

تطوير نهج عمل لتحديد التعديلات الإنشائية

اللازمة لضمان إمكانية تحميل الأنظمة الإلكترونية على عربات مدولبة

محمد علي حماد*¹ محمد بسام أبو حرب² ماجد حيبا³

*. طالب ماجستير، جامعة دمشق، كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية، دمشق سوريا.
mu7ammadali1990@gmail.com

². مدرس، جامعة دمشق، كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية، دمشق سوريا.

³. باحث رئيسي، المعهد العالي للعلوم التطبيقية والتكنولوجيا، دمشق سوريا.
mhaajiebda@gmail.com

المُلخَص:

تاريخ الايداع: 2022/10/28

تاريخ القبول: 2023/2/27



حقوق النشر: جامعة دمشق -
سورية، يحتفظ المؤلفون بحقوق
النشر بموجب CC BY-NC-SA

تتعرض المركبات الآلية لطيف واسع من القوى ما يستلزم العمل بمرجعية نهج مُعتمد لتحديد التعديلات اللازمة لحظها لضمان إمكانية الاستخدام الموثوق للأنظمة الإلكترونية التي تقوم الحاجة لتحميلها على مركبات، وبشكل خاص إن كانت تلك الأنظمة مخصصة للاستخدام الثابت. وضمن هذا السياق، طُرح البحث الحالي بهدف تطوير نهج عمل يُمكن من تحميل واستخدام الأنظمة الإلكترونية المعدة للاستخدام الثابت على مركبات مدولبة، من خلال تبني بعض التعديلات الإنشائية البسيطة بدلاً من تحمّل التكاليف المالية الكبيرة المترتبة على شراء مركبات مجهزة بأنواع الأنظمة الإلكترونية اللازمة. قام النهج الذي اقترح وطوّر على دراسات تجريبية وعددية هدفها تحديد طبيعة الاستجابة الحاصلة بمكونات النظام الإلكتروني المعني، بحيث يُعمل على تغيير تلك الطبيعة من ديناميكية إلى شبه ساكنة، إذا دعت الحاجة لذلك. ولإثبات جدوى العمل بمرجعية النهج أعلاه تم تطبيقه على منصة الكترو-بصرية عائدة لجهة محلية مُهتمة بتحميلها على عربة مدولبة، علماً بأن تلك المنصة مخصصة للاستخدام الثابت. أثبتت النتائج المُستخلصة أن القوى الناتجة عن الاستثمار المحمول للمنصة ستتسبب باستجابة ديناميكية عالية المطال للوح الدارة الإلكترونية الخاصة بها، وأن تحويل كامل تلك الاستجابة إلى شبه ستاتيكية من خلال بعض التعديلات الإنشائية غير ممكن، ولكن هذه التعديلات ستساهم بتخفيف مطالات اهتزاز ذلك اللوح إلى حد كبير. وبالتالي، تم إثبات صحّة النهج المُتبّع وقدرته على التنبؤ بقابلية التحميل وجدوى التعديلات المتاحة وصولاً لإمكانية الاستثمار المحمول للأجهزة الإلكترونية على عربات بأمان.

الكلمات المفتاحية: electronic equipment، الاستجابة الترددية، التخميم، الترددات الذاتية، اختبارات المسح الطيفي، العناصر المنتهية، النمذجة العددية، الأنظمة الإلكترونية المحمولة.

Development of a Working Approach to Identify Structural Modifications Necessary to Ensure That Electronic Systems can be Loaded onto Wheeled Vehicles

Mohammad Ali Hammad*¹ Mohammad Bassam Abo Harb² Majed Haiba³

*¹. Master's student, Damascus University, Faculty of Mechanical & Electrical Engineering, Damascus, Syria.

². Professor, Damascus University, Faculty of Mechanical & Electrical Engineering, Damascus, Syria.

³. Research Manager, Higher Institute for Applied Sciences and Technology, Damascus, Syria

Received: 28/10/2022

Accepted: 27/2/2023



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

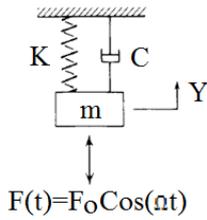
Abstract:

Automated vehicles are exposed to a wide range of forces, which necessitates the need for an approved approach to determine the necessary modifications to ensure the reliable use of electronic systems that need to be installed on vehicles, especially if these systems are intended for stationary use. Within this context, the current research was presented with the aim of developing a working approach that enables the loading and use of electronic systems intended for stationary use on wheeled vehicles, by adopting some simple structural modifications instead of incurring the large financial costs of purchasing vehicles equipped with the necessary types of electronic systems. The approach that was proposed and developed was based on experimental and numerical studies aimed at determining the nature of the response that occurs with the components of the electronic system in question, so that it works to change that nature from dynamic to semi-static if the need arises. To prove the feasibility of working with the reference of the above approach, it was applied to an electro-optical platform belonging to a local party interested in loading it onto a wheeled car, knowing that this platform is intended for fixed use. The obtained results proved that the forces resulting from the loading of the platform would cause a high-amplitude dynamic response to its electronic circuit board and that the transformation of this response into semi-static is not possible through some structural modifications. But these modifications will contribute to the reduced vibration amplitude. Consequently, the validity of the following approach in predicting the ability to mount electronic equipment on moving vehicles and the feasibility of the available modifications for safe investment was proved.

Key words: Vibration, damping, natural frequency, numerically simulation, natural frequency, finite element method, stiffness, electronic equipment.

المقدمة:

ذلك السياق، يمثل النظام المبين في الشكل (1) أبسط نظام ميكانيكي معروف، ذلك أنه مكوّن من كتلة معلقة بنابض ومُحمّلة بقوة توافقية بسيطة Simple Harmonic Force.



الشكل (1): رسم تمثيلي لنظام ميكانيكي بسيط [1]

ووفقاً للمرجع [1] يُوصّف سلوك الكتلة m بالمعادلات التالية:

• معادلة حركة الكتلة:

$$m\ddot{Y} + c\dot{Y} + KY = F_0 \cos \Omega t \quad (1)$$

• معادلة إزاحة الكتلة:

$$Y = Y_0 \cos(\Omega t - \theta) \quad (2)$$

• معادلة الإزاحة الأعظمية للكتلة:

$$Y_0 = \frac{F_0}{K} \quad (3)$$

$$A = \frac{F_0}{Y_{st}} = \frac{1}{\sqrt{[1 - (\frac{\Omega}{\Omega_n})^2]^2 + (2R_c R_\Omega)^2}} \quad (4)$$

حيث: K ثابت صلابة النابض، C ثابت المخمد، F القوة التوافقية المؤثرة على الكتلة، \dot{Y} تسارع الكتلة كتابع للزمن، \dot{Y} سرعة الكتلة كتابع للزمن، Y إزاحة الكتلة كتابع للزمن، Y_0 قيمة الإزاحة الأعظمية للكتلة، Ω_n التردد الذاتي للكتلة ويعطى بالمعادلة:

$$\Omega_n = \sqrt{\frac{K}{m}} \quad (5)$$

أما Y_{st} فتأبث يمثل الانحراف السكوني للكتلة ويعطى بالمعادلة $Y_{st} = \frac{F_0}{K}$ ، c : ثابت التخميد الحدي، النسبة الترددية $R_\Omega = \frac{\Omega}{\Omega_n}$ ، معامل التخميد $R_c = \frac{c}{c_c}$. وللتوضيح البياني للسلوك الاهتزازي للنظام أعلاه، يقدم المرجع [1] المنحني البياني المدرج في الشكل (2)، والذي

تعمل العديد من المؤسسات على تحميل أنظمتها الإلكترونية الحساسة على عربات آلية بهدف الاستخدام المحمول لتلك الأنظمة، بدلاً من تحمّل الأعباء المادية الكبيرة الناتجة عن شراء أنظمة إلكترونية مكافئة مركّبة على عربات. وضمن ذلك السياق، قد تواجه تلك المؤسسات حالات فشل متمثلة بانتهيار بعض كتل تلك الأنظمة نتيجة تعرّضها لقوى التحريض القسري الناتجة عن استثمارها المحمول. وللمعالجة طُرِح موضوع البحث الحالي الهادف لتطوير نهج عمل يسمح بتحديد التعديلات اللازمة على النظام الإلكتروني المطلوب تحميله على عربة، من ناحية جساءته الإنشائية ومن ناحية تخميد القوى المنقولة إليه وصولاً لوضع يسمح بالتحميل الآمن. وللوصول للنتائج المرجوة، طُبّق النهج المطوّر، والذي اعتمد من قبل العديد من الباحثين المعنيين [4, 5]، على منصة إلكترو-بصرية مخصصة للاستخدام الثابت، مطلوب تحميلها واستثمارها بنجاح على عربة بيك أب. أشارت النتائج التي تم التوصل إليها إلى قيام الحاجة لتعديل تلك المنصة نظراً لوقوع تردداتها الذاتية الأساسية ضمن مجال ترددي مرتفع المحتوى الطاقيلقوى التحريض القسري، ما استدعى تجريب احتمالات متعددة للمعالجة، حيث تبين أن الوصول لوضع تحميل آمن يضمن تخفيض مطالات قوى التحريض من خلال إبعاد الترددات الذاتية الأساسية عن المجال الترددي مرتفع المحتوى الطاقيل يستدعي تدعيم إنشائي لبعض مكونات المنصة.

2. النمذجة الرياضية لاهتزاز نظام ميكانيكي

بسيط:

إن فهم السلوك الاهتزازي لنظام ميكانيكي واقعي يستدعي بالضرورة فهم ذلك السلوك لأبسط نظام ميكانيكي. وضمن

حماد، أبو حرب و حيبا

تطوير نهج عمل لتحديد التعديلات الإنشائية.....

يوضح العلاقة بين معامل تضخيم الإزاحة والنسبة الترددية
القائمة.

Quasi-static، إما من خلال تعديل البنية الإنشائية للنظام، أو من خلال تخميد قوى التحريض القسري المطبقة عليه. أما تسلسل تطبيق النهج أعلاه فقام على الخطوات التالية:

1. تحديد الترددات الذاتية الأساسية Natural frequency

جزء النظام الإلكتروني المعني من خلال القياس التجريبي لقيم تسارعاته خلال إخضاعه لاختبار مسح ترددي طيفي ثابت المطال²، ومن ثم تحويل النتائج المقاسة من المجال الزمني إلى المجال الترددي³، بحيث يُعامل التردد الموافق لكل مطال أعظمي واضح باعتباره تردد طنين⁴، أي تردد ذاتي [2, 3].

2. القياس التجريبي لقوى التحريض القسري الواصلة إلى

جزء النظام الإلكتروني المعني، والنظام مُنَبَّت بموقعه المفترض على المركبة والتي تتحرك على طُرُق متراوحة الوعورة، ومن ثم تحويل النتائج المقاسة إلى المجال الترددي بهدف الحصول على تمثيلها الترددي.

3. تطوير نموذج عددي قادر على التنبؤ بالسلوك

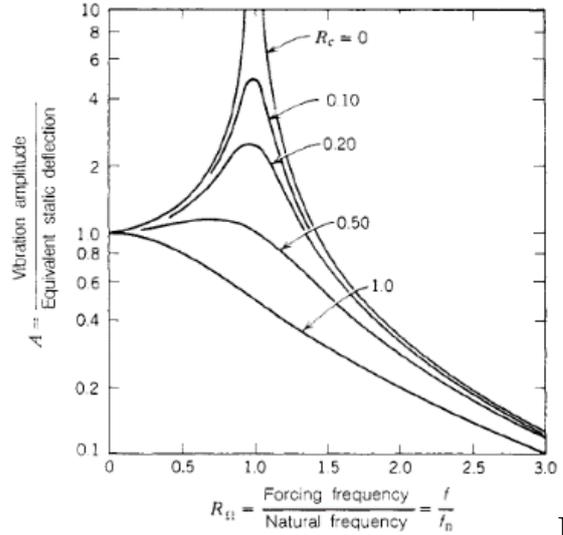
الديناميكي لجزء النظام الإلكتروني المعني، للحصول على طيف أوسع من النتائج (المزيد من قيم الترددات

² يقوم هذا الاختبار على إخضاع النظام المدروس لقوى تحريض قسري توافقية ثابتة المطال، ضمن مجال ترددي محدد.

³ التحويل إلى المجال الترددي: تحليل الدالات الرياضية الزمنية للنظر بمحتواها الترددي، أي لدراسة محتواها الطاقوي بمرجعية التردد وليس الوقت، ذلك أن التمثيل البياني لمجال التردد يُمكن من تقدير المحتوى الطاقوي لكل نطاق تردد عبر كامل النطاق الترددي المعني.

⁴ يُعرّف الطنين Resonance على أنه ظاهرة اهتزاز النظام بمطالات عالية جداً نتيجة وقوع واحد أو أكثر من تردداته الذاتية ضمن المجال الترددي لقوى التحريض القسري المؤثرة عليه.

ما يمكن استنتاجه من المنحني البياني المدرج في الشكل (2) ينحصر بما يلي



الشكل (2): التمثيل البياني للعلاقة بين معامل تضخيم الإزاحة والنسبة الترددية لطيف من معاملات التخميد [1].

-عند تساوي قيمة تردد القوة المطبقة مع التردد الذاتي للنظام، أي عند تحقق الحالة $R_f = 1$ ، تكون قيم معاملات التضخيم الموافقة لمعاملات التخميد القائمة أعظمية.

-عند تساوي قيمة تردد القوة المطبقة مع التردد الذاتي للنظام بالإضافة لغياب التخميد، أي تحقق الشرط $R_c = 0$ ، تكون قيمة معامل التضخيم مرتفعة جداً.

-بعض النظر عن قيمة المتغير R_f ، لا تتضخم مطالات اهتزاز الكتلة m عند تحقق الشرط $R_c = 1$ أي عند تحقق حالة تخميد مطلق.

3. النهج المعتمدة:

قام النهج الذي عُمل بمرجعيته على تقييم طبيعة الاستجابة القائمة بالسلوك الاهتزازي للنظام الإلكتروني المعني، وبحيث يُعمل على تغيير تلك الطبيعة من ديناميكية إلى شبه ساكنة¹

¹ يشير مصطلح التحميل شبه الساكن إلى التحميل حيث تكون تأثيرات العطالة ضئيلة أو معدومة.

وبنتيجة العمل بالبحث تم التأكد من أن أعطال وحدة التحكم ناتجة عن حمولات الصدم، وبأن المعالجة الناجعة لتلك المسألة تستلزم إما تخميد ذلك النوع من الحمولات و/أو تعديل التصميم الإنشائي لوحدة التحكم بما يضمن قدرتها على الصمود بوجه ذلك النوع من الحمولات دون أن تتعطل. وبذلك السياق، عمل الباحث على تصاميم بديلة متعددة للمكونات الإنشائية الخاصة بالوحدة، وأثبتت من خلال النمذجة العددية ومن خلال الاختبارات التجريبية، القدرة على الوصول لتصاميم عالية الموثوقية للمكونات الإنشائية المعنية.

- عمل الباحث Igor Kovtun وزملاؤه على بحث علمي هدفه تحديد الحل الأكثر جدوى للحد من الآثار السلبية المترتبة على تعرض كتلة إلكترونية مثبتة على هيكل عربة للقوى المؤثرة على ذلك الهيكل [5]. ولتحقيق ذلك الهدف، اختبر الباحث وزملاؤه احتمالات إنشائية متعددة، مثل (1) تعديل هيكل الكتلة وصولاً للقيم المثلى لكتلتها وجساءة مكوناتها الإنشائية، (2) تعديل طريقة تثبيت ألواح الدارات الإلكترونية على هيكل الكتلة، (3) تعديل طريقة تثبيت الكتلة الإلكترونية على هيكل العربة. وضمن ذلك السياق، عمل الباحث على اختبارات مسح جيبي للحالات التالية:

- الوضع القائم لمكونات الكتلة الإلكترونية ولطريقة تثبيتها على هيكل العربة.
- أوضاع مُعدّلة إنشائياً لجساءة هيكل الكتلة الإلكترونية.
- مواد بديلة عن الألمنيوم لهيكل الكتلة الإلكترونية.
- وجود عناصر تدعيم بيني إضافي بين ألواح الدارات الإلكترونية، وفقاً لما هو مبين في الشكل (3).
- إملاء الفراغات البينية بين ألواح الدارات الإلكترونية بمادة مطاط رغوي Foam rubber.
- وجود تخميد سلبي، بمخدرات هوائية، للقوى المنقلة لقواعد هيكل الكتلة، مع لحظ خيارات متعددة لقيم متغيرات المخدرات الهوائية المستعملة.

الذاتية بالإضافة لكافة الأشكال النمطية الموافقة)، بالمقارنة مع النتائج المُحصّلة من القياس التجريبي.

4. تقييم مدى الحاجة للتخميد و/أو التعديل الإنشائي لبنية النظام الإلكتروني، من خلال إسقاط قيم الترددات الذاتية المستنتجة من الأعمال التجريبية ومن أعمال النمذجة العددية على منحنيات الاستجابة الترددية لقوى التحريض القسري، وبحيث تقوم الحاجة للتخميد و/أو للتعديل الإنشائي كلما وقع واحد أو أكثر من تلك الترددات ضمن مجال ترددي قسري مرتفع المحتوى الطاقى.

5. دراسة عدد من احتمالات التخميد و/أو التعديل الإنشائي لبنية النظام الإلكتروني، بحثاً عن البنية الأمثل، من ناحية قدرتها على تغيير طبيعة الاستجابة الاهتزازية من ديناميكية إلى شبه ستاتيكية، وبعد ذلك الإقرار بأسلوب التعديل الأنسب بناءً على النتائج المُستخلصة.

4. المراجعة العلمية:

- قام الباحث N. Mahajan بدراسة تأثير الاهتزاز وقوى الصدم الناتجة عن عمل المحرك وحركة العربة على وحدة تحكم إلكترونية مثبتة على هيكل العربة، وذلك بهدف تحديد أسباب أعطالها المتكررة، بالإضافة لتقديم مقترحات بخصوص المعالجة [4]. وضمن ذلك السياق، عمل الباحث على نمذجة عددية لحالات التحميل التالية:
- الاهتزاز الناتج عن عمل محرك العربة.
- الاهتزاز العشوائي الناتج عن حركة العربة على الطريق.
- الصدم الناتج عن تعرض العربة لعوائق مثل الحفر والمطبات.
- وعلى التوازي عمل الباحث على الاختبارات التجريبية التالية:
- مسح جيبي وفقاً للمعيار ICE60068-2-64.
- صدم ميكانيكي وفقاً للمعيار ICE60068-2-27.

تطوير نهج عمل لتحديد التعديلات الإنشائية.....

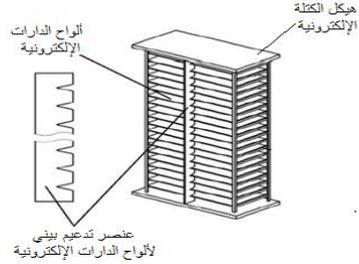
حماد، أبو حرب و حيبا

وبالتالي فهذا النوع من الحلول لم يسمح بتحقيق الهدف المعتمد للبحث.

• احتمالات تثبيت مرن متعددة لألواح الدارات الإلكترونية على هيكل الكتلة الإلكترونية، وفقاً لما هو مبين في الشكل (4).

• تعليق الكتلة الإلكترونية على هيكل العربة بنوابض وعناصر II تخميد جافة الاحتكاك، وفقاً لما هو مبين في الشكل (5).

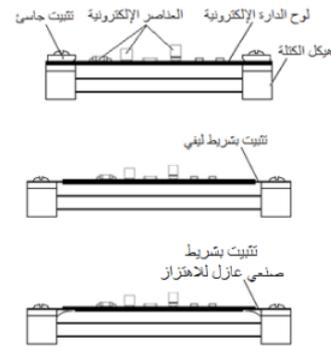
غير مادة هيكل الكتلة الإلكترونية من ألمنيوم إلى بلاستيك مدعم بألياف زجاجية يزيد المحتوى الطاقى للاهتزازات المنتقلة إلى ألواح الدارات الإلكترونية، وبالتالي فهذا النوع من الحلول لم يسمح بتحقيق الهدف المعتمد للبحث.



الشكل (3): تدعيم التثبيت الإنشائي لألواح الدارات الإلكترونية [3]

جود عنصر تدعيم بيني إضافي، أو وجود مادة رغوية مرنة، بين ألواح الدارات الإلكترونية يُخفّض المحتوى الطاقى للاهتزازات المنتقلة إلى تلك الألواح بشكل ملحوظ، وبالتالي فهذا النوع من الحلول حقق هدف البحث.

.III



الشكل (4): احتمالات التثبيت التي درست من قبل الباحث [3]

لتخميد باستعمال مخدات هوائية خفّض المحتوى الطاقى للاهتزازات المنتقلة إلى ألواح الدارات الإلكترونية بشكل ملحوظ، ويوجد قيم أمثلية للمتغيرات المحددة لسلوك المخدات الهوائية المستعملة.

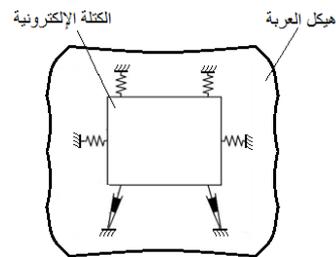
.IV

تثبيت ألواح الدارات الإلكترونية بوصلات وعناصر مرنة أو مُبدّدة لطاقة الاهتزاز يُخفّض المحتوى الطاقى للاهتزازات المنتقلة إلى تلك الألواح بشكل فعال جداً، على الرغم من تأثيره المحدود جداً على قيم الترددات الذاتية لتلك الألواح، وبالتالي فهذا النوع من الحلول مكن من تحقيق الهدف المعتمد للبحث.

.V

.VI

تثبيت الكتلة الإلكترونية على هيكل العربة باستعمال نوابض مرنة وعناصر تخميد جافة الاحتكاك يمثل الحل الأكثر جدوى لتخفيض المحتوى الطاقى للاهتزازات المنتقلة إلى ألواح الدارات الإلكترونية.



الشكل (5): تعليق الكتلة الإلكترونية بنوابض على هيكل العربة [3]

وبنتيجة العمل بهذا البحث تم التوصل للنتائج التالية:

I.

- افترض الباحث E. Herder أن المكونات الإلكترونية المُركّبة ضمن صندوق معدني مثبت بشكل جاسي على هيكل عربة ثقيلة ستعرض لقوى دورية، مطالها الأعظمي مساوٍ لـ 0.02m

خفيض التدعيم الإنشائي لهيكل الكتلة الإلكترونية يزيد المحتوى الطاقى للاهتزازات المنتقلة إلى ألواح داراتها الإلكترونية،

تطوير نهج عمل لتحديد التعديلات الإنشائية.....

حماد، أبو حرب و حيبا

• قياس خصائص الصلابة الديناميكية Dynamic stiffness للقواعد المطاطية الحاملة للمحرك وللعامد، وذلك بهدف التعرف على سلوكها الفعلي عندما تتعرض للاهتزاز الصادر عن عمل المحرك.

• تنفيذ القياسات اللازمة لتحديد توابع الاستجابة الترددية Frequency response functions لكافة المكونات التي تنتقل من خلالها أمواج اهتزاز المحرك إلى العجلة القيادة.

أظهرت النتائج المستخلصة من العمل بهذا البحث أن تردد اهتزاز عجلة القيادة متوافق مع تردد عمل المحرك، وأن اهتزاز العادم هو المُسبب الأساسي لاهتزاز عجلة القيادة، وأن المكونات الحاملة للعادم لا تساهم بشكل فعال بتخميد اهتزازها. وللمعالجة، عُمِلَ على تعديل طريقة تثبيت العادم على هيكل العربة، حيث حُدِدَت طبيعة التعديل المنفذ بمرجعية النمذجة العددية بطريقة العناصر المنتهية، ما سمح بتحقيق التخفيض المستهدف باهتزاز العجلة.

ما يمكن استنتاجه من المراجعات أعلاه يُلخّص بالتالي:

a. إمكانية التّعريف على طبيعة السلوك الديناميكي لمكونات الأنظمة الإلكترونية المُحمّلة على عربات قائمة من خلال النمذجة العددية، ومن خلال تجارب المسح الطيفي، وأخيراً من خلال تحسين ومعالجة معطيات الاهتزاز الحاصل على أرض الواقع.

b. تجنب الاستجابة الديناميكية لمُكوّن ما يستلزم تعديل التصميم الخاص به بحيث لا تقع أي من تردداته الذاتية ضمن أحد المجالات الترددية ذات المحتوى الطاقوي العالي لقوى التحريض القسري.

c. إمكانية تجنب الانهيار الإنشائي الناتج عن الاستجابة بشكل ديناميكي قائمة إما من خلال التخميد السلبي أو الإيجابي للقوى الديناميكية المؤثرة، أو من خلال التدعيم الإنشائي للهيكلي أو العنصر المعني، أو من خلال قطع مسارات انتقال القوى المؤثرة، أو من خلال معالجة مسألة الاستجابة الديناميكية المطروحة بأحد أدوات التصميم الأمثل.

وترددها مساوٍ لـ 40 rad/s، وبأن تشغيل تلك المكونات بشكل آمن يستلزم تخفيض المطال المفترض إلى النصف [6]. ولتحرّي الاحتمالات الممكنة لذلك التخفيض، عُمِلَ على وضع نموذج رياضي بسيط للمسألة المطروحة، ما أثبت إمكانية تحقيق التخفيض المستهدف من خلال تجهيز الصندوق بقواعد تثبيت مطاطية ثابت صلابتها مساوٍ لـ 98.1 kN/m. وللتأكد من صحة النتائج المستخلصة عُمِلَ على وضع نموذج عددي للمسألة المطروحة، ما مَكَّن من إثبات التالي:

• التردد الذاتي الأول للصندوق، بوضعه غير المخمّد، مساوي للقيمة 1270 rad/s، وهو تردد بعيد جداً عن تردد قوى التحريض القسري المفترضة، وبالتالي لا يعاني الصندوق من حالة طنين تؤثر على أداء العناصر الإلكترونية المركبة ضمنه. • إمكانية تخفيض المطال الأعظمي للقوى الدورية المطبقة قائمة إلى ما يزيد عن النصف باستعمال قواعد تخميد مطاطية متوفرة بالأسواق العالمية.

- عمل الباحث ShaoganYe وزملاؤه على دراسة هدفها: تخفيض القوى التي تتسبب باهتزاز منخفض التردد لمقود مركبة آلية، وذلك بمرجعية تقانة تحليل مسار النقل⁵ Transfer path analysis [7]، وضمن ذلك السياق نفذ الباحث وزملاؤه الأعمال التجريبية التالية [8]:

• قياس تسارعات مقود العربة الناتجة عن اهتزازها، وذلك بهدف تحليلها وتحديد سماتها المميزة، وبالتالي حصر الاحتمالات القائمة بخصوص مصادر نشوئها ومسارات انتقالها وصولاً إلى المقود.

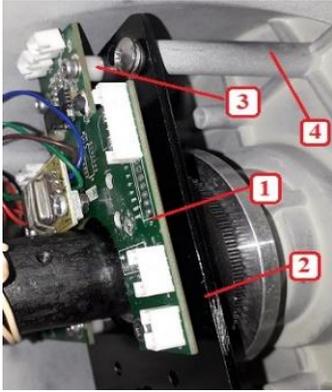
⁵ تحليل مسار النقل عبارة عن إجراء قائم على الاختبار أو المحاكاة العددية، يتيح إمكانية تتبّع تدفق طاقة الاهتزاز من مصدر نشوئها، عبر المسارات المحتملة لانتقالها، وصولاً إلى موقع ظهور آثارها، وذلك بهدف تقييم نسب مساهمة كل مسار منفرداً بالحجم الكلي لتلك الآثار، بحيث يمكن تحديد المكونات التي يمكن تعديلها لتحقيق تخفيض معتبر باهتزاز موقع الظهور [7].

تطوير نهج عمل لتحديد التعديلات الإشائية.....

حماد، أبو حرب و حيبا

5. مواد البحث وتجهيزاته:

- (1) جسم المنصة، (2) قاعدة المنصة، (3) الحمل البصري اليساري.
- (4) مفصل تأمين الحركة الدورانية بين جسم المنصة وقاعدتها،
- (5) محور تأمين الحركة الدورانية للحمل البصري حول المحور الأفقي.



الشكل (7): طريقة تثبيت لوح الدارة الإلكترونية ضمن المنصة.

- (1) لوح الدارة الإلكترونية (2) صفيحة معدنية (3) فواصل مسافة
- (4) جسم المنصة

- iii. حساسات تسارع ميكانيكية أحادية المحور، طراز 4507، تسارعها الأعظمي 70g وحساسيتها 10 mv/g، وحساسات تسارع الكترونية ثلاثية المحاور، طراز 832M1، تسارعها الأعظمي 500g وحساسيتها 2.5 mv/g.

- iv. جهاز تحصيل معطيات محمول من إنتاج الشركة اليابانية Roland، طراز UA-1010، مُخصَّص لتحصيل طيف واسع من البيانات بوثوقية عالية وبمعدلات تحصيل تصل لـ 192 kHz

- v. حاسب محمول نوع ASUS FX504G، مجهز بالبرمجيتين v1.7 AutoSignal و MatlabR2014، الخاصتين بمعالجة الإشارة، وبرمجية النمذجة العددية Ansys18.1.

- vi. مركبة بيك أب خفيفة نوع Toyota.

خلال العمل بهذا البحث قامت الحاجة للتجهيزات والأدوات التالية:

i. نظام الكتروني حساس، متمثل بمنصة إلكترو-بصرية مخصصة للاستخدام الثابت، والحاجة المحلية قائمة لتحميله على عربة لتحقيق إمكانية استخدامه المحمول. ووفقاً لما هو مبين في الشكل (6)، تتألف المنصة المستخدمة من جسم وقاعدة مُصمَّمين بطريقة تسمح بتحقيق حركة نسبية دورانية بينهما، ومن جمل بصري يميني وآخر يساري، مرتبطين مع جسم المنصة من خلال محور يتيح إمكانية تدويرهما بدقة حول محور أفقي، ولتأمين عملية التحكم بحركة الحمل البصري يحتوي تجويف الجسم على لوح دارة إلكترونية خاص بقيادة آليات تحريك مكونات المنصة، وفقاً لما يبينه محتوى الشكل (7). وحيث أن لوح الدارة الإلكترونية العائد للمنصة من أكثر التجهيزات حساسيةً لطبيعة بيانات الاستثمار ركَّز هذا البحث على دراسة طبيعة السلوك الديناميكي لذلك اللوح، بحيث يُعمل على تغيير ذلك السلوك إن قامت الحاجة لذلك.

ii. هزاز إلكترو-ديناميكي طراز Ling Electronic مجهز بدارات قيادة وتحكم ومضخم إشارات ومحلل تردد وحساسات تسارع. نظام تحكُّم هذا الهزاز يتيح أنماط التشغيل التالية:

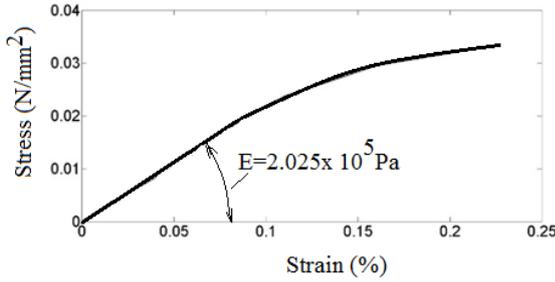
- نمط تطبيق قوى اهتزاز قسري بالمجال الزمني.
- نمط تطبيق مسح ترددي على مجال محدد.
- نمط تطبيق تردد عشوائي بتوزُّع طاقي طيفي ما.



الشكل (6): بيان لمكونات المنصة المستخدمة بهذا البحث.

تطوير نهج عمل لتحديد التعديلات الإشائية.....

حماد، أبو حرب و حيا



الشكل (10): منحنى الإجهاد-انفعال لمادة المخمد السيليكوني

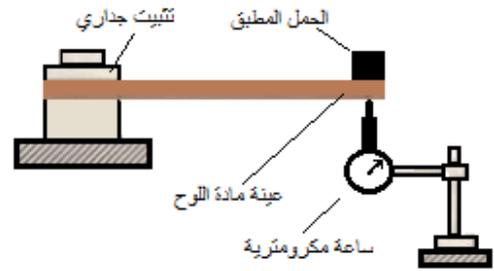
2.6 اختبارات المسح الطيفي ونتائجها:

وفقاً لما هو مبين في الشكل (11)، تم تنفيذ اختبارات المسح الطيفي ثابت المطال للوح الدارة الإلكترونية وهو مثبت ضمن المنصة، وبذلك قامت الحاجة لتثبيت حساس تسارع على قاعدة الهزاز وحساس آخر على لوح الدارة المدروسة، كما قامت الحاجة أيضاً لضبط متغيرات الهزاز على القيم التالية: مطال أمواج الهز: 1g، مجال المسح: 300 Hz - 5 [9]، خطوة المسح 5Hz، مدة المسح عند كل قيمة تردد: 15 Sec، وبعد ذلك تم تحصيل المعطيات الزمنية بتردد تحصيل 44.1 kHz، حيث حُوّلت تلك المعطيات من المجال الزمني إلى المجال الطيفي باستخدام تحويل فورييه المتقطع Discrete Fourier Transform، وبين الشكل (12) النتيجة المستخلصة. ووفقاً لما ذُكر بالفقرة 3 فإن إمكانية استنتاج الترددات الذاتية للوح المدروس من خلال تمييز المطالات الأعظمية الموجودة بمنحنيات الاستجابة الترددية قائمة، وهذا ما عُمل عليه للحصول على النتائج المدرجة في الجدول (1)، والتي تُمثل الترددات الذاتية الأول والثاني والثالث والرابع للوح الدارة الإلكترونية المختبر.

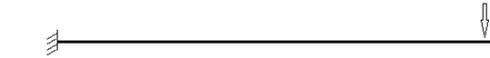
6. الأعمال المنفذة ونتائجها:

1.6 اختبارات تحديد سلوك المواد ونتائجها:

على اعتبار أن أعمال النمذجة العددية تستلزم معرفة دقيقة لسلوك المواد الداخلة بتركيب المنصة فقد ظهرت الحاجة لتنفيذ التجارب اللازمة للحصول على الثوابت الموصّفة لأنواع السلوك المحتملة. وضمن ذلك السياق قامت الحاجة لتحديد معامل المرونة لمادة لوح الدارة الإلكترونية، حيث عُمل على ذلك من خلال التجربة البسيطة الموضحة في الشكل (8) ومن خلال النموذج العددي المبين في الشكل (9)، حيث تبين أن قيمة ذلك المعامل مساوية لـ $1.5e10 \text{ Pa}$.



الشكل (8): تجربة تحديد معامل مرونة لوح الدارة الإلكترونية.

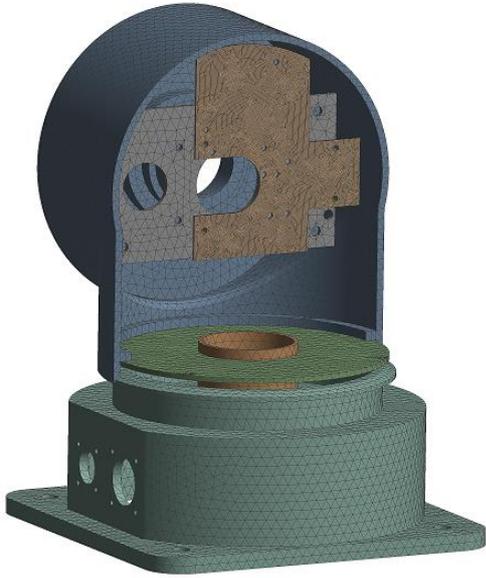


الشكل (9): النموذج العددي لعينة مادة لوح الدارة الإلكترونية

كما قامت الحاجة أيضاً لتحديد معامل المرونة لمادة عناصر التخميد السيليكونية التي أُنتجت بهدف تغيير السلوك الاهتزازي للمنصة إن تبين أنها تستجيب ديناميكياً عندما تُحمّل على العربة. إجرائية الاختبار التي اعتمدت قامت على تحميل عينة مناسبة من المادة السيليكونية بقوة ضغط متزايدة القيمة مع قياس قيم الانضغاطية الموافقة، ومن ثم استنتاج منحنى الإجهاد-انفعال Stress-strain curve للمادة المعنية، ويقدم الشكل (10) المنحنى البياني المستخلص، والذي يؤكد أن قيمة معامل المرونة للمادة السيليكونية مساوي لميل الجزء الخطي من المنحنى، أي مساوي لـ $2e5 \text{ Pa}$.

حماد، أبو حرب و حيبا

تطوير نهج عمل لتحديد التعديلات الإنشائية.....



الشكل (13): النموذج العددي المطور

ولمزيد من البيان بخصوص النمذجة التي نُفِذت لا بد من ذكر التالي:

• عُرِفَت نماذج سلوك المواد الداخلة بالنمذجة بمرجععية المعطيات المدرجة بالجدول (2).

• نُفِذت عملية التشبيك Meshing باستخدام العنصر Solid [187] 10.

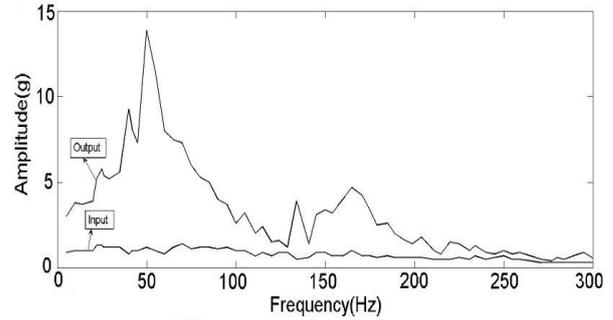
• صُمِمت شبكة العناصر ونُفِذت بحيث تُحَقِّق كثافة عالية بمواقع تركيز الإجهاد وبمواقع التثبيت وبحيث لا يقل عدد العناصر بسماكة نموذج لوح الدارة الالكترونية عن ثلاثة.

• حُقِّق الاقتران Coupling القائم بين مكونات المنصة المُحَقَّقة لحالات تماس احتكاكي باستخدام نموذج اقتران خشن Rough coupling، والذي يسمح بحدوث انفصال لحظي بين سطحي التماس ويمنع الانزلاق النسبي بينها، وهذا ما يُناسب حالة التماس بين الدارة وفواصل المسافة من جهة، وبين الصفيحة المعدنية وفواصل المسافة من جهة أخرى، وكذلك الأمر بالنسبة للصفيحة المعدنية وجسم المنصة.

• حُقِّق الاقتران القائم بين مكونات المنصة المرتبطة مع بعضها البعض بعناصر ربط ميكانيكي أو باللحام باستخدام نموذج Bonded coupling، والذي يمنع الانفصال والانزلاق النسبي



الشكل (11): اختبارات المسح الطبقي للمنصة موضوع البحث



الشكل (12): منحنى الاستجابة الترددية الخاص بلوح الدارة

الجدول (1): قيم الترددات الذاتية المستنتجة تجريبياً

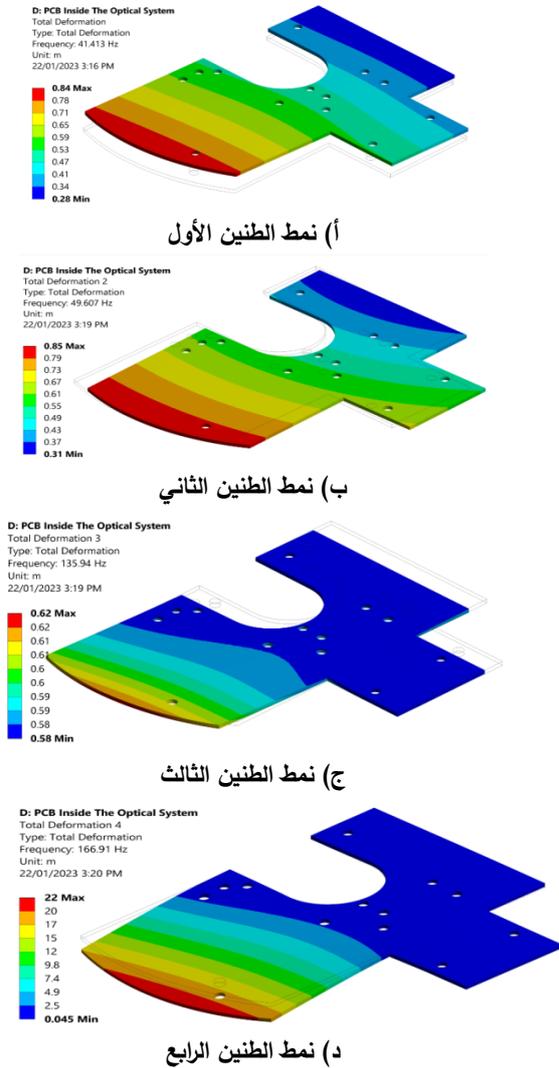
ترتيب الترددات الذاتية المستنتجة	قيمة التردد (Hz)
التردد الذاتي الأول	40
التردد الذاتي الثاني	50
التردد الذاتي الثالث	134
التردد الذاتي الرابع	165

3.6 النمذجة العددية ونتائجها:

وفقاً لما دُكر بالفقرة 3، عُمِل ضمن سياق البحث الحالي على تطوير نموذج عددي لحساب الترددات الذاتية للوح الدارة المدروس وهو مُثَبَّت ضمن المنصة، وذلك للتأكد من مطابقة نتائج النمذجة لنتائج الاختبارات من جهة، وللحصول على قيم إضافية لترددات اللوح المدروس من جهة أخرى، ويقدم الشكل (13) النموذج العددي المطور.

حماد، أبو حرب و حيبا

تطوير نهج عمل لتحديد التعديلات الإنشائية.....



الشكل (14): أنماط الطنين الناتجة عن النمذجة العددية

الجدول (2): معطيات السلوك للمواد الخاصة بأجزاء المنصة

معامل المرونة	نموذج السلوك	مكون المنصة
70 Gpa	خطي مرن	قاعدة وجسم المنصة
15Gpa	خطي مرن	لوحة الدارة
210Gpa	خطي مرن	صفحة تدعيم المفصل النوراني
1.1Gpa	خطي مرن	فواصل المسافة
210Gpa	خطي مرن	الصفحة المعدنية

بين السطحين المتماسين، وهذا ما يُناسب حالة اتصال جزأي جسم المنصة، وحالة ربط قاعدة المنصة مع العارضتين الحديديتين المستعملتين لحمل المنصة على العربة.

• حَقِّق الاقتران القائم بين مكونات المنصة المتمفصلة مع بعضها البعض باستخدام نموذج Revolute coupling، والذي يسمح بالدوران حول أحد المحاور وهذا ما يناسب منطقة اتصال جسم المنصة مع قاعدتها.

• أما عملية التقييد Boundary conditions فقد حَقِّقت من خلال منع العقد المحيطة بمناطق التثبيت بالبراغي من الحركة باستخدام النمط Fixed Support.

• ضُبِّطت خوارزمية الحل لتَحْسُب قيم الترددات الذاتية الواقعة بالمجال 0 to 300 Hz، وهو المجال ذي المحتوى الطافي العالي لقوى التحريض القسري.

وبنتيجة أعمال النمذجة العددية التي نُفِّذت تم الحصول على قيم الترددات الذاتية المدرجة في الجدول (3)، والذي يحتوي أيضاً على قيم الترددات الموافقة المستنتجة تجريبياً. كما يوضح الشكل (14) أشكال أنماط الطنين المستنتجة بأعمال النمذجة وتردداتها الموافقة.

تطوير نهج عمل لتحديد التعديلات الإنشائية.....

حماد، أبو حرب و حيبا

الجدول (4): الترددات الذاتية للوح الدارة والمنصة مثبتة على العربة

قيمة التردد (Hz)	تسلسل التردد المستنتج
34	التردد الذاتي الأول
39	التردد الذاتي الثاني
88	التردد الذاتي الثالث
166	التردد الذاتي الرابع
167	التردد الذاتي الخامس
185	التردد الذاتي السادس
211	التردد الذاتي السابع

الجدول (3): قيم الترددات الذاتية الناتجة عن النمذجة والتجارب

ترتيب الترددات	قيمة التردد الذاتي Hz		نسبة الخطأ
	من الاختبارات	من النمذجة	
الأول	40	41.4	3.3%
الثاني	50	49.6	1%
الثالث	134	135.9	1.3%
الرابع	165	166.9	1.1%

5.6 الاختبارات الميدانية ونتائجها:

وفقاً لما هو مبين في الشكل (15)، حُصِّلت تسارعات التحريض القسري الواصلة لقاعدة المنصة من خلال حساس تسارع أول مُثبَّت على أحد العارضتين بالقرب من قاعدة المنصة، كما أن تسارعات التحريض القسري الواصلة للوح الدارة حُصِّلت باستعمال حساس تسارع ثاني مثبت على لوح الدارة، وذلك خلال قيادة العربة على طرق متراوحة الوعورة، دون السعي لتغطية كافة أنواع الطرق وكافة احتمالات السرعة، ذلك أن عرض خطوات تطبيق المنهجية موضوع هذا البحث لا يستدعي تغطية كافة احتمالات استثمار العربة. وتقدم الأشكال (16) و (17) و (18) نماذج من النتائج المُحصَّلة.

نلاحظ من الجدول (3) أن هناك تطابقاً بين النتائج التجريبية ونتائج النمذجة العددية ضمن نسبة خطأ مقبولة، وبالتالي فالنموذج العددي المطور مُحَقَّق (صحيح النتائج) والإمكانية قائمة لاستعماله بالتنبؤ بالترددات الذاتية للوح الدارة بحالة المنصة المركبة فوق غرفة قيادة العربة، وفقاً لما تعرضه الفقرة التالية.

4.6 نمذجة المنصة بالوضع المحمول ونتائجها:

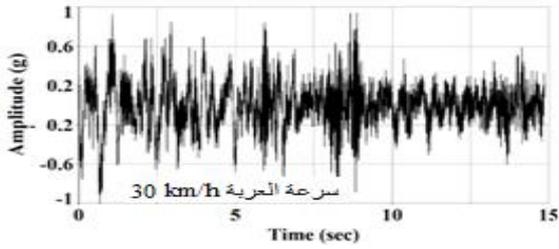
وفقاً لما هو مبين في الشكل (15)، حُصِّلت المنصة على العربة باستعمال هيكل معدني مكون من عارضتين فولاذيتين مربعتي المقطع ما استلزم تطوير النموذج العددي موضوع الفقرة (3.6)، وذلك للحظ هذه الطريقة بالتحميل، ما يُمكن من تحديد الترددات الذاتية للوح الدارة الموجود ضمن المنصة وهي مثبتة فوق العربة، ويقدم الجدول (4) قيم الترددات الذاتية المستنتجة.



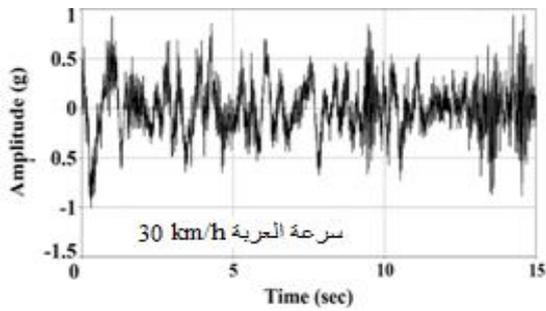
الشكل (15): صورة لطريقة تحميل المنصة على العربة

حماد، أبو حرب و حيبا

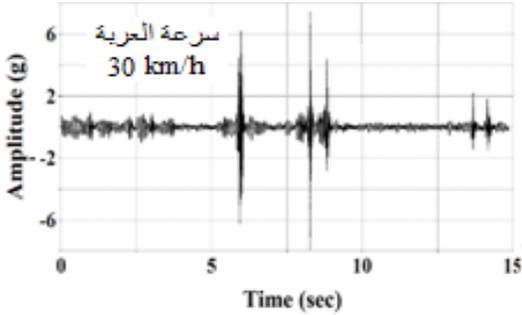
تطوير نهج عمل لتحديد التعديلات الإنشائية.....



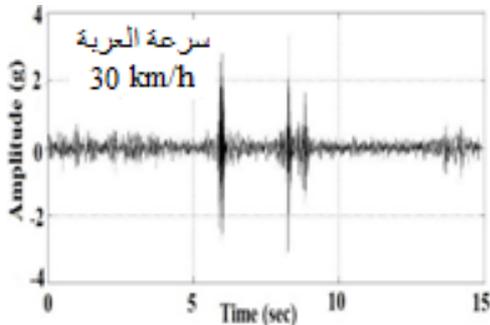
إشارات التسارع الشاقولي المُحصَّلة بالحساس الأول



إشارات التسارع الطولي المُحصَّلة بالحساس الأول

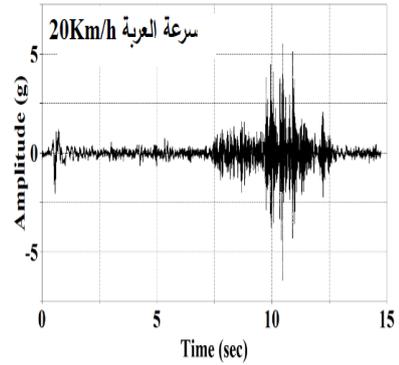


إشارات التسارع الشاقولي المُحصَّلة بالحساس الثاني

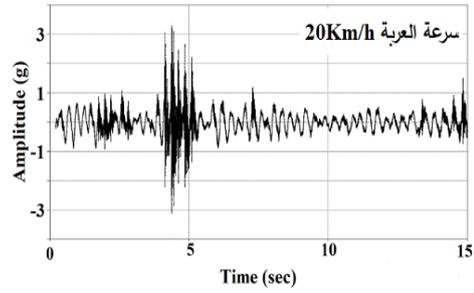


إشارات التسارع الطولي المُحصَّلة بالحساس الثاني

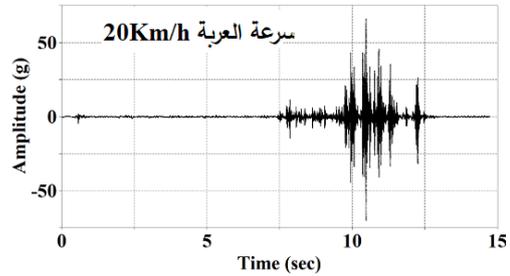
الشكل (17): إشارات التسارع المحصلة عند سرعة 30Km/h



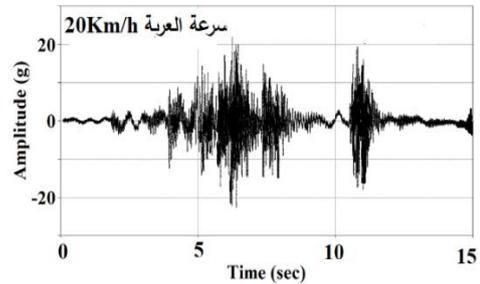
إشارات التسارع الشاقولي المُحصَّلة بالحساس الأول



إشارات التسارع الطولي المُحصَّلة بالحساس الأول



إشارات التسارع الشاقولي المُحصَّلة بالحساس الثاني



إشارات التسارع الطولي المُحصَّلة بالحساس الثاني

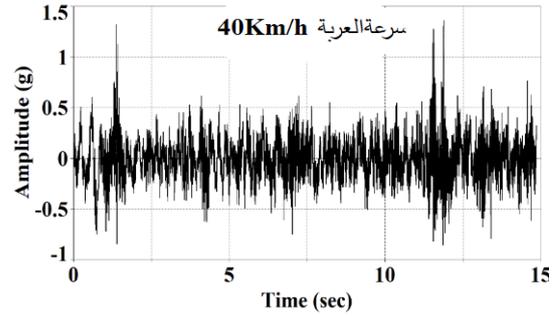
الشكل (16): إشارات التسارع المحصلة عند سرعة 20Km/h

حماد، أبو حرب و حيبا

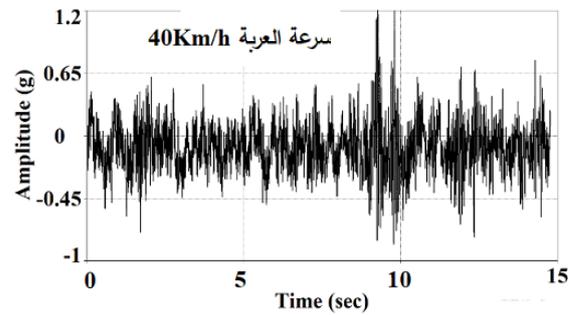
تطوير نهج عمل لتحديد التعديلات الإشائية.....

من خلال التدقيق بمحتوى الأشكال (16) و (17) و (18) يمكن استنتاج ما يلي:

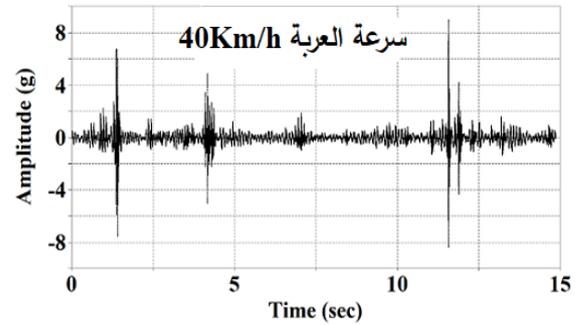
- المعطيات الزمنية المُحصَّلة غير مستقرة وعشوائية وبالتالي فتحويلها إلى المجال الترددي يستلزم اختيار صحيح للخوارزمية المناسبة، ووفقاً لما يؤكد المرجع [11] فإن خوارزمية تحويل فوربييه القصير زمنياً مناسبة لهذا النوع من المعطيات الزمنية. ولتنفيذ ذلك النوع من التحويل يوصي المرجع [11] بضرورة تقسيم الإشارة الزمنية المعنية إلى أطر زمنية Frames متساوية ومتراكبة Overlap بنسبة لا تقل عن 30% قبل إمرار السلاسل الزمنية الناتجة عن ذلك النوع من المعالجة على خوارزمية تحويل مدمجة ضمن أحد البرامج الخاصة بمعالجة الإشارة. وللتقيد بما ذكر أعلاه قُسمت الإشارات الزمنية المُحصَّلة في الاتجاه الشاقولي للعربة إلى أطر متساوية بطول 300 ms لكل منها، آخذين بالحسبان تحقيق تراكب بنسبة 50% [12] قبل إمرار نتائج تلك المعالجة على خوارزمية Fourier Spectra of Segmented Data ضمن برنامج AutoSignal، ويوضح الشكل (19) النتائج المستخلصة.⁶



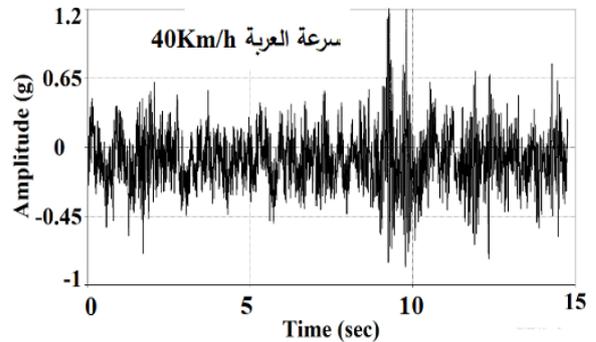
إشارات التسارع الشاقولي المُحصَّلة بالحساس الأول



إشارات التسارع الطولي المُحصَّلة بالحساس الأول



إشارات التسارع الشاقولي المُحصَّلة بالحساس الثاني



إشارات التسارع الطولي المُحصَّلة بالحساس الثاني

الشكل (18): إشارات التسارع المحصلة عند سرعة 40Km/h

⁶ تم اعتماد طول إطار مساوٍ لـ 300 ms بناءً على الخبرة المتراكمة لدى مختصين بمجال معالجة الإشارة وبعد تجريب أطوال بديلة والتأكد من التأثير المحدود لذلك التغيير على نتائج التحويل. أما قيمة التراكب المحددة بـ 50% فقد اعتمدت بناءً على توصيات المرجع [12]، كما أن تغييرها بين 40 و 60% أثر بشكل محدود على نتائج التحويل.

تطوير نهج عمل لتحديد التعديلات الإشائية.....

حماد، أبو حرب و حيبا

ما يمكن استنتاجه من البيانات الطاقية المدرجة في الشكل (19) يُلخّص بما يلي:

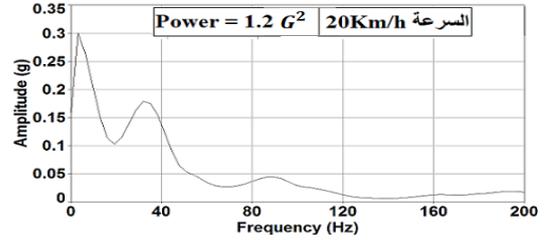
- الحد الأعلى للمجالات الترددية ذات المحتوى الطاقى الملحوظ لإشارات التسارع الشاقولي المُحصّلة لا يزيد عن 60 Hz.

- المحتوى الطاقى لإشارة التسارع الشاقولي يتعلق بسرعة قيادة العربة وقيمته الموافقة لسرعة 30km/h أقل من القيم الموافقة العائدة لسرعتين 20 و 40km/h.

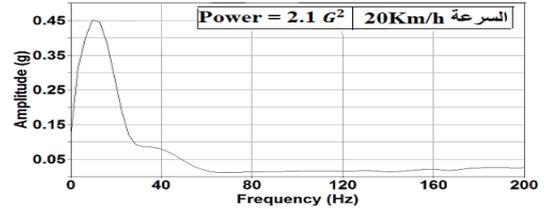
- المحتوى الطاقى لإشارات التسارع الشاقولي المحصلة بالحساس الأول أقل بشكل ملحوظ من مكافئها المحصلة بالحساس الثاني، ما يؤكد على أن هيكل المنصة (مسارات انتقال القوى من قاعدة المنصة إلى لوح دارتها الإلكترونية) يعمل كمُضخّم للقوى الواصلة لقاعدتها من جهة، وعلى أن لوح دارتها الإلكترونية يستجيب بشكل ديناميكي.

6.6 تحديد طبيعة استجابة المنصة:

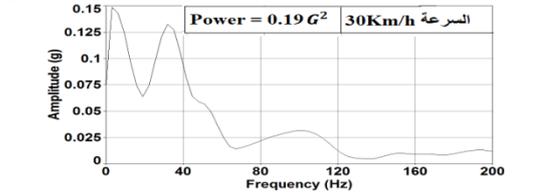
وفقاً لما ذكر في الفقرة (3) أعلاه، فإن متابعة العمل بمرجعية النهج المعتمد تستلزم إسقاط قيم الترددات الذاتية للوح الدارة والمنصة مثبتة فوق العربة، أي القيم المدرجة بالجدول (4)، على منحنيات الاستجابة الترددية لقوى التحريض القسري، أي على المنحنيات البيانية المدرجة في الشكل (19)، وبحيث تقوم الحاجة للتخميد و/أو للتعديل الإشائي أن وقع واحد أو أكثر من تلك الترددات ضمن مجال ترددي قسري مرتفع المحتوى الطاقى. وبنتيجة العمل وفق ما ذكر أعلاه تم الحصول على النتائج المبينة في الشكل (20)، والتي تُفيد بأن التردد الأول والثاني للوح الدارة الإلكترونية يقعان ضمن مجال ترددي عالي الطاقة لقوى التحريض القسري الناتجة عن قيادة العربة بسرعات 20 و 30 و 40km/h، وبالتالي فطبيعة استجابة لوح الدارة الإلكترونية لقوى التحريض القسري المطبقة على قاعدة المنصة ديناميكية، ولا بد من تنفيذ التعديلات اللازمة لتحويل تلك



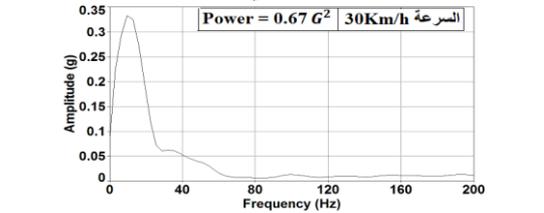
نتائج تحويل إشارات التسارع الشاقولي المُحصّلة بالحساس الأول



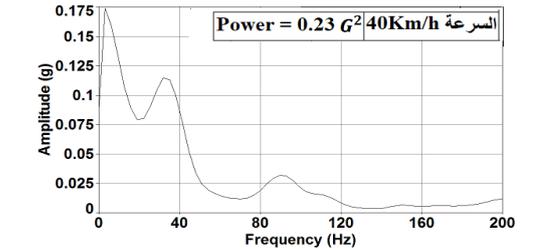
نتائج تحويل إشارات التسارع الشاقولي المُحصّلة بالحساس الثاني



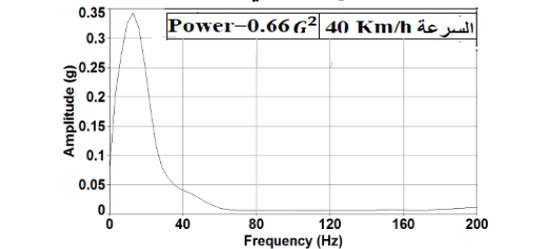
نتائج تحويل إشارات التسارع الشاقولي المُحصّلة بالحساس الأول



نتائج تحويل إشارات التسارع الشاقولي المُحصّلة بالحساس الثاني



نتائج تحويل إشارات التسارع الشاقولي المُحصّلة بالحساس الأول



نتائج تحويل إشارات التسارع الشاقولي المُحصّلة بالحساس الثاني

الشكل (19): نتائج التحويل الطيفي لإشارات التسارع الشاقولي

تطوير نهج عمل لتحديد التعديلات الإنشائية.....

حماد، أبو حرب و حيبا

a. استبدال فواصل المسافة المستخدمة بالمنصة (الفواصل المُصنَّعة من مادة polyethylene) والتي تحمل لوح الدارة الالكترونية بأخرى معدنية، مع المحافظة على الوضع الأصلي لباقي المكونات، وذلك بهدف زيادة جساءة مواقع تثبيت اللوح على جسم المنصة.

b. استبدال الصفيحة المعدنية الحاملة للوح الدارة بأخرى مكافئة سماكتها 5 mm، مع المحافظة على الوضع الأصلي لباقي المكونات، وذلك بهدف تقليل المرونة القائمة بمواقع تثبيت اللوح على جسم المنصة.

c. استبدال لوح الدارة بلوح آخر مكافئ من حيث مادته وأبعاده وتوزعه الكتلي مع لحظ زيادة سماكته إلى القيمة 4 mm، مع المحافظة على الوضع الأصلي لباقي المكونات، وذلك بهدف تحقيق زيادة ملحوظة بجساءته الإنشائية.

d. زيادة عدد نقاط تثبيت لوح الدارة على صفيحتها المعدنية بحيث أصبحت سبعة نقاط بدلاً من أربعة، وذلك بهدف الحد من مطالات الاهتزاز بالأجزاء غير المقيدة من لوح الدارة الالكترونية الأصلي.

e. تثبيت المنصة على العارضتين المعدنيتين بعد تدويرهما بزاوية 90°، أي جعل البعد الأكبر لمقطع كل من العارضتين موازياً للمحور الشاقولي للمنصة.

f. زيادة سماكة الصفيحة التي تحقق التماسك الدوراني لقاعدة المنصة مع جسمها، من 2.5 إلى 5 mm.

g. زيادة سماكة الاسطوانة التي تحقق التماسك الدوراني حول المحور الشاقولي من 2 إلى 3 mm، مع إضافة أعصاب تقوية على محيط هذه الأسطوانة.

h. استبدال فواصل المسافة بين الدارة والصفيحة المعدنية بالمخمدات السيليكونية التي صنَّعت لصالح هذا البحث.

i. اعتماد التعديلات المُوصَّفة بالبندين e و f أعلاه.

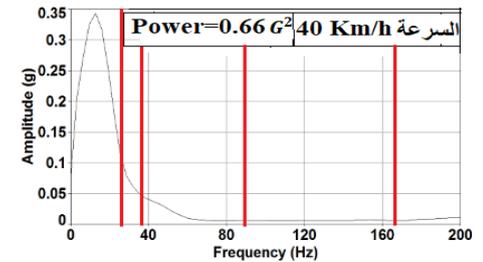
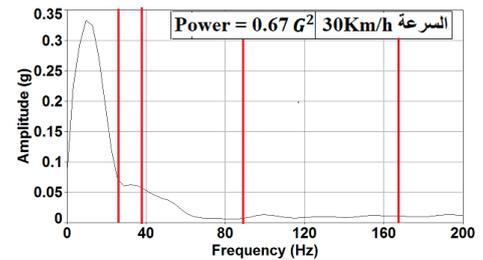
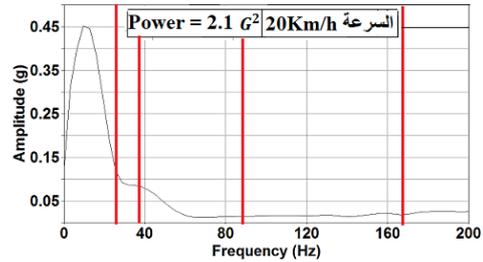
8. نتائج النمذجة العددية للتعديلات الملحوظة:

يقدم الجدول (5) قيم الترددات الذاتية المستنتجة بالنمذجة العددية لكل حالة من حالات التعديل السابقة للمنصة وهي

الطبيعة لشبه سناتيكية قبل تنفيذ عملية تحميل المنصة على العربة.

7. مُعالجات تحويل طبيعة الاستجابة من ديناميكية لشبه سناتيكية:

وفقاً لما ذُكر في الفقرة (4) فإن معالجة مسألة الاستجابة الديناميكية لمُكوّن إلكتروني ما قائمة إما من خلال تعديل التصميم الإنشائي للهيكل الحامل له و/أو من تخميد قوى التحريض القسري المؤثرة على ذلك الهيكل. وضمن ذلك السياق جرى العمل على نمذجة عددية للتعديلات الإنشائية التالية على جسم المنصة، وذلك بهدف استنتاج التغيرات الحاصلة على قيم الترددات الذاتية وصولاً لحالة لا تتقاطع تردداتها الذاتية مع قوى التحريض القسري المعنية، أي لمنصة معدلة بترددات ذاتية لا تقل عن 60Hz.



الشكل (20): إسقاط الترددات الذاتية على منحنيات الاستجابة

تطوير نهج عمل لتحديد التعديلات الإنشائية.....

حماد، أبو حرب و حيبا

9. الاستنتاجات:

طُرِحَ موضوع البحث الحالي بهدف تطوير نهج عمل يُمكن من تحميل واستخدام الأنظمة الإلكترونية المعدة للاستخدام الثابت على مركبات مدولبة. قام نهج العمل الذي اقترح وطُوِّرَ على دراسات تجريبية وعددية هدفها تحديد طبيعة الاستجابة الاهتزازية الحاصلة بمكونات النظام الإلكتروني المعني، بحيث يُعمَل على تغيير تلك الطبيعة من ديناميكية إلى شبه ساكنة، إذا دعت الحاجة لذلك. ولإثبات جدوى العمل بمرجعية النهج أعلاه تم تطبيقه على منصة الكترو-بصرية عائدة لجهة محلية مُهتَمَّة بتحميلها على عربة مدولبة. أثبتت النتائج المُستخلصة أن القوى الناتجة عن الاستثمار المحمول للمنصة ستسبب باستجابة ديناميكية عالية المطال للوح الدارة الإلكترونية الخاصة بها، وأن تحويل تلك الاستجابة إلى شبه ستاتيكية غير ممكن من خلال تعديلات بسيطة تتفُذ على أجزاء محددة من المنصة. أما على صعيد إمكانية التعامل مع النهج المُطوَّر باعتباره أداة قوية للتنبؤ بقابلية التحميل وبتجديلات التعديلات المتاحة وصولاً لتحقيق تلك القابلية فقد أُثبِت من خلال العمل بالبحث الحالي.

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

مركبة فوق غرفة قيادة العربة. ما يمكن استنتاجه من قيم الترددات الذاتية المدرجة في الجدول (5) من جهة، ومن مقارنة تلك القيم مع القيم الموافقة المدرجة في الجدول (4) من جهة أخرى، ينحصر بما يلي:

○التعديلات الموافقة للحالات الثمانية الأولى لم تغير طبيعة استجابة لوح الدارة المعني بحيث تصبح شبه ستاتيكية، ذلك أن قيم الترددات الأساسية الموافقة تقاطعت مع مكونات ترددية ذات محتوى طاقي عالي.

○التعديل الأخير حَقَّقَ نتائج إيجابية من حيث تَسبُّبُ زيادة قيم الترددات الذاتية لقيم تتقاطع مع مكونات ترددية بمحتوى طاقة قليل نسبياً، وبالتالي فاعتماد ذلك التعديل لن يحول طبيعة استجابة اللوح لشبه ستاتيكية بالكامل ولكنه سيخفف مطالات اهتزاز ذلك اللوح إلى حد كبير.

○التعديل المتمثل باستبدال فواصل المسافة الأساسية بأخرى مُصنَّعة من السيليكونية يتسبب بوقوع عدد إضافي من قيم الترددات الذاتية ضمن مجالات ترددية ذات محتوى طاقي كبير، وبالتالي فالحاجة قائمة لاستبعاد هذا النوع من الحلول.

○الحاجة قد تكون قائمة لاعتماد أكثر من تعديل تصميمي، بما في ذلك إعادة النظر بتصميم هيكل المنصة، سعياً خلف الهدف المطلوب، والمتمثل بتحقيق حالة استجابة شبه ستاتيكية بالسلوك الاهتزازي للوح.

الجدول (5): قيم الترددات الذاتية الموافقة لحالات التعديل المعتمدة

رقم التعديل	1	2	3	4	5	6
A	34	39	88	167	185	202
B	34	38	87	166	183	216
C	34	39	88	167	184	216
D	34	38	88	164	167	184
E	35	40	105	147	166	199
F	40	43	95	167	187	203
G	40	49	92	166	179	184
H	39	43	45	49	53	58
I	55	58	76	100	--	--

[12] Siemens, "Overlap: What, Why and How to use it". Siemens Product Lifecycle Management Software Inc, 2022.
<https://community.sw.siemens.com/s/article/Overlap-What-Why-and-How-to-use-it>

References:

- [1] Steinberg, Dave s. (2000). Vibration Analysis for Electronic Equipment. 3rd Ed. Los Angeles: USA. John Wiley & Sons, Inc.
- [2] Vibration Research University. Sine Sweep Test.
<https://vru.vibrationresearch.com/lesson/sine-sweep-test/>
- [3] Boiko, Julius. Kovtun, Igor. Petrashchuk, S. (2017). Vibration Transmission in Electronic Packages Having Structurally Complex Design. IEEE First Ukraine Conference on Electrical and Computer Engineering (UKRCON). Khmelnytskyi, Ukraine.
- [4] Mahajan, Nikhil V. Chippa P, Shriniwas. and Majage S, Abhijit. Dynamic Analysis of Body Control Module. SAE International. January 1, 2015.
<https://www.sae.org/publications/technical-papers/content/2015-26-0203/>
- [5] Kovtun Svitlana. And Kałaczyński, Tomasz. (2019). Methods for Vibration Reduction in Enclosed Electronic Packages. Proceedings of the 18th International Conference Diagnostics of Machines and Vehicles. Vol. 302, Bydgoszcz, Poland.
- [6] Herder, Erik. And Jenaker. Erik. (2020). Vibration Isolation for Electronics on an Autonomous. Bachelor Degree. Mechanical Engineering. University of Skovde. Skovde: Sweden. Pages 41.
- [7] Siemens, "What is Transfer Path Analysis", Siemens Product Lifecycle Management Software Inc, 2014.
- [8] Ye, Shaogan. Hou, Liang. Zhang, Pandeng. Bu, Xiangjian. Xiang, Jiawei. Tang, Hesheng. and Lin, Jiahe. (2020) Transfer Path Analysis and its Application in Low-frequency Vibration Reduction of Steering Wheel of a Passenger Vehicle. Applied Acoustics. Vol. 157. Elsevier.
- [9] Dassault systems, Noise Vibration and Harshness (NVH) Analysis of a full Vehicle model, 3D Experience Company, 2015.
- [10] ANSYS. (2009). Theory Reference for the Mechanical APDL and Mechanical application. USA. ANSYS, Inc. P:1226.
- [11] Sandsten, Maria. (2020) Time-Frequency Analysis of Time-Varying Signals and Non-Stationary Processes; An Introduction. Lund University, Centre for Mathematical Sciences.