

منهجية تحليل تأثيرات نمط التعطل وحراجه FMECA

لدارة التغذية في النظام الضوئي لتجنب التصادم وتحديد الموضع للطائرة Cessna

حسام علي أحمد*¹ محمد ميهوب حمود²

*1. دكتور في هندسة ميكانيك - دكتوراه في هندسة الوثوقية.

HussamAhmed@Damascus.edu.sy

2. مهندس الكترون. M.hammod77@Damascus.edu.sy

الملخص:

تعتبر منهجية تحليل تأثيرات نمط التعطل وحراجه أداة وقائية تسهم في ضمان وثوقية وسلامة المنتجات والعمليات التصنيعية. تطبق هذه المنهجية خلال مرحلة التصميم والتطوير ويتم من خلالها تقييم خطورة مكونات التصميم بهدف التخلص منها أو التقليل من تأثيراتها وحراجه بالنسبة للسلامة، والقيام بالأفعال التصحيحية المناسبة وتعديل التصميم ليصار إلى إقرار صلاحيته في مرحلة لاحقة. تقدم هذه الورقة شرحاً تفصيلياً لمنهجية تحليل تأثيرات نمط التعطل وحراجه لكتلة دارة التغذية للنظام الضوئي المركبة في الطائرة الزراعية Cessna، وذلك من خلال تطبيقها وصولاً لتقدير شدة الخطورة للمكونات وحساب حراجه باستخدام برمجية XFMEA استناداً إلى المواصفة MIL-STD-1629A.

كلمات مفتاحية: هندسة الوثوقية - تحليل تأثيرات نمط التعطل وحراجه - الطيران - MIL-

STD-1629 - دارة التغذية للنظام الضوئي - XFMEA.

تاريخ الإيداع: 2022/9/14

تاريخ القبول: 2022/11/9



حقوق النشر: جامعة دمشق -

سورية، يحتفظ المؤلفون بحقوق

النشر بموجب الترخيص CC

BY-NC-SA 04

Methodology for analyzing the effects of disruption and its criticality (FMECA) For the feeding circuit in the optical collision avoidance and positioning system of the Cessna aircraft

Hussam Ali Ahmed^{1*} Muhammad Myhob Hammod²

*¹ . mechanical engineer, PhD in Reliability Engineering.

HussamAhmed@Damascus.edu.sy

² . electronic engineer. M.hammod77@Damascus.edu.sy.

Abstract:

Failure Mode Effects and Criticality Analysis (FMECA) methodology is a preventive tool that contributes to ensuring the reliability and safety of products and manufacturing processes. This methodology is applied during the design and development stage, during which the seriousness of the design components is assessed with the aim of eliminating them or minimizing their impacts and embarrassment with regard to safety, and appropriate corrective actions are taken and the design is modified so that it is validated at a later stage. This paper provides a detailed explanation of the methodology Failure Mode Effects and Criticality Analysis of the feeding circuit of the optical system installed in the Cessna agricultural plane. This is done by applying it to estimate the severity of the components and calculating their Criticality using XFMEA software based on the American standard MIL-STD-1629A.

Keywords: Reliability Engineering - Failure Mode Effects and Criticality Analysis - Aviation - MIL-STD-1629– strobe power supply – XFMEA.

Received:12/9 /2022

Accepted:13 /12/2023



Copyright: Damascus University- Syria, The authors retain the copyright under a CC BY- NC-SA

المقدمة العامة:

في أواخر الأربعينيات من القرن الماضي، أُلزمت الصناعة العسكرية وصناعة الفضاء بالتغيير من نهج "العثور على العطل وإصلاحه" إلى "توقع العطل ومنعه".

وركزت الطرائق المطورة لهذه الغاية على تحليل المخاطر من خلال تحديدها وتحليلها وتقييمها، وفي هذا السياق تم ابتكار تحليل تأثيرات نمط التعطل وحرجته FMECA، ويعتبر هذا التحليل منهجية لتحليل الأعطال من الأسفل إلى الأعلى، أي من مستوى العنصر إلى مستوى النظام، ويعتبر هذا التحليل أحد أعمال الوثوقية التي تبدأ من مرحلة التصميم المفاهيمي مروراً بالتصميم والتطوير التفصيلي وانتهاءً بمرحلة الإنتاج والاستثمار، حيث يسمى في مرحلة التصميم بـ Design FMECA وفي مرحلة الإنتاج Process FMECA.

يهدف تحليل فميكا للتصميم/العمليات إلى تحديد وتحليل أنماط التعطل لمكونات التصميم/خطوات العملية الإنتاجية وتأثيرها على الوثوقية ودرجة حرجتها للسلامة. ويتضمن إنشاء سلسلة من الروابط بين حالات التعطل المحتملة (أنماط التعطل)، والتأثير على المهمة/الوظيفة وأسباب التعطل (الأسباب والآليات). ولهذا التحليل فوائد عديدة نذكر منها بالنسبة للتصميم تحسين الوثوقية، زيادة هوامش السلامة، والتقليل من أزمدة التطوير وإعادة التصميم. أما بالنسبة للعمليات تخفيض الخردة، تحسين فاعلية خطط ضبط عمليات الإنتاج للمحافظة على مستوى الوثوقية المبنية بالتصميم، إقرار صلاحية طرق التصنيع المعتمدة، وتحسين الصيانة التنبؤية والوقائية لمعدات التصنيع. وقد انتشرت هذه المنهجية في صناعة الإلكترونيات، وصناعة

السيارات وصناعة الفضاء منذ زمن طويل، ومؤخراً دخلت مجال صناعة المنتج البرمجي.

وفي هذا السياق تم مراجعة بعض الدراسات حول بعض المنهجيات المستخدمة في تحليل تأثيرات نمط التعطل وحرجتها للتجهيزات الإلكترونية وأهمية هذا التحليل نذكر منها:

- Failure Modes, Effects and Criticality Analysis (FMECA) of Type AN/GRN-27 (V) Instrument Landing System with Traveling-Wave Localizer Antenna [1]

دراسة قديمة منذ عام 1983 قدمت فيها إدارة الطيران الفدرالية الأمريكية منهجية لتحليل تأثيرات نمط التعطل وحرجتها واعتمدت جهاز الهبوط الآلي كنموذج لهذه الدراسة.

- FMECA Applications and Lessons Learnt [2]
- دراسة نشرت عام 2015 في مجلة IEEE والتي أكد فيها الباحث ان (FMECA) أداة تحليل وثوقية قوية للغاية شريطة تنظيمها واستخدامها بشكل جيد وفي الوقت المناسب.
- Failure mode effect and criticality analysis (FMECA) for determination time interval replacement of critical components in warships radar [3]

بينت هذه الدراسة التي جرت عام 2019 أهمية FMECA في تخطيط الصيانة وتحديد المكونات (العناصر) الخطرة التي يؤثر تعطلها الى توقف النظام وتحديد الزمن اللازم لاستبدالها حيث استخدم الرادار المركب على السفن الحربية كنموذج لهذه الدراسة .

- Toward a new definition of FMECA approach [4]
- في هذه الورقة التي تم نشرها عام 2015 قدم المؤلفون إيجابيات وسلبيات FMECA على طول دورة تطوير المنتج بناءً على المعايير الحالية ويوصون بالمعيار الأنسب لكل مرحلة من مراحل التطوير

ووضع خطط صيانة وحساب عدد المكونات التي يجب تأمينها، وقد تم اعتماد دارة التغذية للنظام الضوئي لمنع التصادم وتحديد الموضع للطائرة الزراعية Cessna كنموذج لهذه الدراسة

- طرائق البحث ومواد

تم اعتماد النهج النظري والنهج التحليلي التجريبي في إعداد هذا البحث حيث تناول الجانب النظري منه المواصفات المرجعية لتنفيذ FMECA وبعض مصطلحاتها ونماذجها ومفاهيمها، أما الجانب التحليلي التجريبي فهو يتضمن تحليل التصميم لعينة الدراسة والتطبيق باستعمال برمجيات ReliaSoft لتقييم الحرجة، ودراسة تقليل الخطورة بناءً على النتائج التي تم الحصول عليها من خلال تحليل نقاط الضعف وتعديل التصميم أو غير ذلك، وإعادة بناء دارة جديدة بديلة. وقد تم تنفيذ هذا البحث في مخبر خاص بإصلاح الأجهزة الإلكترونية

1- النظام الضوئي لمنع التصادم وتحديد الموضع (موضوع الدراسة)

يصنف هذا النظام حسب تقسيمات NASA لأنظمة الطيران، كنظام فرعي من النظام الكهربائي في الطائرة وقد حددت له متطلبات وثوقية مهمة هدف قيمته 0.99997 لمهمة طيران مدتها ست ساعات [7]، ويعتبر من أبسط نظم الملاحة ومنع التصادم.

وجميع الطائرات بمختلف الأوزان ملزمة بتركيبه حسب المتطلبات القانونية والتنظيمية في مواصفات إدارة الطيران الأوروبية والأمريكية كما هو موضح في الجدول (1).

• FMEA – FMECA the Application of Analysis

في هذه الدراسة التي جرت عام 2020 تم تطبيق أساليب تحليل أثار نمط التعطل التقليدي على الدوائر الإلكترونية وأكد الناشر ان هذه الطرق ماتزال متبعة في التقييم حتى اليوم بالإضافة الى توفر بعض المنهجيات الإحصائية الجديدة مثل المنطق الضبابي

• Research on Application of Functional FMECA in Reverse Engineering Optimization [6]

دراسة نشرت عام 2015 حيث أكد الباحثين أن تحليل FMECA هو أحد الطرق الرئيسية المعتمدة في تحليل الوثوقية بأعمال الهندسة العكسية، لضمان جودة ووثوقية التصميم، وبالتالي يتم الحصول على التصميم العكسي وتصميم الوثوقية في المنتج بآن واحد.

لقد تم نشر الطرق والتقنيات المرتبطة بتحليل FMECA في سلسلة من المواصفات أهمها MIL-STD-1629A ولا تزال قيد الاستخدام حتى اليوم.

إن تحليل فيمكا هو تحليل مؤلف من قسمين الأول هو تحليل فيميا (Failure modes and effects analysis) تحليل أنماط التعطل وتأثيراتها، والثاني هو تحليل الحرجة الذي يدل الحرف C عليه ويعني تحليل الحرجة (أو شدة الخطورة) لمختلف تأثيرات التعطلات المأخوذة بعين الاعتبار والمرتبة بحسب حرجتها.

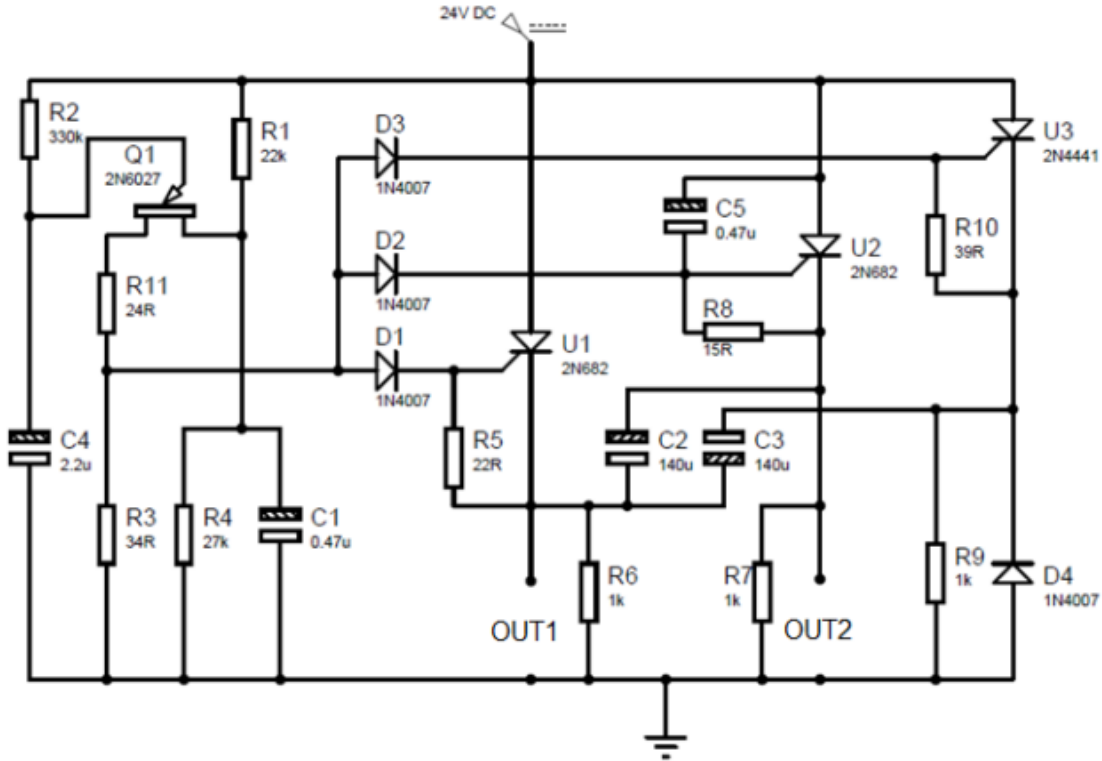
- هدف الدراسة

بسبب سياسة الحصار المطبقة على بلدنا، ظهرت الحاجة الماسة لإعادة تصنيع بعض التجهيزات وفق نظام الهندسة العكسية من عناصر ومواد متوفرة في السوق المحلية، وضمان الحصول على منتج موثوق يتم من خلال تقييم نقاط ضعف تصميم هذه التجهيزات وحساب حرجتها وتقدير خطورتها باستخدام منهجية FMECA " تحليل تأثيرات نمط التعطل وحرجته" حسب المواصفة MIL-STD-1629A واقتراح تعديلات على التصميم لتقليل هذه الخطورة او منعها

وقد حددت الفقرات بين 1385 وحتى 1401 من المواصفات السابقة المتطلبات التفصيلية [8] لهذا النظام والتي تشمل شدة الإضاءة، وزوايا الرؤيا، واللوان الأضواء، وتردد الضوء المحدد في المجال بين 40-100 ومضة بالدقيقة. ويبين الشكل (1) المخطط التصميمي لدارة التغذية العائدة للنظام الضوئي لمنع التصادم وتحديد الموضوع موضع الدراسة.

الجدول (1) المواصفات الملزمة بتركيب النظام الضوئي (عمل الباحث)

اسم المواصفة الملزمة	رقم الفقرة ضمن المواصفة	صنف الطائرة
FAR-23, CS-23, JAR-23	1385 1401	الطائرات العادية، الاستعراضية، الركاب الصغيرة
FAR-25, CS-25, JAR-25		الطائرات الكبيرة
FAR-27, CS-27, JAR-27		طائرات الهليكوبتر الصغيرة
FAR-29, CS-29, JAR-29		طائرات الهليكوبتر الكبيرة
FAR Part 91	73.33	التشغيل العام وقواعد الطيران



الشكل (1) المخطط التصميمي لعينة الدراسة

ظهر أول دليل إرشادي لتنفيذ هذا التحليل في العام 1949 على شكل إجراء له الرمز MIL-STD-1629

4- المواصفات الناظمة لتحليل تأثيرات نمط التعطل وحرجته

الجدول (2) بعض أهم المواصفات الناظمة لتحليل فميا/فميكا (عمل الباحث)

المواصفة	مجال التطبيق
MIL-STD 1629A American Mil Standard	إرشادات تطبيق تحليل FMEA في صناعات الدفاع.
IEC 60812 International Electrotechnical Commission	إرشادات تطبيق تحليل FMEA في المجالات الصناعية المختلفة.
BS 5760-5 British Standard	إرشادات تطبيق تحليل FMEA / FMECA في المجالات الصناعية المختلفة.
SEMATECH 92020963A-ENG	إرشادات تطبيق تحليل FMEA في مجال تصنيع الأجهزة الإلكترونية وأنصاف النواقل.
EIA/JEP131 JEDEC/EIA	إرشادات تطبيق تحليل FMEA في مجال الصناعات الإلكترونية.
P-302-720 NASA's GSFC	إرشادات تطبيق تحليل FMEA في مجال صناعات الفضاء.
IEEE 1633:2016 Recommended Practices on software reliability	إرشادات تطبيق تحليل FMEA في مجال صناعة البرمجيات.

- تحليل أنماط التعطل وتحديد تأثيراتها على المستويات كافة (من برنامج المحاكاة).
- معدلات التعطل للمكونات (من نتائج برمجية Lambda Prediction).

صادر عن الهيئة الأمريكية للمواصفات العسكرية بعنوان "إجراءات لتنفيذ تحليل نمط التعطل وتأثيراته وحراجه " Procedures for performing a failure mode, effects and criticality analysis"

ثم تتالي ظهور المواصفات العالمية من عدة هيئات ناظمة لها نذكر منها (IEC، BS، SAE، IEEE... إلخ) لتنفيذها في مجال التصميم والعمليات الإنتاجية، وكان آخرها المواصفة IEEE 1633 في العام 2016، وهي بعنوان الممارسات المنصوح بها لوثوقية البرمجيات، حيث عرضت هذه المواصفة في متنها تحليل فميا للبرمجيات SFMEA وطريقة تنفيذه. وقد تم إدراج أهم تلك المواصفات في الجدول (2).

المواصفة MIL-STD-1629A [9]

عد من أهم المواصفات الناظمة لتحليل أنماط التعطل وتأثيراتها وحراجه، وهذه المواصفة معتمدة للاستخدام من قبل جميع الإدارات ووكالات وزارة الدفاع الأمريكية. وقد تم اعتمادها في هذه الدراسة وتتألف المواصفة من الفقرات الرئيسية الخمس التالية:

1- نطاق التطبيق

2- وثائق مرجعية

3- تعاريف

4- متطلبات عامة

5- متطلبات تفصيلية

يمكن تلخيص إجراءات تنفيذ تحليل فميكا استناداً إلى المواصفة MIL-STD-1629A بالمخطط الانسيابي الشكل (2).

وقد تم اختيار تحليل الحراجة الكمي بسبب توفر البيانات اللازمة لإجراء هذا التحليل والتي هي:

- أنماط التعطل ومعدلات حدوثها (من قواعد معطيات أنماط التعطل FMD-2013).

1- إجراءات تنفيذ تحليل فميكا FMECA

يتألف تحليل فميكا من تحليلين الأول هو فميا والثاني هو تحليل الحرجة النوعي أو الكمي. تم فيما يلي تلخيص إجراءات تنفيذ تحليل فميكا استناداً إلى المواصفة MIL-STD-1629A بالخطوات التالية:

أولاً: تحليل فميا

- تعريف وتحديد النظام المطلوب تحليله
- وضع القواعد الأساسية وافترضاات التحليل
- تحديد نموذج استمارة بيانات التحليل
- تحديد أنماط التعطل المحتملة
- تحليل تأثيرات كل نمط تعطل
- تقدير شدة خطورة كل نمط تعطل

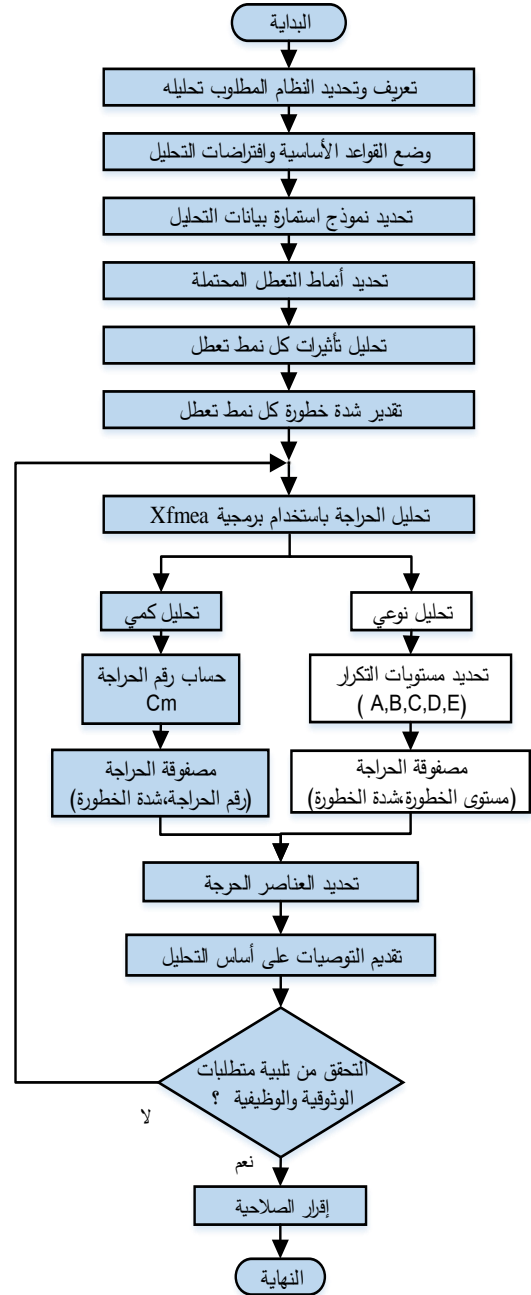
ثانياً: تحليل الحرجة

- تحليل حرجة نوعي
- تحليل حرجة كمي

5-1-1- تحليل فميا

- تعريف وتحديد النظام المطلوب تحليله

قبل البدء بعملية فميكا يجب أن نضمن أن الفريق الذي سينجز العملية بأكمله على دراية بنطاق التحليل ونوعه وهذا مهم جداً في تحليل الأنظمة المعقدة، كما ويجب تحديد طور أو نمط التشغيل للنظام المدروس على سبيل المثال في الطائرات، حيث يوجد عدة أنماط للتشغيل نذكر منها طور الإقلاع، طور الهبوط، طور مهمة الطيران، التخزين... إلخ. ويجب تثبيتها في الترويسة والعمود الخامس من استمارة التحليل الموضحة بالشكل (3). في الحالة المدروسة تم اعتماد التحليل في طور مهمة طيران مدتها 6 ساعات. وبالنسبة لتحليل فميكا الخاص بالتصميم DFMECA، يمكن استخدام مخطط كتل النظام (Block Diagram) لإظهار التداخلية والعلاقات بين الجوانب المختلفة للتصميم. وسيسمح ذلك بالأخذ بعين الاعتبار لجميع المتطلبات الوظيفية للنظام الفرعي الذي يتم تحليله، وفهم جميع تفاعلات هذا النظام الفرعي مع النظم الفرعية الأخرى.



الشكل (2) المخطط الانسيابي لتنفيذ FMECA

• وضع القواعد الأساسية وافترضات التحليل

يمكن إنجاز هذه الخطوة بسهولة أكبر بوجود إجراء يحدد كافة المتطلبات والقواعد الأساسية المرتبطة بميكانيكا، وإذا لم يتوفر مثل هذا الإجراء فإنه كحد أدنى يجب:

- تحديد جداول الشدة / والحدوث. (جدول (3)، جدول (4))
- الحاجة إلى توثيق أي افتراضات مستخدمة في التحليل، في الحالة المدروسة، تم افتراض أن جميع أنماط تعطل العناصر مستقلة عن بعضها البعض.

وهناك حاجة إلى تحديد مسبق للمستويات المقبولة وغير المقبولة من المخاطر (عتبات مستوى الحرجة).

مدلولات الأعمدة المطلوبة لتحليل ميكانيكا من الاستمارتين وكيفية الحصول على البيانات الخاصة بها.

• تحديد نموذج استمارات بيانات التحليل

تحدد هذه الاستمارات البيانات التي يجب الحصول عليها أو حسابها لتحليل ميكانيكا وتختلف هذه الاستمارات حسب نوع التحليل مثلاً تحليل ميكانيكا للتصميم DFMECA أو تحليل ميكانيكا للعمليات PFMECA. وفي هذه الدراسة، تم اعتماد كلاً نموذجي الاستمارة الخاصة بتحليل فميا للتصميم الشكل (3)، ونموذج تحليل الحرجة الشكل (4) من المواصفة المرجعية المعتمدة MIL-STD-1629A والفقرات التالية توضح

FAILURE MODE AND EFFECTS ANALYSIS

SYSTEM _____
INDENTURE LEVEL _____
REFERENCE DRAWING _____
MISSION _____

DATE _____
SHEET _____ OF _____
COMPILED BY _____
APPROVED BY _____

IDENTIFICATION NUMBER	ITEM/FUNCTIONAL IDENTIFICATION (INC/NOMENCLATURE)	FUNCTION	FAILURE MODES AND CAUSES	MISSION PHASE/ OPERATIONAL MODE	FAILURE EFFECTS			FAILURE DETECTION METHOD	COMPENSATING PROVISIONS	SEVERITY CLASS	REMARKS
					LOCAL EFFECTS	NEXT HIGHER LEVEL	END EFFECTS				
1	التسمية	الوظيفة	انماط التعطل والاسباب	طور المهمة او نمط التشغيل	التأثير على المستوى المحلي	التأثير على المستوى الاعلى	التأثير على المستوى النهائي			شدة الخطورة	

الشكل (3) نموذج استمارة تحليل DFMEA [9]

CRITICALITY ANALYSIS

SYSTEM _____
INDENTURE LEVEL _____
REFERENCE DRAWING _____
MISSION _____

DATE _____
SHEET _____ OF _____
COMPILED BY _____
APPROVED BY _____

IDENTIFICATION NUMBER	ITEM/FUNCTIONAL IDENTIFICATION (INC/NOMENCLATURE)	FUNCTION	FAILURE MODES AND CAUSES	MISSION PHASE/ OPERATIONAL MODE	SEVERITY CLASS	FAILURE PROBABILITY FAILURE RATE DATA SOURCE	FAILURE EFFECT PROBABILITY (β)	FAILURE MODE RATIO (α)	FAILURE RATE (λ_p)	OPERATING TIME (t)	FAILURE MODE CRIT # $C_m = \beta \alpha \lambda_p t$	ITEM CRIT # $C_r = \sum (C_m)$	REMARKS
1	التسمية	الوظيفة	انماط التعطل والاسباب	طور المهمة او نمط التشغيل	شدة الخطورة	احتمال حدوث التعطل او معدل التعطل	احتمال حدوث تأثير نمط التعطل	معدل نمط التعطل	معدل التعطل للنمط	زمن التشغيل او المهمة	رقم الحرجة لنمط التعطل	رقم الحرجة للنمط	

الشكل (4) نموذج استمارة الحرجة [9]

بعد إنجاز الخطوتين السابقتين يمكن البدء بعملية FMECA، والتي تبدأ بتحديد أنماط التعطل المحتملة.

• تحديد أنماط التعطل المحتملة (العمود الرابع من الاستمارات)

- تحديد تأثيرات لكل نمط تعطل (العمود السادس والسابع والثامن من الاستمارات) بعد الانتهاء من تحديد جميع أنماط التعطل المحتملة للنظام المدروس، نحتاج إلى تحديد تأثير نمط التعطل. لا يشمل التأثير على المستخدم النهائي أو الزبون (تأثيرات على المستوى النهائي)، بل يمكن أن يكون لنمط التعطل تأثيرات مختلفة، حسب مستوى تواجد هذا المكون في البنية الهرمية للنظام المدروس (تأثيرات محلية، تأثيرات على مستوى أعلى، تأثيرات على المستوى النهائي) الموضح في الشكل (5).

والمقصود بالمحتملة، أنه يجب ألا تقتصر على التعطلات التي سبق وحدثت، ولكن أيضاً يجب الأخذ بعين الاعتبار جميع إمكانيات التعطل المتوقعة في المستقبل . يمكن تنفيذ DFMECA، بطريقتين الأولى وظيفية تبدأ مع المتطلبات الوظيفية للكتل المدروسة، حيث يمكن أن تكون الأعطال عدم تحقيق وظيفة ويمكن تنفيذ ذلك من خلال العصف الذهني (الخبرة). أما الثانية فتعتمد على منهجية تحليل الأعطال من الأسفل إلى الأعلى (مستوى العنصر إلى النظام) وهي الطريقة المستخدمة في هذه الدراسة وتهدف إلى تحديد وتحليل أنماط الأعطال للمكونات وتأثيرها على الوثوقية ودرجة حاجتها للسلامة.



الشكل (5) تحديد تأثيرات نمط التعطل

- تقدير شدة الخطورة لكل نمط تعطل (العمود التاسع). يتم تعيين تصنيفات شدة الخطورة وفق مقياس نوعي حسب النتائج المحتملة الناتجة عن حدوث نمط تعطل محدد للعنصر. ويتم تحديد فئة شدة الخطورة لكل نمط تعطل محدد استناداً إلى اختيار الفئة الموافقة للوصف لنتائج تأثيراته وفق أربع فئات وذلك بالتوافق مع المواصفة MIL-STD-882 موضحة بالجدول (3) [9] [10].

1-2- تحليل الحرجة

- تحليل نوعي يتم القيام بهذا التحليل عندما لا تتوفر بيانات معدلات التعطل للعناصر وأنماطها واحتمالات حدوثها. عندئذ، يتم تقدير احتمالات حدوث أنماط التعطل الفردية في مستويات محددة منطقياً، كما هو موضح في الجدول (4)

[9] [10]

الجدول (4) وصف مستويات احتمال حدوث نمط التعطل [9] [10]

المستوى	الوصف	الشرح
المستوى A	متكرر Frequent	من المرجح أن يحدث في كثير من الأحيان في حياة العنصر
المستوى B	محتمل بشكل معقول (مرجح) Probable	سيحدث عدة مرات في حياة العنصر
المستوى C	محتمل بشكل متقطع (عرضي) Occasional	من المحتمل أن يحدث بعض المرات في حياة العنصر
المستوى D	محتمل بشكل متباعد (بعيد) Remote	غير محتمل ولكن من الممكن أن يحدث في حياة العنصر
المستوى E	غير محتمل ولكن يمكن افتراض حدوثه Improbable	من غير المرجح ولكن يمكن افتراض حدوثه

• تحليل كمي

يتم القيام بهذا التحليل عندما تتوفر قيم معدلات التعطل من خلال قواعد المعطيات EPRD-2014 ، أو حسابياً وفق المواصفة الخاصة بالتنبؤ بمعدلات التعطل للمكونات الإلكترونية MIL-HDBK-217F Notice2 ، وقد تم في هذه الدراسة اعتماد قيم معدلات تعطل الناتجة عن تطبيق المواصفة السابقة وباستخدام برمجية Lambda Predict . وبالتالي يمكن حساب رقم الحرجة لكل نمط تعطل للعنصر C_m من العلاقة (1)

$$C_m = \beta \times \alpha \times \lambda_p \times t \quad (1)$$

حيث:

C_m : رقم الحرجة لنمط التعطل المحدد (العمود الخامس عشر)

C_r : حرجة التعطل للعنصر المدروس (العمود السادس عشر)

C_m : رقم الحرجة لنمط تعطل محدد

β : الاحتمال الشرطي لخسارة المهمة بفرض حدوث نمط

تعطل محدد (العمود الحادي عشر)

يمكن تحديد قيمة β ، من خلال الحكم الهندسي أو الخبرة في تحديد قيمتها الموافقة من الجدول (5) [9] ضمن العمود الحادي عشر من استمارات بيانات تحليل فميكا.

الجدول (5) قيم احتمال خسارة المهمة β [9]

قيمة β	تأثير نمط العطل
1.00	خسارة فعلية
>0.10 to <1.00	خسارة راجحة
>0 to $=0.10$	خسارة ممكنة
0	لا تأثير

: معدل نمط التعطل العمود (الثاني عشر)

هو الاحتمال المعبر عنه كرقم عشري (%) لتعطل العنصر في النمط المحدد. ويجب أن يكون مجموع قيم هذه الاحتمالات للعنصر المحدد مساوياً للواحد.

يمكن الحصول على هذه المعدلات من قواعد المعطيات FMD-2013 او من خلال بيانات الاختبار والتشغيل وفي حال عدم توفر بيانات أنماط التعطل، يجب أن تمثل القيم حكم المحلل.

λ_p : معدل التعطل للعنصر قيد التحليل (العمود الثالث عشر)

t : مدة التشغيل للنظام قيد الدراسة (زمن المهمة ست ساعات) (العمود الرابع عشر)

بعد حساب رقم الحرجة لكل نمط تعطل من أنماط التعطل للعنصر قيد التحليل يحسب رقم الحرجة للعنصر من العلاقة (2) $C_r = \sum_{n=1}^j (C_m)_n$ حيث

n: عدد أنماط التعطل الممكنة للعنصر المدروس

5

لتوضيح ما تم ذكره في خطوات تنفيذ فيمكا ندرج فيما يلي نموذج عن تحليل فيمكا لعنصر من عناصر الدارة وليكن الترانزستور وحيد الوصلة 2N6027 الشكل (6).

2- تطبيق فيمكا على الترانزستور 2N6027 من عينة الدراسة كنموذج

System: Anti-Collision Light and Position Light System				Subsystem: Strobe Power Supply				Unit: M1	t= 6h		
العنصر	الرقم	الوظيفة	أنماط التعطل	تأثيرات العطل	صنف شدة الخطورة	احتمال نمط العطل (β)	معدل نمط التعطل (α)	معدل التعطل بليون ساعة (λ _p x 10 ⁶)	رقم الحرجة (C _m) β x α x λ _p x t	رقم الحرجة للعنصر (C _r)	
Transistor	Q1	توليد نبضات القرح	Oxide Defect	لا يوجد إشارة خرج	تعطل	II	1.0	0.312	0.4819	9.021E-07	2.891E-06
			Bond Failure	لا يوجد إشارة خرج	تعطل	II	1.0	0.188		5.436E-07	
			Shorted	لا يوجد إشارة خرج	تعطل	II	1.0	0.125		3.614E-07	
			Induced Failure	لا يوجد إشارة خرج	تعطل	II	1.0	0.094		2.718E-07	
			Intermetallic Growth	لا يوجد إشارة خرج	تعطل	II	1.0	0.062		1.793E-07	
			Voids	لا يوجد إشارة خرج	تعطل	II	1.0	0.062		1.793E-07	
			Workmanship	لا يوجد إشارة خرج	تعطل	II	1.0	0.031		8.963E-08	
			Other	لا يوجد إشارة خرج	تعطل	II	1.0	0.126		3.643E-07	

الشكل (6) بيانات الترانزستور (المدخلات والمخرجات) في تحليل فيمكا [عمل الباحث]

تم الحصول عليها من برنامج RIAC لقواعد المعطيات FMD-2013 الشكل (7) الذي يوضح أن هناك ثمانية أنماط تعطل لهذا النوع من الترانزستورات نذكر منها على سبيل المثال نمط التعطل عيب تأكسد (Oxide Defect). تعطل الرابطة (Bond Failure)، قصر (Shorted)، فصل (Opened)..... إلخ.

تعريف بالعنصر ووظيفته (للترانزستور)
إن العنصر المدروس هو الترانزستور 2N6027 وحيد الوصلة ومهمته الأساسية بالدارة إعطاء نبضات قرح ورمزه Q1.

أنماط التعطل للترانزستور

Failure Mode/Mechanism	Norm Dist	Fail Dist
Oxide Defect	37.0%	31.2%
Bond Failure	22.2%	18.8%
Shorted	14.8%	12.5%
Induced Failure	11.1%	9.4%
Intermetallic Growth	7.4%	6.2%
Voids	7.4%	6.2%
Workmanship	-----	3.1%
Other	-----	12.6%
Electrical overstress	-----	3.1%

الشكل (7) أنماط التعطل للترانزستور وحيد الوصلة ومعدل تعطل كل نمط [FMD-2013]

الإضاءة ويكون تصنيف شدة خطورته هو حرج أي المستوى

.II

• احتمال تأثير نمط التعطل β للترانزستور

لكل نمط تعطل تأثير واحد وهو عدم وجود إشارة خرج. وهو يؤكد الحدوث حسب النمذجة الإلكترونية أي أنه في حالة حدوث نمط التعطل يتعطل النظام وبالتالي $\beta = 1$.

• معدل نمط التعطل α للترانزستور

تم الحصول عليه من قواعد المعطيات FMD-2013 لكل نمط عطل كما هو موضح بالشكل (6) ويجب التأكيد على أن مجموع معدلات التعطل لجميع الأنماط للعنصر الواحد يجب أن تساوي المائة بالمائة (100%). نذكر منها على سبيل المثال نمط التعطل عيب تأكسد (Oxide Defect) بمعدل 0.312.

• معدل التعطل للترانزستور

من حسابات التنبؤ من خلال استخدام برنامج Lambda Predict نجد

• رقم الحرجة للترانزستور

يحسب رقم الحرجة لكل نمط من أنماط التعطل من العلاقة (1) لمهمة ست ساعات

$$C_m(\text{Oxide Defect}) = 1 \times 0.312 \times 4.819 \times 10^{-7} \times 6 = 9.021 \times 10^{-7}$$

$$C_m(\text{Bond Failure}) = 1 \times 0.188 \times 4.819 \times 10^{-7} \times 6 = 5.436 \times 10^{-7}$$

$$C_m(\text{Other}) = 1 \times 0.126 \times 4.819 \times 10^{-7} \times 6 = 3.643 \times 10^{-7}$$

ومن العلاقة (2) حساب رقم الحرجة الاجمالي للعنصر

$$C_r = C_m(\text{Oxide Defect}) + C_m(\text{Bond Failure}) + \dots + C_m(\text{Other}) = 2.891 \times 10^{-6}$$

ووفق هذا النموذج (الترانزستور) تم تطبيق فيمكا على جميع

عناصر الدارة كما في الجدول (6)

• تأثيرات أنماط التعطل للترانزستور

باستخدام النمذجة الإلكترونية يمكن تطبيق هذه الأنماط والتي يمكن التعبير عنها بالشكل الذي يظهر على العنصر (فصل — قصر - تغيير بارامترات) وتبيان تأثيرها على المستوى المحلي والمستوى الأعلى الكتلة المدروسة Cessna Subsystem (Strobe power supply) فالأعلى على مستوى النظام. وفي مثالنا نجد أن جميع أنماط التعطل على المستوى المحلي لا يوجد إشارة على خرج مولد نبضات القدر. أما على المستوى الأعلى فالنتيجة هي تعطل الكتلة عينة الدراسة أي عدم وجود إشارة على دارات الإضاءة (الأولى والثانية) أو عدم وجود إشارة على احدهما أو تغيير في بارامترات الخرج (معدل الإضاءة بين 40 و 100 ومضة بالدقيقة حسب CS-23)[8].

• تصنيف شدة الخطورة للترانزستور

تم باستخدام النمذجة الإلكترونية تحديد ثلاث حالات لتأثيرات أنماط التعطل لكل عناصر الدارة عينة الدراسة على المستوى النهائي وهي: $\lambda_p = 0.4819$ FPMH

- عدم وجود إشارة على دارتي الإضاءة الأولى والثانية ويمكن اعتباره عطل حرج تصنيفه II

حسب الجدول (3) لأنه يمكن أن يسبب فقدان المهمة أي عدم إمكانية تنفيذها.

- عدم وجود إشارة على أحد دارتي الإضاءة ويمكن اعتباره عطل هامشي تصنيفه III

حسب الجدول (3) لأنه يمكن أن يسبب تأخير في تنفيذ المهمة.

- تغيير بارامترات الإضاءة ويمكن اعتباره عطل مهمل تصنيفه IV

حسب الجدول (3) لأنه في اغلب الحالات لا يؤثر على تنفيذ المهمة ويمكن إجراء صيانة للطائرة بعد الانتهاء من المهمة.

بالنسبة للترانزستور وفي جميع الحالات يفقد مولد نبضات القدر اشارته وبالتالي لا يوجد إشارة على أي دارة من دارات

الجدول (6) مدخلات ومخرجات تحليل FMECA للعناصر الإلكترونية لعينة الدراسة

System: Anti-Collision Light and Position Light System			Subsystem: Strobe Power Supply				Unit: M1	t= 6 hours			
العنصر	الرمز	الوظيفة	أنماط التعطل	تأثيرات العطل		صنف شدة الخطورة	احتمال نمط العطل (β)	معدل نمط التعطل (α)	معدل التعطل بمليون ساعة ($\lambda_p \times 10^6$)	رقم الحرجة (C_m) $\beta \times \alpha \times \lambda_p \times t$	رقم الحرجة للعنصر (C_r)
				المحلي	النظام						
Transistor	Q1	توليد نبضات القذح	Oxide Defect	لا يوجد إشارة خرج	تعطل	II	1.0	0.312	0.4819	9.021E-07	2.891E-06
			Bond Failure	لا يوجد إشارة خرج	تعطل	II	1.0	0.188		5.436E-07	
			Shorted	لا يوجد إشارة خرج	تعطل	II	1.0	0.125		3.614E-07	
			Induced Failure	لا يوجد إشارة خرج	تعطل	II	1.0	0.094		2.718E-07	
			Intermetallic Growth	لا يوجد إشارة خرج	تعطل	II	1.0	0.062		1.793E-07	
			Voids	لا يوجد إشارة خرج	تعطل	II	1.0	0.062		1.793E-07	
			Workmanship	لا يوجد إشارة خرج	تعطل	II	1.0	0.031		8.963E-08	
			Other	لا يوجد إشارة خرج	تعطل	II	1.0	0.126		3.643E-07	
Capacitor	C1	مكثف لإزالة الضجيج	Short	لا يوجد إشارة خرج	تعطل	II	1.0	0.57	0.0002	6.84E-10	1.2E-09
			Open	لا تأثير	لا تأثير	IV	1.0	0.32		3.84E-10	
			Change in Value	لا تأثير	لا تأثير	IV	1.0	0.11		1.32E-10	
Capacitor	C4	مكثف يحدد تردد المنذب	Short	لا يوجد إشارة خرج	تعطل	II	1.0	0.57	0.0003	1.026E-09	1.8E-09
			Open	لا يوجد إشارة خرج	تعطل	II	1.0	0.32		5.76E-10	
			Change in Value	خارج مجال محدد تتغير بارامترات إشارة الخرج	تعطل	II	1.0	0.11		1.98E-10	
Resistor	R1	مقاومة لمقسم الجهد يحدد جهد نبضة القذح	Open	لا يوجد إشارة خرج	تعطل	II	1.0	0.59	0.0002	7.08E-10	1.2E-09
			Parameter Change	خارج مجال محدد تتغير بارامترات إشارة الخرج	تعطل	II	1.0	0.36		4.32E-10	
			Short	لا يوجد إشارة خرج	تعطل	II	1.0	0.05		6E-11	

Resistor	R2	مقاومة لمقسم الجهد يحدد جهد نبضة القرح	Open	لا يوجد إشارة خرج	تعطل	II	1.0	0.59	0.0001	3.54E-10	6E-10
			Parameter Change	خارج مجال محدد تتغير بارامترات إشارة الخرج	تعطل	II	1.0	0.36		2.16E-10	
			Short	لا يوجد إشارة خرج	تعطل	II	1.0	0.05		3E-11	
Resistor	R3	مقاومة لمقسم الجهد يحدد جهد نبضة القرح	Open	لا يوجد إشارة خرج	تعطل	II	1.0	0.59	6.9472E-6	2.459E-11	4.168E-11
			Parameter Change	خارج مجال محدد لا يوجد إشارة خرج	تعطل	II	1.0	0.36		1.501E-11	
			Short	لا يوجد إشارة خرج	تعطل	II	1.0	0.05		2.084E-12	
Resistor	R4	مقاومة لمقسم الجهد يحدد جهد نبضة القرح	Open	لا يوجد إشارة خرج	تعطل	II	1.0	0.59	0.0003	1.062E-09	1.8E-09
			Parameter Change	خارج مجال محدد تتغير بارامترات إشارة الخرج	تعطل	II	1.0	0.36		6.48E-10	
			Short	لا يوجد إشارة خرج	تعطل	II	1.0	0.05		9E-11	
Resistor	R11	مقاومة لتحديد قيمة جهد نبضة القرح	Open	لا يوجد إشارة خرج	تعطل	II	1.0	0.59	6.0675E-6	2.148E-11	3.641E-11
			Parameter Change	خارج مجال محدد لا يوجد إشارة خرج	تعطل	II	1.0	0.36		1.311E-11	
			Short	لا يوجد إشارة خرج	تعطل	II	1.0	0.05		1.82E-12	
Total Criticality										2.898E-06	

System: Anti-Collision Light and Position Light System				Subsystem: Strobe Power Supply			Unit: M2	t= 6 hours			
العنصر	الرمز	الوظيفة	أنماط التعطل	تأثيرات العطل		احتمال نمط العطل (β)	معدل نمط التعطل (α)	معدل التعطل بمليون ساعة ($\lambda_p \times 10^6$)	رقم الحرجة (C_m) $\beta \times \alpha \times \lambda_p \times t$	رقم الحرجة للعنصر (C_r)	
				المحلي	النظام						
Diode	D1	ديود حماية وعزل	Short	فقدان العزل بين دائرة القنارة الأولى ودائرة القادح	تعطل	II	1.0	0.49	0.3322	9.767E-07	1.993E-06
			Open	لا يوجد إشارة خرج للتحكم بالقناة الأولى	تعطل	III	1.0	0.36		7.176E-07	
			Parameter Change	خارج مجال محدد لا يوجد عزل ولا يوجد إشارة خرج	تعطل	II	1.0	0.15		2.99E-07	
Diode	D2	ديود حماية وعزل	Short	فقدان العزل بين دائرة القنارة الثانية ودائرة القادح	تعطل	II	1.0	0.49	0.3322	9.767E-07	1.993E-06
			Open	لا يوجد إشارة خرج للتحكم بالقناة الثانية	تعطل	III	1.0	0.36		7.176E-07	
			Parameter Change	خارج مجال محدد لا يوجد عزل ولا يوجد إشارة خرج	تعطل	II	1.0	0.15		2.99E-07	
Diode	D3	ديود حماية وعزل	Short	فقدان العزل بين دائرة الشحن والتفريغ ودائرة القادح	تعطل	II	1.0	0.49	0.3322	9.767E-07	1.993E-06
			Open	لا يوجد إشارة خرج للتحكم بدارة الشحن والتفريغ	تعطل	II	1.0	0.36		7.176E-07	
			Parameter Change	خارج مجال محدد لا يوجد عزل ولا يوجد إشارة خرج	تعطل	II	1.0	0.15		2.99E-07	
Total Criticality									5.98E-06		

System: Anti-Collision Light and Position Light System				Subsystem: Strobe		Power Supply		Unit: M3	t= 6 hours		
العنصر	الرمز	الوظيفة	أنماط التعطل	تأثيرات العطل		صنف شدة الخطورة	احتمال نمط العطل (β)	معدل نمط التعطل (α)	معدل التعطل بمليون ساعة ($\lambda_p \times 10^6$)	رقم الحرجة (C_m) $\beta \times \alpha \times \lambda_p \times t$	رقم الحرجة للعنصر (C_r)
				المحلي	النظام						
Thyristor	U1	مفتاح ثايرستوري متحكم به	Failed Off	لا يوجد إشارة خرج	تعطل	III	1.0	0.45	0.4907	1.325E-06	2.944E-06
			Short	لا يوجد إشارة خرج	تعطل	III	1.0	0.40		1.178E-06	
			Open	لا يوجد إشارة خرج	تعطل	III	1.0	0.10		2.944E-07	
			Failed On	لا يوجد إشارة خرج	تعطل	III	1.0	0.05		1.472E-07	
Resistor	R5	مقاومة ضبط جهد بوابة الثايرستور	Open	لا تأثير	لا تأثير	IV	1.0	0.59	0.0004	1.416E-09	2.4E-09
			Parameter Change	خارج مجال محدد لا يوجد إشارة على البوابة للتحكم بالثايرستور	تعطل	III	1.0	0.36		8.64E-10	
			Short	لا يوجد إشارة خرج	تعطل	III	1.0	0.05		1.2E-10	
Resistor	R6	مقاومة تعويض في حال تعطل المبات الأولى	Open	لا تأثير	لا تأثير	IV	1.0	0.59	9.5190E-5	3.37E-10	5.711E-10
			Parameter Change	خارج مجال محدد لا يوجد إشارة خرج	تعطل	III	1.0	0.36		2.056E-10	
			Short	لا يوجد إشارة خرج	تعطل	III	1.0	0.05		2.856E-11	
Total Criticality									2.947E-06		

System: Anti-Collision Light and Position Light System				Subsystem: Strobe Power Supply				Unit: M4	t= 6 hours		
العنصر	الرمز	الوظيفة	أنماط التعطل	تأثيرات العطل		صنف شدة الخطورة	احتمال نمط العطل (β)	معدل نمط التعطل (α)	معدل التعطل بمليون ساعة (λ _p x 10 ⁶)	رقم الحرجة (C _m) β x α x λ _p x t	رقم الحرجة للعنصر (C _p)
				المحلي	النظام						
Thyristor	U2	مفتاح ثايرستوري متحكم به	Failed Off	لا يوجد إشارة خرج	تعطل	III	1.0	0.45	0.4907	1.325E-06	2.944E-06
			Short	لا يوجد إشارة خرج	تعطل	III	1.0	0.40		1.178E-06	
			Open	لا يوجد إشارة خرج	تعطل	III	1.0	0.10		2.944E-07	
			Failed On	لا يوجد إشارة خرج	تعطل	III	1.0	0.05		1.472E-07	
Capacitor	C5	مكثف إزالة ضجيج وتشويش في حال تعطل البيانات الثابتة	Short	جهد دائم على بوابة الثايرستور فيبقى الثايرستور في حالة عمل وتصعب الإضاءة مستمرة ويخرج عن سيطرة القادح	تعطل	III	1.0	0.57	0.0002	6.84E-10	1.2E-09
			Open	لا تأثير	لا تأثير	IV	1.0	0.32		3.84E-10	
			Change in Value	لا تأثير	لا تأثير	IV	1.0	0.11		1.32E-10	
Resistor	R7	مقاومة تعويض في حال تعطل البيانات الثابتة	Open	لا تأثير	لا تأثير	IV	1.0	0.59	0.0011	3.894E-09	6.6E-09
			Parameter Change	خارج مجال محدد لا يوجد إشارة خرج	تعطل	III	1.0	0.36		2.376E-09	
			Short	لا يوجد إشارة خرج	تعطل	III	1.0	0.05		3.3E-10	
Resistor	R8	مقاومة ضبط جهد بوابة الثايرستور	Open	لا تأثير	لا تأثير	IV	1.0	0.59	9.5190 E-5	3.37E-10	5.711E-10
			Parameter Change	خارج مجال محدد لا يوجد إشارة على البوابة للتحكم الثايرستور	تعطل	III	1.0	0.36		2.056E-10	
			Short	لا يوجد إشارة خرج	تعطل	III	1.0	0.05		2.856E-11	
Total Criticality									2.953E-06		

System: Anti-Collision Light and Position Light System				Subsystem: Strobe Power Supply				Unit: M5	t= 6 hours		
العنصر	الرمز	الوظيفة	أنماط التعطل	تأثيرات العطل		صنف شدة الخطورة	احتمال نمط العطل (β)	معدل نمط التعطل (α)	معدل التعطل بمليون ساعة (λ _p x 10 ⁶)	رقم الحرجة (C _m) β x α x λ _p x t	رقم الحرجة للعنصر (C _p)
				المحلي	النظام						
Thyristor	U3	مفتاح ثايرستوري	Failed Off	لا يوجد إشارة خرج	تعطل	II	1.0	0.45	0.0845	2.282E-07	5.07E-07
			Short	لا يوجد إشارة خرج	تعطل	II	1.0	0.40		2.028E-07	
			Open	لا يوجد إشارة خرج	تعطل	II	1.0	0.10		5.07E-08	
			Failed On	لا يوجد إشارة خرج	تعطل	II	1.0	0.05		2.535E-08	
Diode	D4	ديود حماية ووصل	Short	لا يوجد إشارة خرج	تعطل	II	1.0	0.49	0.0397	1.167E-07	2.382E-07
			Open	لا تأثير	لا تأثير	IV	1.0	0.36		8.575E-08	
			Parameter Change	خارج مجال محدد لا يوجد إشارة خرج	تعطل	II	1.0	0.15		3.573E-08	
Capacitor	C2	مكثف شحن وتفريغ	Short	لا يوجد إشارة خرج	تعطل	II	1.0	0.57	0.0930	3.181E-07	5.58E-07
			Open	لا يوجد إشارة خرج	تعطل	II	1.0	0.32		1.786E-07	
			Change in Value	خارج مجال محدد لا يوجد إشارة خرج	تعطل	II	1.0	0.11		6.138E-08	
Capacitor	C3	مكثف شحن وتفريغ	Short	لا يوجد إشارة خرج	تعطل	II	1.0	0.57	0.0930	3.181E-07	5.58E-07
			Open	لا يوجد إشارة خرج	تعطل	II	1.0	0.32		1.786E-07	
			Change in Value	خارج مجال محدد لا يوجد إشارة خرج	تعطل	II	1.0	0.11		6.138E-08	
Resistor	R9	مقاومة ضبط شحن و تفريغ المكثف C3	Open	لا يوجد إشارة خرج	تعطل	II	1.0	0.59	0.0006	2.124E-09	3.6E-09
			Parameter Change	خارج مجال محدد لا يوجد إشارة خرج	تعطل	II	1.0	0.36		1.296E-09	
			Short	لا يوجد إشارة خرج	تعطل	II	1.0	0.05		1.8E-10	
Resistor	R10	مقاومة ضبط جهد بوابة الثايرستور	Open	لا تأثير	لا تأثير	IV	1.0	0.59	3.4576E-7	1.224E-12	2.075E-12
			Parameter Change	خارج مجال محدد لا يوجد إشارة خرج	تعطل	II	1.0	0.36		7.468E-13	
			Short	لا يوجد إشارة خرج	تعطل	II	1.0	0.05		1.037E-13	
Total Criticality									1.865E-06		

3-5 - مصفوفة الحرجة

الصفوف فتمثل في التحليل النوعي مستويات احتمال الحدوث لأنماط التعطلات المدروسة من المستوى E غير المحتمل حدوثه (أسفل المصفوفة) إلى المستوى A المتكرر (أعلى المصفوفة) كما هو موضح في الشكل (8). بينما في التحليل الكمي فتمثل مستويات الحرجة من الأصغر في أسفل المصفوفة إلى الأكبر في أعلى المصفوفة كما هو موضح في الشكل (9).

تعتبر مصفوفة الحرجة أهم مخرجات تحليل فيمكا ويعتمد عليها في اتخاذ قرارات تعديل التصاميم بحيث تتجاوز القصور الناجم عن حرجة وخطورة أنماط التعطلات للعناصر المدروسة. وتمثل أعمدة هذه المصفوفة مستويات شدة الخطورة لأنماط تعطل العناصر من الأقل خطورة IV — مهمل (أقصى اليسار) إلى الأكثر خطورة I كارثي (أقصى اليمين) في كلا التحليلين الكمي والنوعي. أما

						INCREASING CRITICALITY
						زيادة الحرجة
احتمال الحدوث زيادة مستوى احتمال الحدوث (----->)	Level A - Frequent					
	Level B - Reasonably Probable					
	Level C - Occasional					
	Level D - Remote					
	Level E - Extremely Unlikely					
(LOW)		Category IV - Minor	Category III - Marginal	Category II - Critical	Category I - Catastrophic	
مستوى الخطورة (-----> زيادة مستوى الخطورة)						

الشكل (8) مصفوفة الحرجة النوعية [9]

						INCREASING CRITICALITY
						زيادة الحرجة
رقم الحرجة (Cr) زيادة مستوى الحرجة (----->)	1.00E-06					
	8.89E-07					
	7.78E-07					
	6.67E-07					
	5.56E-07					
	4.44E-07					
	3.33E-07					
	2.22E-07					
	1.11E-07					
	1.04E-13					
(LOW)		Category IV - Minor	Category III - Marginal	Category II - Critical	Category I - Catastrophic	
مستوى الخطورة (-----> زيادة مستوى الخطورة)						

الشكل (9) مصفوفة الحرجة الكمية [9]

- النتائج والمناقشة:

كما ذكر سابقاً فقد تم اختيار تحليل الحرجة الكمي بسبب توفر جميع البيانات اللازمة لهذا التحليل وبعد إدخال هذه البيانات (أنماط التعطل وتأثيراتها، معدلات حدوث أنماط التعطل، معدلات التعطل للمكونات) إلى برمجية XFMEA نحصل على نتائج تحليل فميكا والموضحة في مصفوفة الحرجة الشكل (10).

تحليل نتائج FMECA

من مصفوفة الحرجة الكمية (شدة الخطورة، رقم الحرجة) والموضحة بالشكل (10) والتي تمثل نتائج تحليل فميكا للدائرة عينة الدراسة.

تقسم مصفوفة الحرجة التي يمكن أن تتوزع فيها العناصر المدروسة إلى ثلاث مناطق حسب درجة الحرجة (رقم الحرجة، مستوى الخطورة)، المنطقة الأولى هي منطقة اللون الأحمر تمثل حرجة غير مقبولة ويجب إعادة النظر في تصميم العناصر التي تقع فيها لتخفيض حرجتها إلى المنطقة الثانية، أما المنطقة الثانية فهي منطقة اللون الأصفر وتكون العناصر الواقعة فيها ذات حرجة مقبولة ولكن ينصح بدراسات إضافية عليها لتحديد المسببات وإيجاد حلول مناسبة إن أمكن، وأخيراً المنطقة الثالثة وهي منطقة اللون الأخضر وتكون العناصر الواقعة فيها ذات حرجة مقبولة.

CRITICALITY NUMBER (Cr) (INCREASING LEVEL OF CRITICALITY →)	(HIGH)	زيادة مستوى الحرجة (رقم الحرجة (Cr))		
1.00E-06		- U1: Failed Off (0.000001) - U1: Short (0.000001) - U2: Failed Off (0.000001) - U2: Short (0.000001)	- Q: Oxide defect (0.000000936) - D1: Short (0.00000098) - D2: Short (0.00000098) - D3: Short (0.00000098)	
8.89E-07				
7.78E-07		- D1: Open (0.00000072) - D2: Open (0.00000072)	- D3: Open (0.00000072)	
6.67E-07			- Q: Bond Failure (0.000000564)	
5.56E-07				
4.44E-07			- Q: Shorted (0.000000375) - Q: Other (0.000000378)	
3.33E-07		- U1: Open (0.0000003) - U2: Open (0.0000003)	- Q: Induced Failure (0.000000282) - D1: Parameter Change (0.0000003) - D2: Parameter Change (0.0000003) - D3: Parameter Change (0.0000003) - U3: Failed Off (0.00000022815) - C2: Short (0.00000031806) - C3: Short (0.00000031806)	

2.22E-07			- Q: Intermetallic Growth (0.000000186) - Q: Voids (0.000000186) - U1: Failed On (0.00000015) - U2: Failed On (0.00000015) - U3: Short (0.0000002028) - D4: Short (0.000000116718) - C2: Open (0.00000017856) - C3: Open (0.00000017856)	
1.11E-07	- C1:Open (0.000000000576) - C1:Change in Value (0.000000000198) - R5:Open (0.000000001416) - R6:Open (0.000000000337008) - C5:Open (0.000000000384) - C5:Change in Value (0.000000000132) - R8:Open (0.000000000894) - R8:Open (0.000000000337008) - D4:Open (0.00000000085752) - R10:Open (0.0000000000012248)	- R5:Parameter Change (0.000000000864) - R5:Short (0.00000000012) - R6:Parameter Change (0.000000000205632) - R6:Short (0.00000000002856) - C5:Short (0.000000000684) - R8:Parameter Change (0.0000000002376) - R8:Short (0.00000000033) - R8:Parameter Change (0.000000000205632) - R8:Short (0.00000000002856)	- Q:Workmanship (0.000000093) - C1:Short (0.00000001026) - C4:Short (0.00000001026) - C4:Open (0.00000000576) - C4:Change in Value (0.000000000198) - R1:Open (0.000000000708) - R1:Parameter Change (0.000000000432) - R1:Short (0.00000000006) - R2:Open (0.000000000354) - R2:Parameter Change (0.000000000216) - R3:Short (0.00000000003) - R3:Open (0.00000000024603) - R3:Parameter Change (0.00000000015012) - R3:Short (0.00000000002085) - R4:Open (0.000000001062)	
1.04E-13			- R10: Short (0.0000000000001038)	
(LOW)	Category IV - Minor	Category III - Marginal	Category II - Critical	Category I - Catastrophic

SEVERITY CLASSIFICATION (INCREASING LEVEL OF SEVERITY ----->)

زيادة مستوى الشدة) تصنيف الخطورة
الشكل (10) مصفوفة الحرجة [نتائج برمجية XFMEA]

نجد أنه يوجد مجموعة أنماط تعطل لبعض العناصر في المستوى الخطر والموضحة بالجدول (7)

(Electrostatic Discharge) بسبب ضعف العازل وتطبيق جهد عالي يؤدي إلى انهيار بسيط ومرور تيار ومع استمرار مرور هذا التيار والتسخين الناتج عنه يؤدي إلى تدفق تيار أكبر وهكذا يستمر التيار بالزيادة حتى الانهيار الكامل للمواد العازلة حيث يخلق هذا الانهيار دائرة قصر بين الطبقات المفترض أنها معزولة بواسطة الأكسيد وبالتالي تعطل العنصر

2- انهيار العازل في الحياة المبكرة للعنصر أو بعد مرور وقت على تشغيله

إن ميزات التعطل في عمر مبكر أو بعد مرور وقت هي نفسها ولكن الأولى تتضمن عطلاً يحدث مبكراً في عمر الجهاز (على سبيل المثال، خلال أول عامين من التشغيل العادي)، في حين أن هذا الأخير ينطوي على انهيار يحدث بعد وقت أطول بكثير من الاستخدام (بشكل رئيسي في مرحلة "التأكد").

على بعض العينات وتحريض الأسباب التي تؤدي إلى ظهور هذه العيوب وتقدير الزمن اللازم لظهورها وتوجيه الفنيين بضرورة الكشف على الترانزستور بعد الفترة المحددة وضرورة استبداله.

• حالة القصر في الديودات: تعالج بإضافة ثلاث ديودات احتياطية (بديلة) (ديود D5 بديل على التسلسل مع D1 و ديود D6 بديل على التسلسل مع D2 و ديود D7 بديل على التسلسل مع D3) لأنه في نمط التعطل (قصر) يتم إضافة عنصر احتياط و يكون موصول على التسلسل مع العنصر الأساسي.

• حالة الفصل في الديودات: تعالج بإضافة ديود احتياط D8 (بديل) على التوازي من الديود D3 لأنه في نمط التعطل (فصل) يتم إضافة عنصر احتياط ويكون موصول على التفرع مع العنصر الأساسي.

الجدول (7) أنماط التعطل الحرجة في الدراسة

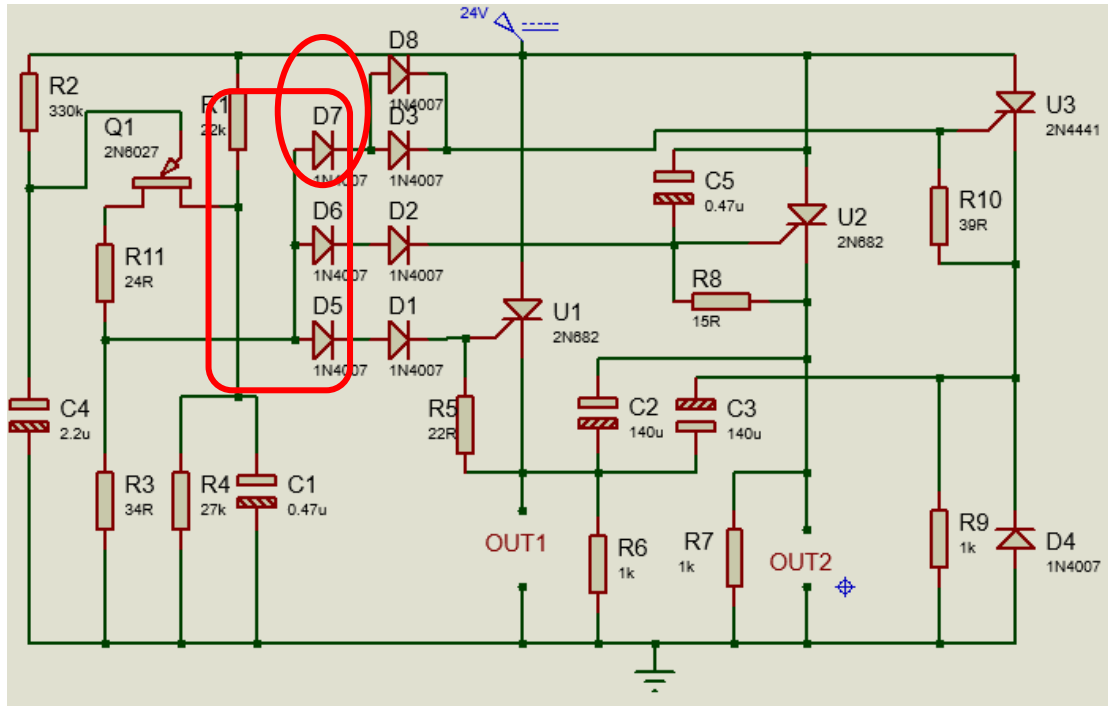
العنصر	نمط التعطل
ترانزستور Q1	(تأثيرات اكسدة) Oxide defect
ديود D1	(قصر) Short
ديود D2	(قصر) Short
ديود D3	(قصر) Short
ديود D3	(فصل) Open

• عادة ما تستخدم طبقة أكسيد (ثاني أكسيد السيليكون SiO_2) كعازل بين الطبقات في أنصاف النواقل ولطالما كان انهيار هذه الطبقة العازلة يثير قلقاً شديداً بشأن الوثوقية في صناعة أنصاف النواقل بسبب العمل المستمر على تصغير هذه المنتجات وبالتالي التقليل من سماكة الطبقات العازلة مما يؤدي إلى سرعة انهيارها عند مستويات فولت أقل، وتصنف عيوب الأكسيد إلى:

1- انهيار العازل الكهربائي نتيجة الاجهاد الكهربائي EOS (Electrical Overstress) أو التفريغ الكهروستاتيكي ESD كلتا الفئتين تتطوي على تدمير الأكسيد أثناء العمل العادي للجهاز ويرجع السبب الأساسي للانهيار في كلا الفئتين إلى وجود بقع ضعيفة داخل طبقة الأكسيد الناتجة عن المعالجة السيئة أو النمو غير المتكافئ، وهذه البقع الضعيفة أو العيوب العازلة قد تكون ناتجة عن:

- تلوث السليكون قبل الاكسدة
- العيوب البلورية في السليكون على الرغم من أن تصنيع أنصاف النواقل يعتمد على العيوب البلورية ولكن بعض هذه العيوب غير مرغوب بها
- الضرر الإشعاعي

مما سبق نجد أنه مهما كانت جودة الترانزستور باستثناء جودة JANTXV (التي تفرض كشف مجهري على البلورات) فإن هذه العيوب يمكن أن تحدث ويمكن تقليلها ولا يمكن منعها من خلال حماية الترانزستور من الجهود العالية والكهرباء الساكنة وأيضاً ينصح بإجراء اختبارات مسرعة



الشكل (11) المخطط الكهربائي للدائرة عينة الدراسة لتقليل مستوى حرجة العناصر

– الاستنتاجات والتوصيات

تم في هذه الورقة، توصيف آلية تنفيذ تحليل نمط التعطل وتأثيراته وحرجته تتناسب مع الإمكانيات المتوفرة في الجمهورية العربية السورية في مرحلة التصميم والتطوير، برمجياً باستخدام برمجيات الوثوقية وتم الإقرار بتصنيع نموذج اولي للدائرة وفق المخطط شكل (11) ليتم التأكد من صحة الدراسة عملياً من خلال الاختبارات المسرعة.

ويمكن تلخيص أهم الاستنتاجات التي تم التوصل إليها على الشكل التالي:

– ساعد تحليل FMECA على تحديد وتقييم أنماط التعطل الحرجة لعيينة الدراسة في مرحلة التصميم والتقليل من خطورتها من خلال إجراء تعديل التصميم الإلكتروني مثل تقليل حرجة نمط تعطل قصر الديودات D1, D2, D3، واقتراح خطة مراقبة لأنماط الأعطال التي لم يتمكن من تقليل خطورتها مثل نمط تعطل Oxide defect للترانزستور وحيد الوصلة.

– زيادة العمر (تمديد الحياة) من خلال تقييم المكونات الخطرة (نتائج المصفوفة) بعد انتهاء العمر الافتراضي واستبدالها دون الحاجة إلى استبدال المنتج ووضع خطط صيانة مستقبلية.

– يمكن الاستفادة من هذه الدراسة كنموذج مرجعي عند التخطيط لتطبيق برامج الوثوقية عند تصميم المنتجات الإلكترونية.

التمويل: هذا البحث ممول من جامعة دمشق وفق رقم التمويل (501100020595).

Analysis on Electronic Circuit" (2020) 7th International Conference on Electrical and Electronics Engineering.

- [6] Wenjin Zhang, Kun Wang, Jie Meng (2015) " Research on Application of Functional FMECA in Reverse Engineering Optimization " Beihang University , Beijing, China
- [7] Duane Pettit and Andrew Turnbull (2001) "General Aviation Aircraft Reliability Study" NASA/CR-2001-210647
- [8] European Aviation Safety Agency (2015) "Certification Specifications and Acceptable Means of Compliance for Normal, Utility, Aerobatic, and Commuter Category Aeroplanes" CS-23
- [9] Military Standard Procedures For Performing A Failure Mode Effects And Criticality Analysis (1980) "MIL-STD-1629A" Department Of Defense USA
- [10] Department Of Defense Standard Practice System Safety (2012) "MIL-STD-882E" Department Of Defense USA

References:

- [1] Federal Aviation Administration(1983)" Failure Modes, Effects and Criticality Analysis (FMECA) of Type AN/GRN-27 (V) Instrument Landing System With Traveling-Wave Localizer Antenna".
- [2] Ebru Nihal Çetin (2015) " FMECA Applications and Lessons Learnt " Turkish Aerospace Industries Inc IEEE 2015
- [3] BAMBANG SUHARJO, OKOL SRI SUHARYO, ADI BANDONO "Failure mode effect and criticality analysis (FMECA) for determination time interval replacement of critical components in warships radar" Journal of Theoretical and Applied Information Technology 2019. Vol.97. No 10
- [4] M. Catelani, L. Ciani, L. Cristaldi, M. Faifer, M. Lazzaroni, M. Khalil "Toward a new definition of FMECA approach" 2015 IEEE International Instrumentation and Measurement Technology Conference (I2MTC) Proceedings.
- [5] Murat Ali Fidan , Uğur Gürgül , Zahide Elif Akın "FMEA – FMECA the Application of