

## חיישן PIR – עיקרון עבודה וחיישן HC-SR501

### א.תפקיד

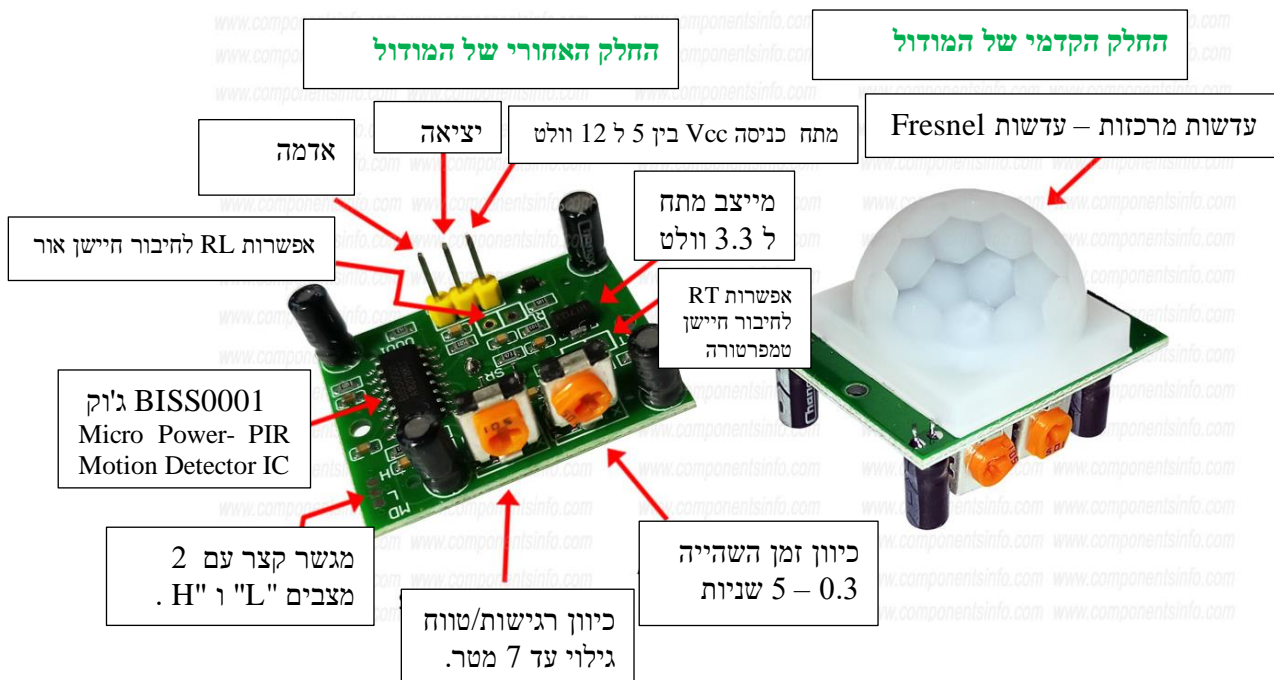
חיישן PIR הוא קיצור של Passive Infra Red sensor – חיישן אינפרה אדום פסיבי. קרינה הנקראת אינפרה אדום היא קרינה אלקטרו מגנטית שאורך הגל שלה גדול מאור אדום רגיל ( או התדר שלה נמוך מאור אדום רגיל). אינפרה בלטינית הוא "מתחת". הקרינה איננה נראית בעין של בן אדם אבל יש לה תכונה של פליטת חום. אורך הגל שלה הוא כ 9.4 מיקרו מטר (בין 8 ל 14 מיקרו מטר).

כאשר גוף אדם או בעל חיים נמצא בטווח של החיישן הוא מזהה תנועה כי גוף האדם או החיה פולט אנרגיית חום בצורה של קרינת אינפרא אדום. המונח "פסיבי" אומר כי החיישן אינו משתמש באנרגיה כלשהי לצורך גילוי מטרות, החיישן פועל על ידי גילוי האנרגיה שמשדרים האובייקטים האחרים. החיישן נקרא חיישן פיירו אלקטרי ( פיירו – טמפרטורה, אלקטרי – חשמלי וביחד: חיישן טמפרטורה חשמלי) או גם בשם חיישן IR.

החיישן הפיירו אלקטרי עשוי מחומר גבישי המשחרר מטען חשמלי כאשר הוא נחשף לחום בצורה של קרינת אינפרא אדום. כמות המטען המשתחררת תלויה בכמות הקרינה של ה IR.

המודול שאותו נתאר נקרא HC-SR501. זהו מודול שבו יש את העדשות המרכזות, חיישן הפיירו ואלקטרוניקה מסביב לו. המודול מוציא '1' כאשר הוא מגלה גוף חם.

המודול נראה באיור הבא:



איור 1: חיישן HC-SR501. מימין החיישן משני צדדיו במבט על ומשמאל החיישן מהצד.

## 1.א מאפיינים

- \* מתח הפעלה מ 4.8 עד 20 וולט .
- \* תצרוכת הספק נמוכה . במצב סרק  $50\mu A$  ובמצב פעולה מלא  $65mA$  .
- \* אמינות גבוהה.
- \* רגישות או מרחק גילוי ניתן לכיוון.
- \* יציאת זמן השהייה ניתנת לכיוון ( כיוון כמה זמן היציאה תישאר בגבוה אחרי שהחיישן גילה אות).
- \* ניתן להשתמש בו בנפרד ללא תוספת של מיקרו בקר כמו ארדואינו או רספברי פיי. אבל ניתן להשתמש בהם כדי להעשיר את הפרויקט.
- \* מאפיין אופציונלי הוא בקרה על חישת אור.
- \* מאפיין אופציונלי הוא בקרה על חישת טמפרטורה.
- \* מחיר נמוך.
- \* משתמשים בג'וק BISS0001 שהוא רכיב עיבוד PIR באיכות גבוהה.
- \* זווית גילוי של 120 מעלות.
- \* טווח גילוי של 3 עד 7 מטר .
- \* ניתן להתחבר אליו בקלות מכל פלטפורמה כמו ארדואינו או רספברי פיי או מיקרו בקרים נוספים.
- \* ניתן להתחבר אליו ממעגלים אנאלוגיים.

## 2.א כיוון רגישות וזמן השהייה

בחלק האחורי של המודול יש אפשרות לשני כיוונים בעזרת 2 פוטנציומטרים.

1. כיוון הרגישות או במילים אחרות את טווח הגילוי.
2. כיוון הזמן שבו היציאה תישאר בגבוה אחרי גילוי קרינת IR ( פעילות של גוף חם ).

## 3.א אופני התנעה

קיימים 2 אופני התנעה המסומנים באותיות "L" ו "H" . אלו אופני עבודה אופציונליים ואין חובה לעבוד באופנים אלו כדי להשתמש במודול. ברירת המחדל המודול מכוון לאופן התנעה פשוט. נסביר מהם 2 מצבי מגשר הקצר כדי להבין האם רוצים להשתמש בהם.

**מצב "L"** נקרא **אופן התנעה בודד** . במצב זה היציאה עולה לגבוה פעם אחת עד שזמן ההשהיה מסתיים ( זמן ההשהיה ניתן לכיוון עם אחד הפוטנציומטרים כמו שהוסבר בסעיף קודם). לא משנה כמה פעמים הגוף החם נע בתוך טווח הגילוי של המודול.

**מצב "H"** נקרא **מצב התנעה חוזרת** . במצב זה היציאה עוברת לגבוה בכל פעם שהגוף נע בתוך טווח הגילוי של המודול ומתחיל זמן השהיה חדש. לדוגמה אם קבענו זמן השהייה של שנייה אז כאשר מתגלה גוף נע היציאה עוברת לגבוה. הזמן של שנייה יתחיל להימדד מרגע סיום גילוי הגוף .

#### 4.א אפשרויות חישה של אור וטמפרטורה

כדי להעשיר את ביצועי המודול יש לו אפשרויות לחוש אור וטמפרטורה. לשם כך ניתן לחבר מודול חיישן אור ו/או מודול חיישן טמפרטורה אל המודול והג'וק BSS0001 יבצע את המדידות. בחלק האחורי של המעגל המודפס של המודול ישנם 2 חורים הנקראים RL ו 2 חורים הנקראים RT . לכאן נחבר את אחד או 2 המודלים של אור וטמפרטורה. RT - ל 2 חורים אלו ניתן לחבר טרמיסטור - נגד תלוי טמפרטורה - נגד המשנה את התנגדותו עם הטמפרטורה (בדרך כלל ההתנגדות גדלה עם הטמפרטורה אם כי יש טרמיסטורים שעובדים הפוך) . השימוש בטרמיסטור מעשיר את הביצוע של המודול כאשר הטמפרטורה עולה מעל 32 מעלות צלסיוס. יש לחבר את הטרמיסטור מהצד הקדמי/חזית של המעגל המודפס. RL - השימוש ביישום RL מאפשר למודול לעבוד רק בחשכה / בלילה ועל ידי כך חוסך בתצרוכת ההספק של הרכיב ומאריך את חיי הסוללה ( אם המודול עובד עם סוללה). ניתן לחבר נגד LDR ( Light Depended Resistor – נגד תלוי אור- התנגדותו קטנה ככל שיש יותר אור) . גם את ה LDR יש לחבר מצד החזית של המודול.

#### 5.א יישומים

- \* מערכת אבטחה ביתית.
- \* מערכת אבטחה למשרד/ למקום העבודה.
- \* חיסכון בהספק – מערכת מופעלת רק בנוכחות אדם.
- \* גילוי אדם.
- \* גילוי חיה.
- \* מערכות תעשייתיות אוטומטיות.

#### 6.א כיצד להשתמש במודול

המודול מוכן לשימוש ולא צריך רכיבים או מעגלי עזר נוספים כמו ארדואינו או רספברי פיי וכו'. ניתן להשתמש במודול באופן עצמאי לגילוי תנועה. יש לתת לו הוא מתח מספק כוח או סוללה ולחבר את היציאה שלו ( יחסית לאדמה) לכל מערכת שנרצה. היציאה איננה יכולה לתת זרם גבוה ואם רוצים להפעיל מערכת הצורכת זרם גבוה יש להשתמש בטרנזיסטור או מגבר הספק אחר. כמובן שבחיבור אל מיקרו בקר ניתן להעשיר את היישומים עם המודול.

#### ב. מבנה

המודול HC-SR501 מורכב מ 3 מרכיבים עיקריים :

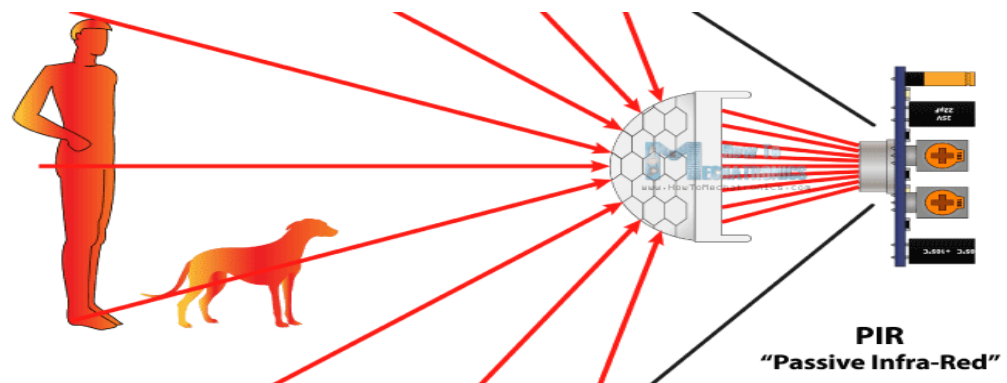
- א. עדשות פרנל העשויות מחומר הנקרא פוליאיתילן polyethylene שתפקידן לרכז את קרינת האינפרא אדום אל החיישן ה IR .
- ב. חיישן IR הנקרא גם חיישן פיירו אלקטרי שמגלה קרינת IR ומוציא אות היחסי לקרינה.
- ג. מעגלי אלקטרוניקה המגבירים את האות מהחיישן , מעבדים אותו ואומרים האם קיימת קרינת IR בסביבת החיישן.

## ב.1 עדשות פרנל

העדשות המרכזות הן קבוצה של 17 עדשות המחוברות אחת אל השנייה במבנה של כיפה. הן נראות באיור הקודם מימין כמו עדשות מחומשות (5 צלעות) ומשושות (6 צלעות) ונקראות עדשות פרסנל או פרנל. עדשת פרנל היא עדשה אופטית דקה מאוד, שבה הפרשי הדרכים האופטיות בין הקרניים נוצרים על ידי יצירת חספוס מורכב ומדויק על פני השטח של העדשה. נקראת על שם הפיזיקאי אוגוסטן ז'אן פרנל.

העדשות קולטות את קרינת ה-IR – אינפרא אדום - ומרכזות אותן אל חיישן פיירו אלקטרי שתפקידו לזהות שינויי טמפרטורה. הן מתוכננות לרכז קרניים של 9.4 מיקרו מטר.

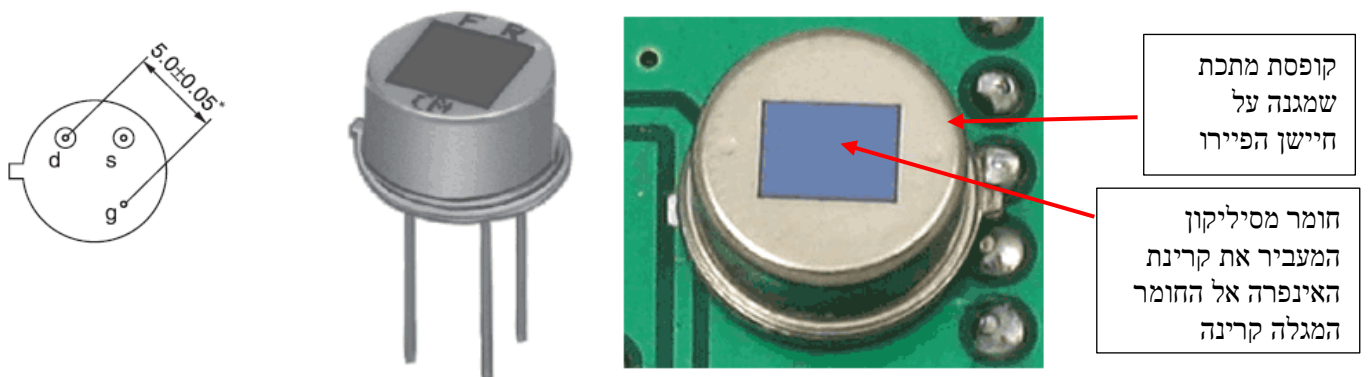
ריכוז הקרניים בעזרת העדשות נראה באיור הבא :



איור 2 : ריכוז קרני האינפרא אדום אל חיישן הפיירו אלקטרי ( האיור מהאתר של [howtomechatronics.com](http://howtomechatronics.com) ).

## ב.2 חיישן פיירו אלקטרי

קרינת האינפרא אדום עוברת דרך חומר סיליקון המעביר את הקרינה אל תוך החלק שמושפע מהקרינה.. באיור הבא נראה החיישן הפיירו אלקטרי הנמצא מתחת לעדשות המרכזות .



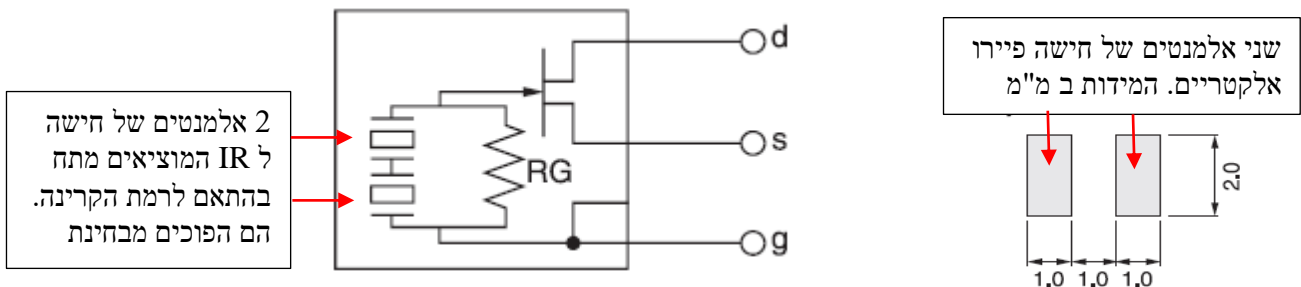
איור 3 : חיישן פיירו אלקטרי ( IR ) . במרכז – החיישן. מימין החיישן במודול SR501 . משמאל – הדקי החיישן.

החיישן נמצא בקופסת מתכת אטומה הרמטית לשיפור חסינות רעש/טמפרטורה/לחות. בראש החיישן יש חלון עשוי מחומר שמעביר IR (בדרך כלל מצופה סיליקון שקל מאוד להשגה) שמגן על אלמנט החישה.

לחיישן 3 הדקים הנקראים 1 Drain – 2 Source .3 Ground . אלו יציאות של טרנזיסטור FET שמגביר את האות המגיע מחיישן ה IR .

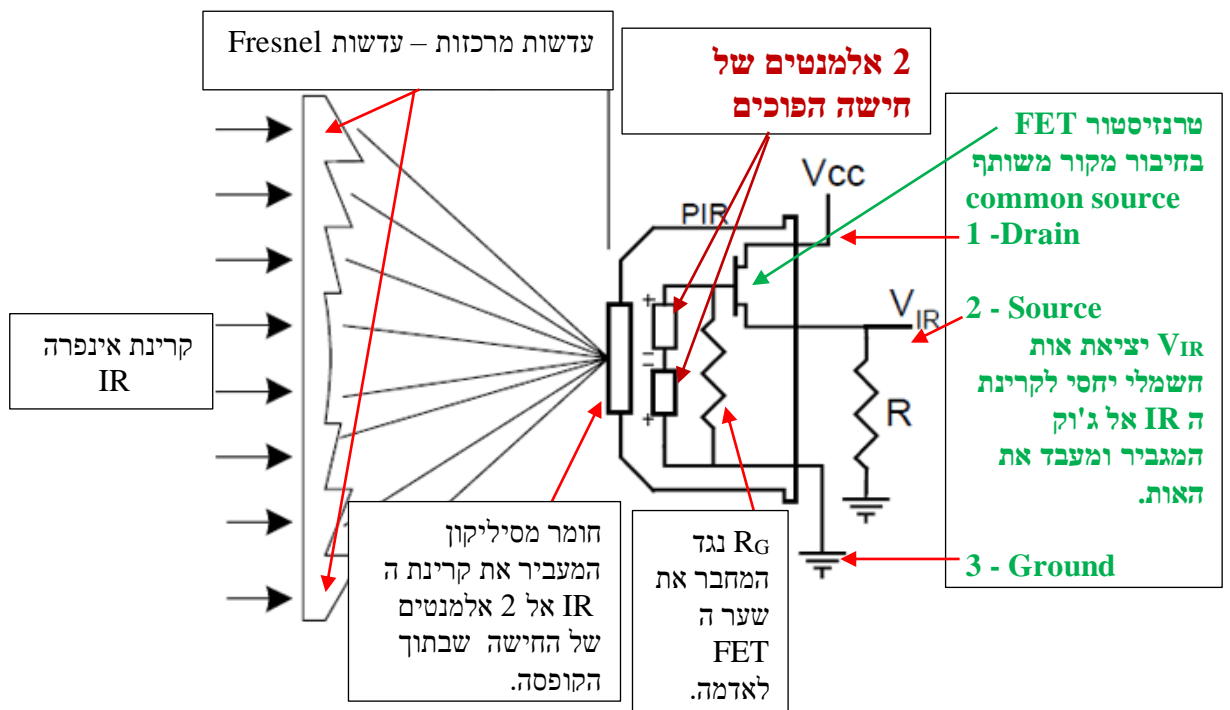
האיור הבא מציג את הסכימה הפנימית של חיישן ה IR . כאמור, בתוך החיישן יש טרנזיסטור JFET שיש לו רעש נמוך מאוד. ה FET מחובר בחיבור מקור משותף - COMMON SOURCE - והוא משמש כחוצץ עם עכבת כניסה גבוהה ביותר והאות היוצא מהמקור מגיע אל ג'וק BISS0001 שהוא Micro Power PIR Motion Detector - גלאי תנועה PIR הספק מיקרו. הקישור לג'וק (<http://www.datasheet39.com/download.php?id=990806>) או ([WT8072 \(stackpathcdn.com\)](http://www.stackpathcdn.com/WT8072)) או <http://www.datasheet39.com/download.php?id=990806>

החיישן מתואר באיור הבא :



איור 4 : מבנה פנימי בתוך החיישן. מצד ימין מידות אלמנטי החישה הפיירו אלקטריים ומשמאל המבנה החשמלי.

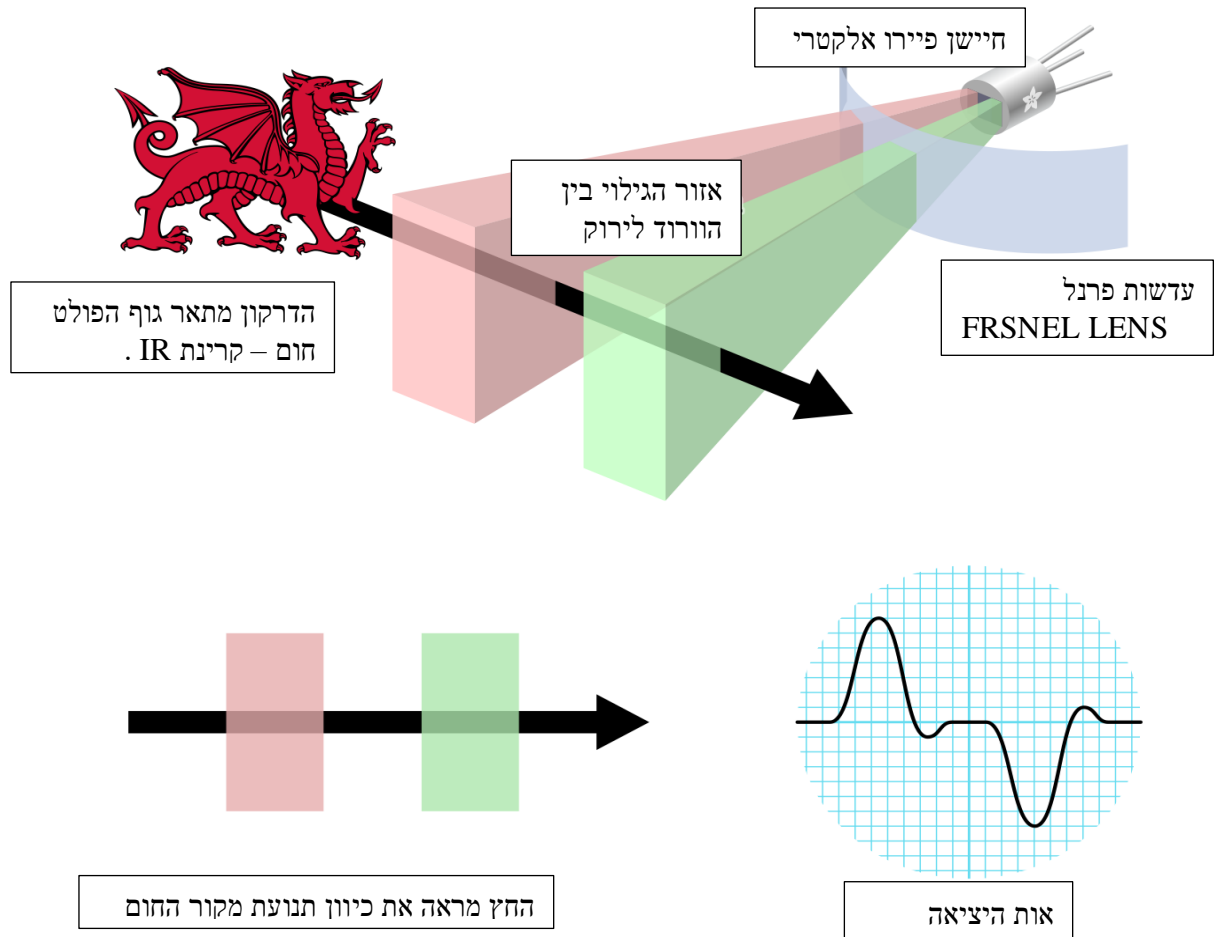
שני האלמנטים של החישה מחוברים בטור והם מחוברים בקוטביות הפוכה. בצורה כזו הם מבטלים רעשים והשפעות של טמפרטורה ואור כי המתח המתפתח על כל אחד מהחיישנים מבטל זה את זה. נגד  $R_G$  של כ 100 קילו אוהם הוא נגד המחבר את שער ה FET לאדמה כדי שהשער לא יהיה באוויר. פירוט נוסף והסבר פעולה נתאר בעזרת האיור הבא:



איור 5 : מבנה של חיישן פיירו אלקטרי (האיור מהאתר [How PIRs Work | PIR Motion Sensor | Adafruit Learning System](http://www.adafrit.com/learning-system/how-pirs-work)).

## 2.1.2 עיקרון הגילוי

האיור הבא מתאר את עיקרון הפעולה של חיישן פיירו אלקטרי. חיישן ה-PIR עצמו כולל שני אלמנטים של חישה מאוזנים הרגישים ל-IR ושני חריצים. החריצים מתוארים באיור הבא בעזרת הצבעים ורוד וירוק בהיר. באיור הקודם רואים את 2 אלמנטי החישה המחוברים בטור אבל בקוטביות הפוכה אחד אל השני (לבטל רעשים, השפעות טמפרטורה ואור).



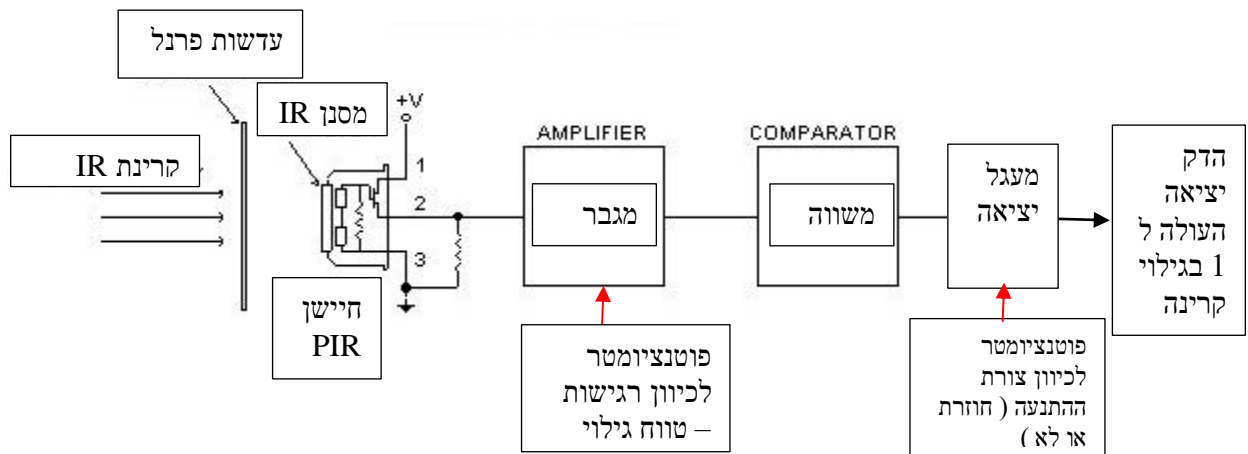
איור 6 : עיקרון החיישן ( האיור מהאתר : [How PIRs Work | PIR Motion Sensor | Adafruit Learning System](http://www.adafrit.com/learn/system/How-PIRs-Work) ).

שני החריצים שבתוך ה-PIR יכולים 'לראות' במרחק כלשהו מעבר לחיישן (זוהי בעצם הרגישות של החיישן). כאשר אין גוף חם בסביבה, שני החריצים מזהים את אותה כמות של IR המתקבלת מהסביבה המוקרנת מהחדר או מהקירות או מבחוץ. 2 אלמנטי החישה מוציאים מתח נמוך מאוד והיות והם בקוטביות הפוכה הם מבטלים אחד את המתח של השני. כאשר גוף חם כמו אדם או חיה עובר ליד החיישן ( נניח שהגוף נע משמאל לימין ) הוא נכנס תחילה לחלק המסומן בוורוד. אלמנט החישה הימני מזהה את הקרינה של ה-IR וגורם לשינוי מתח חיובי באלמנט החישה השמאלי ( בצבע ורוד ) ולכן נקבל את החלק החיובי של אות היציאה. מתח היציאה מהחיישן החיובי הולך וגדל ככל שהגוף מתקרב למרכז אלמנט החישה והולך וקטן כשהוא ממשיך ימינה. כאשר הגוף החם נמצא בין שני החריצים הוא מתגלה על ידי 2 האלמנטים של החישה ולכן המתח בשער הוא 0 כי אלמנט אחד מבטל את השני. כאשר הגוף החם עוזב את אזור החישה באמצע ועובר לצד הימני -

אלמנט החישה הירוק - קורית פעולה הפוכה . החיישן יוצר את המתח בקוטביות הפוכה ההולך וגדל ככל שהגוף נע ימינה למרכז החיישן הוורוד . במרכז אלמנט החישה הוורוד המתח מקסימלי ובהמשך תנועת הגוף ימינה המתח קטן עד שבהמשך התנועה הגוף יוצא מאזור החישה של האלמנט. את צורת אות היציאה רואים באיור הקודם בחלק התחתון מצד ימין . את צורת האות הזו מזהה החיישן. החיישן מסוגל לזהות אותות קרינה מתחת לקרינה של 1 מיקרו וואט. ערכים אופייניים למתח המתקבל מחיישן PIR הם :  $4.3mV_{P-P}$  (משיא לשיא) . זווית הגילוי היא של כ 100 מעלות . העדשה האופטית היא ל  $5\mu m$  . החיישן עובד במתח ספק של 2 עד 15 וולט ובטמפרטורה של 40- עד 70 מעלות צלסיוס :

## ד. סכמה מלבנית מודול HC-SR501

האיור הבא מתאר סכמה מלבנית עקרונית של מודול גילוי קרינת אינפרא אדום IR .



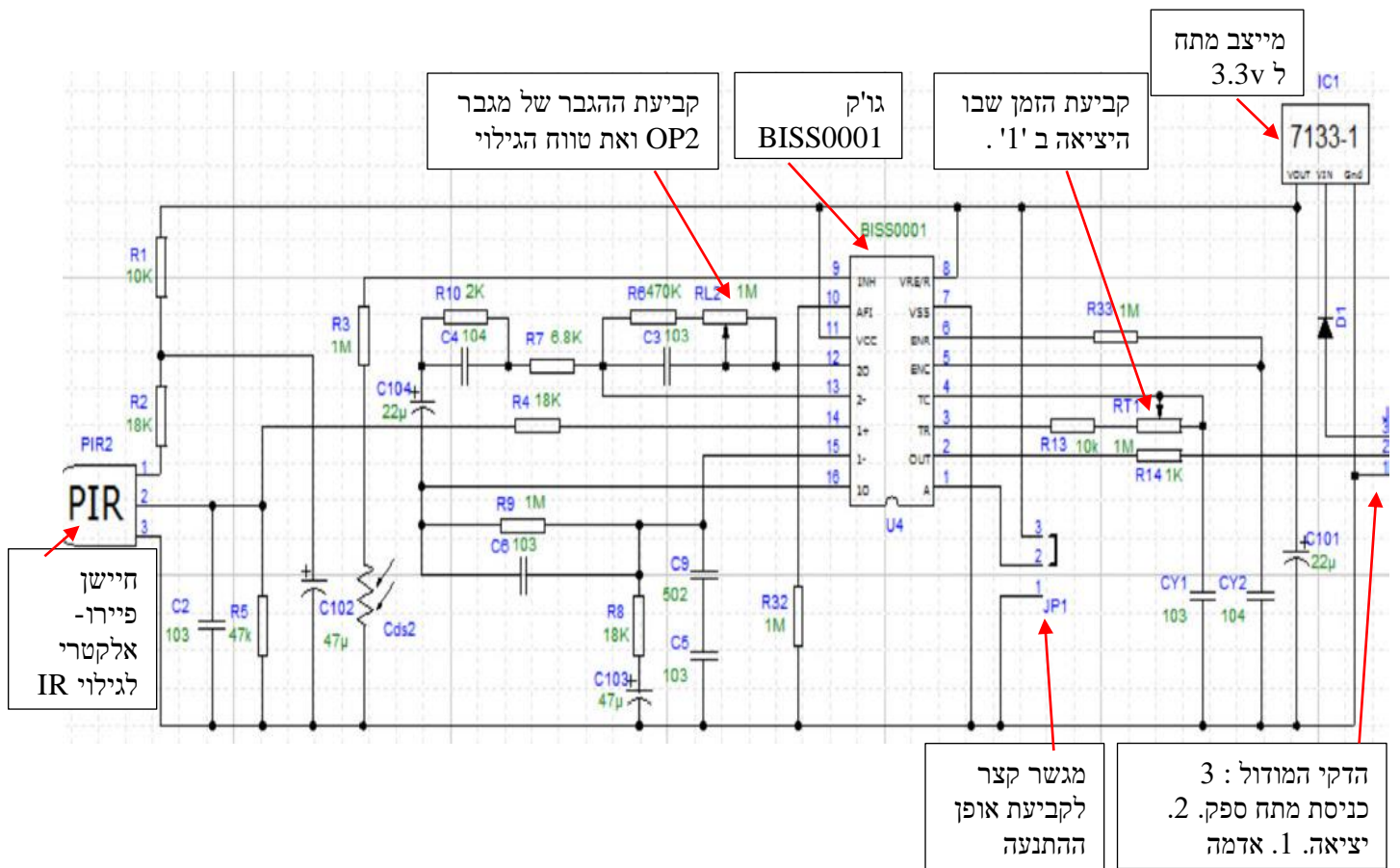
איור 7 : סכמה מלבנית חיישן PIR

- קרינת אינפרא אדום - IR - של גוף חם נכנסת מצד שמאל של האיור.
  - הקרניים של ה IR ממוקדות בעזרת עדשות פרנל אל חיישן ה IR המורכב מהרכיבים הבאים:
  - מסנן IR הדואג להעביר את הקרניים אל 2 גבישים שהם האלמנטים של החישה . הם משחררים מטענים לפי עוצמת הקרינה. טרנזיסטור FET מגביר את שינויי המטען שבאלמנטים של החישה.
  - ה FET מחובר בחיבור מקור משותף - COMMON SOURCE - והוא משמש כחוצץ עם עכבת כניסה גבוהה ביותר והאות היוצא מהמקור מגיע בדרך כלל אל ג'וק שבו נמצאים מגבר ומשווה:
  - בתוך המגבר 2 מגברי שרת עם סינון רעשים. למגבר יש בדרך כלל רוחב סרט של 10 הרץ כדי לדחות רעש בתדר גבוה.
  - המשווה הוא מסוג חלון והוא מגיב גם לחלק החיובי וגם לחלק השלילי של האות שמגיע אליו.
  - יש לדאוג שספק הכוח המתחבר אל המודול יהיה מסונן היטב כדי שלא יהיה עם רעש שישפיע על איכות הגילוי.
- הפוטנציומטר המחובר למגבר קובע את ההגבר שלו ובעצם את רגישות הגילוי או טווח הגילוי. הפוטנציומטר המחובר למעגל היציאה קובע האם את הזמן שבו היציאה תהיה ב '1' (הוסבר בסעיף מקודם).

## ה. סכמה חשמלית

האיור הבא מתאר את הסכמה החשמלית של המודול. הוא מורכב מהחלקים הבאים:

- IC1 מצד ימין למעלה הוא מייצב המתח ל 3.3V. הוא מקבל את מתח הספק ומוציא מתח מיוצב של 3.3V. הדיודה D1 דואגת שלמייצב ייכנס מתח חיובי מספק הכוח.
- מצד שמאל נמצא חיישן הפיירו אלקטרי. בהדק 2 שלו יש אות האות החשמלי היחסי לקרינת ה IR והאות מגיע אל רכיב BISS0001 שמעבד את האות.
- רכיב, ג'וק BISS0001 במרכז השרטוט מגביר ומעבד את האות המתקבל מהחיישן.
- נגדים וקבלים ושני פוטנציומטרים המאפשרים כיוון רגישות (מרחק גילוי) וכמה זמן תישאר היציאה בגבוה כאשר התגלתה קרינת IR.



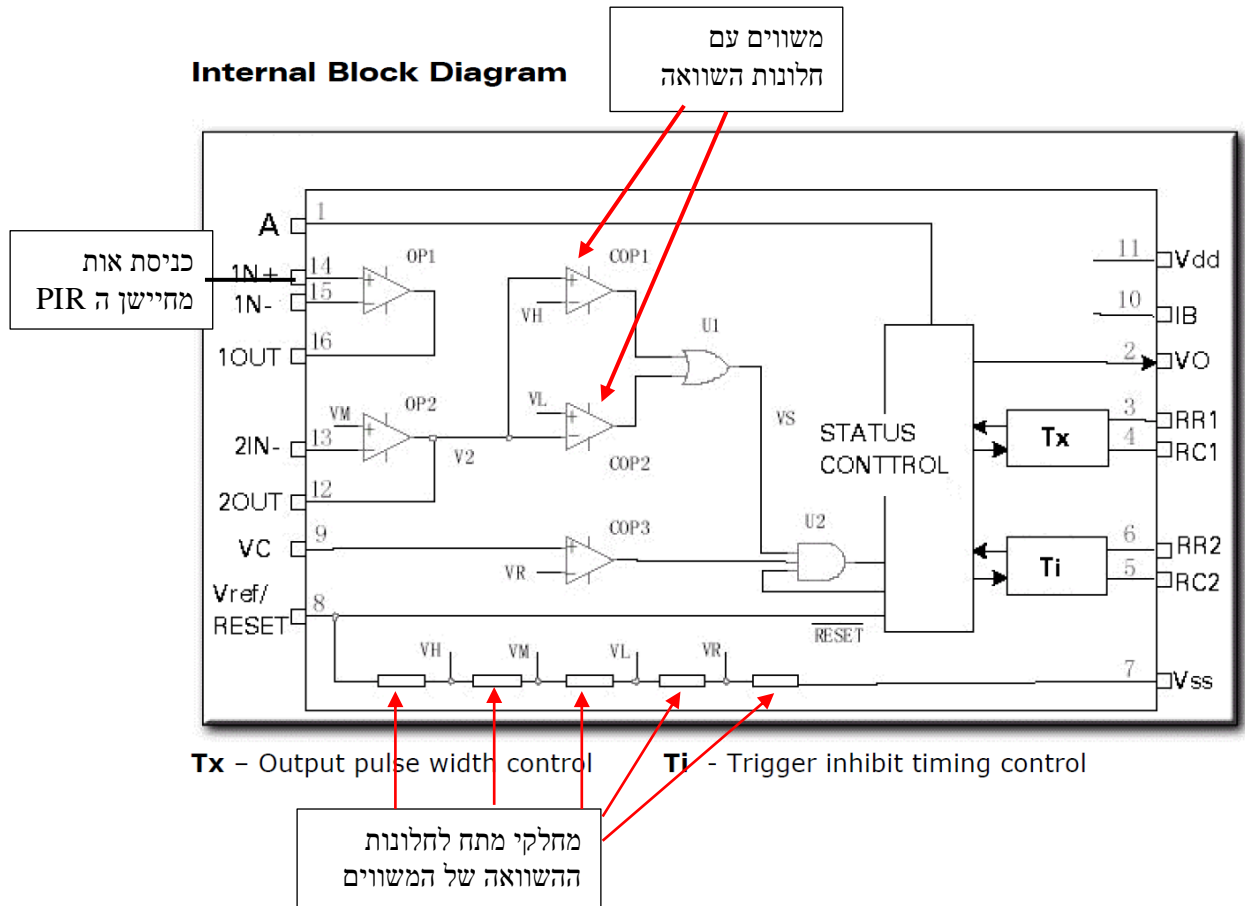
איור 8 : סכמה חשמלית של מודול HC-SR501

ניעזר בסכמה המלבנית של רכיב ה BISS0001 שבאיור הבא כדי להסביר את הסכמה החשמלית.

כניסת חיישן ה PIR נכנסת להדק 14 של הג'וק. זוהי הכניסה העוקבת של מגבר OP1 בסכמה המלבנית.



הדק 16 של הג'וק הוא יציאת המגבר המחזירה משוב שלילי להדק הכניסה המהפכת – הדק מספר 15 של OP1. המשוב מתחבר לקבלים C9,C5,C6,C103 ונגדים R9,R8. נגדים וקבלים אלו מסננים אותות מעל 10 הרץ לאדמה ומגבירים רק את אות המגיע מה PIR.



איור 9 : סכמה מלבנית של רכיב BISS0001.

מהדק 16 של הג'וק שהוא יציאת מגבר ראשון מתחבר האות המוגבר להדק 13 של מגבר משווה OP2. היציאה של המגבר מתחברת בתוך הג'וק ל 2 משווים וגם להדק 12. מוחזר משוב להדק הכניסה 13 שהוא הכניסה המהפכת כאשר היחס בין נגדי המשוב R6 ופוטנציומטר RL2 עם קבל C3 ובין הנגדים R7, R10 וקבל C4 קובעים את הגבר OP2. הפוטנציומטר קובע את ההגברה ובאופן מעשי קובע את טווח הגילוי. יציאת המערכת היא בהדק 2 של הג'וק. במצב ללא גילוי יש בהדק רמה נמוכה (0) ובמצב גילוי IR יש רמה גבוהה (1). בין ההדקים 3 ו 4 מתחבר פוטנציומטר הקובע בעזרת R13 וקבל CY1 כמה זמן הדק היציאה יהיה במצב גבוה כאשר יש גילוי של IR.

## ו. חיבור לארדואינו

נניח שחיברנו לארדואינו מודול HC-SR501. יציאת המודול מתחברת להדק 2 בארדואינו. בהדק 13 של הארדואינו יש לד. נרשום תוכנית פשוטה המדליקה את הLED כאשר יש גילוי של קרינת IR ( באופן מעשי נעביר את הLED ליד המודול).

```
#define pirSensor 2 //
define led 13
void setup ()
{
  pinMode(pirSensor, INPUT);
  pinMode(led, OUTPUT);
}
void loop()
{
  bool sensorValue = digitalRead(pirSensor);
  if (sensorValue == 1)
  {
    digitalWrite(led, 1); // הדלקת הLED
  }
  else
    digitalWrite(led, 0); // כיבוי הLED
}
```

### ביבליוגרפיה

1. האתר של adafruit  
<https://learn.adafruit.com/pir-passive-infrared-proximity-motion-sensor/how-pirs-work>
2. האתר של componentsinfo  
[hc-sr501-pir-sensor-module-pinout.jpg \(1205×965\) \(componentsinfo.com\)](https://www.componentsinfo.com/hc-sr501-pir-sensor-module-pinout.jpg)
3. האתר של howtomechatronics  
[How PIR Sensor Works and How To Use It with Arduino \(howtomechatronics.com\)](https://www.howtomechatronics.com/how-to-use-pir-sensor)