

מודול חיישן הטמפרטורה MLX90614

מודול חיישן הטמפרטורה MLX90614 הוא מודול המודד טמפרטורה של אובייקט (אדם, בעל חיים או כל חפץ רצוי אחר). המודול נראה באיור הבא :

האיור הבא מתאר את מודול חיישן טמפרטורה ללא מגע שעליו נמצא החיישן עצמו.



איור 1 : מודול חיישן הטמפרטורה MLX90614

באיור רואים את החיישן עצמו שהוא בזיווד הנקרא TO31 ואת 4 הדקי היציאה שלו. VIN ו GND הם כניסות מתח ספק הכוח שיכולים להיות 5 וולט או 3.3 וולט. 2 ההדקים הנוספים של SCL SDA הם הדקי תקשורת טורית הנקראים SMBus או גם IIC או גם I2C . בעזרת הדקים אלו המודול מתחבר אל מיקרו בקר .

האיור הבא מתאר את דף הנתונים הראשון של חיישן הטמפרטורה ללא מגע MLX90614



MLX90614 family

Single and Dual Zone Infra Red Thermometer in TO-39

Features and Benefits

- Small size, low cost
- Easy to integrate
- Factory calibrated in wide temperature range:
 - 40...+125°C for sensor temperature and
 - 70...+380°C for object temperature.
- High accuracy of 0.5°C over wide temperature range (0...+50°C for both Ta and To)
- High (medical) accuracy calibration
- Measurement resolution of 0.02°C
- Single and dual zone versions
- SMBus compatible digital interface
- Customizable PWM output for continuous reading
- Available in 3V and 5V versions
- Simple adaptation for 8...16V applications
- Sleep mode for reduced power consumption
- Different package options for applications and measurements versatility
- Automotive grade

Applications Examples

- High precision non-contact temperature measurements
- Thermal Comfort sensor for Mobile Air Conditioning control system
- Temperature sensing element for residential, commercial and industrial building air conditioning
- Windshield defogging
- Automotive blind angle detection
- Industrial temperature control of moving parts
- Temperature control in printers and copiers
- Home appliances with temperature control
- Healthcare
- Livestock monitoring
- Movement detection
- Multiple zone temperature control – up to 127 sensors can be read via common 2 wires
- Thermal relay / alert
- Body temperature measurement

Ordering Information

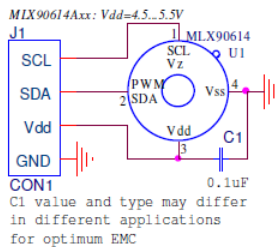
Part No.	Temperature Code	Package Code	- Option Code	Standard part	Packing form
MLX90614	E (-40°C...85°C) K (-40°C...125°C)	SF (TO-39)	- X X X (1) (2) (3)	-000	-TU

(1) Supply Voltage/ Accuracy A - 5V B - 3V C - Reserved D - 3V medical accuracy	(2) Number of thermopiles: A – single zone B – dual zone C – gradient compensated*	(3) Package options: A – Standard package B – Reserved C – 35° FOV D/E – Reserved F – 10° FOV G – Reserved H – 12° FOV (refractive lens) I – 5° FOV
---	---	---



Example:
MLX90614ESF-BAA-000-TU * : See page 2

1 Functional diagram



MLX90614 connection to SMBus

Figure 1: Typical application schematics

2 General Description

The MLX90614 is an Infra Red thermometer for non contact temperature measurements. Both the IR sensitive thermopile detector chip and the signal conditioning ASSP are integrated in the same TO-39 can.

Thanks to its low noise amplifier, 17-bit ADC and powerful DSP unit, a high accuracy and resolution of the thermometer is achieved.

The thermometer comes factory calibrated with a digital PWM and SMBus (System Management Bus) output.

As a standard, the 10-bit PWM is configured to continuously transmit the measured temperature in range of -20...120°C, with an output resolution of 0.14°C.

The factory default POR setting is SMBus.

בדף הנתונים בתיאור הכללי – General Description בצד ימין למטה של הדף רשום :

MLX90614 הוא מדחום אינפרא אדום עבור מדידות טמפרטורה ללא מגע. גם גלאי הטרמופייל האינפרא-אדום וגם ומיזוג האות ASSP משולבים באותה זיווד הנקרא TO-39.

הודות למגבר הרעש הנמוך שלו ל ADC של 17 סיביות וליחידת DSP משיגים דיוק ורזולוציה גבוהים של מדחום . המדחום מגיע מהמפעל מכויל עם יציאת PWM ו-SMBus.

ה PWM של 10 סיביות מוגדר כסטנדרט ל- שידור רציף של הטמפרטורה הנמדדת בטווח של 20- (מינוס 20) עד 120 °C עם רזולוציית של 0.14 °C .

ה- MLX90614 בנוי משני שבבים שפותחו ומיוצרים על ידי חברת Melexis:

1. גלאי הטרמופיילים האינפרא אדום MLX81101 - (גלאי תרמופייל יוסבר בהמשך).
2. מיזוג האות ASSP MLX90302 שתוכנן במיוחד כדי לעבד את הפלט של חיישן אינפרא-אדום. ההתקן זמין בחבילת/זיווד TO-39 סטנדרטית בתעשייה.

הודות למגבר הרעש הנמוך, ADC ברזולוציה גבוהה של 17 סיביות ויחידת DSP עוצמתית של MLX90302 גבוהה – מושגת רמת דיוק ורזולוציה של המדחום . טמפרטורת הסביבה וטמפרטורת האובייקט המחושב נשמרים ב RAM של MLX90302 ברזולוציה של 0.01 °C . הם נגישים באמצעות 2 קווי תקשורת טורית ה- SMBus (נקרא גם IIC או I2C) עם רזולוציה של 0.02 °C או באמצעות פלט PWM של 10 סיביות (אפנון רחב דופק) של ההתקן.

MLX90614 מכויל במפעל בטווחי טמפרטורת רחבים: של 40- עד 125 מעלות צלזיוס לטמפרטורת הסביבה ו 70- עד 382 °C לטמפרטורת האובייקט .

PWM של 10 סיביות הוא סטנדרט שתצורתו נקבעה לשדר ברציפות את טמפרטורת האובייקט הנמדדת עבור טווח טמפרטורת אובייקט של 20- עד 120 עם רזולוציית פלט של 0.14 °C . ניתן להתאים אישית את PWM בקלות כמעט לכל טווח הרצוי על ידי הלקוח על-ידי שינוי התוכן של 2 תאי EEPROM. אין לכך השפעה על כיוול היצרן של ההתקן.

ניתן גם להגדיר את הדק ה- PWM כך שישמש כממסר תרמי (הקלט הוא טמפרטורת האובייקט To), ובכך לאפשר יישום קל וחסכוני בתרמוסטטים או ביישומי התראה בטמפרטורה (הקפאה/רתיחה).

סף הטמפרטורה ניתן לתכנות על-ידי המשתמש. במערכת SMBus תכונה זו יכולה לשמש כפסיקה למיקרו בקר שיכולה לעורר קריאת כל רכיבי העבדים – Slaves - בפס ולקבוע את המצב המדויק.

כסטנדרט, MLX90614 מכויל עבור כושר emissivity - פליטה/הקרנת אנרגיה - של האובייקט כ 1. זה יכול להיות מותאם אישית בקלות על ידי הלקוח עבור כל emissivity אחר בטווח 0.1-1.0 ללא צורך בכיול מחדש עם גוף שחור.

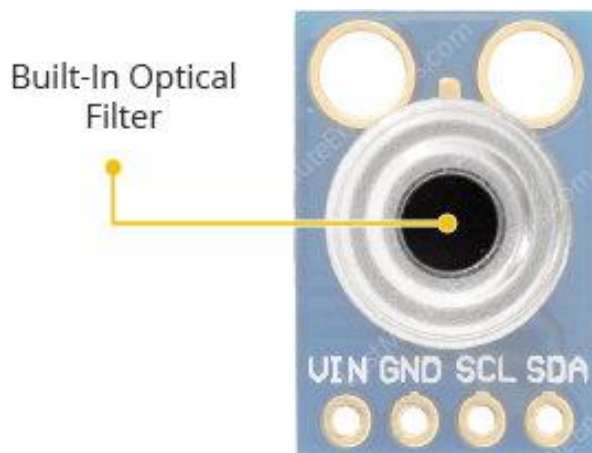
המדחום זמין בשתי אפשרויות מתח אספקה: תואם 5V או 3V (סוללה) תואם. ה-5V ניתן לאימוץ בקלות כדי לפעול ממתח אספקה גבוה יותר (8-16V, למשל) על ידי שימוש ברכיבים חיצוניים מעטים.

מסנן אופטי (מעביר גל ארוך) החותך את השטף הקורן בתחום הנראה והכמעט אינפרא אדום משולב באריזה כדי לספק חסינות נגד אור השמש.

פללי : מאז הופעת COVID-19, סורקי טמפרטורת אינפרא אדום ללא מגע צצים בכל מקום ברחבי העולם, משדות תעופה ועד מסעדות. מכאן ברורה הסקרנות להכיר ואולי אף לבנות פרויקט עם חיישן טמפרטורה ללא מגע. **המודל Melexis** של חברת MLX90614 יכול להיות האפשרות הזולה הטובה ביותר לבניית פרויקט של מדידת חום ללא מגע.

בלב המודול נמצא חיישן טמפרטורת אינפרא-אדום ללא מגע ברמת דיוק גבוהה MLX90614 – melexis. שלא כמו רוב חיישני הטמפרטורה, חיישן זה מודד את הטמפרטורה מבלי לגעת בו פיזית. זה יכול להיות מאוד שימושי לניטור הטמפרטורה של משהו נע כמו פיר מנוע מסתובב או אובייקטים על מסוע למשל. כל שעליך לעשות הוא לכוון את החיישן על מה שאתה רוצה למדוד והוא יזהה את הטמפרטורה על ידי ספיגת גלי האינפרא-אדום הנפלטים.

MLX90614 מייצר שתי מדידות טמפרטורה: טמפרטורת אובייקט וטמפרטורת הסביבה. טמפרטורת האובייקט היא מדידת אי המגע "נצפתה" מהחיישן, בעוד טמפרטורת הסביבה מודדת את הטמפרטורה על החלק המתכתי של החיישן. טמפרטורת הסביבה יכולה לשמש לכיול הנתונים, אבל מה שאנחנו באמת צריכים מגיע ממדידות טמפרטורת האובייקט. מכיוון שהוא אינו חייב לגעת באובייקט הנמדד, הוא יכול לחוש במגוון רחב יותר של טמפרטורות מרוב החיישנים הדיגיטליים: מדידות טמפרטורת האובייקט נעות בין 70 - (מינוס 70) ל - 382.2 מעלות צלזיוס, בעוד מדידות טמפרטורת הסביבה נעות בין 40 - ל 125 מעלות צלזיוס. הן טמפרטורת הסביבה והן טמפרטורת האובייקט יש רזולוציה של 0.02°C עם דיוק סטנדרטי של 0.5°C סביב טמפרטורת החדר. ל- MLX90614 יש מסנן אופטי מובנה החותך/מונע אור גלוי וכמעט אינפרא אדום, מה שמפחית את השפעתם על המדידות. הוא גם מספק חסינות מפני אור הסביבה ואור השמש. האזור הבא מתאר את המסנן האופטי :



איור 3 : המסנן האופטי שבחיישן

המודול מגיע עם מייצב מתח מדויק 3.3V 662K ומתרגם רמת מתח, כך שניתן להשתמש בו עם המיקרו-בקר שעובד עם 3.3V או 5V ללא כל דאגות.

ה- MLX90614 צורך פחות מ- 2mA במהלך המדידה. צריכת חשמל נמוכה זו מאפשרת יישום בהתקנים המופעלים באמצעות סוללה, כגון סורקים תרמיים כף יד. האיור הבא מתאר את מייצב המתח ל 5 וולט.



איור 4 : מייצב המתח ל 3.3 וולט.

הטבלה הבאה מתארת את מאפייני המודול:

Object temperature	-70°C to 382.2°C
Ambient temperature	-40°C to 85°C
Accuracy	±0.5°C (around room temperatures)
Resolution	±0.2°C
Field of view	90°
Supply voltage	3.3 to 5.5V
Operating Current	2mA

טבלה 1 : מאפייני המודול

כיצד פועלים מדי חום אינפרא-אדום?

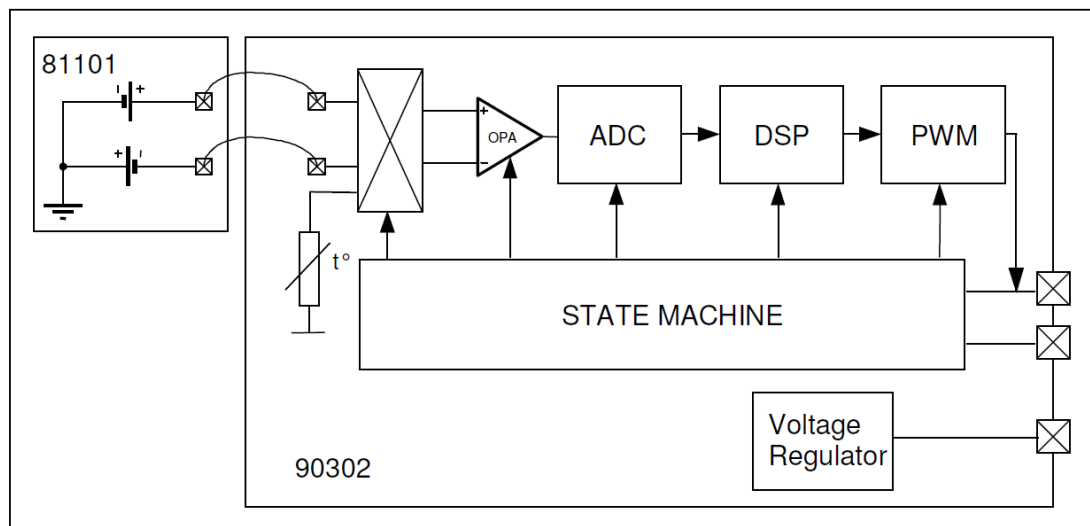
מדי חום אינפרא אדום כמו MLX90614 מנצלים את העובדה שכל עצם, כולל בני אדם, מעל טמפרטורת האפס המוחלטת (0°K קלוין או -273°C מינוס) מעלות צלזיוס), פולט אור בספקטרום האינפרא אדום כי הוא פרופורציונלי ישירות לטמפרטורה שלה (אור שלא נראה לעין האנושית). הדבר קשור לחוק סטפן-בולצמן Stefan-Boltzmann (I_{law}) המתאר את הקרינה הנפלטת מגוף שחור ומקשר את ההספק המוקרן מגוף שחור מבחינת הטמפרטורה שלו. באופן מדויק יותר, חוק סטפן-בולצמן קובע כי סך האנרגיה המוקרנת ליחידת שטח של גוף שחור על פני כל אורכי

הגל ליחידת זמן j^* (הידוע גם בשם פליטה קורנת של הגוף השחור) הוא פרופורציונלי ישירות לעוצמה הרביעית של הטמפרטורה התרמודינמית של הגוף השחור T :

$$j^* = \sigma T^4.$$

בתוך החיישן MLX90614 יש זוג של שני התקנים: 1. גלאי תרמופיל אינפרא אדום ו 2. ASSP (מעבד יישומים של מיוזג אותות - Signal-Conditioning Application Processor). הנה דיאגרמת הבלוק הפנימית של MLX90614 המציגה הן את התרמופיל והן את ה-ASSP.

תרמופיל הוא מכשיר אלקטרוני הממיר אנרגיה תרמית לאנרגיה חשמלית. הוא מורכב ממספר זוגות **טרמיים** Termocouples המחוברים בדרך כלל בטור או במקביל (פחות נפוץ) . מכשיר כזה עובד על העיקרון של האפקט התרמואלקטרי, כלומר, יצירת מתח כאשר מתכות שונות שלה (thermocouples) חשופים להבדל טמפרטורה. האיור הבא מתאר את הסכמה המלבנית של מודד החום:

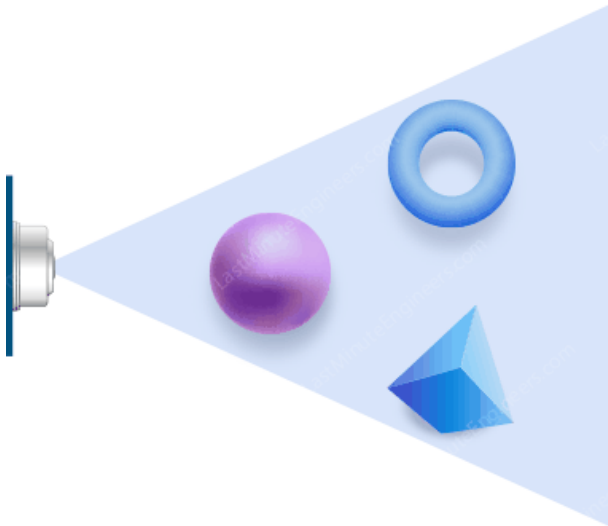


איור 5: סכמה מלבנית של מודד החום ללא מגע

קרינת האינפרא-אדום הנפלטת מעצם או מאדם מתמקדת תחילה בעדשה מתכנסת (קמורה) על גלאי אינפרא-אדום מיוחד הנקרא תרמופיל. התרמופיל חש כמה אנרגיית אינפרא-אדום נפלטת על ידי עצמים בשדה הראייה שלו (FOV - field-of-view), ומייצר אות חשמלי פרופורציונלי מתאים. המתח המיוצר על ידי התרמופיל נאסף על ידי ADC של 17 סיביות של ASSP ולאחר מכן מעובד לפני המעבר למיקרו-בקר. והחלק הטוב ביותר הוא שכל התהליך הזה מושג בשבריר שנייה.

שדה הראייה (FOV)

שדה הראייה (FOV) של מדחום אינפרא-אדום הוא אחד המדדים החשובים ביותר שיש לשים לב אליהם. הוא נקבע על ידי הזווית שבה החיישן רגיש לקרינת תרמית. משמעות הדבר היא שהחיישן יזהה את כל האובייקטים בשדה הראייה ויחזיר את הטמפרטורה הממוצעת של כל האובייקטים בו. האיור הבא מסביר מהו שדה הראייה.

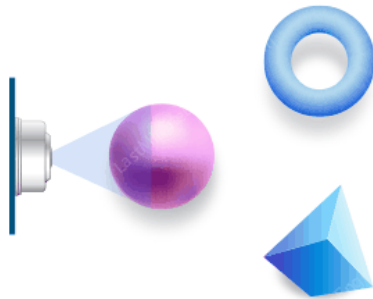


איור 6 : שדה הראייה של חיישן אינפרא אדום.

חשוב שהאובייקט הנמדד ימלא לחלוטין את שדה הראייה. אחרת, החיישן עשוי לזהות אובייקטים שאינם אמורים להימדד, וכתוצאה מכך מדידות לא מדויקות.

שדה הראייה קובע גם את הקשר בין המרחק מאובייקט לאזור החישה. אם החיישן קרוב לעצם, אזור החישה שלו צר מאוד, אך נעשה רחב יותר ויותר ככל שהוא מתרחק.

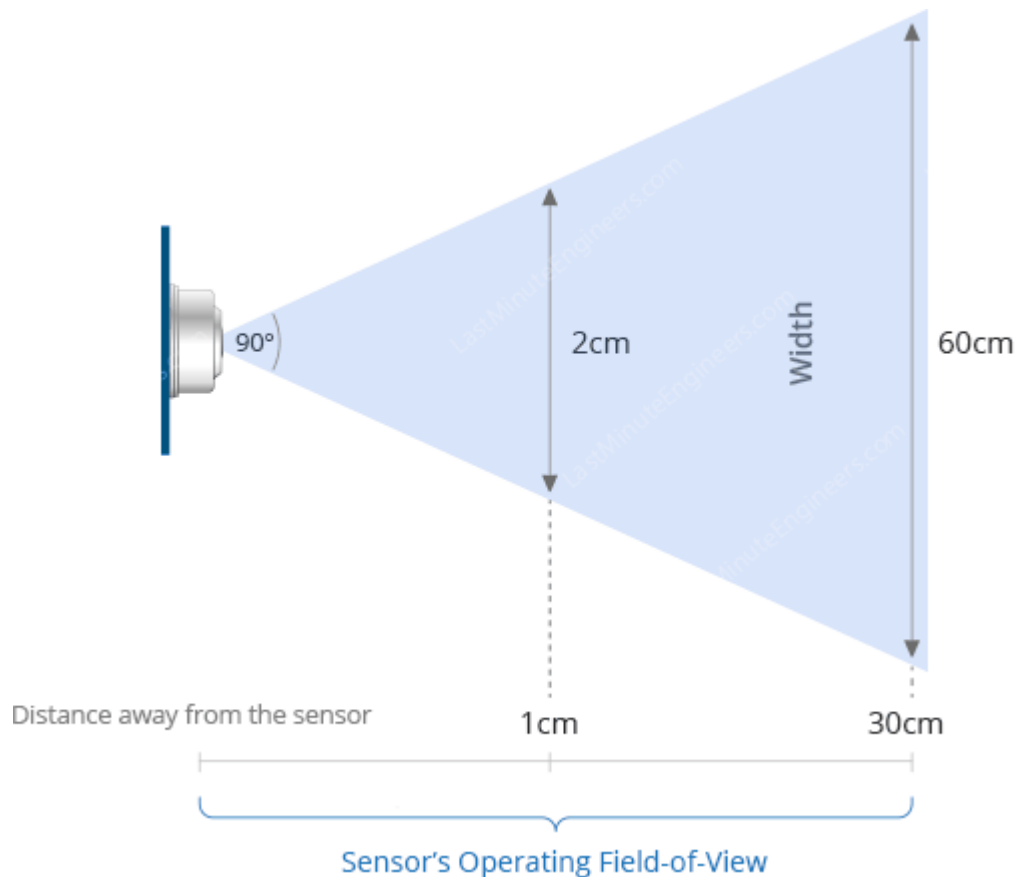
האיור הבא מתאר את הקשר של המרחק ושדה הראייה למדידה נכונה של הטמפרטורה של האובייקט.



איור 7 : הקשר של המרחק שדה הראייה למדידה נכונה של הטמפרטורה של האובייקט.

שדה הראייה של MLX90614 הוא בצורת חרוט ורחב יחסית: 90° . משמעות הדבר היא כי על כל 1 ס"מ שמתרחקים מהאובייקט אזור החישה גדל ב 2 ס"מ. אם נמצאים במרחק של כ-30 ס"מ (כ-1 רגל - feet) מאובייקט, אזור החישה יהיה 60 ס"מ (כ-2 רגל).

האיור הבא מתאר את הקשר בין שדה הראייה והמרחק מהחיישן.



איור 8 : הקשר בין שדה הראייה והמרחק מהחיישן

הממשק בין מיקרו בקר ו MLX90614

MLX90614 תומך בשני ממשקים. 1. ממשק SMBus דו-חוטי הנקרא גם I2C או IIC והוא האמצעי העיקרי לתקשורת עם MLX90614. לאחר הגדרת ממשק SMBus, ניתן להגדיר מאוחר יותר את MLX90614 כך שיפיק אות PWM (אפנון רוחב דופק – Pulse Width Modulation) המייצג את הטמפרטורה הנמדדת.

ממשק SMBus

הממשק העיקרי ל- MLX90614 הוא ממשק SMBus דו-חוטי שהוא בעצם זהה ל- I2C ומשתמש בשני האותות - SDA ו- SCL - כדי לשדר/לקלוט נתונים ואותות שעון בהתאמה. לכל MLX90614 יש כתובת I2C. כתובת חיישן הטמפרטורה הוא 0x5A. עם זאת, ניתן לתכנת אותו כך שתהיה לו אחת מ-127 כתובות I2C כך שתוכל להוסיף עד 127 התקנים לאותו אפיק כדי לקבל מפת טמפרטורה גדולה יותר.

ממשק PWM

ניתן לקרוא את הנתונים של MLX90614 גם דרך ממשק PWM. כדי להשתמש בממשק PWM, יש לקבוע תחילה את תצורת ה- MLX90614 באמצעות ה- SMBus.

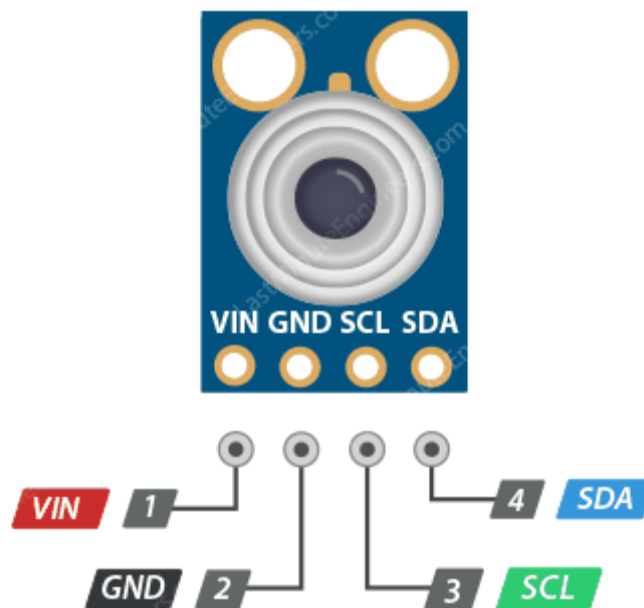
לאחר קביעת התצורה, ה- MLX90614 מפיק אות PWM רציף של 10 סיביות בהדק ה- SDA המייצג את טמפרטורת האובייקט הנמדדת. כברירת מחדל, אות PWM מכסה את הטווח של 20°C עד 120°C עם רזולוציית פלט של 0.14°C , אך ניתן לכוונן זאת גם באמצעות SMBus.

מתג ממסר תרמי/תרמי Thermal Relay/Thermal Switch

על-ידי קביעת התצורה של טווח זה (הגדרת ערכי טמפרטורה מינימליים ומקסימליים) ניתן להפוך את פלט ה-PWM לאות "ממסר תרמי/מתג תרמי". כאשר הטמפרטורה חורגת מהסף שנקבע, מופעל הדק PWM שניתן להשתמש בו כמקור פסיקה או שניתן להשתמש בו כדי לשלוט ישירות בממסר. יש לשים לב שיכולת דחיפת הזרם של ההדק היא 25mA בלבד.

הדקי ה- MLX90614

האיור הבא מתאר את הדקי הרכיב ותפקידם.



איור 9 : הדקי המודול

VCC הוא הדק ספק הכוח. ניתן לחבר אותו ל- 3.3V או 5V .

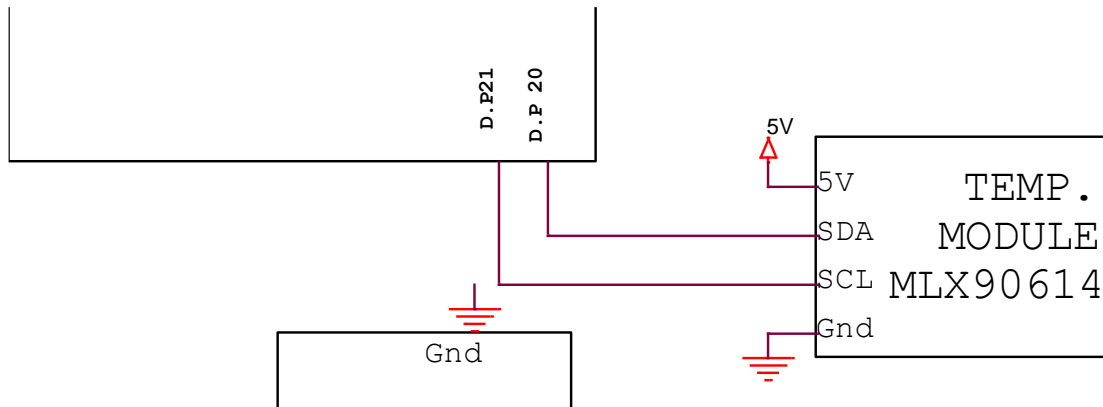
GND הוא הדק האדמה.

SCL הוא הדק פולסי השעון בממשק I2C. הדק זה הוא חד כיווני ושולח אותו מיקרו בקר כמו ארדואינו לרכיב.

SDA הוא הדק הנתון הטורי בממשק I2C. זהו הדק דו כיווני. המיקרו יכול לשלוח נתון טורי או לקבל נתון טורי.

החיבור אל הארדואינו

האיור הבא מתאר את חיבור המודול אל הארדואינו בפרויקט שלי:



איור 10 : חיבור חיישן הטמפרטורה אל הארדואינו

חיברתי את מתח ספק הכוח מהארדואינו – VCC של 5 וולט ו GND אל המודול.

בארדואינו אונן הדקי ה SCL וה SDA הם בהתאמה A5 ו A4 .

את הדק פולסי השעון SCL חיברתי אל הדק דיגיטאלי 20 - DP21 . זהו הדק SCL בארדואינו מגה.

את הדק הנתון הטורי – SDA אל הדק דיגיטאלי 20 - DP20 . זהו הדק SDA בארדואינו מגה.

התקנת קבצים בספרייה

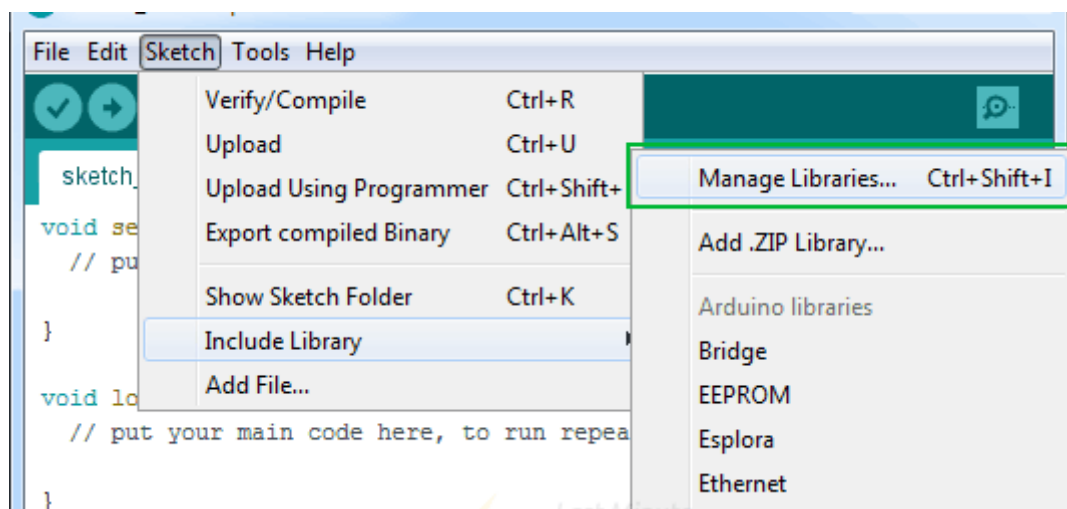
קיימות מספר ספריות עבור חיישן MLX90614. עם זאת, בדוגמה שלנו, אנו משתמשים בספריית

Adafruit אשר קל מאוד לשימוש, אבל זה תומך רק מדידת טמפרטורה בסיסית ולא את התכונות מראש של

החיישן. ניתן להוריד את הספרייה מתוך מנהל ספריית Arduino IDE.

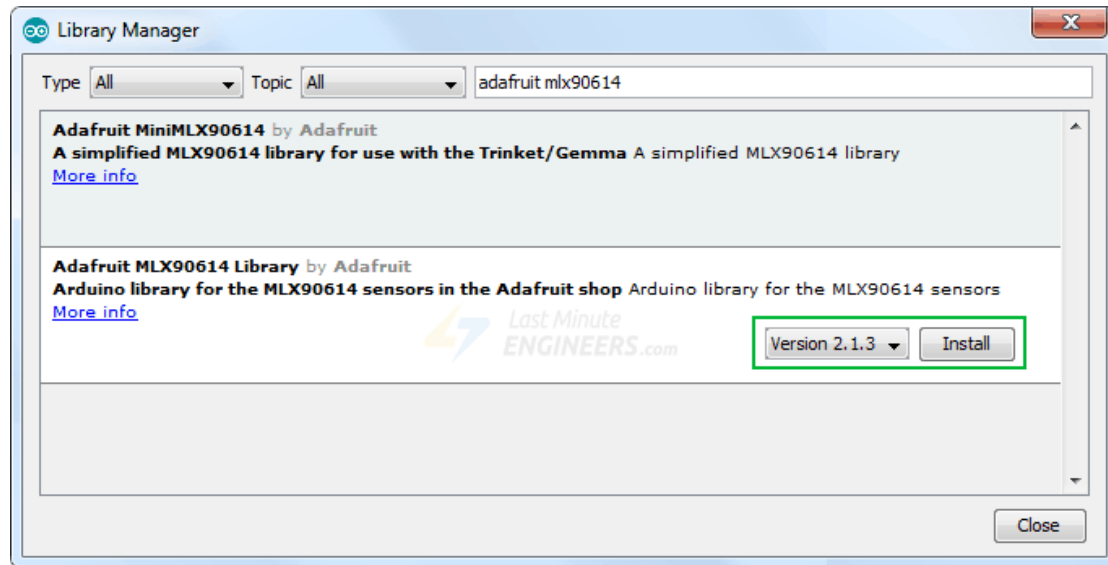
כדי להתקין את הספרייה נווט אל הסקיצה < כלול ספרייה > ניהול ספריות... המתן עד שמגהל הספריות יוריד

אינדקס של ספריות ויעדכן רשימה של ספריות מותקנות.



איור 11 : התקנת הספרייה

בחר את Manage Libraries סגן את החיפוש על-ידי הקלדת 'adafruit mlx90614'. לחץ על הערך ולאחר מכן בחר התקן.



איור 12 : בחירת mlx90614 adafruit

תוכנית עם ארדואינו

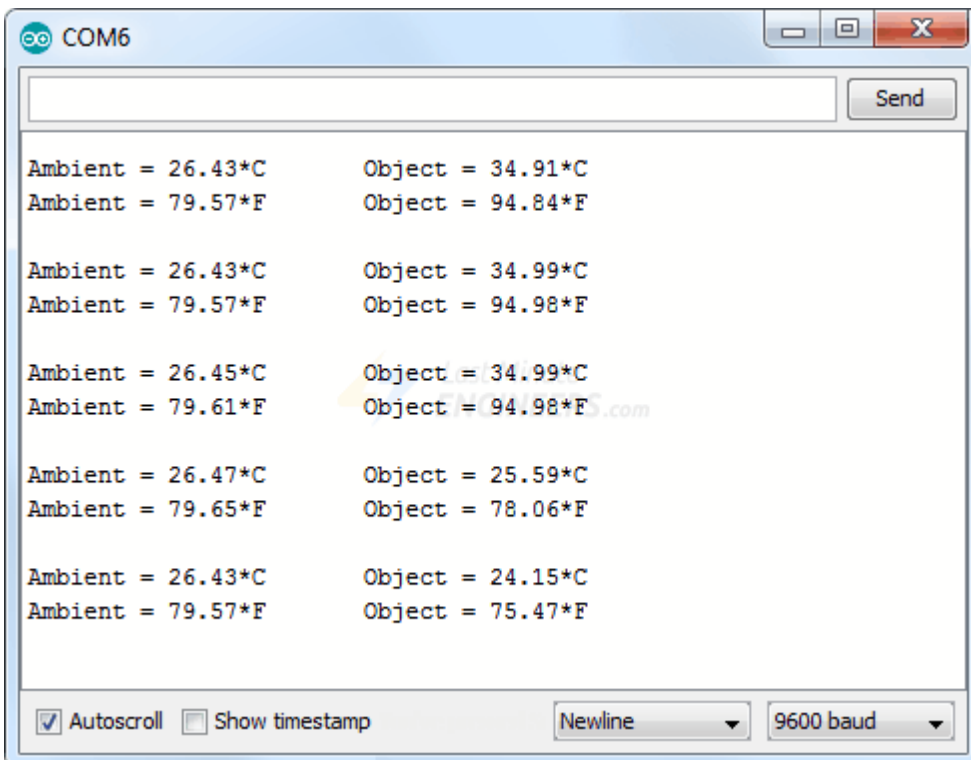
נרשום תוכנית בסיסית של Arduino המאפשר לבדוק במהירות את הפונקציונליות של MLX90614.

נרשום את התוכנית הבאה ונעלה אותה לארדואינו :

```
#include <Adafruit_MLX90614.h> // הכללת הספרייה Adafruit_MLX90614
Adafruit_MLX90614 mlx = Adafruit_MLX90614(); // יצירת אובייקט בשם mlx
void setup()
{
  Serial.begin(9600); // אתחול התקשורת הטורית עם המסך הטורי
  while (!Serial); // המתנה להתחברות עם המסך הטורי
  if (!mlx.begin()) // מאתחלים את חיישן הטמפרטורה ואם לא הגיע ממנו תשובה רושמים שיש שגיאת התחברות
  {
    Serial.println("Error connecting to MLX sensor. Check wiring."); // הדפסה שגיאה בהתחברות בדוק חיווט
    while (1); // לולאה אין סופית עד להפעלה חדשה של התוכנית
  };
}
void loop()
{
  Serial.print("Ambient = "); // הדפסה למסך הטורי
```

```
Serial.print(mlx.readAmbientTempC());  
// קריאה למתודה הבודקת את טמפרטורת הסביבה במעלות צלסיוס ומדפיסה את הערך המוחזר מהמתודה במסך הטורי  
Serial.print("C\tObject = "); // הדפסה למסך הטורי  
// קריאה למתודה הקוראת את טמפרטורת האובייקט במעלות צלסיוס ומדפיסה את הערך המוחזר מהמתודה במסך הטורי  
Serial.print(mlx.readObjectTempC());  
Serial.println("C"); // הדפסה למסך הטורי  
Serial.print("Ambient = "); // הדפסה למסך הטורי  
// קריאה למתודה הבודקת את טמפרטורת הסביבה במעלות פרנהייט ומדפיסה את הערך המוחזר מהמתודה במסך הטורי  
Serial.print(mlx.readAmbientTempF());  
Serial.print("F\tObject = ");  
// קריאה למתודה הבודקת את טמפרטורת האובייקט במעלות פרנהייט ואת הערך המוחזר מהמתודה מדפיסה למסך הטורי  
Serial.print(mlx.readObjectTempF());  
Serial.println("F"); // הדפסה למסך הטורי  
Serial.println(); // הדפסה למסך  
delay(500); // loop של חצי שנייה בין מדידה למדידה לפני שחוזרים לתחילת ה loop  
}
```

לאחר העלאת התוכנית לארדואינו נפתח את המסך הטורי ונקבע את קצב השידור ל- 9600 bps. נקבל במסך גם את טמפרטורת הסביבה וגם את טמפרטורת האובייקט גם במעלות צלסיוס וגם במעלות פרנהייט כמו באיור הבא.



איור : ההדפסות של טמפרטורת הסביבה וטמפרטורת האובייקט במסך הטורי.

כוון את המודול לחפצים שמסביב או למצח שלך כדי לוודא שאין לך חום...
הערה : הפרעות אלקטרומגנטיות יכולות לתת תוצאות שגויות . בעת השימוש בחיישן מומלץ לשים לב
שהטלפון הנייד , נתב ה WiFi , הטלויזיה או כל מכשיר אלקטרוני שיכול לשדר – לא מופעל.

ביבליוגרפיה:

1. דפי נתונים מהאתר :

<https://www.melexis.com/en/documents/documentation/datasheets/datasheet-mlx90614>

2. הסבר מהאתר lastminuteengineers.com

<https://lastminuteengineers.com/mlx90614-ir-temperature-sensor-arduino-tutorial/>