○ ממסר – החלפת התצוגה

ממסר 5V מחליף בין הכניסות שלו, כאשר בכניסות הבקרה שלו מקבלים מתחים אשר חוצים את סף ה-3.5V (מוגדר ב-Datasheet). לכניסות הממסר נחבר את מתח פלט החיישן ומתח פלט הפוטנציומטר על מנת שבניהם תתבצע ההחלפה. לכניסות הבקרה תחבר אדמה בהדק השלילי ויציאת המשוואה שציינו לעיל בהדק החיובי, על מנת שתתבצע החלפה כל פרק זמן מוגדר מראש בין 2 כניסותיו.



• מכלול המרה וחישוב מידע

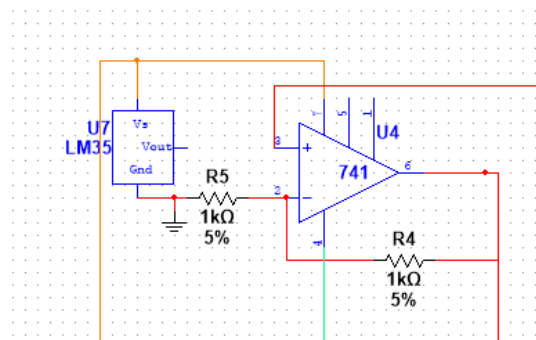
מכלול זה בנוי ממגברי שרת, שמטרתם להגביר את המתח בכמות כזו שתתאים כך שהתצוגה תפלוט ערכים מתאימים לקלטי הטמפ' בHEX. בנוסף, ישנו ממיר ADC הממיר מתח לאות דיגיטלי ביציאה המוצג על ידי מספר בינארי בעל 8 סיביות, כך שכל 4 סיביות נכנסות לתצוגת 7segHex אחר.

○ מגברי שרת

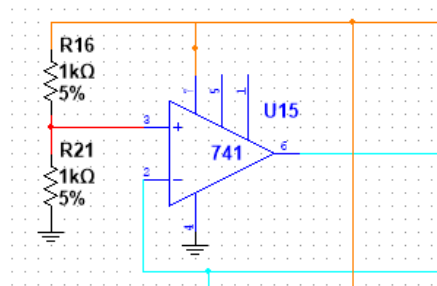
1. מגבר עוקב, ביציאת החיישן, שמטרתו להכפיל את המתח בהגבר חיובי של 2, שיחושב לפי

הנוסחה הבאה:

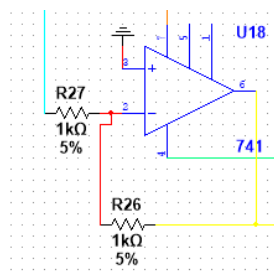
$$A = 1 + \frac{R_2}{R_1}$$



2. מגבר שרת הפועל כחוצץ, עם מחלק מתח בכניסה שמספק לנו 5[v] לרכיבים שנדרש להם הזנה זו במקום 10[v].



3. מגבר שרת המחובר כהופך מופע שמטרתו להמיר את הזנת ה 5[v] ל-5[v] עבור הרכיבים שזקוקים להזנה של אותו המתח בהדק השלילי.

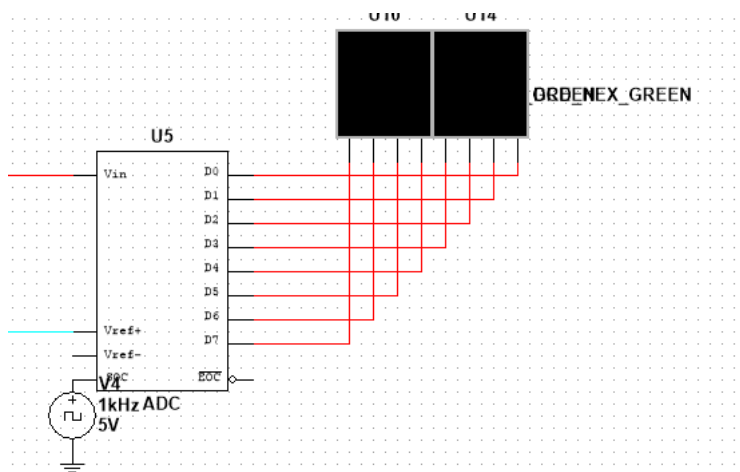


○ ממיר ADC

ממיר שכניסתו מחוברת לממסר, אשר מחליף את המתח במוצאו בין המתח המוגבר של החיישן לבין מתח קלט המשתמש (הפוטנציומטר).
הממיר פועל בתדירות של 1kHz בעל מתח רפרנס של 5V .

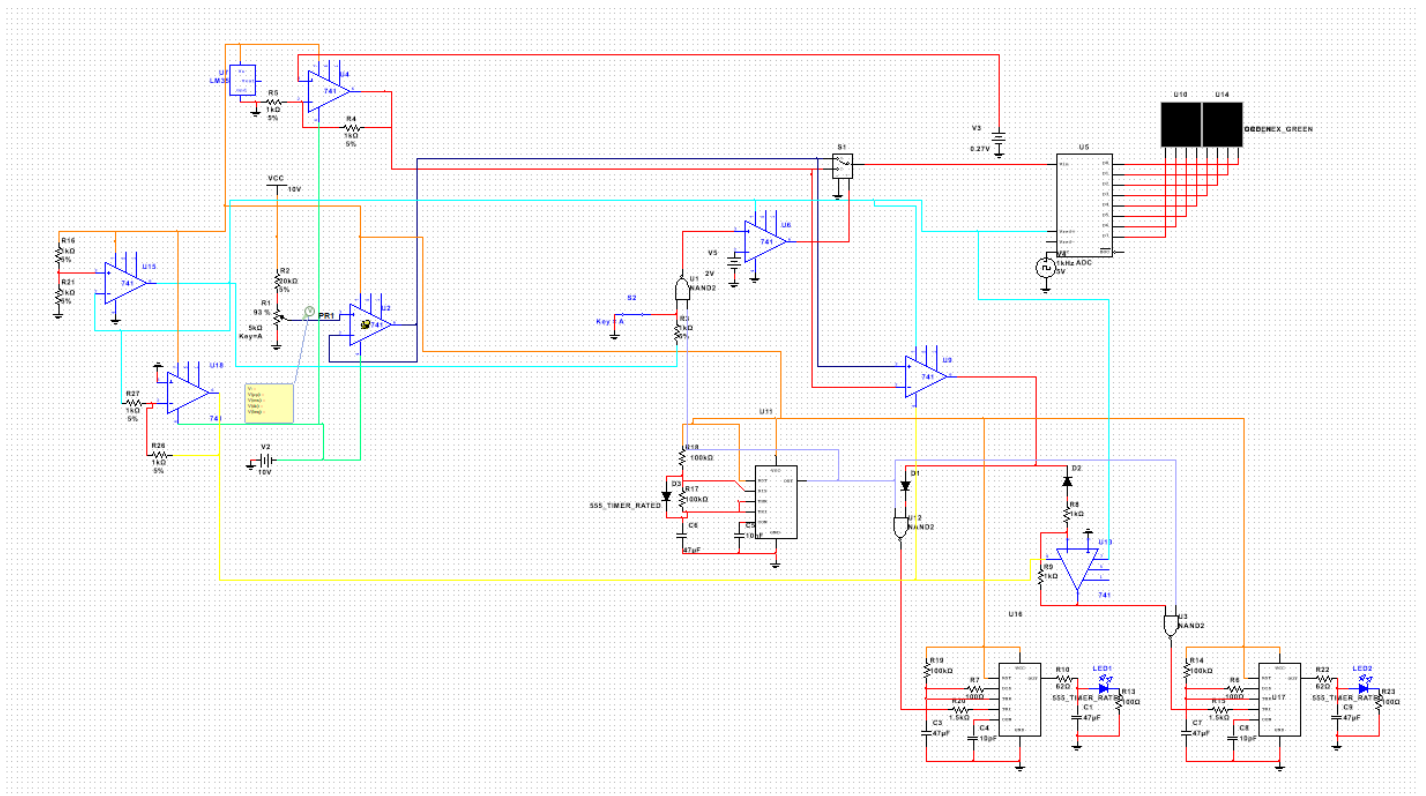
המילה הבינארית במוצאו מחושבת על ידי הנוסחה:

$$D_{out} = V_{in} * \frac{2^N - 1}{V_{REF}} = \{N = 8 \text{ bits}, V_{REF} = 5\text{V}\} = V_{in} * \frac{2^8 - 1}{5} = V_{in} * 51$$



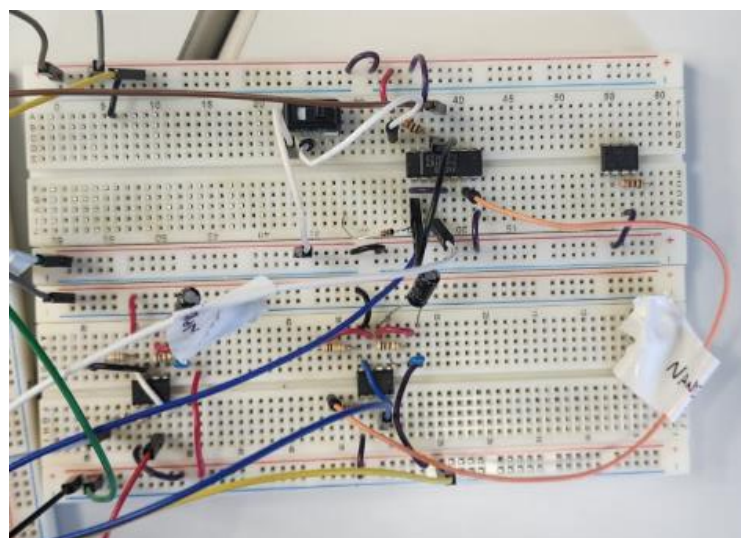
סכימה חשמלית

- להלן הצגת המעגל החשמלי כולו, לאחר הצגת המכלולים:

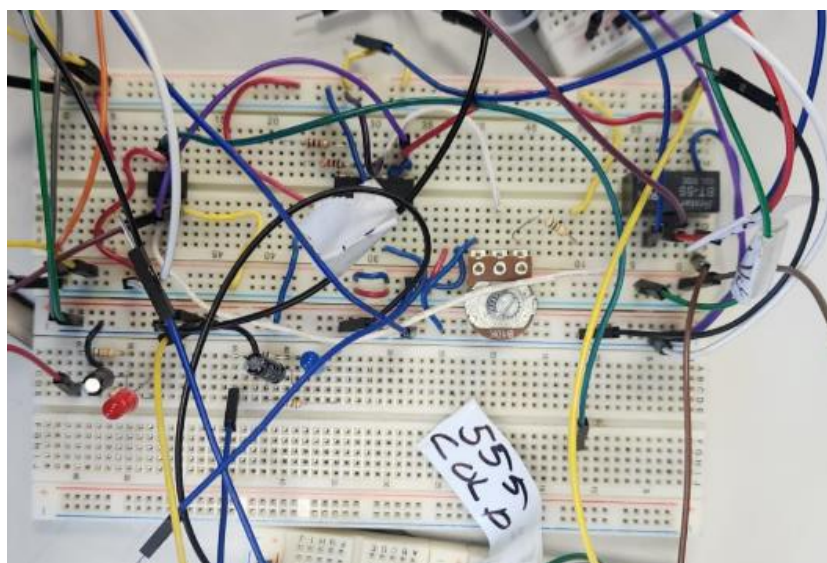


- באופן מעשי:

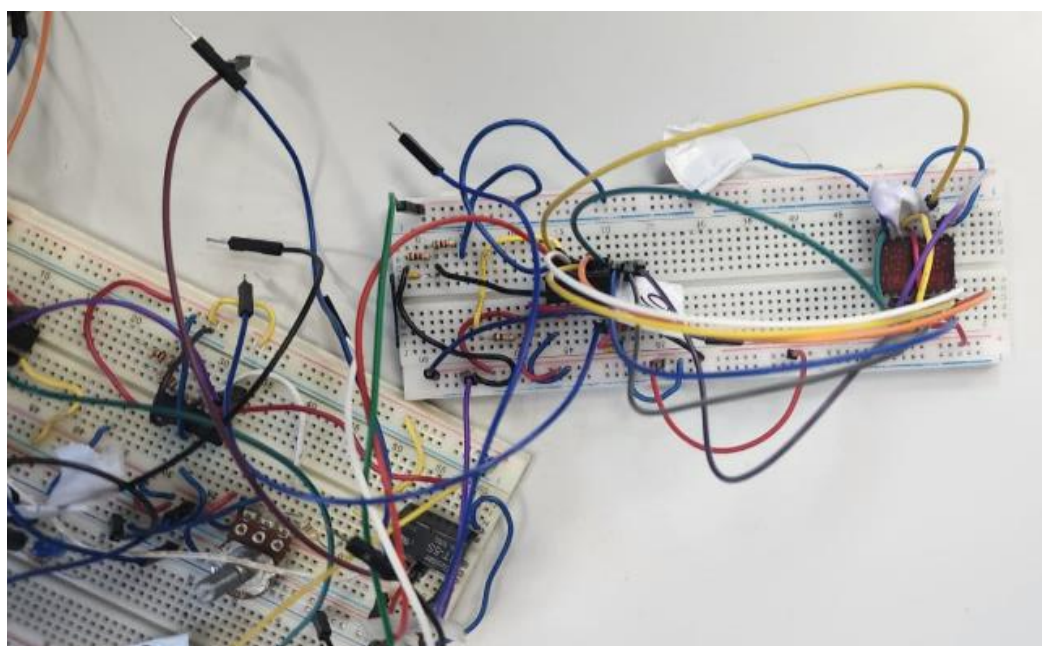
○ טיימרים ו NAND:



○ פוטנציומטר, ממסר, מגברים וLED:



○ ממיר ותצוגה:



רשימת רכיבים

סוג	תת-סוג	דגם / ערך
מגברים ושאר רכיבי IC	מגבר אופרטיבי OP. AMP	LM741 (ברירת מחדל)
מגברים ושאר רכיבי IC	מגבר אופרטיבי OP. AMP	LM324 Quad
דיודה	דיודה רגילה	N41481 (ברירת מחדל)
LED	LED רגיל (ברירת המחדל) 5 מ"מ	לד צבע אדום (ברירת מחדל)
LED	LED רגיל (ברירת המחדל) 5 מ"מ	לד צבע כחול
חוטי קצר	cm 10	זכר-זכר male-male
חוטי קצר	cm20 (ברירת מחדל)	זכר-זכר male-male
מטריצה	מטריצה רגילה	מטריצה לרגילה GL-12
ממסר	V5 ממסר	רגיל בודד HFD27/005-S או RS-5 (ישן)
IC 74xx(x)	xx74	NAND 7437
קבל	nF	150
קבל	nF	10
קבל	pF	10
קבל	μ F	47
קבל	μ F	1
נגד	רגיל (1/4 וואט 5%) KOhm	1
נגד	נגד משתנה מתכתי גדול למטריצה	Kohm 5
נגד	רגיל (1/4 וואט 5%) KOhm	20
נגד	רגיל (1/4 וואט 5%) KOhm	5.1
נגד	רגיל (1/4 וואט 5%) KOhm	3.9
נגד	רגיל (1/4 וואט 5%) Ohm	100
נגד	רגיל (1/4 וואט 5%) KOhm	1.5
נגד	רגיל (1/4 וואט 5%) Ohm	62
נגד	רגיל (1/4 וואט 5%) KOhm	100
נגד	רגיל (1/4 וואט 5%) Mohm	1
נגד	רגיל (1/4 וואט 5%) KOhm	100
מגברים ושאר רכיבי IC	Timer	LM555 (ברירת מחדל)

תיאור ניסויים ותוצאות (מצב קירור מצב חימום)

לאחר הפעלת המעגל סיפקנו לו מתחים שונים בבניסתו, אחד מהחיישן והשני מהפוטנציומטר.

להלן דוגמאות עבור 2 המצבים האפשריים במעגל:

○ חימום


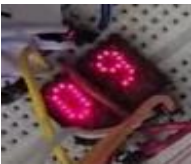




עבור מקרה שבו מתח המשתמש גדול ממתח החיישן המערכת תדליק LED אדום המייצג חימום במשך 3 שניות וכל פרק זמן כזה המערכת תבדוק מחדש. בנוסף, את המתחים המערכת תציג ביציאה וגם הם יתחלפו בפרקי זמן הנ"ל.

עבור מתח משתמש $9[C^0] \rightarrow Vin=0.09 [V]$, ומתח חיישן: $4[C^0] \rightarrow V=0.04/2[V]$

○ קירור

עבור מקרה שבו מתח המשתמש קטן ממתח החיישן המערכת תדליק LED כחול המייצג קירור במשך 3 שניות וכל פרק זמן כזה המערכת תבדוק מחדש. בנוסף, את המתחים המערכת תציג ביציאה וגם הם יתחלפו בפרקי זמן הנ"ל. *עבור המחשה ומקרי קצה ובדיקה שהמעגל לא נשרף תחת מתחים חריגים, בדקנו עבור מתח כניסה גבוה מהטווח הרצוי.

עבור מתח חיישן $64[C^0] \rightarrow Vin=0.64/2 [V]$, ומתח משתמש: $21[C^0] \rightarrow V=0.21 [V]$

תצוגת חיישן	תצוגת משתמש	פעולת שינוי טמפר' (LED)
		
		

מסקנות ורפלקציה

תקלות שנתקלנו בהן בעת בניית המעגל:

1. במהלך בניית המעגל המעשי שכלל את הממיר A/D וחיבורו למקור מתח ולתצוגת SEG 7 מסוג HEX . נתקלנו במספר בעיות שנבעו בתחילה מממיר שהיה שרוף מלכתחילה.
2. חיבור הרכיבים התקולים גררו בעיות שיבושים במהלכי המדידה והבדיקה ובנוסף בחיבורים עתידיים. לאחר החלפת הממיר, לממיר חדש לגמרי, בדקנו באמצעות מד מתח את היציאה וראינו שהא עובד כמצופה.
3. במהלך בניית הפרויקט, כתוצאה מריבוי חוטי הקצר, נוצר בלבול וחוסר וודאות לגבי מהן היציאות והכניסות של כל רכיב. בעיה זו נפתרה בקלות כאשר קיצרנו את החיבורים שלנו ואת החיבורים הארוכים יותר סימנו על ידי צבעים אחידים וטייפ עם כיתוב מפורט לגבי כל מטרה של חיבור.
4. רכיבי ה- **LM555 – TTL** שסופקו לנו, היו רכיבים לא יציבים, מכיוון שהם היו בלויים, שחוקים ומיושנים, ונאלצנו להחליפם בתדירות גבוהה עד שקיבלנו רכיבים חדשים לגמרי. לאחר בדיקת הרכיבים החדשים לגמרי לא נתקלנו בבעיות נוספות. לעומת זאת, לאחר שימוש ברכיב פעמים מרובות עד הגשת הפרויקט באופן מעשי, אחד מתוך שלושת הטיימרים הנעשו בשימוש בפרויקט, הספיק להישרף, וברגע האחרון, באישור מרצה, קיבלנו הוראה להשתמש במחולל אותות במקום.

מסקנות

1. לאחר בניית המעגל והכנסת קלטים שונים לרכיבים הוכחנו שהמעגל תקין בבנייתו ומבצע את הפעולה הנדרש בצורה טובה מאוד.
2. לאחר התקלות בהרבה רכיבים פגומים ומטריצות משומשות מאוד הסקנו שחובה לבדוק כל רכיב, מטריצה, ולעיתים רחוקות גם כבלי מדידה לפני חיבורם למעגל ולפני שמשתמשים בהם למטרה הרצויה.
3. חוסר דיוק של הממיר והמגברים הוו אתגר, ולהבא, נעבוד עם מתחים גדולים יותר ממה שעבדנו על מנת הקטנת השגיאה והזנחת השפעת הרעשים.
4. יש לוודא שכל חלק במעגל עובד כמו שצריך בנפרד ולהשוותו עם נתוני היצרן ותוצאות בסכימה התאורטית.
5. לאחר חיבור מכלולים יש לוודא גם אותם בנפרד ורק לאחר מכן לחבר את המעגל כולו, כך נוכל לזהות בקלות יותר תקלות אפשריות במעגל.
6. מומלץ לסמן במעגל באופן מסודר יציאות וכניסות רכיבים על מנת למנוע בלבול (צבעים, טייפ, מכלולים לחוד) .
7. בחיבור רכיבים קרובים מומלץ להשתמש בחוטי קצר קצרים אשר לא יתנתקו בקלות ויגרמו לאובדן חיבורים.

○ רפלקציה

אוהד

במהלך בניית הפרויקט נתקלתי בהמון קשיים. דפוס החשיבה שלי היה שונה משל חבריי לקבוצה וגם לוחות הזמנים שלנו וזה גרם לעבודה בצוות להיות מאוד מגוונת. בנוסף, כתוצאה מהפער הארוך בין סוף סמסטר קודם לתחילת הסמסטר הנוכחי הייתי "חלוד" לגבי כל מה שקשור לבנייה מעשית של הפרויקט. לעומת זאת, הניסיון הרב שצברתי, המחקר הרב, בניית המולטיסים, קריאת ההרצאות באלק' תקבילית וספרתית, חיפוש רב בגוגל, גרמו ליכולות שלי להיות מחודדות יותר ויכולותיי הן טובות מתמיד. מאוד נהניתי מהחווייה הזו, למדתי המון. אם יש משהו שהייתי עושה שונה בפרויקט כנראה שהייתי מנהל את הזמן שלי נכון יותר, בנוסף, הייתי מתעקש יותר על בניית המעגל בצורה אנלוגית.

רפי

פרויקט זה לימד אותי הרבה בין אם זה במובן של העבודה בקבוצה והין אם זה בעבודה פרקטית של תכנון ובניית של פרויקט אלקטרוני מהרעיון ועד לרכיבים האלקטרוניים בעצמם. במהלך הפרויקט נתקענו בבעיות רבות בשל רעיונות שעובדים רק בתאוריה אך במציאות כשלו אך בתור קבוצה הצלחנו להתגבר על קשיים אלה ותגבשנו ביכולתנו לפתור בעיות הנדסיות בצורה טובה יותר. בתהליך בניית הפרויקט השתפרה יכולתי בקריאת דקויות קטנות וסרטונים מדפי נתונים ואף המבט שלי על התחום ברחב יותר של מערכות בקרה מתקדמות יותר התעצמה.

עידו

במהלך פרויקט זה חוויתי עבודת צוות הן בשלב תכנון המעגל והן בשלב המעשי, השילוב של השניים גרם לי להשתפר בפן המעשי שבו חששתי בתחילה שהוא יהיה לי יותר קשה, אך חבריי לקבוצה עזרו לי ונתנו לי את הכלים הדרושים להשתפר ולעזור. גם במהלך התקלות שנוצרו לנו כקבוצה עזרנו אחד לשני בהחלפת רכיבים או בחיבורם מחדש או בדיקת החיבורים במידה והיה צריך. בפרויקט זה התנסיתי בנוסף בקריאת הרבה דפי נתונים של רכיבים והסתכלות על הנתונים אשר אני צריך ואמור להשתמש ולממש אותם, וזה בעצם גרם לי לשיפור הן באנגלית הטכנית והן באופן פרקטי הלכה למעשה של חיבורים ומעגלים חשמליים, ואף מוצרים הקיימים בתעשייה.