

## fiXtress חידושים ושיטות לניתוח הפחתת מאמצים לרכיבים אלקטרוניים לאמינות גבוהה -

מאת : יצחק בוט, מנכ"ל BQR הנדסת אמינות בע"מ

### כללי

אמינות מוצרים אלקטרוניים תלויה באופן ישיר ברמת המאמצים המתפתחים על הרכיבים השונים. המתכננים עושים כמיטב יכולתם לחשב את המאמצים (באופן ידני) ולבחור רכיבים מתאימים. בדיקה זאת גוזלת זמן יקר של המתכננים ולא תמיד מתחשבת בכל מצבי העבודה של הרכיבים ולא עוקבת אחרי שינויי תכנון.

מכלולים אלקטרוניים נעשים יותר ויותר קטנים תוך שימוש ברכיבי IC צפופים בעלי 1000 פנים ויותר דבר הגורם לעליית צריכת ההספק והטמפרטורה. דבר זה מעלה את ההסתברות לתקלות וכשל מערכתי במערכות אלקטרוניות. המטרה בניתוח מאמצים לאתר את החוליות החלשות ולעזור למתכנן להפחית סיכון כזה. המאמצים הינם: הספק, מתח, זרם וטמפרטורה. טכניקה זו תפחית את הזמן היציאה לשוק ואת הסיכון לתקלות בזמן השימוש של המוצרים.

במאמר זה נציג מודלים לניתוח והפחתת מאמצים לרכיבים אלקטרוניים, טיפוס רכיבים שונים (בעלי אורך חיים כתוצאה משחיקה ורכיבים עם קצב תקלות אקראי). תודגם מערכת fiXtress לחישוב אוטומטי של מאמצים במעגלים אלקטרוניים ובדיקת Derating.

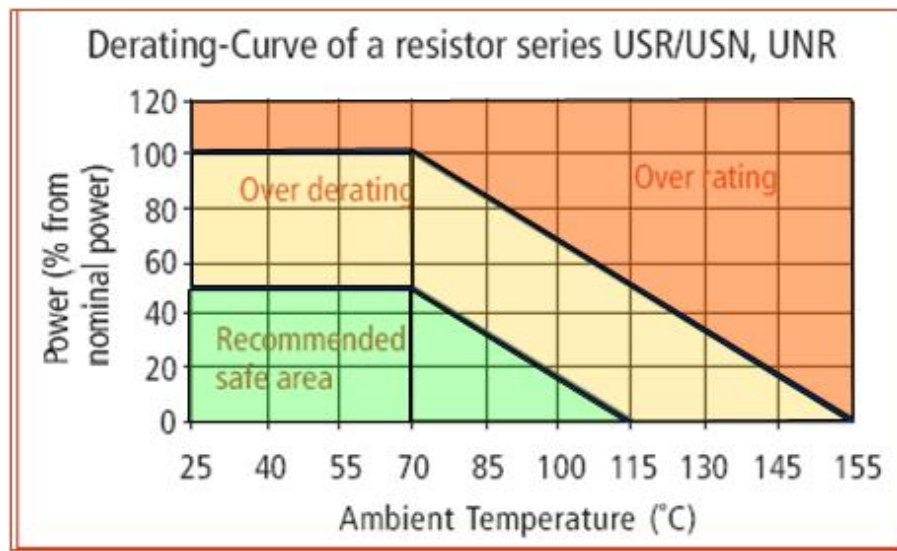
כסיכום תומלץ שיטה לאפיון מודל ניתוח והפחתת מאמצים מפעלית וכיצד להיערך לכך.

בנוסף נציג כיצד ניתן לקבל תחזית מהירה של MTBF, כבר בשלב התיכנון, לכרטיסים אלקטרוניים בשיטות שונות כגון: M217, Bellcore, Fides, Siemens, IEC.

במאמר נפרט את השיטות השונות לחישוב מאמצים והגישות השונות לבדיקת הפחתת מאמצים, הקשר בין מאמץ ו-MTBF, הנתונים הדרושים לשם כך מהמתכנן וממערכת התיב"מ, התלות בטמפרטורה, התלות בפרופיל ההפעלה, והגישות השונות לבחירת הפרמטר שעליו נדרש לבצע חישוב והפחתת מאמצים. לכל סוג רכיב מאפייין שונה של מאמץ ולכן תנתן סקירה של רכיבים פסיביים ואקטיביים.

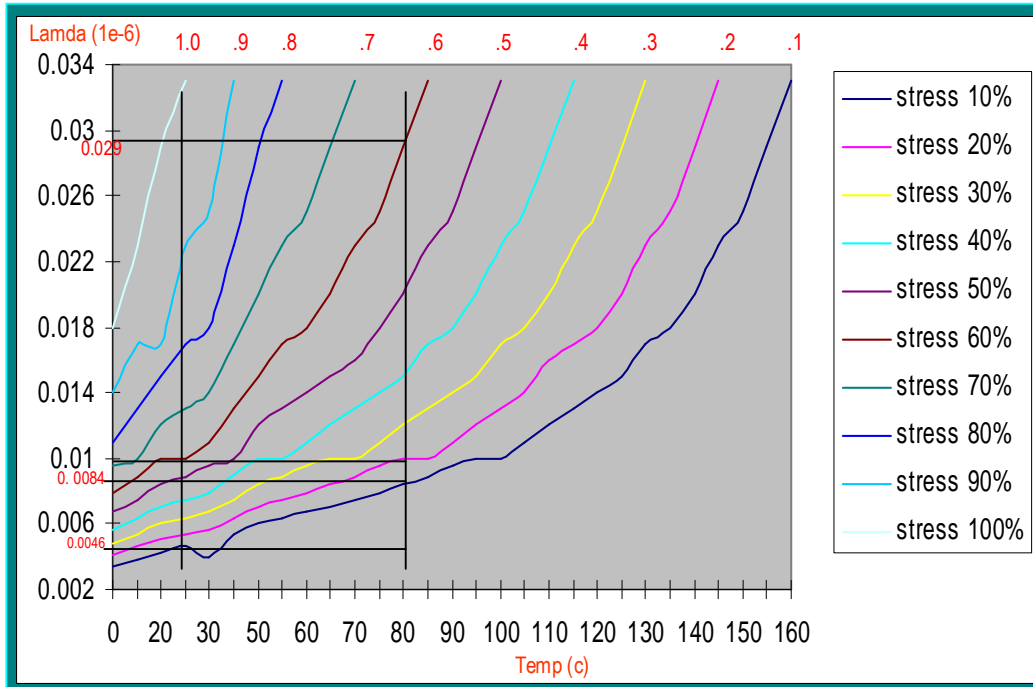
### הגדרת רמות למאמצים

מאמץ חשמלי הוא פרמטר חשוב מאוד שהמתכנן צריך לקחת בחשבון בזמן תכנון המעגל על מנת להפחית סיכוי תקלות בזמן השימוש של המוצר. ציור מס' 1 מתאר את האיזורים השונים בגרף המתאר תלות של מאמץ מול טמפרטורה. יצרני הרכיבים מתארים את עקומת הפחתת המאמצים באופן כללי ע"י הקו היוצא מ-100% מאמץ עד לנקודה של 25 מעלות או במקרה זה עד 70 מעלות ומנקודה זאת המאמץ מופחת עד לטמפרטורה של 155 מעלות. כמשתמשי הרכיבים אנו צריכים לוודא באופן כללי שהמאמץ לא יעלה מעל-50%. הבדיקה הזאת נעשית ללא תלות בטמפרטורה. למעשה חובה גם להתחשב בטמפרטורה ואז יש להפחית את המאמץ עד ל-115 מעלות מכסימום. בציור מס' 1 אנו רואים את האיזור הירוק כאיזור בטוח לשימוש, האיזור הצהוב שהוא שימוש מעל ה-Derating והאיזור האדום שהוא שימוש מעל ה-Rating. על המתכנן לשאוף שכל המאמצים מכל סוג שהוא יהיו תמיד באיזור הירוק.



[ציור מס' 1 – עקומת הפחתת מאמצים](#)  
[האפקט של מאמץ על אמינות הכרטיס](#)

ציור מס' 2 מתאר את התלות של קצב התקלות של הכרטיס (ציר ה-y) הנמדד בתקלות למיליון שעות לבין הטמפרטורה והמאמץ (ציר ה-x). הגרף מתייחס לכרטיס ממוצע עם כ-100 רכיבים שונים. מהגרף אנו רואים שהשתנות קצב התקלות עבור 10% מאמץ על כל הרכיבים, עולה לאיטו ומגיע למקסימום רק בטמפרטורה של 160 מעלות. לעומת זאת קצב התקלות עבור 100% מאמץ מטפס במהירות כבר בטמפרטורה של 25 מעלות.



**ציור מס' 2 – עקומת סיכון (אמינות) כנגד מאמץ וטמפרטורה**

### **שיטות שונות לחישוב מאמצים**

ניתוח המאמצים מתבצע בדרך כלל ע"י המתכננים, ע"י הנחות או בחישוב ידני. שיטה זאת מתאפיינת בשעות רבות של עבודה, דיוק נמוך ואי ביצוע חוזר לאחר שינוי תיכנון. להלן השיטות השונות הנהוגות אצל היצרנים השונים:

**שיטה 1:** הנחת המתכנן שהרכיבים שנבחרו עומדים בקריטריונים כגון: 30% מאמץ על פני הנגדים, 40% על פני הקבלים הרגילים ו-50% על פני הקבלים האלקטרוליטיים, 25% על פני המוליכים למחצה ועל כל ה-IC 70% מההספק הרשום בדף היצרן. שיטה זאת לא יעילה מפני שהמתכנן לא ביצע ניתוח סיסטמטי ומניח הנחות שלא יושמו בתיכנון.

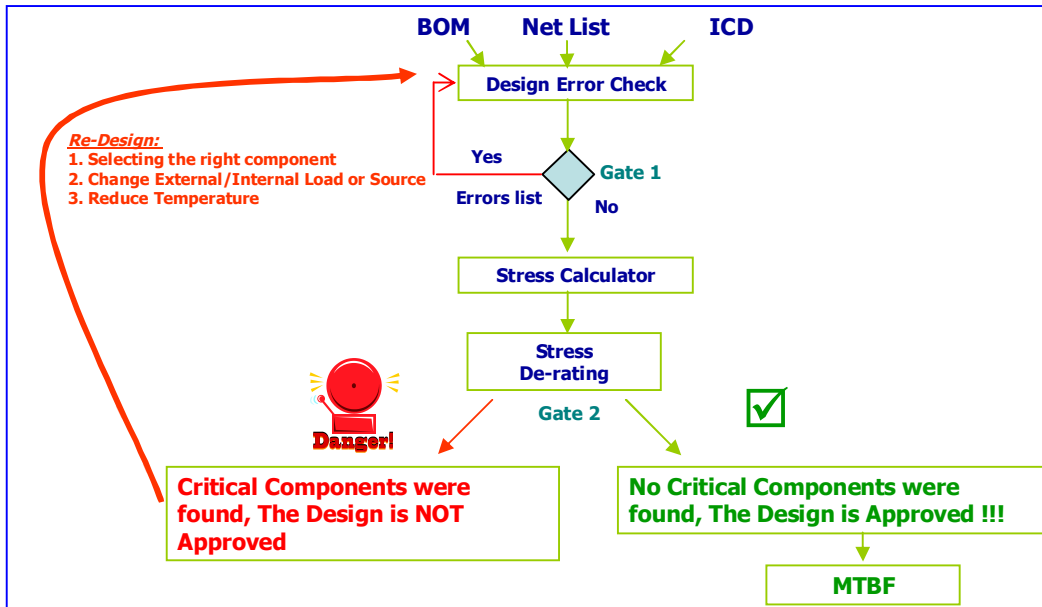
**שיטה 2:** חישוב ידני של המאמצים ע"י המתכנן, הנדסת המוצר ואפילו ע"י סטודנטים. שיטה זאת מתאפיינת באי דיוק, בזמן רב של השקעה, במתן תוצאות הרבה זמן לאחר העריכה ובאי יכולת לעדכן את הניתוח במידה ונעשה שינוי תיכנון. שיטה זאת מיושמת בעיקר אם הלקוח מבקש מהיצרן דוח כזה. בדרך כלל יצרנים לא מבצעים ניתוח ידני ומסתמכים בעיקר על שיטה 1.

**שיטה 3:** שימוש בתוכנת CAD לחישוב מאמצים על פי מודלים שונים. במקרה זה ניתוח ה-Derating נעשה ללא תוצאות ניתוח תרמי ועל פי ההנחה שהטמפל אחידה ועל פי פרופיל תנאי סביבה קבוע.

**שיטה 4:** כמו בשיטה מס' 2 בתוספת שימוש בתוצאות ניתוח תרמי. שיטה זאת הינה הממוצעת שכן היא מבטיחה הפחתת הסיכון לכשלים בשדה וקיצור משך היציאה לשוק למרות שלכאורה נראית יותר יקרה. מנסיון של עשרות פרויקטים מסתבר שה-ROI לישום שיטה זאת הוא החזר השקעה לאחר ביצוע הניתוח לכרטיס השני. בשיטה זאת יש לקחת בחשבון השקעה בכתיבת נוהל פנימי הכולל הגדרת נתונים במערכת ה-CAD שאולי לא היו קיימים קודם כגון: (Interchange Connections Drawing) ICD שזה למעשה הגדרת הסיגנלים במחבר הכרטיס. ישום הנוהל מעלה את איכות תהליך התיכנון שהוא למעשה ערך מוסף נוסף לשיפור אימות המוצר הסופי.

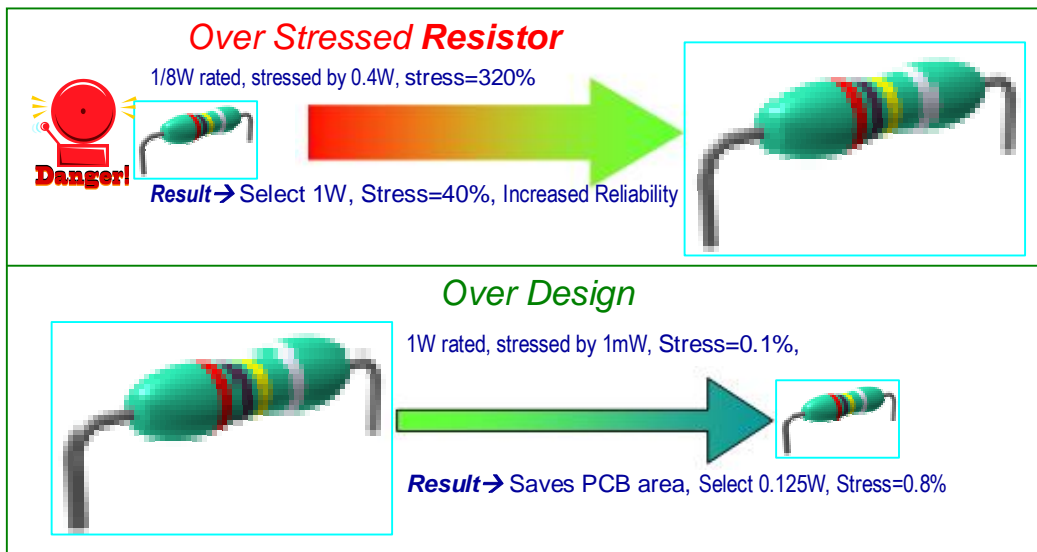
### **תהליך הניתוח**

תהליך ניתוח מאמצים כולל מספר שלבים אשר יאורגנו בנוהל פנימי במפעל תוך כדי הגדרת הנתונים הדרושים, הפונקציות ההנדסיות האחראיות בתהליך, תהליך יישום שינויים בתכנון הנובעים ממצאת חריגות בתכנון וסגירת התהליך באישור שאין רכיבים חורגים.



ציור מס' 3 – תהליך ישום ניתוח מאמצים האירגון

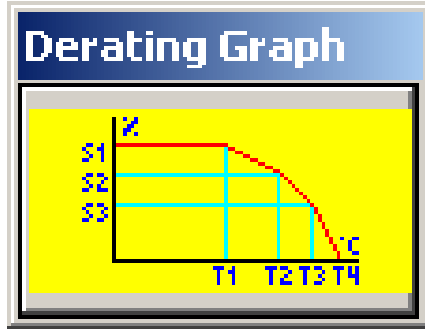
- התהליך כולל את השלבים הבאים:
1. הכנת קבצי הנתונים ממערכת ה-CAD בסיוע שלב השרטוט ולפני שלב העריכה הכוללים: BOM רשימת רכיבים, Netlist ו-ICD.
  2. Gate 1: בדיקת חוקיות התיכנון ומציאת שגיאות תכנון. שלב זה הינו חשוב ביותר מפני שבשרטוט יתכנו שגיאות תכנון כגון קצרים ונתקים אשר יגרמו לניתוח המאמצים להיות לא נכון. במידה ומתגלות שגיאות תכנון יש לתקן אותם עוד לפני העריכה. ניתוח שגיאות תכנון מעלה את איכות ואמינות המוצר עוד בשלב השרטוט.
  3. ביצוע ניתוח מאמצים ממוחשב בשיטת ה-fiXtress, שהיא סימולציה של מאמצים על פי פרופיל סיגנלים. פירוט השיטה יעשה בסעיף אחר.
  4. Gate 2: ביצוע בדיקה האם המאמצים מופחתים על פי פרופיל Derating, אם הרכיבים חורגים יש לבצע תכנון חוזר ולחזור החל משלב 1. במידה וכל הרכיבים בתחום העבודה המותר (ראה ציור מס' 4) ניתן לעבור לשלב הבא.
  5. חישוב MTBF של הכרטיס.



ציור מס' 4 – שינוי ערכי נגדים כפונקציה של מאמץ ההספק

**פרופילי Derating שונים**

קיימים בשוק מספר שיטות ל-Derating שנקבעו בעיקר על פי התקנים לחישוב MTBF. העיקרון הוא להגדיר 4 סטים של מספרים  $S1+T1$ ,  $S2+T2$ ,  $S3+T3$ ,  $0+T4$ . ראה ציור מס' 5 כדוגמא כאשר S מיצג אחוז T-מיצג נקודת טמפרטורה בגרף. השיטות הקיימות נותנות המלצה על נקודות אלו אבל חברות רבות לא מסתפקות בהמלצה הכללית אלא מבצעות ניתוח תקלות שדה ועל פיהם מחליטות לשנות את מיקום הנקודות למעלה או למטה. חברה שאין לה עדיין נוהל פנימי ל-Derating יכולה להשתמש בהמלצות הכלליות אך עם הזמן לעדכן את הנוהל על פי נתוני השדה. שתי חברות גדולות שישמו נוהל פנימי כזה הן סיקו וסימנס וכמובן איכות מוצריהם גבוהה מאוד.



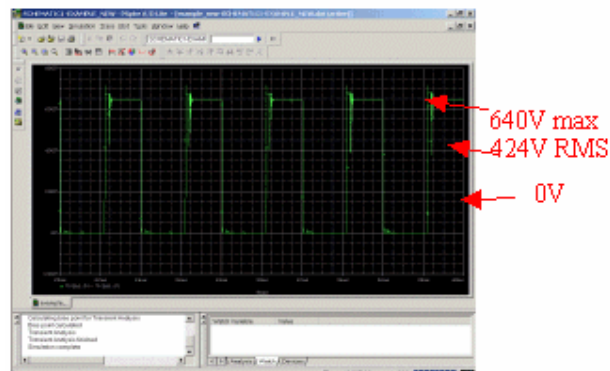
ציור מס' 5 – נקודות Derating בגרף

**תוצאות שימוש ב-fiXtress**

תהליך חישוב מאמצים באמצעות תוכנת fiXtress דומה לתהליך Spice אך התוצאות מוצגות בצורה טבלאית במקום בצורת גל. לדוגמא בחישוב מתח הפוך על רכיב FET במעגל וידאו מתפתח מכסימום 640 וולט עם 424 וולט RMS. הנתונים המוצגים הינם תוצאות של מעגל אמת, התצוגה הטבלאית הם תוצאות fiXtress. והגרף תוצאת Spice.

	RefDes	Ptotal	Vtotal	Itotal	PartNumber
1	Q1A	8.29203	424.572	0.546736	IRFBG20

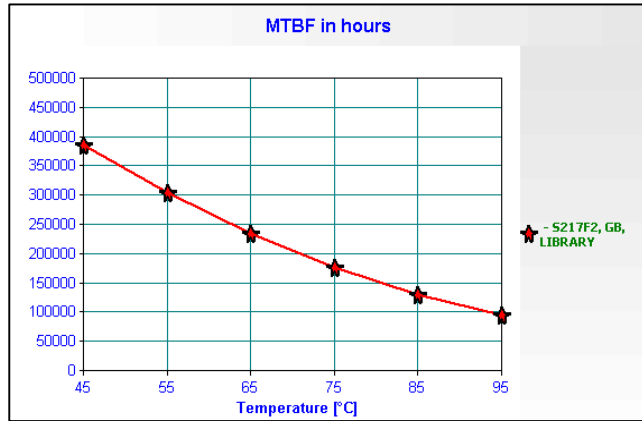
	RefDes	Ptotal	Vtotal	Itotal	PartNumber
1	Q1A	8.29204	644.503	19.924	IRFBG20



ציור מס' 6 – תוצאות fiXtress מול Spice

**חישוב MTBF כשלב סופי**

לאחר שבדקנו את כל המאמצים של הרכיבים ומצאנו אותם עומדים בקריטריונים של derating ניתן להשתמש בנתוני המאמץ לצורך חישוב ה-MTBF. ציור מס' 7 מתאר את ה-MTBF כתלות בטמפרטורה.



ציור מס' 7 – MTBF כתלות בטמפרטורה

### מסקנות

על מנת לשפר אמינות המוצרים, המהנדסים נדרשים לבצע סדרה שלמה של וריפיקציות, אחת מהם הינה ניתוח מאמצים. הבעיה בניתוח זה שהוא מבוצע כיום באופן ידני כאשר ניתן להשתמש בשיטת ה-Xtressfi באופן אוטומטי לחסוך בזמן ובכסף ולהקטין את הסיכון של תקלות בשטח.

\* הכותב יצחק בוט, הינו מנכ"ל BQR הנדסת אמינות בע"מ