مجلة جامعة تشرين للدراسات والبحوث العلمية - سلسلة العلوم الهندسية المجلد (20) العدد (6+7) 1998
Tishreen University Journal for Studies and Scientific Research –Engineering Science Series Vol. (20) No (6+7) 1998

# تحليل اهتزاز المجموعات الميكانيكية

الدكتور معن حليم بيطار*

(قبل للنشر في 1998/3/11)

## ❐ ملخص ❐

*تعاني أغلب المجموعات الميكانيكية المستخدمة في منشآتنا الصناعية، للقيام بعمليات إنتاجية متنوعة، مثل ضخ السوائل، ضغط الغازات، التهوية، ... من مشاكل الاهتزازات. يمكن تلخيص أسباب هذه المشاكل، بظروف التشغيل القسري والمستمر لهذه المجموعات مما ينتج عنه إهمال اضطراري لصيانتها ومراقبتها الدورية، والاعتماد أحياناً على مجموعات قديمة للقيام بأعمال قاسية خاصة من منشآت مثل مصافي النفط.*

*يهدف هذا البحث إلى تقديم وتطبيق أحدث طرق مراقبة أداء الآلات وتشخيص أعطالها المختلفة، بالاعتماد على التحليل الترددي لاهتزاز Frequency analysis عناصرها. وعرض هذه النتائج بشكل يستطيع فني الصيانة الاستفادة منها لدراسة الأداء الديناميكي للمجموعات الميكانيكية الدوارة، يشير نمو تردد الاهتزاز أو سعته، وفق اتجاه ما إلى بدء حدوث عطل محدد يجب على الفني تحديد مصدره، واقتراح طرق كبحه أو إصلاحه.*

*تتطور بشكل سريع أجهزة الاهتزازات الميكانيكية بسبب الزيادة الكبيرة في الطلب عليها من قبل الشركات الصناعية في العالم، وذلك لأنها تقدم لهم أفضل وأرخص الوسائل في تدارك الأعطال الصغيرة والكبيرة وتحقيق الصيانة المثالية في أوقاتها الصحيحة، وهذا ينعكس إيجاباً على كفاءة الآلة والإنتاج.*

* أستاذ مساعد في قسم القوى الميكانيكية – كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية – جامعة تشرين – اللاذقية – سورية.

مجلة جامعة تشرين للدراسات والبحوث العلمية - سلسلة العلوم الهندسية المجلد (20) العدد (6+7) 1998
Tishreen University Journal for Studies and Scientific Research –Engineering Science Series Vol. (20) No (6+7) 1998

# VIBRATION ANALYSIS OF MECHANICAL SYSTEMS

**Dr. Maan Bitar***

**(Accepted 11/3/1998)**

## ❐ ABSTRACT ❐

*Most used mechanical systems in our industrial plants are suffering from, to submit several production process, like pumping liquids. Pressing gases, ventilation,from vibration problems. We can abstract the reasons of these problems as hard and continuous starting condition, for these systems. As a result neglecting its maintenance, sometimes using old systems to submit hard works especially in plants like refining oils.*

*This research aims at submitting modern methods to observe running machines and diagnose its various faults. Depending on frequency analysis for its plants. Displaying these results in a way that the monitoring can benefit from it, to study the dynamic starting for these systems. raising value in frequency vibration denotes to the direction of faultof stating to the monitoring its place, and suggesting the way of maintenance and damping.*

*The analysis of mechanical vibration develops rapidly due to enormous asking of big industrial plants in all over the world. And because it submits the best and cheapest ways in correcting small and big faults achieving ideal maintenance in the right time, this will react positively upon the efficiency and production of the machines.*

* Associate Professor at Mechanical Power Department, Faculty of Mechanical and Electrical Engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria.

**مقدمة:**

تحليل الاهتزازات Vibration analysis، يختصر عادة بـ(V.A) وتدل مؤشراته على حالة عمل الآلات، وتتحدد من خلالها شروط تشغيل الآلة أو توقيفها للصيانة والإصلاح.

ويعتمد تحليل الاهتزازات من حيث المبدأ على المقارنة بين المستويات الطبيعية والمتوقعة للاهتزازات مع تلك التي سجلت بشكل دوري من قبل مهندس الصيانة باستخدام تجهيزات خاصة بالـ(V.A) وتحدد عادة المستويات الطبيعية للاهتزازات من قبل منتج الآلة أو من المواصفات الدولية القياسية (ISO2372).

**1- طرق صيانة الآلات:**

إن المصانع الإنتاجية التي تستعمل الآلات الدورانية تستخدم إحدى ثلاث طرق لصيانتها:

1- ترك الآلة تعمل حتى تتوقف نهائياً Breakdown maintenance (ويدعى ذلك بإصلاح العطل الكامل "التام"). حيث يمكن أن تكون نتائج هذا العطل فاجعة للمصنع والتجهيزات وحتى العمال.

2- إيقاف الآلة بشكل دوري وتبديل الأجزاء التي من الممكن أن تعطب قريباً فيما إذا كانت معطوبة أم لا ويدعى ذلك (الصيانة الموجهة) Planned maintenance.

إن نتيجة هذا النوع من الصيانة هو خسارة في وقت عمل الآلة وفي قطع التبديل التي تستبدل قبل وقت طويل من تعطلها وفي الكميات الكبيرة لقطع التبديل المطلوبة.

3- تحليل الاهتزازات: وهي طريقة تستخدم بشكل متزايد حيث تجرى الصيانة فقط عندما تشير القياسات إلى ذلك بشكل حاسم (الصيانة الوقائية)[6].

يجب من اليوم الأول الذي نشغل فيه الآلة، أن نحتفظ بسجل كامل لأدائها وخواص مكوناتها، وتحديد مستويات اهتزاز كل منها. تحليل تغيرات الاهتزاز يساعدنا في تحديد العطل المحتمل لأجزاء الآلة وفوائد هذه الطريقة هي:

يمكن أن تطلب القطع الجديدة قبل حصول العطل.

خفض الاضطراب في برنامج العمل والإنتاج إلى القيمة الأصغرية.

تصحيح الأعطال الصغيرة يمكن أن يمنع حدوث الأعطال الكبيرة.

التقليل من الوقت الضائع.

إن تطبيق هذه المبادئ عملياً وبمساعدة الـ(V.A) يتم كالتالي:

المراقبة Monitoring.

التحليل (التشخيص) Analysis/diagnosis.

الحل أو التصحيح Correction.

إن خبرتك الشخصية بصوت السيارة أو الساعة أو المروحة تدل على الأرجح على تغيير هام في أدائها.

إن تشخيصك على الغالب سيكون غير وافٍ لأنه لا توجد تسجيلات نظامية لمستويات الاهتزاز الطبيعية للآلة، وهكذا لكي نحدد بدقة التغيرات الهامة في الأداء، نحتاج لأن نحتفظ بسجل دقيق لمستوى الضجيج أو الاهتزاز ويدعى ذلك (منحني المراقبة).

أما تحت الظروف الواقعية فالناس عادة ما يثقون بالصوت الصادر عن الآلة لكي يقرروا طبيعة العطل وما يفعلونه بالحدس يترجم عملياً بالـ(V.A) بمراقبة أداء الآلات بمساعدة أجهزة ومنظومات متطورة.

توصل بالنقاط الحساسة على مختلف سطوح الآلة وحدات التقاط حساسة تدعى (مجسات أو مثابر) Condenser، التي تكشف الاهتزاز وتولد إشارة إلكترونية مطابقة له وهي إشارة معقدة تغذى إلى المحلل، حيث تحلل إلى مركباتها الأساسية، التي تملك كل منها سعة وتردد محددين.

يتصل خرج المحلل مع جهاز تسجيل مثل، راسمة الخطوط البيانية Plotter (X-Y)، أو شاشة عرض.

الاهتزاز الطبيعي أو المستوى المرجعي يمكن أن يحدد من قبل منتج الآلة أو باتباع أنظمة التقييس العالمية ISO، أو بقياس اهتزاز الآلة التي نتكلم عنها عند معرفتنا أنها في حالة جيدة وتعمل عند حمولة طبيعية.

أن انحراف في الإشارة المرجعية الطبيعية سيظهر لنا تغيراً في حالة تشغيل الآلة، إذا اكتشفنا ذلك فقد يمكننا التخلص من أعمال الصيانة ومنع حدوث الأعطال المكلفة على حد سواء، كل خلل مهما كان، كاختلاف المحاذاة أو الأعطال الميكانيكية أو الضياعات (الخلخلة) أو خطأ في تحميل الآلة سيظهر مع دلائله المرافقة. تصحيح الأخطاء المتنوعة والعديدة التي يمكن أن يكشفها الـ(V.A) باستخدام واحداً أو أكثر من مناهج العمل التالية:

إصلاح أو تغيير الأجزاء العاطلة.

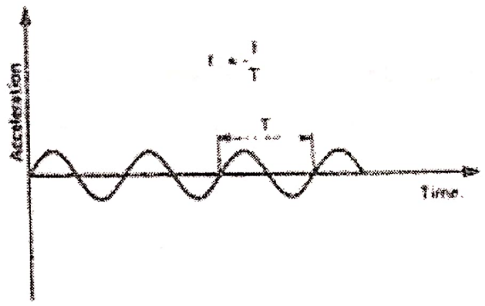
ضبط مركبات الاهتزاز.

**2- الخواص الأساسية للاهتزازات:**

نستعرض بشكل مبسط وسريع الخواص الأساسية للاهتزازات الدورية، يتم التمثيل المبسط للحركة الاهتزازية الدورية على شكل حركة توافقية تابعة للزمن التي تمثل بمنحنٍ جيبي شكل رقم (1).

حيث T دور Period الاهتزازات، بالتالي يعطى تردد Frequency الاهتزازات بالعلاقة:

$$f = 1/T \quad (1)$$




شكل (1)

إذا تحرك الجسم المهتز حركة توافقية نظيفة بالنسبة للمحور (X) فقط، عندها يمكن التعبير رياضياً عن إزاحة الجسم بالنسبة لوضعية توازنه الابتدائية بالعلاقة:

$$x = X_{peak} \sin\left(2\pi \frac{t}{T}\right) = X_{peak} \sin(2\pi f t) = X_{peak} \sin(\omega t) \quad (2)$$

حيث:

$\omega = 2\pi f$ - التردد الزاوي Angular frequency.

$X_{peak}$ - الإزاحة الأعظمية عن وضعية التوازن.

t - الزمن.

يمكن وصف الحركة الاهتزازية من خلال سرعة وتسارع الجسم المهتز:

$$v = \frac{dx}{dt} = \omega X_{peak} \cos(\omega t) = V_{peak} \cos(\omega t) = V_{peak} \sin(\omega t + \pi/2) \quad (3)$$

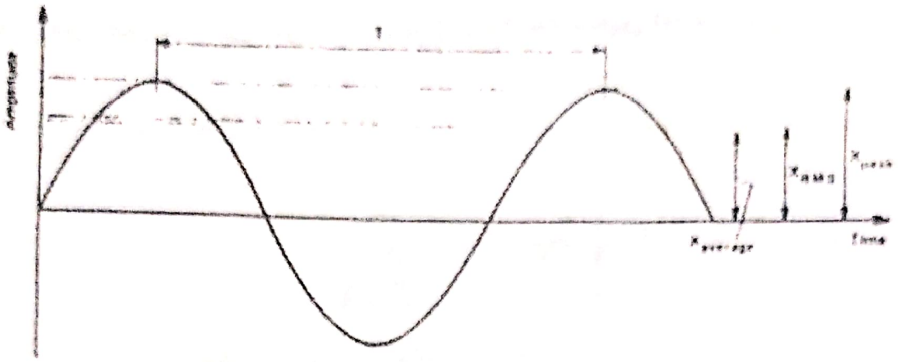
$$a = \frac{dv}{dt} = \frac{d^2x}{dt^2} = -\omega^2 X_{peak} \sin(\omega t) = -A_{peak} \sin(\omega t) = A_{peak} \sin(\omega t + \pi) \quad (4)$$

تستخدم القيم الأعظمية للإزاحة والسرعة والتسارع، والتي تحافظ على قيم ثابتة لحالة الحركة التوافقية، لتقدير شدة الاهتزازات. أما عند دراسة الحركة الاهتزازية المعقدة فيجب الاستعانة بمعايير أخرى لوصفها بشكل كامل[4،1].

يمكن الحصول على مقادير القيم الأعظمية التي تعكس طبيعة الحركة الاهتزازية، بالاعتماد على الشدة اللحظية للحركة الاهتزازية التي تتحدد قيمتها طبقاً لطول الفترة الزمنية Time history اللازمة لتحريضها.

يمكن التعبير عن الإزاحة الأعظمية بقيمتها الوسطية المطلقة وهي مستقلة عن الفترة الزمنية. شكل رقم (2).

$$X_{Average} = \frac{1}{T}\int_0^T |x|dt$$



شكل (2).

تحسب هذه القيمة خلال فترة زمنية محددة، وهي الدور T.

القيمة المعيارية الأكثر استخداماً والتي تعين بدلالة الزمن، هي جذر متوسط المربعات (Root Mean Square) RMS، شكل رقم (2):

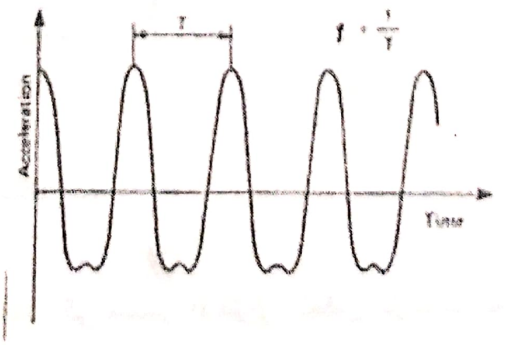
$$X_{RMS} = \sqrt{\frac{1}{T}\int_0^T |x|dt} \quad (5)$$

تكمن أهمية القيمة المعيارية RMS في أنها تعبر ببساطة عن طاقة الحركة الاهتزازية.

تتحدد العلاقة بين القيم المعيارية المختلفة، لحالة الحركة التوافقية النظيفة كالتالي[3]:

$$X_{RMS} = \frac{\pi}{2\sqrt{2}} X_{average} = \frac{1}{\sqrt{2}} X_{peak} \quad (6)$$

تعتبر أغلب المحركات الاهتزازية التي نصادفها في الحياة العملية، غير توافقية، لكن معظمها دوري، كالحركة المبينة على الشكل رقم (3).




شكل (3)

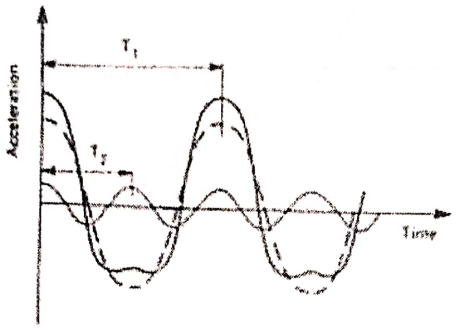
تمثل هذه الحركة تغير تسارع مكبس محرك احتراق داخلي.

كيف يمكن تعيين معايير هذه الحركة غير التوافقية؟

نستخدم في هذه الحالة بهدف إجراء التحليل الترددي، سلسلة فوريه Fourier التي تحول أي حركة ترددية مهما كانت معقدة إلى عدد من الحركات (المركبات) التوافقية بدلالة توابع جيبية ذات ترددات متزايدة كالتالي:

$$f(t) = X_0 + X_1 \sin(\omega t + \varphi_1) + X_2 \sin(2\omega t + \varphi_2) + X_3 \sin(3\omega t + \varphi_3) + \ldots + X_n \sin(n\omega t + \varphi_n) \quad (7)$$

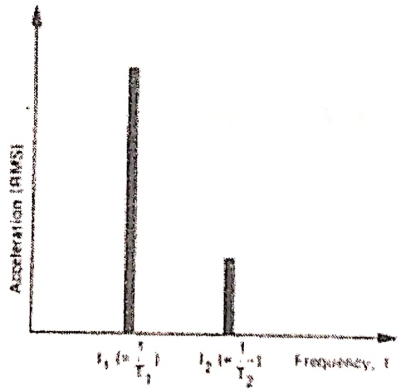
نلاحظ أن حدود السلسلة لانهائي، عملياً يجب تحديد عدد الحدود بحيث نقترب من الشكل الحقيقي للمنحني الأصلي. يبين الشكل رقم (4) إعادة رسم المنحني غير الدوري المبين على الشكل رقم (3) بواسطة منحيين دوريين.




شكل (4)

الغاية الأساسية من هذا التحليل هي الحصول على طيف الترددات Frequency spectrum للحركة الاهتزازية الذي يظهر على شكل خطوط نحيلة، تعكس الترددات المسيطرة.

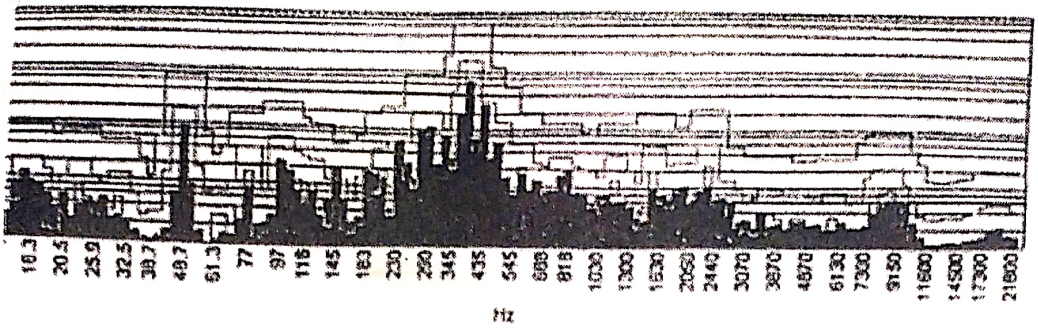
يبين الشكل رقم (5) آلية الحصول على طيف الترددات للمنحني شكل (3)[3،5].




شكل (5)

**3- التطبيقات العملية لتحليل الاهتزازات:**

لدى تحليل الاهتزاز يكون التردد دائماً المفتاح إلى مصدر الاهتزاز، تعكس الترددات المسيطرة وسعة القيمة المقاسة (مثلاً، سرعة، تسارع،...) المقدرة بـRMS مقدار فعل القوى المؤثرة أو طاقة الاهتزاز. تقارن هذه القيمة مع السلالم القياسية العالمية الموضوعة أيضاً وفق الـRMS، يبن الشكل رقم (6) آلية الحصول على طيف الترددات الذي تظهره أجهزة القياس المزودة بشاشة عرض، يجب على الفني الإلمام بمعرفة قراءة هذا الطيف وتحديد حالة الآلة من خلاله.




شكل (6)

يكن أيضاً الحصول على منحني تغير مركبات الحركة الاهتزازية بمساعدة الأجهزة التي تملك محللات فوريه السريعة وتحمل هذه الأجهزة الرمز FFT (Fast Fourier Transformer).

يمكن للطور أن يحدد الموقع، التتابع، الشكل المشروط أو قد يحدد أحد المصادر التي تنقل ترددات مشابهة.

تم إعداد هذا الجزء من البحث عملياً في شركة مصفاة بانياس، حيث تتوفر لديهم الأجهزة المتطورة لقياس وتحليل الاهتزاز. وأخذت القياسات ميدانياً على عدد من المجموعات الميكانيكية من نوع محرك كهربائي – مضخة طاردة مركزية متعدد المراحل باستخدام جهاز تحليل من نوع Shock Pulse Analyzer A2010.

**3-1- حالة ونوعية المجموعات المدروسة:**

يجب أن نحدد سلفاً حالة المجموعة المدروسة وطرق تركيب أجزائها، مثلاً هل الأعمدة مكشوفة، كيفية تركيب المحامل (ضمن غلاف،...)،وضع القارنةى ( يوجد غطاء،...).

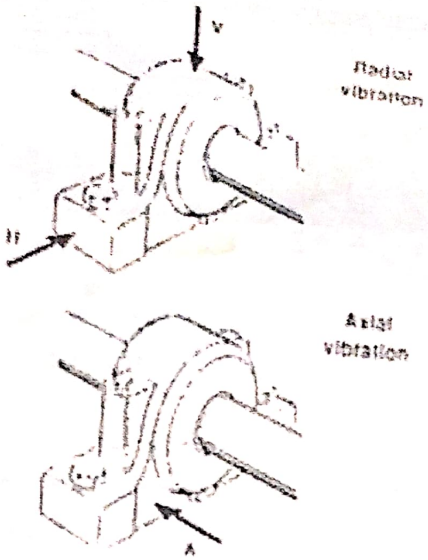
يجب أيضاً معرفة إمكانية استخدام التجهيزات الخاصة لقياس الاهتزازات مثل، الضوء الدوامي Strop-light لقياس الطور، أو هل يمكن توقيف المجموعة لنركب شريط عاكس لقياس الطور أم لا،... إذا توجب استخدام الأشرطة والحساسات الضوئية، فهل توجد ضرورة لاستخدام اللواقط المغناطيسية. إذا كانت القواعد غير مغناطيسية على سبيل المثال: ألمنيوم، فولاذ غير قابل للصدأ، عندها يلزم استخدام عناصر تثبيت خاصة للحساسات.

يجب أيضاً تحديد، نوعية المثابر ونقاط عملها تبعاً لتصميم المحرك وطبيعة أغلفة (بيوت) المحامل. تحديد السرعة التي تؤخذ عندها القياسات، ونوعية الحساسات، ودرجة حرارة الوسط...؟

يجب الإلمام بتصميم المجموعة المدروسة والتمعن بأجزائها قبل البدء بالدراسة التحليلية لأدائها الديناميكي.

يمكن أن تحدد أعطال الآلة بالـ(V.A) من خلال مطابقة مسببات كل من التردد والسعة، (المحددة من المراقبة المنظمة للآلة باستخدام تجهيزات ثابتة بشكل دائم، تسمح للفني بتشكيل سجل تاريخي لأداء الآلة) مع قيمها المعيارية المقدمة من منتج الآلة. يمكن للفني أن يتتبع أثر العطل بمساعدة نتائج القياس ومقدار فهمه لدلالات هذه النتائج[6].

إن أخذ قياسات الاهتزاز من خلال مراقبة ترددات وسعات الاهتزاز وتحديد مواقع المجسات مهم جداً في الـ(V.A). يبين الشكل رقم (7) الطريقة المعتمدة عالمياً لوضع المجسات على الآلة.




**الشكل (7)**

**3-2- الأعطال الأكثر تحديداً بوساطة (V.A):**

عدم التوازن Unbalance.

اختلاف المحاذاة Misalignment.

اللامركزية Eccentricity.

أعطال المحامل Bearing Faults.

الضياعات الميكانيكية Mechanical Looseness.

سير نقل الحركة غير المضبوط Faulty Drive Belt.

الأعطال الكهربائية Electrical Malfunction.

الاهتزاز الرنيني Resonance Vibration.

الاهتزاز الهدرو-ايروديناميكي Hydraulic Aerodynamic Vibration.

الاهتزاز الترددي القسري Reciprocating Force Vibration.

على الأرجح فإن سبب الاهتزاز الأعم في الآلات هو عدم التوازن يظهر عادة على تردد اهتزاز يساوي (1×RPM) من الجزء اللامتوازن وإن السعة الأكبر سوف تسجل عادة عندما يركب الحساس في وضعية متعامدة (Radial) مع محور القلب الدوار[2].

**1-عدم التوازن الابتدائي Initial unbalance:**

تستلزم الدورات الطويلة عالية السرعة غالباً، التوازن الشامل عند سرعة التشغيل وذلك بهدف ضبط انحرافات الدوار ومعرفة حالة كراسي التحميل الطرفية. يمكن إجراء التصحيحات عند حلقات الموازنة أو مسامير القارنة.

تم إجراء التجارب وأخذت القياسات المبينة في الجداول، على مجموعات ميكانيكية متنوعة، تم تحديد مشكلة كل مجموعة تبعاً لنتائج القياس المسجلة في الجداول أدناه.

الترددات المسيطرة% Predominant Frequencies:

| 1RF | 2RF | Higher multiples | ½ RF | ¼ RF | Lower multiples | Odd FR | Very high FR |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 90 | 5 | 5 | | | | | |
| | | | | | | | |

RF = Running Frequency

الاتجاه السائد وتوضع مطال الاهتزازات %:

| Vert. | Hor. | Axial | Shaft | Bearing | Casing | Found. | Pinion | Coupl. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 40 | 50 | 10 | 90 | 10 | | | | |

حيث تردد الدوران (RF) يساوي n/60 ويقدر بالهرتز Hz، و n عدد الدورات، بالدورة في الدقيقة، وتقابل حالة الـShaft الاتجاه النصف قطري Radial.

**2-اختلاف المحاذاة Misalignment:**

تحصل عادة بسبب الانفعال المفرط للأنابيب والتركيب والتأسيس غير الكافيين. أحياناً أخرى تحصل بسبب تأثير الحرارة الموضعية للسائل المتدفق عبر الأنابيب أو بسبب أخطاء في وصل المحرك بالمضخة، أو التركيب الخاطئ للمحامل. يجب إجراء المحاذاة بمساعدة الأجهزة الخاصة بذلك.

الترددات المسيطرة Predominant Frequencies %:

| 1RF | 2RF | Higher multiples | ½ RF | ¼ RF | Lower multiples | Odd FR | Very high FR |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 40 | 50 | 10 | | | | | |

الاتجاه السائد وتوضع مطال الاهتزازات %:

| Vert. | Hor. | Axial | Shaft | Bearing | Casing | Found. | Pinion | Coupl. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 20 | 30 | 50 | 80 | 10 | 10 | | | |

**3-اللامركزية Eccentricity:**

تنشأ اللامركزية مثلاً، بسبب انحناء الدوارات الطويلة التي تعالج أحياناً بطريقة البقعة الساخنة لكن ينبغي أخذ هذا الاعتبار كحل مؤقت لأن الانحناء سوف يعود من جديد مع مرور الزمن. يتضرر العديد من الدوارات بسبب هذا الأجراء، إذا أظهرت الشفرات أو الأقراص مشاكل ما، عندها تحقق من التآكل بسبب الصدأ أو التآكل الاجهادي خاصة في المضخات بسبب ظاهرة التكهف. عدم مركزية قلب المحرك بعد تبديل ملفاته، أو عدم مركزية الحقل الكهرومغناطيسي حول الدائر...

الترددات المسيطرة Predominant Frequencies %:

| 1RF | 2RF | Higher multiples | ½ RF | ¼ RF | Lower Multiples | Odd FR | Very high FR |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 90 | 5 | 5 | | | | | |

الاتجاه السائد وتوضع مطال الاهتزازات %:

| Vert. | Hor. | Axial | Shaft | Bearing | Casing | Found. | Pinion | Coupl. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 40 | 50 | 10 | 90 | 10 | | | | |

**4-عدم مركزية المحامل Journal & bearing eccentricity:**

تنشأ هذه الحالة بسبب التركيب الخاطئ للمحامل أو بسبب تشوهها من جراء ارتفاع الحرارة، قم بفحص حرارة المحامل وراقب تماس الاحتكاك أو التآكل وحالة الشحم.

الترددات المسيطرة Predominant Frequencies %:

| 1RF | 2RF | Higher multiples | ½ RF | ¼ RF | Lower multiples | Odd FR | Very high FR |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 80 | 20 | | | | | | |

الاتجاه السائد وتوضع مطال الاهتزازات %:

| Vert. | Hor. | Axial | Shaft | Bearing | Casing | Found. | Pinion | Coupl. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 40 | 50 | 10 | 90 | 10 | | | | |

5-**تلف المحامل Bearing Damage:**

راقب استمالة اللون البني للمحمل الذي يسبق غالباً قصور المعادن. يشير هذا إلى درجات حرارة عالية جداً لفيلم الزيت. تحقق من اهتزاز الدائر، تحقق من نوع وتصميم المحمل والخلوص الحراري، تحقق من حالة الزيت (الشحم) وخصوصاً اللزوجة Viscosity.

الترددات المسيطرة Predominant Frequencies %:

| 1RF | 2RF | Higher multiples | ½ RF | ¼ RF | Lower multiples | Odd FR | Very high FR |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 40 | 20 | | | | | | 20 |

| 0-40% | 40-50% | 50-100% FR |
|---|---|---|
| | 20 | |

الاتجاه السائد وتوضع مطال الاهتزازات %:

| Vert. | Hor. | Axial | Shaft | Bearing | Casing | Found. | Pinion | Coupl. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 30 | 40 | 30 | 70 | 20 | 10 | | | |

6- **تلف محمل الدفع Thrust bearing damage:**

تحصل هذه الحالة عادة، بنتيجة الضرب العنيف للآلة على السائل، تتجمع المواد الصلبة على الدائر مسببة بذلك عدم توازنه، أو من جراء التشغيل خارج الشروط التصميمية (خصوصاً الاندفاع الفجائي في حركة المجموعة، الجنوح Surging).

الترددات المسيطرة Predominant Frequencies %:

| 1RF | 2RF | Higher multiples | ½ RF | ¼ RF | Lower multiples | Odd FR | Very high FR |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 90 | | | | | | | 10 |

| 0-40% | 40-50% | 50-100% FR |
|---|---|---|
| | | |

الاتجاه السائد وتوضع مطال الاهتزازات %:

| Vert. | Hor. | Axial | Shaft | Bearing | Casing | Found. | Pinion | Coupl. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 20 | 30 | 50 | 60 | 20 | 20 | | | |

7- **عدم دقة القارنة أو تلفها Coupling inaccuracy or damage:**

تثير جلبات القارنة المفكوكة متاعب كثيرة وخصوصاً عند قرن أعمدة طويلة وثقيلة. تحقق من توافق السن بوضع المبينات (الدلائل) Indicators على القمة ثم ارفع باليد أو بالرافعة ولاحظ التقلقل (ينبغي أن لا يزيد عن 0.05مم، عند التوقف التام). استعمل القارنة الفارغة، وتأكد أن صرات Hubs القارنة تحوي على الأقل توافق التداخل 1/1000mm مع العمود. تسبب الصرة المفكوكة عدة أعطال للعمود ومشاكل اهتزاز خطيرة.

الترددات المسيطرة Predominant Frequencies %:

| 1RF | 2RF | Higher multiples | ½ RF | ¼ RF | Lower multiples | Odd FR | Very high FR |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 20 | 30 | 10 | | | | | |

| 0-40% | 40-50% | 50-100% FR |
|---|---|---|
| 10 | 20 | 10 |

الاتجاه السائد وتوضع مطال الاهتزازات %:

| Vert. | Hor. | Axial | Shaft | Bearing | Casing | Found. | Pinion | Coupl. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 30 | 40 | 30 | 70 | 20 | | | | |

8- رنين هيكلي، للإطار Structural resonance of Casing:

يسمى رنين الإطار أيضاً نقر الإطار، يمكن أن يكون متواصلاً كثيراً لكنه غير مؤذ. ينشأ الخطر عندما تصبح أجزاء الآلة متقلقلة وضعيفة ويمكن أن تسقط داخل الآلة. يمكن ان يتأثر الدائر بسبب ارتباطه مع الإطار.

الترددات المسيطرة Predominant Frequencies %:

| 1RF | 2RF | Higher multiples | ½ RF | ¼ RF | Lower multiples | Odd FR | Very high FR |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 70 | 10 | | 10 | | | | |

| 0-40% | 40-50% | 50-100% FR |
|---|---|---|
| | 10 | |

الاتجاه السائد وتوضع مطال الاهتزازات %:

| Vert. | Hor. | Axial | Shaft | Bearing | Casing | Found. | Pinion | Coupl. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 40 | 50 | 10 | | 40 | 40 | 10 | 10 | |

9-رنين هيكلي للمساند **Structural resonance of Supports:**

النقر الموضعي غير مؤذ، بينما الرنين الرئيسي المؤدي إلى اهتزاز المنشأة بأكملها كوحدة، يكون خطيراً، بسبب نشوء الاحتكاك بين الأجزاء الدوارة ومساندها، وظهور خلل في عناصر المجموعة، بالإضافة إلى تحريض اهتزازات أخرى.

الترددات المسيطرة Predominant Frequencies %:

| 1RF | 2RF | Higher multiples | ½ RF | ¼ RF | Lower multiples | Odd FR | Very high FR |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 70 | 10 | | 10 | | | | |

| 0-40% | 40-50% | 50-100% FR |
|---|---|---|
| | 10 | |

الاتجاه السائد وتوضع مطال الاهتزازات %:

| Vert. | Hor. | Axial | Shaft | Bearing | Casing | Found. | Pinion | Coupl. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 40 | 50 | 10 | | 20 | 50 | 20 | 10 | |

10-الاهتزازات المحرضة كهربائياً **Electrically excited vibration:**

تحدث في معظم الأحيان عند ضعف تردد الخط 50Hz – 3000 cpm) الآتي من حقول المولدة، أطفئ الحقول للتحقق من المصدر. تكون هذه الاهتزازات عادة غير مؤذية، لكن إذا كان الأساس أو المكونات الأخرى (دوار أو عمود خرج) تعمل على الرنين، عندها يمكن أن تصبح الاهتزازات شديدة. يوجد خطر سببه العطل المأساوي، عند حصول دارة قصر أو اضطرابات أخرى.

الترددات المسيطرة Predominant Frequencies %:

| 1RF | 2RF | Higher multiples | ½ RF | ¼ RF | Lower multiples | Odd FR | Very high FR |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Re | | | | | |

| 0-40% | 40-50% | 50-100% FR |
|---|---|---|
| | | |

الاتجاه السائد وتوضع مطال الاهتزازات %:

| Vert. | Hor. | Axial | Shaft | Bearing | Casing | Found. | Pinion | Coupl. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 30 | 40 | 30 | Re | Re | 40 | 40 | 20 | |

**خلاصة:**

هذا جزء بسيط من المشاكل التي نصادفها يومياً في المنشآت الصناعية والإنتاجية رتبت نتائج الدراسة الميدانية التي أجريت على عدد من المجموعات الميكانيكية في مصفاة بانياس بالشكل المبين أعلاه. لتسهل على فني الصيانة تحديد حالة المجموعة بعد إجراء قياساته على أجزائها في نقاط تحددها في الغالب الشركة الصانعة لهذه المجموعات، وبالاتجاهات، الأفقية، الشاقولية، والمحورية...الخ (انظر الجدول الذي يحدد اتجاه مطال الاهتزازات) وبالمقارنة مع المعطيات أعلاه والخبرة العملية يستطيع الفني تحديد العطل بدقة عالية.

نشهد اليوم تطوراً وتنوعاً سريعين في تصاميم الآلات ومبادئ عملها وطرق ربطها مع بعضها... يرافق هذا كله تطور سريع أيضاً في نوعية المشاكل الفنية التي تصادف المستثمر وتجبره على الاحتياط ومراقبتها عن كثب حتى لا يقع فريسة الإصلاح المكلف جداً.

تعمل العديد من الشركات العالمية على إنتاج أجهزة ومعدات لمراقبة أداء المجموعات الميكانيكية وتحديد شروط عملها السليم. وهي بتصاميمها المختلفة وحداثتها المستمرة تلبي كافة المتطلبات الفنية التي تخطر ببال فني الصيانة بالإضافة إلى استخدام المعالجات المتطورة لتوفير الوقت اللازم لإجراء المقارنات ومعرفة الحالة بدقة وسرعة كبيرة.

## REFERENCES المراجع


1. د.معن بيطار، د.محمد خنيسي، الاهتزازات الميكانيكية، منشورات جامعة تشرين، 1997.
2. A practical Vibration Primer, Charles Jackson, Hydrocarbon Processing, April 1976.
3. Broch J, T. Mechanical Vibration and Shock Measurements, Bruel & Kjaer 1980.
4. Timoshenko, J.R, W.Weaver, S.Young. vibration problems in engineering, New York, 1985.
5. Tshelomen, N,V. Mechanical vibration in machinary, in 6 tom Moscow. 1980.
6. Vibration analysis. European social Fund, Copyright Cleveland County 1980.