

# **פרויקט סיכום אמינות במיקרו- אלקטרוניקה**

**מגיש: דניאל רם**  
**ת.ז: 208958322**  
**תאריך הגשה: 29.08.2024**

## תוכן עניינים

3.....	מבוא
3.....	שאלה 1
3.....	שאלה 2.1
4.....	שאלה 2.2
5.....	חישוב אמינות silicon 45nm
7.....	חישוב אמינות GaN power
9.....	חישוב אמינות BGA package
11.....	סיכום ומסקנות

### מבוא - מהי אמינות במיקרו אלקטרוניקה

אמינות (Reliability) היא ההסתברות שמערכת או רכיב יפעלו בצורה תקינה תחת תנאים מוגדרים ובמשך פרק זמן מסוים. מבחינה מתמטית, האמינות  $R(t)$  מוגדרת כהסתברות שהמערכת תפעל ללא כשל עד לזמן  $t$ . תחזית אמינות מתבצעת בהקשר של כישלונות אקראיים (Random Failures), מה שמרמז על כך שישנה הסתברות מוגדרת לכשל בזמן מסוים, הנובעת מגורמים ספציפיים ואינה מקרית לחלוטין.

$$R(t) = e^{-\lambda t} \quad (1) \quad \text{נוסחת האמינות היא:}$$

### שאלה 1 - תיאור של התהליך לחישוב תחזיות אמינות עבור סדרות ומערכות כשל

#### מקביליות.

#### מערכות סדרתיות

במערכת סדרתית, כל הרכיבים חייבים לפעול בהצלחה כדי שהמערכת כולה תפעל בהצלחה. כשל של רכיב אחד מוביל לכשל של המערכת כולה. האמינות של מערכת סדרתית מוגדרת כמכפלת האמינות של כל אחד מהרכיבים:

$$R_{series}(t) = \prod_{i=1}^n R_i(t) \quad (2)$$

#### מערכות מקביליות

במערכת מקבילית, מספיק שרכיב אחד יפעל בהצלחה כדי שהמערכת כולה תפעל בהצלחה. לכן, האמינות הכוללת של המערכת היא ההסתברות המשלימה שהמערכת תיכשל, כלומר ההסתברות שכולם ייכשלו.

האמינות של מערכת מקבילית מחושבת בעזרת הנוסחה:

$$R_{parallel}(t) = e^{-\left(\frac{1}{\lambda_1} + \frac{1}{\lambda_2} + \dots + \frac{1}{\lambda_i}\right) * t} \quad (3)$$

#### זמן ממוצע לכשל (MTTF)

$$MTTF = \frac{1}{\lambda} \quad (4) \quad \text{זמן ממוצע לכשל (MTTF) עבור מערכת סדרתית מחושב כך:}$$

כאשר  $\lambda$  הוא קצב הכשל של המערכת, המחושב כסכום של קצבי הכשל של כל רכיב.

### שאלה 2.1 - סיכום מנגנוני הכשל הצפויים במכשירים סיליקון ו-GaN כתוצאה

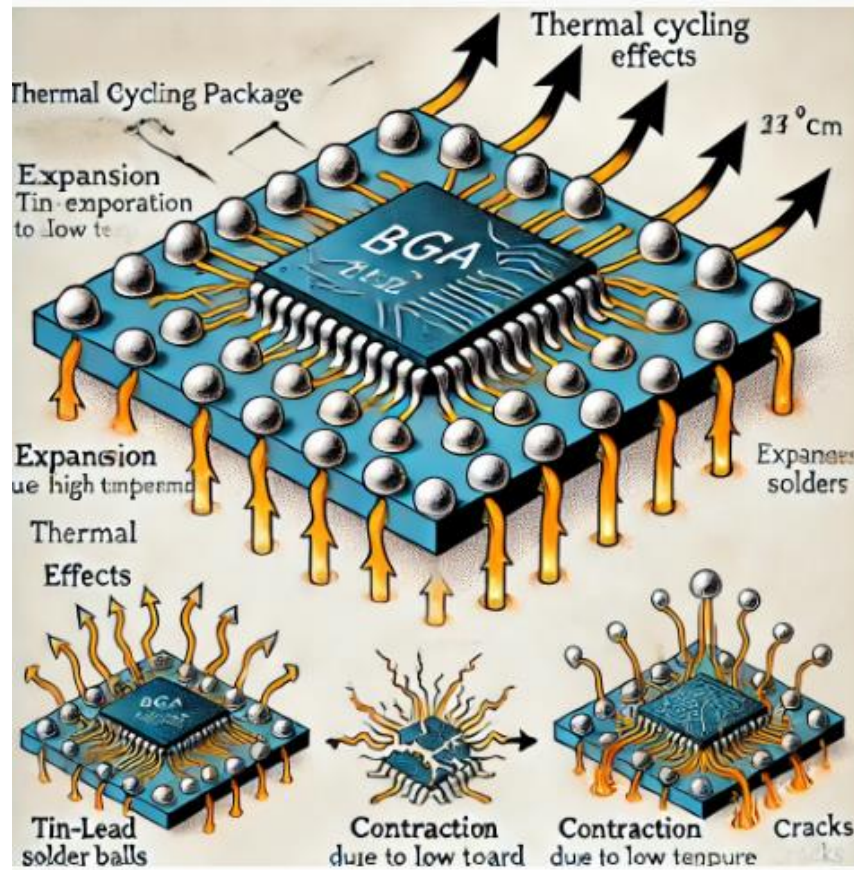
#### מטמפרטורה גבוהה ומתח גבוה.

- **כשל בתעלת הטרנזיסטור:** בטמפרטורות גבוהות ובמתח גבוה, יכול להתרחש כשל בתעלת הטרנזיסטור, כתוצאה מתהליכים כמו נדידת יונים ודיפוזיה של אטומים, מה שמוביל לשינוי בפרמטרים החשמליים של הטרנזיסטור.
- **כשל בדיאלקטריק השער:** השפעות חום גבוה ומתח עלולים לגרום לירידה במתח הפירוק של השכבה הדיאלקטרית בשער, מה שיכול להוביל לכשל דיאלקטרי ולאובדן בקרת השער.
- **אייג'ינג של המגעים:** בטמפרטורה גבוהה, קצב הניוון של המגעים בין שכבות המוליכים במעגל עלול להאיץ, מה שיגרום לאובדן הולכה ולכשל חשמלי במעגל.
- **Bias Temperature Instability (BTI):** הוא מנגנון כשל הנובע מהזדקנות של מכשירי MOSFET, בעיקר כתוצאה ממחזורי מתח גבוהים בטמפרטורות גבוהות. במהלך הפעלת המתח, מימן עלול להתנתק מקשריו בתחמוצת השער (Gate Oxide), מה שגורם ליצירת פגמים ולכידת מטענים בממשק שבין תחמוצת השער לתעלת הסיליקון. לכידת מטענים זו יוצרת מצב של אי-ניטרליות ומשנה את מתח הסף של הטרנזיסטור, מה שמוביל להאטת תדר הפעולה ולהחמרה בביצועים עקב עלייה בזרם הדלף (leakage current) וירידה בניידות המוליכים. בטמפרטורות גבוהות, תהליך ניתוק המימן מועצם, מה שמאיץ את תהליכי ההזדקנות וגורם לכשל מהיר יותר של הרכיב, כך שביצועי הטרנזיסטור מתדרדרים והוא עלול להפסיק לתפקד כראוי לאחר זמן ממושך בתנאים קשים אלו.

## שאלה 2.2 - הסבר בקצרה מדוע מחזורי טמפרטורה יכולים לגרום לכשל במארזי BGA.

מחזורי טמפרטורה (Thermal Cycling) גורמים להתפשטות ולהתכווצות של החומרים במארז ה-BGA (Ball Grid Array), שבדרך כלל מורכב מכדורי בדיל-עופרת המחברים את השבב למעגל המודפס (PCB).

ככל שחומרי המארז והשבב מתרחבים ומתכווצים בקצביים שונים, נוצרים מאמצים מכניים בחיבורי הכדורים, מה שמוביל לסדקים מיקרוסקופיים במקומות של שינוי קיצוני בחום. סדקים אלה גדלים עם הזמן ומובילים לכשל מכני של המגעים, דבר המוביל לאובדן הולכה ולכשל חשמלי של המארז כולו.



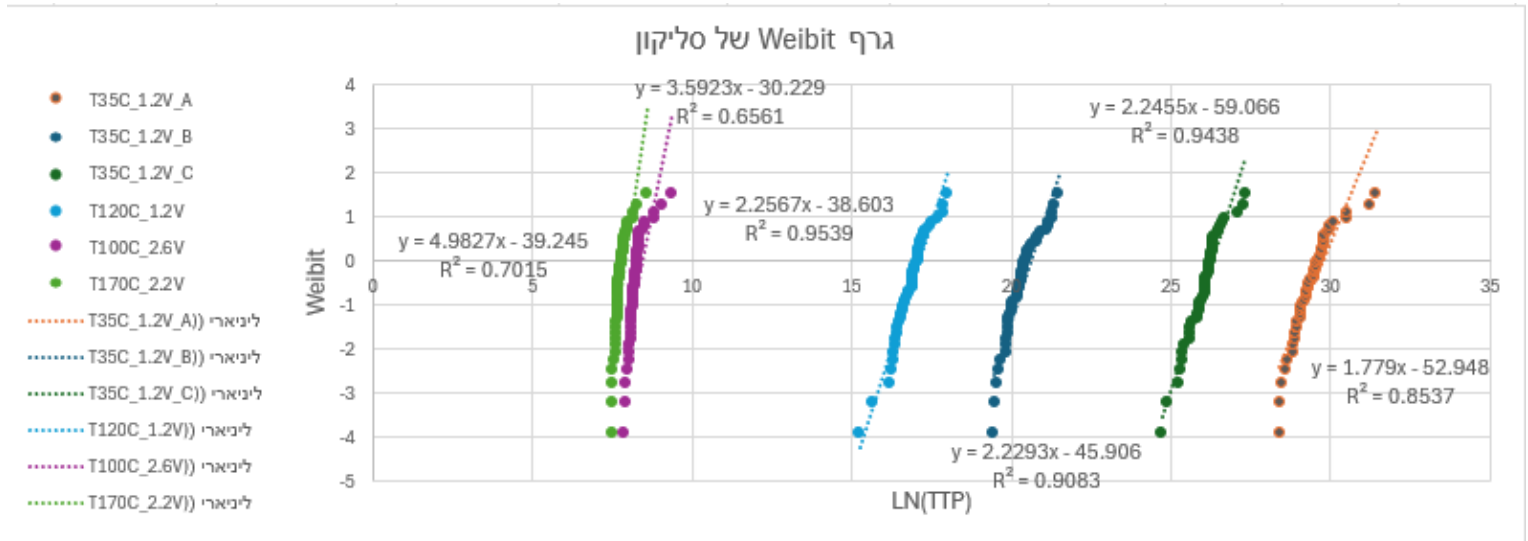
איור 1- איור אשר מתאר את הבעיה במארזי BGA

## חישוב אמינות 45nm silicon

תחילה נחשב גרף weibit על ששת הניסויים שקיבלנו באקסל הדאטה.

ציר x מחושב כך  $\text{LN}(TTP)$

ציר y מחושב כך  $\text{LN}(-\text{LN}(1-\frac{i}{n+0.5}))$ , כאשר i זה מספר ניסוי ו-n זה מספר הניסויים.



איור 2- גרף התפלגות weibit על סליקון לששת הניסויים

כעת נמצא MTTF לכל אחד מששת הניסויים על פי הנוסחה הבאה:  $MTTF = e^{\frac{\theta}{\beta}}$  (5), כאשר  $\beta$  זה השיפוע של כל ניסוי ו- $\theta$  זה b של כל ניסוי ונקבל את ה-MTTF לכל ניסוי הבאים:

	$\beta$	$\theta$	$MTTF = e^{(\theta/\beta)}$
T35C_1.2V_A	1.779	52.948	8.42975E+12
T35C_1.2V_B	2.229	45.906	879518889
T35C_1.2V_C	2.245	59.066	2.66869E+11
T120C_1.2V	2.256	38.603	26997609.02
T100C_2.6V	3.592	30.229	4517.192176
T170C_2.2V	4.982	39.245	2636.897961

איור 3- MTTF של כל ניסוי

נוסחת TTF בסיליקון היא:  $TTF(si) = A * v^{-\gamma} * e^{\frac{E_a}{kT}}$   
 כאשר טמפרטורת ההפעלה היא  $60^\circ$ , לכן  $T = 333$  והמתח מוגדר כ- $v=1.25V$ .  
 נמצא את גמא ואנרגיית אקטיבציה עם נוסחה 6 ע"י העברת אגפים.  
**מציאת  $E_a$**  הוא השיפוע לפי

ציר x מחושב כך  $\frac{1}{kT}$   
 ציר y מחושב כך  $\ln\left(\frac{TTF}{v^{-\gamma}}\right)$

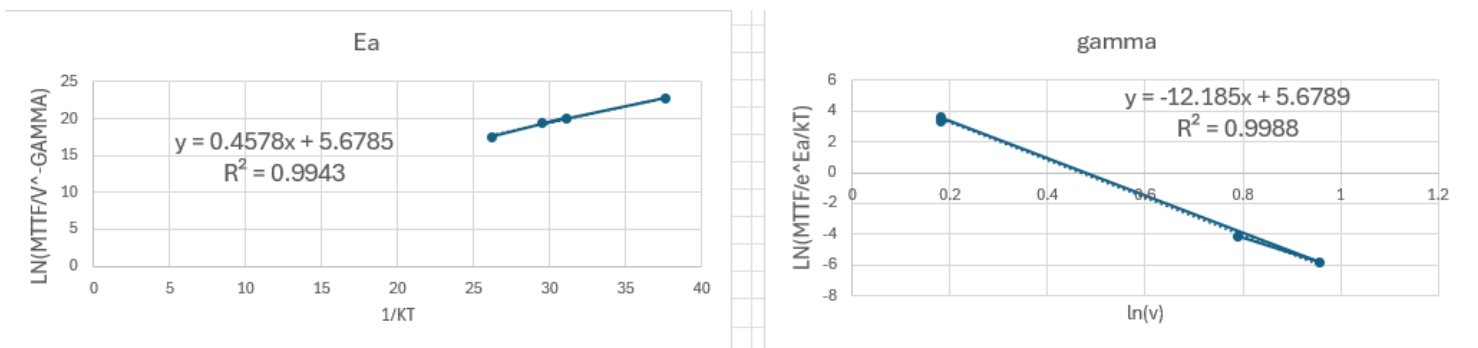
**מציאת גמא** הוא השיפוע לפי

ציר x מחושב כך  $\ln(v)$   
 ציר y מחושב כך  $\ln\left(\frac{TTF}{e^{\frac{E_a}{kT}}}\right)$

**מציאת קבוע A** לפי b של המשוואה  $A = e^b$ .

נשים לב שהם תלויים זה בזה לכן נעשה כמה איטרציות עד לקבלת גמא ואנרגיית אקטיבציה נכונים.

נקבל את הגרפים הבאים:



איור 4- גרפים למציאת גמא ו  $E_a$

נוכל לראות מאיור 4 כי:  $gamma = 12.185$ ,  $E_a = 0.457$ ,  $A = e^{5.678} = 292$   
 נשים לב שיש שלושה ניסויים עם אותו מתח לכן נלקח ניסוי 2 לקבלת קו ישר.

כעת נוכל למצוא את אמינות הסיליקון לפי נוסחה 1, 4, 6.

$$TTF(si) = A * v^{-\gamma} * e^{\frac{E_a}{kT}} = 163552405.8$$

$$\lambda(si) = \frac{1}{TTF(si)} = 6.11425E-09$$

$$R(t)(si) = e^{-\lambda t} = 0.9991 = 99.91\%$$

כאשר זמן שנות הפעולה הם 15 שנה נקבל  $t(hours) = 131400$ .

### חישוב אמינות GaN

תחילה נשתמש בשיטת  $t_n^{\frac{1}{n}}$  לכל אחד משמונה הניסויים לקבלת דיוק וכך נמצא את  $MTTF$  לכל ניסוי. ננחש  $n$  בסוף לקבלת  $R^2$  מאוד גבוה בגרפי חישוב הגמא ואנרגיית אקטיבציה.

כעת נחשב  $MTTF$  לכל ניסוי, כאשר  $MTTF$  מוגדר כעלייה של 10% של  $R_{ds}$ , לכן הנוסחה למציאת  $MTTF$  לכל ניסוי נשתמש במשוואה מערכית ונשווה את האקספוננט ל-1.1, לכן אחרי העברת אגפים הנוסחה היא:  $MTTF = \left(\frac{\ln(1.1)}{b}\right)^n$ , כאשר  $b$  זה מקדם המאריך. כך נקבל  $MTTF$  ל-8 הניסויים.

נוסחת ה-TTF ב-GaN היא:  $TTF(GaN) = A * v^{-\gamma} * e^{\frac{E_a}{kT}}$  (7)  
כאשר טמפרטורת ההפעלה היא  $60^\circ$ , לכן  $T = 333$  והמתח מוגדר כ- $V=12V$ .  
נמצא את גמא ואנרגיית אקטיבציה עם נוסחה 7 ע"י העברת אגפים והפעם ניתן להזניח מתח וטמפרטורה כאשר נמצא את המשתנה השני.

**מציאת  $E_a$**  הוא השיפוע לפי

ציר x מחושב כך  $\frac{1}{kT}$

ציר y מחושב כך  $\ln(ttf)$

**מציאת גמא** הוא השיפוע לפי

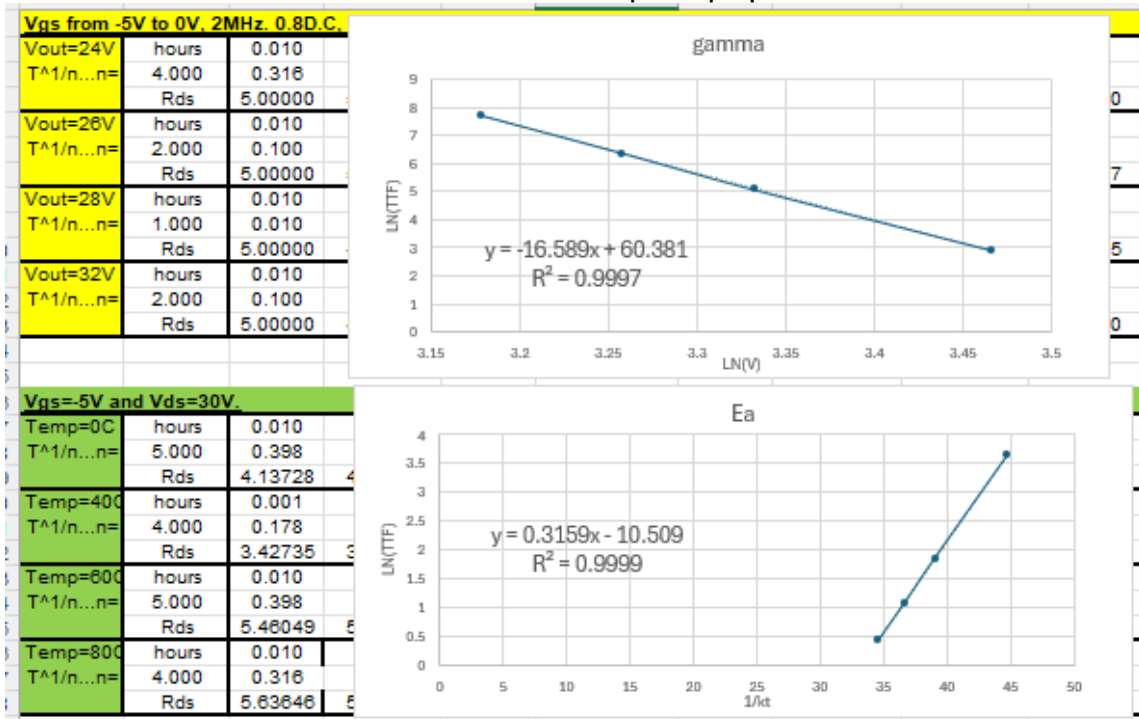
ציר x מחושב כך  $\ln(v)$

ציר y מחושב כך  $\ln(ttf)$

**מציאת קבוע  $A$**  לפי  $b$  של המשוואה  $A = e^b$ .

נשים לב שהם לא תלויים זה בזה לכן ניקח את ה- $b$  החיובי.

נקבל את הגרפים הבאים עם  $n$  הנכון לקבלת קו ישר עם  $R^2$  גבוה:



איור 5 - גרפים למציאת גמא ו- $E_a$  וח מדיק

נוכל לראות מאיור 5 כי:  $e^{60} = A$ ,  $Ea = 0.315$ ,  $\gamma = 16.589$

כעת נוכל למצוא את אמינות ה-GaN לפי נוסחה 1, 4, 7.

$$TTF(GaN) = A * v^{-\gamma} * e^{\frac{Ea}{kT}} = 1.56748E+13$$

$$\lambda(GaN) = \frac{1}{TTF(GaN)} = 6.38E-14$$

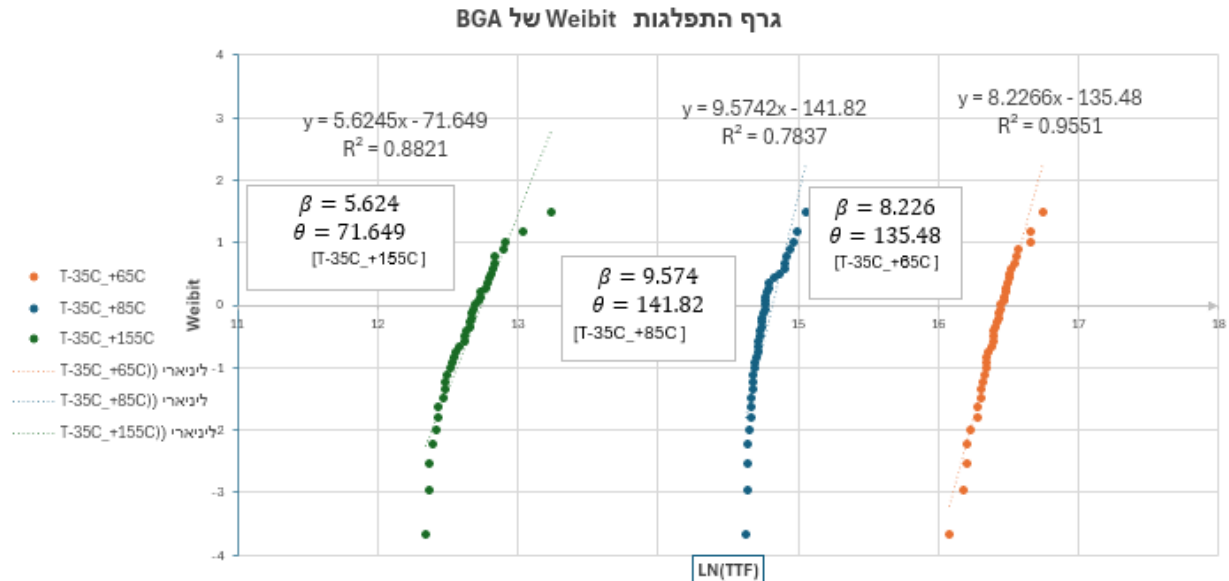
$$R(t)(GaN) = e^{-\lambda t} = 0.9999 = 99.99\%$$

כאשר זמן שנות הפעולה הם 15 שנה נקבל  $t(hours) = 131400$



## חישוב אמינות BGA package

תחילה נחשב גרף weibit על שלושת הניסויים שקיבלנו באקסל הדאטה.  
ציר x מחושב כך  $LN(TTP)$   
ציר y מחושב כך  $LN(-LN(1-\frac{i}{n+0.5}))$ , כאשר i זה מספר ניסוי ו-n זה מספר הניסויים.



איור 6 - גרף weibit לשלושת הניסויים

כעת נמצא MTTF לכל אחד משלושת הניסויים על פי הנוסחה הבאה:  $MTTF = e^{\frac{\theta}{\beta}}$ , כאשר  $\beta$  זה השיפוע של כל ניסוי ו- $\theta$  זה b של כל ניסוי ונקבל את ה-MTTF לכל ניסוי הבאים:

$\Delta T$		MTTF=EXP( $\theta/\beta$ )
100	T-35C_+85C	14198825.18
120	T-35C_+85C	2710722.784
190	T-35C_+155C	340891.39

איור 7 - MTTF של כל ניסוי

נוסחת ה-TTF ה-BGA היא:  $TTF(BGA) = A * \Delta T^{-n}$  כאשר  $\Delta T(BGA) = 80$ .

נמצא את n ו-A עם נוסחה 8 ע"י העברת אגפים.

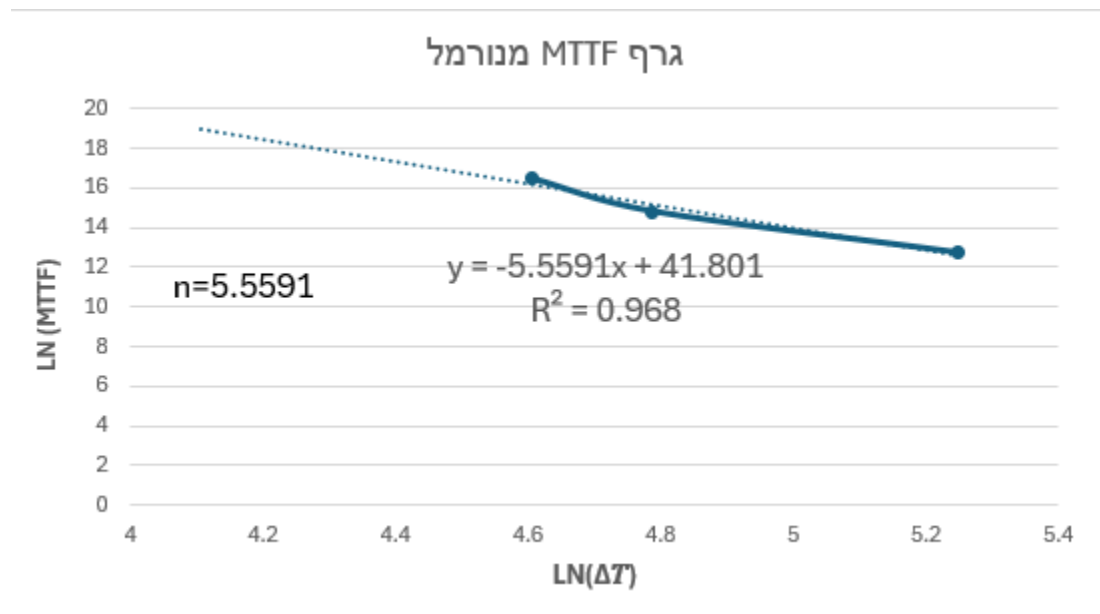
**מציאת n** הוא השיפוע לפי

ציר x מחושב כך  $\ln(\Delta T)$

ציר y מחושב כך  $\ln(MTTF)$

**מציאת קבוע A** לפי b של המשוואה  $A = e^b$ .

נקבל את הגרף הבא:



איור 8- גרפים למציאת n ו-A

נוכל לראות מאיור 8 כי:  $n = 5.559$ ,  $A = e^{41.801}$ .

כעת נוכל למצוא את אמינות ה-BGA לפי נוסחה 1, 4, 8.

$$TTF(BGA) = A * \Delta T^{-n} = 37538428.84$$

$$\lambda(BGA) = \frac{1}{TTF(BGA)} = 2.66394E-08$$

$$R(t)(BGA) = e^{-\lambda t} = 0.9965 = 99.65\%$$

כאשר זמן שנות הפעולה הם 15 שנה נקבל  $t(hours) = 131400$ .

### סיכום אמינות רכב חשמלי BYG

סיכום שלושת הרכיבים הנמצאים ב-BYG:

$$R(t)(Si) = e^{-\lambda t} = 0.9991 = 99.91\%$$

$$R(t)(GaN) = e^{-\lambda t} = 0.9999 = 99.99\%$$

$$R(t)(BGA) = e^{-\lambda t} = 0.9965 = 99.65\%$$

כעת נבדוק את האמינות הכללית לרכב:

על פי דפי הנתונים מדובר במערכת טורית לכן נשתמש בנוסחה הבאה למציאת אמינות הרכב:

$$R_{series}(t) = \prod_{i=1}^n R_i(t)$$

נוכל לראות כי האמינות של הרכב BYG היא:

$$R_{BYG}(t) = R(t)(Si) * R(t)(GaN) * R(t)(BGA) = 0.9991 * 0.9999 * 0.9965 = 0.9955$$

האמינות של רכב החשמלי BYG היא:  $R_{BYG}(t) = 99.55\%$

### מסקנות

לאור הסיכום לעיל לדעתי, הרכיבים שנבחרו ונבדקו הם בחירה טובה ומספקת לשמש כרכיבים של הרכב החשמלי BYG. אמינות הרכב הינה טובה ולא צריך להוסיף לאחד הרכיבים מערכת מקבילית.