

فعالية تحسين آلية نقل القدرة إلى مضخة تزويد الطائرات بالوقود باستخدام تقنية تحليل الاهتزازات

سليمان حاتم سليمان، عصام قرقوط، رakan محمد الحاج عبد

¹ طالب دكتوراه في هندسة تصميم وبناء الآلات في قسم هندسة التصميم الميكانيكي بكلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية بجامعة دمشق. SolimanSoliman@damascusuniversity.edu.sy

² أستاذ مساعد في قسم هندسة التصميم الميكانيكي بكلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية بجامعة دمشق. vice-science.fmee2@damascusuniversity.edu.sy

³ مدرس في قسم هندسة التصميم الميكانيكي بكلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية بجامعة دمشق.

تاريخ الإيداع: 2022/8/16

تاريخ القبول: 2022/10/5

المخلص



حقوق النشر: جامعة دمشق - سورية،
يحتفظ المؤلفون بحقوق النشر بموجب
الترخيص CC BY-NC-SA 04

يتناول هذا البحث قياس الاهتزازات في آلية نقل القدرة إلى مضخة تزويد الطائرات بالوقود ذات الإنتاجية العالية. تم استخدام تقنية تحليل الاهتزازات لتحديد بارامترات الاهتزاز في الأجزاء الداخلية لنموذج أساسي لهذه الآلية و تأثيرها بالعيوب الحاصلة فيها من الناحية التصميمية والتقنية. بهدف زيادة الوثوقية وخفض بارامترات الاهتزاز أثناء الاستثمار، تم إجراء تعديل تصميمي لآلية نقل القدرة في النموذج الأساسي شمل إضافة علبة سرعة مساعدة و وحدة نقل قدرة ذات وصلة مسننية، كما تم تقليل طول عمود نقل الحركة إلى المضخة. أظهرت نتائج الدراسة التجريبية للنموذج المعدل لآلية نقل القدرة إلى المضخة، انخفاضاً ملحوظاً في سرعة و تردد الاهتزاز و زيادة إنتاجية المضخة أثناء التزويد بمعدل (23Litter/minute)، مقارنة بالنموذج الأساسي.

الكلمات المفتاحية: آلية نقل القدرة، مضخة تزويد الطائرات بالوقود، تقنية تحليل

الاهتزازات، عمود نقل الحركة، سرعة و تردد الاهتزاز .

improvement of the power transmission mechanism to aircraft refueling pump By vibration analysis technology

**Souliman Hatem Souliman, Essam Karkot,
Rakan Mouhammad Alhaj Abd**

¹*Graduate Student (PhD) in Machinery Design and Building Engineering in the Mechanical Design Engineering Department, Faculty of Mechanical and Electrical Engineering, Damascus University, SolimanSoliman@damascusuniversity.edu.sy.

²Assistant Professor in the Mechanical Design Engineering Department, Faculty of Mechanical and Electrical Engineering, Damascus University, vice-science.fmee2@damascusuniversity.edu.sy.

³Lecturer in the Department of Mechanical Design Engineering, Faculty of Mechanical and Electrical Engineering, Damascus University

Abstract

Received: 16/8/2022

Accepted: 5/10/2022



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

This paper deals the measurement of vibrations in mechanism of power transmission to the aircraft fueling pump with high productivity. Vibrations analysis technology was used to determine the vibration parameters in the internal parts of the base model at this mechanism and their impact on the defects in it from the design and technical point of view. In order to increase reliability and reduce vibration parameters during investment, a design modification of the power transmission was made in the base model, including the addition of an auxiliary gearbox and a power take off unit, and the length of the cardan shaft to the pump was reduced. The results of the experimental study of the modified model of power transmission mechanism to the pump showed a significant decrease in the speed and frequency of vibration and increase pump productivity while feeding rate (23Litter/minute), compared to the base model.

Key words: Power Transmission Mechanism, Aircraft Refueling Pump, Vibration Analysis Technology, Transmission Shaft, Speed And Frequency Of Vibration.

1- المقدمة:

إن تحليل الاهتزازات من أكثر التقنيات الحديثة انتشاراً التي تستخدم لتقييم الأعطال و تشخيصها في مسننات علب نقل الحركة، كما تعتبر أحد أساليب الصيانة بمراقبة الحالة (CBM) في الآلات، حيث تعتمد على مراقبة إشارات الاهتزاز المقاسة بواسطة حساس مثبت على غطاء علبه نقل الحركة أو غطاء المحامل. في حالة ظروف التشغيل الطبيعية تولد الأجزاء الداخلية للأجهزة الدوارة إشارة اهتزازية مركبة تتألف من مجموعة ترددات تتوقف على تردد الدوران لكل جزء على حدا، الترددات الدنيا في تلك الإشارة تكون ناتجة عن محاور الدوران بينما الترددات العليا فهي ناتجة عن تعشيق المسننات مع بعضها، وأما الترددات الوسطية فتكون لبقية المكونات كالمحامل [1].

يعتبر تردد التعشيق والترددات التوافقية و الترددات الجانبية لتردد التعشيق من أهم مؤشرات كشف وتشخيص الأعطال في المسننات، فعندما تكون المسننات في حالة جيدة فإن سعة تردد التعشيق تكون أعلى من سعة الترددات التوافقية له وعادة ما تظهر مجموعة واحدة من الترددات الجانبية تتركز عند تردد العمود الدوار لكل مسنن، حيث أن التغير في سعة تردد التعشيق يدل على تشوه في شكل أسنان المسننات ويسبب زيادة سعة تردد التعشيق والترددات التوافقية له، وزيادة التآكل في القطع تزداد سعة الترددات التوافقية وخاصة ذات الترددات العالية [2-3].

عند ظهور أي عيب في مكونات الأجهزة الدوارة أثناء نقل الحركة ستتولد إشارة اهتزازية تختلف في بعض سماتها عن الإشارة الطبيعية، وتظهر الاختلافات غالباً في سعة تردد عمود إعطاء الدوران

الرئيسي وفي سعة تردد الجزء الذي فيه مشكلة، وكذلك سعة الترددات التوافقية المصاحبة لهما وأماكن توضعها وانتشارها [4-5]. إن اختلاف السعة والتوضع في الترددات الجانبية والترددات التوافقية الناتجة عن اهتزاز عمود نقل الحركة عادة ما يشير إلى مشاكل عدم الاتزان وعدم المحاذاة واللامركزية وهي من أهم مصادر أعطال المسننات [6]. الجدير بالذكر أن تغير الحمل الناتج عن تماس الأسنان يؤثر في المحرك الذي يعطي الحركة الدورانية [7]، كما أن الانخفاض في سعة الاهتزازات يعتبر من المؤشرات المهمة التي تدل على حدوث انخفاضاً في صلابة المسننات وينتج عنه انحناءً لأسنان المسنن [8].

تشكل تقنية الصيانة بمراقبة الحالة (CBM) في كشف الأعطال وتقييمها عن طريق تحليل الاهتزازات ما يقارب (75%) من طرق الكشف المبكر للعيوب التي يمكن أن تحدث في آليات نقل الحركة، كما تؤكد المصادر العلمية أن طريقة الكشف هذه تسمح بتشخيص طيف واسع من الأعطال منها (عدم التوازن - عدم المحاذاة - عدم المركزية - أعطال المحامل - الخلطة الميكانيكية - أعطال المسننات - أعطال الآلات الهيدروليكية والمضخات - انحناء وتآكل المحاور نتيجة الاحتكاك).

يوضح الشكل (1) حجم استخدام تقنية تحليل الاهتزازات في تقييم حالة التجهيزات كنسبة مئوية من طرق الكشف الأخرى [9].



الشكل (1) نسبة استخدام تقنية تحليل الاهتزاز في تقييم الأعطال

2- مؤشرات قياس وتحليل بارامترات الاهتزازات في الآلات:

تحدث الاهتزازات في الآلات نتيجة مؤثرات معينة تؤدي لرد فعل معين يترتب عليه تحديد طريقة القياس الواجب اتباعها، وهناك ثلاثة مؤشرات رئيسية لقياس وتحليل الاهتزازات في أجزاء الآلات هي:

1- الإزاحة (Displacement): تعبر عن مسافة الحركة، وهي طريقة مفيدة في حالة الترددات الأقل من (5HZ) مثل اهتزازات المباني والجسور والاهتزازات التي تسبب الزلازل.

2- التسارع (Acceleration): يعبر عن معدل التغيير في السرعة (Speed)، ويتم بدلالته مراقبة الترددات الأعلى من (2KHZ) لكشف الاهتزازات الناتجة عن مسنن (Gear) أو محمل (Bearing)، ويعبر عن التسارع برقم منسوب إلى تسارع الجاذبية الأرضية ($g=9.80665m/s^2$) بالشكل ($a=X.g$) حيث (X) هي قيمة متغيرة حسب القياس.

3- السرعة (Velocity): تعبر عن سرعة الحركة، وقد اقترحت المنظمة الدولية للقياس (ISO) نظام قياس عالمي لوحدة قياس اهتزازات الآلة هو متوسط الجذر التربيعي (root.mean.square) (r.m.s) لمجموع سرعات موجات الاهتزاز، وتم إقرار هذا النظام لتحديد معيار القيمة الفعالة لتابع السرعة. بما أن معظم التجهيزات الدوارة تعمل في مجال ترددات (10Hz) وحتى (1KHz) فإن سرعة الاهتزاز تعتبر البارامتر الأنسب لتحديد قيمة الاهتزاز ووضع الآلة.

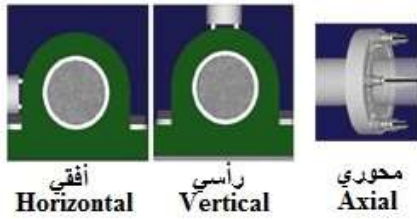
يعتمد تحليل الاهتزازات (VibrationAnalysis) على معرفة كل تردد وكل إشارة موجودة بالبيانات المقاسة وهي تنقسم في ذلك لعدة أنواع:

1- الطيف (Spectrum):

هو علاقة ما بين التردد الذي يصف معدل اهتزاز الجزء على المحور الأفقي ووحدته (HZ) أو دورة في الثانية (CPS)، وسعته (Velocity Amplitude) عند هذه الترددات على المحور الشاقولي، وتتوقف وحدته على القيمة المقاسة إما مطال (mm) أو سرعة (mm/s) أو تسارع بالنسبة لتسارع الجاذبية الأرضية (Xg) التي تصف حدة الاهتزاز، وكل قمة (Peak) في الطيف (Spectrum) لها مدلول يجب الانتباه إليه وأخذ القرار المناسب وفقه.

2- منحنى (Time- Wave Form):

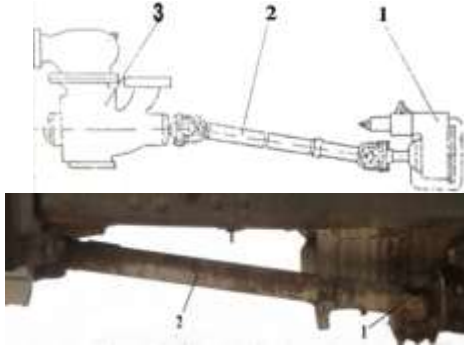
هو علاقة ما بين الزمن (T) ووحدته (Seconds) على المحور الأفقي، وسعته الاهتزاز (VelocityAmplitude) وفق القيمة المقاسة على المحور الشاقولي، وهو أحد أهم أدوات التحليل أيضاً خاصة عند تحليل أداء المسننات أو أجزاء نواقل الحركة.



الشكل (2) كيفية أخذ قياس اهتزاز أجزاء الآلة في الاتجاهات الثلاثة (X,Y,Z)

في الشكل (2) يكون الاتجاه الأفقي عمودي على العمود الدوار (Rotating Shaft) والموازي لسطح الأرض والاتجاه الشاقولي عمودي على سطح الأرض، أما الاتجاه المحوري (Axial) فيكون موازياً للعمود

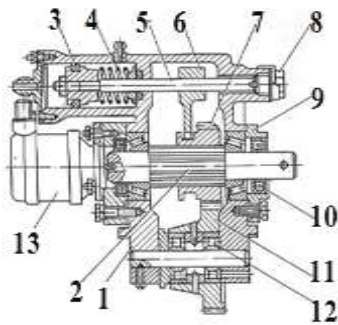
الأساسي المدروس وفيه عمود نقل الحركة (2) يبلغ طوله بالقياس (110Cm).



الشكل (3) مخطط آلية نقل القدرة إلى مضخة تزويد الطائرات بالوقود في النموذج الأساسي [10] وفيه:

1- وحدة نقل القدرة (PTO). 2- عمود نقل الحركة من وحدة نقل القدرة إلى المضخة. 3- مضخة تزويد الطائرات بالوقود.

- يظهر في الشكل (4) مقطع لوحدة نقل القدرة التي يعتمد مبدأ عملها في تعشيق مسنني نقل الحركة على تأثير الهواء المضغوط بضغط يجب ألا يقل عن (6kg/cm^2) على شوكة تحريك المسنن أثناء التعشيق والفصل.



الشكل (4) مقطع لوحدة نقل القدرة إلى مضخة تزويد الطائرات بالوقود في النموذج الأساسي لآلية نقل القدرة [11]، وفيه:

1- جسم وحدة نقل القدرة. 2- محور مخدد. 3- مانعة مطاوية لرأس المكبس. 4- أسطوانة. 5-

الدوار وفي اتجاهه نفسه. تكمن أهمية القياس في الاتجاهات الثلاثة (X,Y,Z) أن الأخطاء الظاهرة يكون تأثير بعضها أكبر بالاتجاه الأفقي مثل عدم التوازن (Imbalance) وانحناء المحاور، وبعضها الآخر يكون تأثيره أكبر بالاتجاه المحوري مثل التوضع الخاطيء (Misalignment).

3- السعة (Amplitude): هي أقصى إزاحة (Displacement) لجسم بعيداً عن موضع اتزانه (Equilibrium Position)، ووحدة السعة في نظام القياس الدولي SI هي (m). في معظم الأحيان لضمان سلامة الآلة فيما يتعلق بالمحاذاة (Alignment) والتوازن (Balance) يكون حساس القياس (Sensor) مجهزاً للقياس بأكثر من طريقة لتحقيق مرونة القياس ووثوقيته.

3- منهجية البحث:

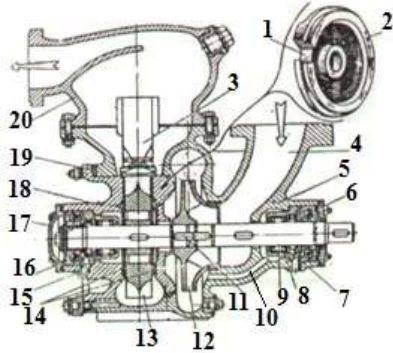
- تبين من خلال الدراسة الميدانية لنموذج أساسي لآلية نقل القدرة إلى مضخة تزويد الطائرات بالوقود، وجود اهتزازات متزايدة في عمود نقل الحركة من وحدة نقل القدرة إلى المضخة عبر عمود نقل الحركة بسبب التقادم وحدث تآكل في الأجزاء الداخلية لوحدة نقل القدرة (PowerTakeOff) من جهة، ومحور ومحامل المضخة من جهة أخرى، وزيادة الخلوصات والتشوهات الهندسية في الشكل والأبعاد لهذه الأجزاء، مما أدى إلى وجود صعوبة في عملية وصل وفصل مسننات وحدة نقل القدرة، إضافة لطول عمود نقل الحركة فأصبحت مجموعة نقل الحركة لا تؤمن الانتقال الانسيابي التدريجي للعزم الدوراني إلى المضخة، يوضح الشكل (3) مخطط آلية نقل القدرة إلى مضخة تزويد الطائرات بالوقود في النموذج



الشكل (5) التشوهات والعيوب في الأجزاء الداخلية لوحدة نقل القدرة في النموذج الأساسي بسبب الاهتزازات

- يظهر في الشكل (6) مقطع لمضخة تزويد الطائرات بالوقود و أجزائها الداخلية، ونذكر مواصفاتها الفنية التالية:

1. الإنتاجية:
 - (750Litter/minute) عند عدد دورات عمود المضخة (1700r.p.m).
 - (550Litter/minute) عند عدد دورات عمود المضخة (1500 r.p.m).
2. قيمة الضغط الأعظمي أثناء التزويد بالوقود $(4 \pm 0,3 \text{ Kg/cm}^2)$.
3. قطر فتحة السحب (80mm)، أما قطر فتحة الدفع (70mm).
4. الوزن (40Kg).
5. الارتفاع عند الضخ: (160m) عمود مائي.
6. ارتفاع السحب (5.5m).
7. ارتفاع الدفع (54m).



محور الشوكة.6- شوكة تحريك المسنن. 7- مسنن وسيط. 8- سدادة ذات برغي عياري يحدد طول شوط المكبس.9- غطاء محمل. 10- جلبة. 11- مسنن رئيسي. 12- محمل. 13- مقياس سرعة الدوران.

- يحدث في وحدة نقل القدرة PTO للنموذج الأساسي المدروس لآلية نقل القدرة إلى المضخة نتيجة الحمولات الاهتزازية الآثار السلبية التالية:

1. تآكل سطح وأسنان المسنن الرئيسي والمسنن الوسيط نتيجة الاحتكاك أثناء الفصل والوصل وحدوث تشوهات هندسية في كل من الشكل و الأبعاد.
2. تآكل المحور الحامل للمسنن الرئيسي و حدوث تنقر وتشوهات سطحية فيه، و تكسر شوكة تحريك المسنن الرئيسي في بعض الحالات نتيجة الإجهادات الميكانيكية الناتجة عن عدم السلاسة أثناء الفصل والوصل فتتداخل الأسنان مع بعضها بشكل جزئي.
3. تآكل كريات المحامل الحاملة للمحور المخدد الذي يتوضع عليه المسنن الوسيط نتيجة للحمولات الاهتزازية لعمود نقل الحركة وحدوث خلوصات مع المحور الحامل لها.
4. اهتراء و تلف المانعة المطاطية الموجودة في رأس المكبس المسؤول عن تحريك شوكة تعشيق المسنن.

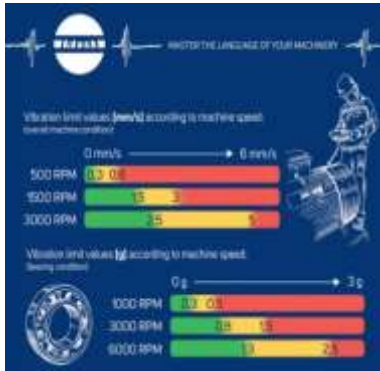
- و يظهر في الشكل (5) التشوهات و العيوب في الأجزاء الداخلية لوحدة نقل القدرة PTO في النموذج الأساسي لآلية نقل القدرة بسبب الاهتزازات.



الشكل (7) جهاز قياس وتحليل الاهتزاز في أجزاء آلية نقل القدرة إلى مضخة تزويد الطائرات بالوقود Adash4900Vibrio

3-2- حدود تأثير الاهتزازات في أجزاء الآلات:

عند تفاقم المشاكل في أجزاء الآلات فإن مستوى الاهتزازات يأخذ بالازدياد إلى أن يصل العيب الحاصل لمراحل خطيرة لا يمكن احتواءها والسيطرة عليها، وبناء عليه كما يتضح في الشكل (8) تم وضع الحدود المسموحة لبارامترات الاهتزاز في أجزاء الآلات بدلالة عدد الدورات.



الشكل (8) القيم القياسية لسرعة وتسارع الاهتزاز في أجزاء الآلات عند عدد دورات معين حيث:

الشكل (6) مقطع في مضخة تزويد الطائرات بالوقود

طرز C4JI-20-24A [12]

- 1- قنال .
- 2- غطاء متحرك .
- 3- فاصل (عازل) الهواء .
- 4- مجرى الامتصاص .
- 5- جسم المضخة .
- 6- محمل كروية .
- 7- طوق الحلقة المانعة للتسرب .
- 8- الحلقة المانعة للتسرب .
- 9- محور .
- 10- قناة .
- 11- محمل .
- 12- دولاب نابذي .
- 13- شفرات عنفية .
- 14- حلقة نحاسية .
- 15- فتحة التفريغ .
- 16- محمل .
- 17- غطاء المحمل .
- 18- الغطاء الخارجي .
- 19- طوق عياري مانع للتسرب .
- 20- سداة .

- يوجد في المضخة قرص عنفي يتميز بتدفق جيد وسحب ضعيف، وقرص نابذي يتميز بسحب جيد وتدفق ضعيف وتزود المضخة بصمام أمان هيدروليكي لمنع دخول الهواء وتسرب الوقود من وإلى خارج المضخة فيقل ارتفاع السحب.

3-1- الجهاز المستخدم لقياس الاهتزازات في

أجزاء آلية نقل القدرة إلى المضخة:

- يمكن تحقيق قياس الاهتزاز من خلال مجموعة متنوعة من معدات تحليل ومراقبة الاهتزاز، وغالباً ما توجد صعوبة في معرفة نظام قياس الاهتزاز الذي يعمل بشكل أفضل لتطبيق دون آخر بالتجربة. تم استخدام جهاز Adash4900Vibrio التشيكي الصنع لقياس وتحليل الاهتزاز لأجزاء آلية نقل القدرة في النموذج الأساسي، حيث يوصل بالحاسوب ويستخدم برنامج DDS2021 الذي يعمل على نظام (Windows). يظهر الجهاز المستخدم لقياس بارامترات الاهتزاز في الشكل (7).

خرج علبة السرعة وبالتالي محور المضخة، وعدد أسنانها (Z1=34,Z2=27,Z3=24).

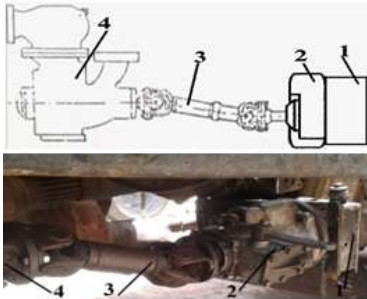
C- محامل مع مقراتها في كل من الجسم والغطاء لحمل الأعمدة الثلاثة، و خوابير لتثبيت المسننات.

2- تركيب وحدة نقل قدرة PTO بديلة عن وحدة نقل القدرة في النموذج الأساسي، و تظهر في الشكل (10) يعتمد مبدأ عملها في نقل الحركة على وصلة مسننية داخلية، مع وجود ذراع موصول مع محور وشوكة للفصل و الوصل، ومحمل كبير يحمل المحور الرئيسي لوحدة نقل القدرة بشكل مركزي لتقليل الاهتزازات أثناء نقل العزم الدوراني.



الشكل (10) وحدة نقل القدرة PTO الجديدة البديلة في النموذج المعدل لآلية نقل القدرة إلى مضخة تزويد الطائرات بالوقود

3- تجهيز عمود نقل الحركة بالطول المناسب و فلنشتي الوصل لنقل الحركة من وحدة نقل القدرة إلى المضخة بما يناسب التصميم الجديد الذي يظهر في الشكل (11).



الشكل (11) النموذج المعدل لآلية نقل القدرة إلى مضخة التزويد الأرضي للطائرات بالوقود

▪ اللون الأخضر: يدل على مجال عمل الآلة بشكل طبيعي

▪ اللون الأحمر: يدل على مجال عمل الآلة مع خطورة كبيرة

4-التعديل التصميمي على آلية نقل القدرة إلى مضخة تزويد الطائرات بالوقود:

- تضمن التعديل التصميمي على آلية نقل القدرة إلى مضخة تزويد الطائرات بالوقود في النموذج الأساسي المدروس تنفيذ مايلي:

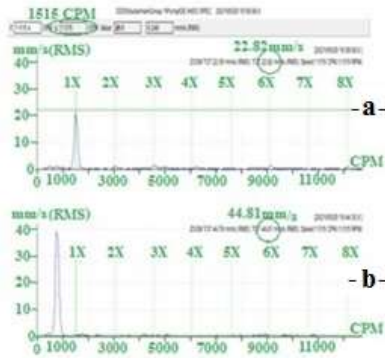
1- تصنيع علبة سرعة مساعدة مع الغطاء، و تركيبها بحيث تأخذ حركتها من نهاية العمود الوسيط لعلبة السرعة الرئيسية و تحوي بداخلها:

A- ثلاثة أعمدة أولي و وسيط و ثانوي تؤمن مسافة مركزية بين العمودين الأولي والثانوي (20.8Cm) لتحقيق التسامت مع محور المضخة. ويظهر الشكل (9) بعضاً من عمليات تصنيع أجزاء علبة السرعة المساعدة.



الشكل (9) بعض عمليات تصنيع أجزاء علبة السرعة المساعدة في النموذج المعدل لآلية نقل القدرة إلى المضخة B- ثلاثة مسننات ذات أسنان مستقيمة أقطارها (D1=124mm,D2=102mm,D3=92mm)، يتم توضعها بحيث تحقق زيادة سرعة الدوران على

- يعطي هذا القياس مؤشراً واضحاً على أن سرعة الاهتزاز في النموذج الأساسي تتعلق بعدد دورات عمود المضخة ويتناسب عكساً معه، حيث تزداد سرعة الاهتزاز عند العمل بدون حمل وعدد دورات منخفضة، كما تنخفض قيمتها عند العمل مع حمل و عند عدد دورات أعلى.



الشكل (13) سرعة الاهتزاز على المضخة عند حالتها عمل:

(a) عدد دورات (1515r.p.m) مع حمل

(b) عدد دورات (782r.p.m) بدون حمل

- هناك تباين واضح في سرعة الاهتزاز بين حالتها عمل المضخة مع أو بدون حمل، حيث توجد توافقية على مثل واحد (1X) عند عدد دورات (1515r.p.m)، يعتبر هذا أحد المؤشرات على وجود خلوص (Lossness) في آلية نقل القدرة عبر عمود نقل الحركة إلى المضخة، كما تبين أن السرعات غير ثابتة لأنها تتعلق بعدد دورات المحرك أثناء العمل، ولا يمكن ضبطها بدقة.

□ تم أخذ القياس على وحدة نقل القدرة (PTO)

و حصلنا على النتائج التالية:

1- يظهر طيف الاهتزاز على وحدة نقل القدرة (PTO) التي تعطي الحركة إلى المضخة قمة أو توافقية عند تردد الاهتزاز (27675cpm)، و الذي يساوي (18) ضعف من تردد الاهتزاز لعدد الدورات

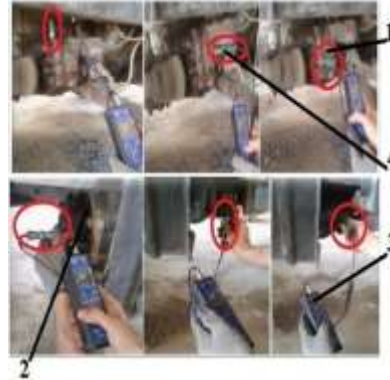
5- النتائج والمناقشة:

5-1- تجربة قياس الاهتزازات في أجزاء النموذج

الأساسي لآلية نقل القدرة إلى مضخة تزويد الطائرات بالوقود:

- نبين في الشكل (12) عملية أخذ قياس الاهتزاز على مضخة تزويد الطائرات بالوقود، ووحدة نقل القدرة في النموذج الأساسي لآلية نقل القدرة، ويظهر فيه مايلي:

1- وحدة نقل القدرة. 2- مضخة تزويد الطائرات بالوقود. 3- جهاز قياس الاهتزازات. 4 - حساس جهاز قياس الاهتزازات.

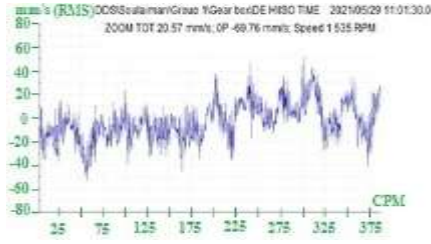


الشكل (12) لحظة أخذ قياس الاهتزاز باستخدام جهاز القياس طراز Adash4900 على وحدة نقل القدرة (PTO) و على المضخة في الاتجاهات الثلاث X,Y,Z

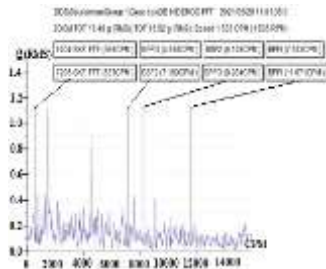
□ تم أخذ قياس الاهتزاز على مضخة تزويد الطائرات بالوقود، و حصلنا على النتائج التالية:

1- بدون حمل: عند عدد دورات (782r.p.m)، وصلت سرعة الاهتزاز في بعض النقاط إلى (44,81mm/s) كما يظهر في الشكل (13-b).

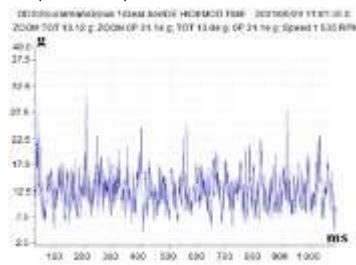
2- مع حمل: عند عدد دورات (1515r.p.m)، وصلت سرعة الاهتزاز إلى (22,82mm/s) كما يظهر في الشكل (13-a).



الشكل (15) مخطط السرعة الموجي للاهتزاز على وحدة نقل القدرة في النموذج الأساسي لآلية نقل القدرة إلى المضخة 3- يبين الشكل (16) ارتفاع رقم تسارع الاهتزاز (Xg) الذي يعتبر مؤشراً على بداية عطل المحامل رقم (7206) لمحور المسنن الرئيسي الذي عدد أسنانه (Z1=18) في وحدة نقل القدرة PTO.



الشكل (16) طيف الاهتزاز وفق قيمة تسارع الاهتزاز Xg - و في الشكل (17) يظهر المخطط الموجي لتسارع الاهتزاز Xg وقيمتة مرتفعة (31.14g).

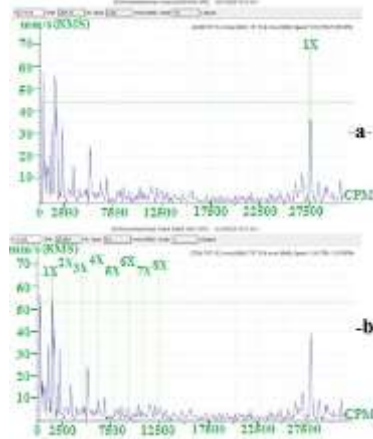


الشكل (17) المخطط الموجي لتسارع الاهتزاز (Xg) 5-2 تجربة قياس الاهتزازات في أجزاء النموذج المعدل لآلية نقل القدرة إلى مضخة تزويد الطائرات بالوقود:

- يظهر في الشكل (18) لحظة أخذ قياس بارامترات الاهتزاز في أجزاء النموذج المعدل لآلية نقل القدرة إلى مضخة تزويد الطائرات بالوقود.

(1535 r.p.m) وهذا ما نسميه تردد تعشيق المسنن الرئيسي في وحدة نقل القدرة و الذي عدد أسنانه (Z=18) مع المسنن الوسيط الذي عدد أسنانه (Z=24). يعتبر ذلك مؤشراً على وجود خلوص أثناء تعشيق المسننين، يؤدي إلى زيادة اهتزازهما وحدوث ضجيج (noise floor) نتيجة عدم نقل العزم بشكل سلس، وينعكس سلباً على أداء مضخة تزويد الطائرات بالوقود.

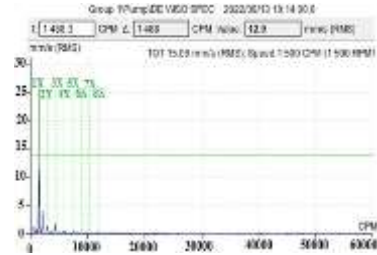
2- يوضح طيف الاهتزاز (FFT) الذي يظهر في الشكل (14-a) إحدائيات تردد الاهتزاز عند عدد الدورات (27675c.p.m)، وفي الشكل (14-b) يوضح إحدائيات تردد الاهتزاز عند عدد الدورات (1535c.p.m):



الشكل (14) طيف الاهتزاز عند القياس على وحدة نقل القدرة في النموذج الأساسي لآلية نقل القدرة إلى المضخة - و يظهر في الشكل (15) مخطط السرعة الموجي للاهتزاز (Waveform) عند القياس على وحدة نقل القدرة في النموذج الأساسي أن قيمة سرعة الاهتزاز (20.57mm/sec) عند عدد الدورات (1535c.p.m).

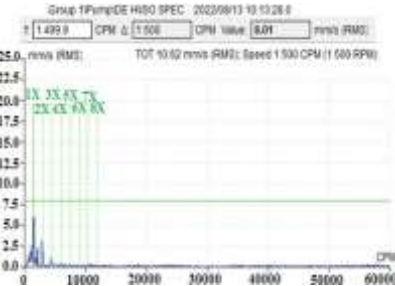
□ تم أخذ قياس الاهتزاز على المضخة في النموذج المعدل لآلية نقل القدرة و حصلنا على النتائج:

1- مع حمل عند عدد دورات (1500r.p.m)، بلغت سرعة الاهتزاز في بعض النقاط (15,06mm/s)، كما يظهر في الشكل (21).



الشكل (21) طيف الاهتزاز عند القياس على المضخة في النموذج المعدل لآلية نقل القدرة عند (1500r.p.m)

2- مع حمل عند عدد دورات (1500r.p.m) أصبحت سرعة الاهتزاز في نقاط أخرى (10,62mm/s)، كما يظهر في الشكل (22).



الشكل (22) طيف الاهتزاز على المضخة بالاتجاه المحوري في النموذج المعدل لآلية نقل القدرة عند (1500r.p.m)

□ تم أخذ قياس الاهتزاز على وحدة نقل القدرة في النموذج المعدل لآلية نقل القدرة و حصلنا على النتائج التالية:

1- يظهر في الشكل (23) مخطط موجة الاهتزاز (Waveform) على وحدة نقل القدرة للنموذج المعدل لآلية نقل القدرة عند عدد دورات (1500r.p.m)،



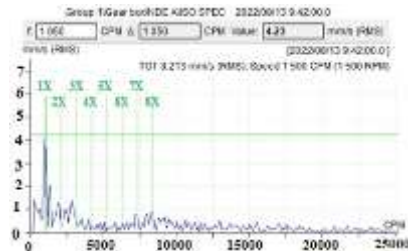
الشكل (18) لحظة أخذ القياس على أجزاء آلية نقل القدرة في النموذج المعدل باستخدام جهاز Adash4900Vibrio □ تم أخذ قياس الاهتزاز على علبه السرعة المساعدة المضافة لآلية نقل القدرة في النموذج المعدل و حصلنا على النتائج التالية:

1- مع حمل عند عدد دورات (1500r.p.m) وصلت سرعة الاهتزاز في بعض النقاط إلى (12,67mm/s)، كما يظهر ذلك في الشكل (19).



الشكل (19) طيف الاهتزاز عند القياس على علبه السرعة في النموذج المعدل لآلية نقل القدرة عند (1500r.p.m)

2- مع حمل عند عدد دورات (1500r.p.m) وصلت سرعة الاهتزاز في نقاط أخرى إلى (8,213mm/s)، كما يظهر ذلك في الشكل (20).



الشكل (20) طيف الاهتزاز عند القياس في بعض النقاط على علبه السرعة في النموذج المعدل عند (1500r.p.m)

(2) تبين من مخطط موجة الاهتزاز (Waveform) على وحدة نقل القدرة في النموذج المعدل لآلية نقل القدرة أن سرعة الاهتزاز في بعض النقاط بلغت (17,11mm/s) عند عدد دورات (1500r.p.m)، بينما كانت في النموذج الأساسي (20.57mm/sec) عند عدد الدورات (1535c.p.m).

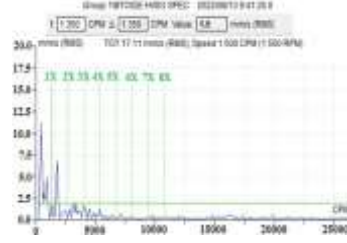
(3) بينت نتائج قياس وتحليل الاهتزاز على خرج علب السرعة المساعدة المضافة في التصميم الجديد للنموذج المعدل لآلية نقل القدرة أن سرعة الاهتزاز في بعض النقاط مع حمل عند عدد دورات (1500r.p.m) كانت (12,67mm/s)، وفي نقاط أخرى أصبحت (8,213mm/s).

(4) تبين أن تردد الاهتزاز يتعلق بشكل دائم بعدد الدورات ويتناسب طردياً معه، و أن سرعة الاهتزاز تتأثر أيضاً بعدد الدورات فتتخفف مع زيادتها في كل القياسات المأخوذة في التجارب على النموذجين الأساسي والمعدل.

(5) تبين أن تقليل طول عمود نقل الحركة من (110Cm) في النموذج الأساسي إلى (30Cm) في النموذج المعدل له دور إيجابي كبير في تخفيض بارامترات الاهتزاز وتحسين أداء آلية نقل القدرة إلى المضخة أثناء تزويد الطائرات بالوقود.

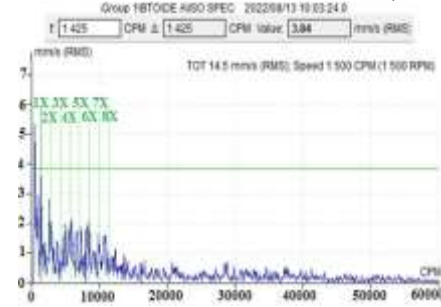
(6) تبين من خلال تحليل طيف الاهتزاز لوحدي نقل القدرة PTO في النموذجين الأساسي والمعدل لآلية نقل القدرة حدوث ضجيج (noise floor) على النموذج الأساسي أعلى من النموذج المعدل كما يظهر ذلك بوضوح في الشكل (25).

حيث بلغت سرعة الاهتزاز في بعض النقاط (17,11mm/s).



الشكل (23) مخطط السرعة الموجي للاهتزاز عند القياس على وحدة نقل القدرة في النموذج المعدل لآلية نقل القدرة 2- و

بالقياس في نقاط أخرى يظهر في الشكل (24) أن سرعة الاهتزاز عند عدد دورات (1500r.p.m) أصبحت (14,5mm/s).



الشكل (24) مخطط السرعة الموجي للاهتزاز عند القياس على وحدة نقل القدرة في النموذج المعدل لآلية نقل القدرة

6- الاستنتاجات:

(1) نوقشت نتائج تعديل آلية نقل القدرة من حيث تحسين بارامترات الاهتزاز حيث انخفضت سرعة الاهتزاز على المضخة أثناء عملها مع حمل من (22,82mm/s) في النموذج الأساسي عند عدد دورات (1515r.p.m)، إلى (10,62mm/s) في النموذج المعدل لآلية نقل القدرة عند عدد دورات (1500r.p.m)، وهذا يعطي دليلاً واضحاً على تحسين آلية نقل القدرة في النموذج المعدل مقارنة بالنموذج الأساسي.

Cardan Shaft: عمود نقل الحركة.

Displacement: الإزاحة.

Acceleration: التسارع.

Amplitude، Velocity: السعة.

Displacement: أقصى إزاحة.

Alignment: المحاذاة.

(RMS)Root.Mean.Square: جذر المربعات الوسطي لسرعة اهتزاز الآلة (القيمة المنتجة).

Vibration Analysis: تحليل الاهتزاز.

Spectrum: الطيف.

RotatingShaft: العمود الدوار.

Misalignment: التوضع الخاطئ.

EquilibriumPosition: موضع الاتزان.

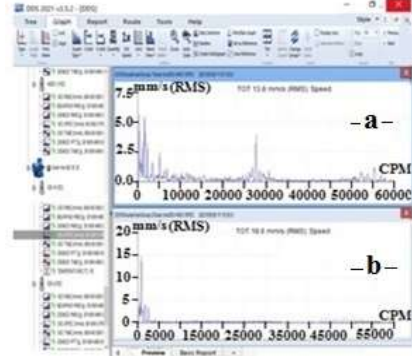
Adash4900Vibro: جهاز قياس الاهتزاز.

(PTO)Power Take Off: وحدة نقل القدرة.

Losseness: خلوص.

Noise floor: مستوى الضجيج.

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



الشكل (25) تحليل طيف الاهتزاز في آليتي نقل القدرة للنموذجين المدروسين ومقارنة حدة الضجيج:

(a) النموذج الأساسي (b) النموذج المعدل

(7) تبين بالتجربة والقياس أن إنتاجية المضخة في النموذج المعدل لآلية نقل القدرة أصبحت (573Litter/minute) بينما كانت في النموذج الأساسي (550Litter/minute) عند عدد الدورات (1500r.p.m) نفسه، وبالتالي تم اختصار زمن تزويد الطائرات بالوقود، وزيادة الإنتاجية بمعدل (23Litter/minute)، وهذا دليل آخر على فعالية تحسين آلية نقل القدرة إلى المضخة أيضاً.

7- المصطلحات:

Condition.Based.Maintenance

(CBM):الصيانة بمراقبة الحالة.

المراجع References:

- [1] R .Bajric, D. Spreic, and N. Zuber, "Review of vibration signal processing techniques towards gear pairs damage identification.International" Journal of Engineering & Technology, 2011. 11(04): p. 124-128.
- [2] D.Mohammed, O. et al, "Vibration signal analysis for gear fault diagnosis with various crack progression scenarios.MechanicalSystems and Signal Processing", 2013. 41: p. 176-195.
- [3] M. K. Dwivedi, V.K. Karma, "Comparative analysis of healthy and cracked spur gear using vibration signal in single stage gear box.International" Journal of Engineering Sciences & Research Technology, 2015. 4(7): p. 1024-1030.

- [4] L.S .Dhamande , M.B. Chaudhari, "an overview of fault detection methods for transmission system components using vibration analysis".International Journal of Emerging Engineering Research and Technology 2014. 2(4): p. 360-368.
- [5] S.Al-Arbi , "Condition monitoring of gear systems using vibration analysis". 2012, Huddersfield Repository. p. 248.
- [6] R.B. Randall, "Vibration-based condition monitoring". 2011: John Wiley & Sons, Ltd. 1-285.
- [7] S.A. Seoud, I. Ahmed, and M. Khalil, "An experimental study on the diagnostic capability of vibration analysis for wind turbine planetary gearbox.International" Journal of Modern Engineering Research 2012. 2(3): p. 667-675.
- [8] V.Saxena , N.K. Chowdhury, and S. Devendiran, "Assessment of gearbox fault detection using vibration signal analysis and acoustic emission technique".Journal of Mechanical and Civil Engineering 2013. 7(4): p. 52-60.
- [9] A.Mzyan, M. Ghanm,M. M. Alkhyat "Preparing a preventive maintenance program for rotating machineries based upon vibration parameter" Graduation project prepared to obtain a master of industrial Engineering. 2014.
- [10] refueller Tz-500 To ,Description, operating,and maintenance instructions, Vol.II No. (3606) 1974.
- [11] Spare parts catalogue of truck, Tz-500,1982.
- [12] Fuel and oil Fuels, voenizdat, Moscow, 1971.