تشخيص عطب عدم الاتزان الساكن في الأعمدة الدوارة بتقنية مراقبة الاهتزاز

عمار أحمد محمد علي الراوي الأستاذ الدكتور صباح محمد جميل
قسم الهندسة الميكانيكية
كلية الهندسة / جامعة الموصل

الخلاصة

تعتبرالاهتزازاتالميكانيكيةمنأهمالظواهرالتي تدرسهاالهندسة الميكانيكيةوكذلكفروعأخرىمنالهندسة[1]. وبما أن معظم المكائن الميكانيكية تحتوي على الأعمدة الدوارة فأن ظروف القاسية اثناء تشغيلها تعرضها إلى أعطاب ومنها عطب عدم الاتزان لذا فأن البحث الحالي يدرس تشخيص عطب عدم الاتزان الساكن الذي يسبب الاهتزاز في الأعمدة الدوارة من خلال عمل نموذج حقيقي لعطب عدم الاتزان في العمود الدوار للحصول على أشاره الاهتزاز الحقيقة التي يمكن أن تنتج وكذلك مراقبة أشاره الاهتزاز في حيز التردد ومعرفة حالة الماكنة أثناء عملها وذلك عند تشغيلها بسرع مختلفة وبوضع متحسس جهاز القياس بثلاثة اتجاهات للمحمل (X, Y,& Z) وقد تبين من النتائج انه عندا زيادة السرعة يزداد عدم الاتزان ويكون أكثر وضوحا في الاتجاهX في حيز التردد.كما يمكن التحقق من وجود عطب عدم الاتزان في الاعمدة الدوارة عن طريق اخذ قيمة جذر المعدل التربيعي (RMS) والذي يمثل أعلى قيمة يمكن أخذها من الاتجاه X للمحمل . ويمكن مقارنة هذه القيمة مع المعايير العالمية (ISO 12372) فيما إذا كانت ضمن الحدود المسموح بها ام لا.

Static Unbalance Fault Diagnosis in Rotor Shaft Using Vibration Monitoring Technique

Professor Dr. Sabah M. J. Ali **Ammar A. M. Al_Rawi**
Dept. of Mechanical Engineering
College of Engineering / Mosul University

Abstract

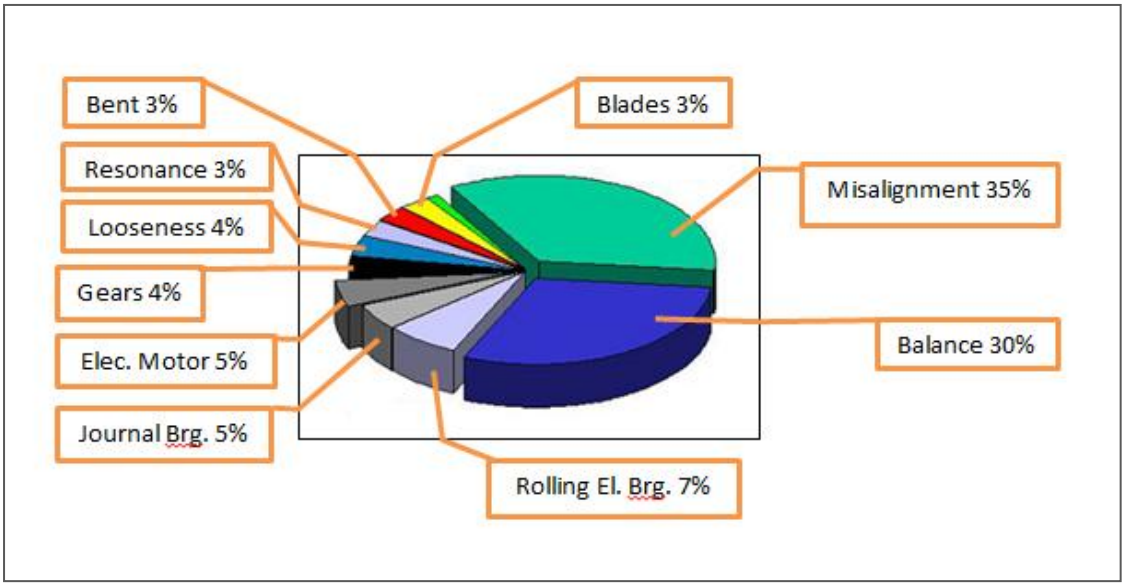
Mechanical vibration is one of the most important phenomena studied by mechanical engineering, as well as other branches of engineering. Since most of the mechanical machines contain rotor shafts, then hard conditions during operation cause many faults to occur, one of which is the unbalance fault. Therefore, this research studies the diagnosis of static unbalance fault that causes the vibration of the rotor shafts, through conducting a real model for the unbalance fault of the rotor shaft in order to obtain the real vibration signal resulting from this fault. Moreover, monitoring the vibration signal in the frequency domain, and detecting the machine condition during operation at different speeds, and with position sensor device three axes for the bearing (horizontal, vertical, and axial). It has been proved that unbalance increases by increasing speed, and it becomes more obvious in the horizontal axis. Detecting faults unbalancing in the rotor shafts can also be done by taking the value of root mean square (RMS), which represents the maximum value that can be taken from the horizontal axis of the bearing. This value can be compared with the international standards (ISO 12372) to ensure being within the allowed limits.

Key: Vibration unbalancing, Static Unbalancing, Types Unbalancing,

أستلم: 9 -1-2011 **قبل: 11-4-2012**

المقدمة:

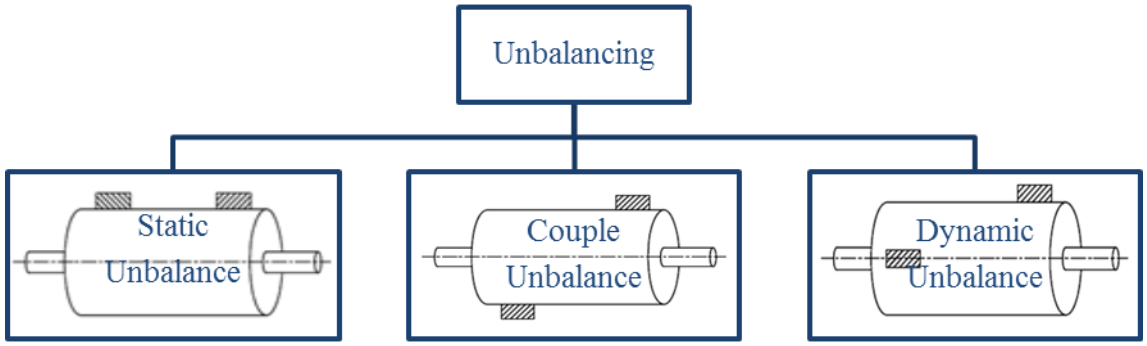
يعد عطب عدم الاتزان Unbalancing في الأعمدة الدوارة من الاعطاب الشائعة اذيؤدي الى اهتزاز الأجزاء المركبة علية ويمثل ثاني أكبر نسبة من الاعطاب الميكانيكية في الأعمدة الدوارة [2]. اذ يمثل عطب عدم المحاذاةMisalignment (35%) وعطب عدم الاتزان (30%) وهكذا بقية الأعطال كما هو موضح في الشكل (1):



الشكل (1) : نسبة الأعطال الميكانيكية في كل جزء من الأعمدة الدوارة[2].

وهناك ثلاثة انواع من عطب عدم الاتزان كما هو موضح في الشكل رقم (2) وهي[13]:

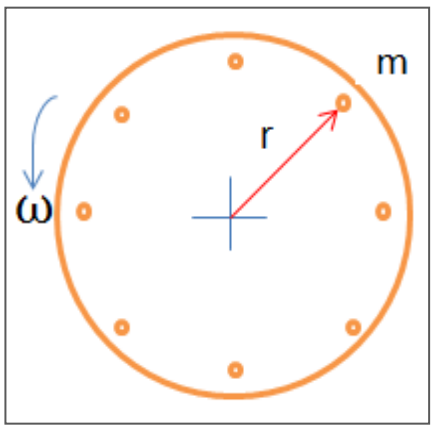
1. عدم الاتزان الساكنStatic Unbalancing: يحدث هذا العطب في العمود الدوار وذلك بوجود ثقل في المستويين(Plans) والزاوية بينهما صفر.
2. عدم الاتزان المزدوج Couple Unbalancing: يحدث هذا العطب في العمود الدوار وذلك بوجود ثقل في المستويين والزاوية بينهما 180 درجة.
3. عدم الاتزان الحركي Dynamic Unbalancing: يحدث هذا العطب في العمود الدوار وذلك بوجود ثقل في المستويين والزاوية بينهما 90 درجة .



الشكل (2)**:** أنوع عدم الاتزان[13].

ويوجد كثير من التقنيات في تشخيص عطب عدم الاتزان في الاعمدة الدوارة منها تقنية الاهتزاز وتقنية التيار وتقنية الحرارة وتقنية الفوق الصوتية وتقنية الصوتيةوالخ. اذ تعتمدهذه التقنياتفي طريقة معالجة الاشارة الناتجة من الماكنة اذ يمكن معالجتها في حيز التردد (Frequency Domain) اي بطريقة تحويل الفورير السريعFast Foural Transfer (FFT) او معالجة الاشارة فيحيز الزمن(Time Domain), اي اخذ قيمة جذر معدل التربيعيRoot Mean Square (RMS)أو معالجة الاشارة في حيز الزمن_ التردد (Frequency Domain Time_) اي بطريقة تحويل المويجةWeave Transfer(WT)[3].

درس (Pandey 2011) مراقبة الاهتزاز (Vibration Monitoring) لنظام الدوار بأستخدام أشاره التعجيل لـ (RMS) اذ تتضمن هذه الدراسة تصميم وتصنيع الاجهزة الدوارة وتحقق من الاهتزاز عند المحامل (Bearing) نتيجة تأثير أعطاب الظاهرة. وتتضمن هذه الدراسة عطب عدم الاتزان. ولدراسة هذه الاعطاب نستخدم مراقبة اهتزاز عن طريق أشاره التعجيل لـ (RMS) باتجاه عمودي وافقي ومحوري للمحامل وذلك باستخدام جهاز خاص لقياس التعجيل (accelerometer) حيث أظهرت النتائج أن أشاره التعجيل لـ (RMS) لها أعلى قيمة في محمل البعيد من المحرك (motor) مقارنة بمحمل القريب من المحرك ولجميع انواع الاعطاب وكذلك أظهرت النتائج أن قيم سعة الاشارة (amplitudes) تكون أعلى مايمكن باتجاه المحوري لكلا المحملين ولجميعالإعطاب[4].



الشكل(3): القرص المستخدم في البحث الحالي.

درس (Shafei 2007) اعطاب عدم الاتزان وعدم المحاذات اذ اظهرت النتائج لعطب عدم الاتزان ان ميزته الرئيسة هي (1X) كبيرة وليس لها مركبات اخرى. وان ميزة الرئيسة لعطب عدم المحاذاة هي (1X) و(2X) وبعض الاحيان (3X) تكون اعلى مايمكن. ونقصد برمز (1X, 2X, 3X, etc.) ترادت التي تظهر في حيز التردد (الطيف الترددي) كما موضح في الشكل المرقم (3)[5].

درس (Srinivas 2010) طريق تحليل موجة الاهتزاز واستخلاص المعلومات منها في حيز الزمن-التردد(Wavelet Transform) وهذه الموجة ناتجة من الاهتزاز الاعمدة الدوارة الناتجة من عطب عدم الاتزان وانحناء العمود وتم استخدم قيمة الـ(RMS) في تحليل هذه الاشارة كميزة خاصة لقياس الاشارة الاهتزاز, وعند مراقبة تردد الاهتزاز لـ(1Fr) تجدها واضحة في الاتجاه أفقي وتقع ضمن مدى من(0.5mm/ s) الى (2.98mm/ s) ونفسها بالنسبة لـ (2Fr) و(3Fr) و(4Fr) فأن مركباتهم لها قيم من (0.24mm\s) الى (0.58mm\s) ومن (0.026mm\s) الى (0.029mm\s) ومن (0.004mm\s) الى (0.014mm\s) على التوالي. ولذلك نستنتج ان مركبة الافقية لقيمة تردد اهتزاز لـ(1Fr) هي المسيطرة [6].

الجانب النظري:

تعد الدراسة النظرية في عطب عدم الاتزان مهم جداذ انها تسبب اهتزازات في المكائن, ولفهم معنى عدم الاتزان يتم عن طريق هذه المعادلة التالية[7] :

$$F=m*r*\omega^2 \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (1)$$

Where : r =radius (m)
ω=Speed (rad/ Sec)
m =mass (kg)
F =force (N)

وهناك مصادر تسبب عدم الاتزان منها [8]:

1. عدم التماثل (عيب تصنيعية في عمود الدوران الناتج من عملية السباكة, عدم التماثل السطوح ناتج من عملية الحدادة, و عدم التماثل في شكل العمود).
2. عدم التماثل في المواد (وجود فقاعات هوائية أو خبث أو عيوب صناعية و كذلك التباين في الشبكة البلورية نتيجة التغير في كثافة المادة).
3. عدم التمركزمحور الدوران أي عدم تمركز الحمل الميكانيكي.
4. عدم محاذاة المحامل.
5. حدوث انحناء نتيجة حدوث تشوه في الأجزاءالماكينة (كما يحدث في الريش المحرك الكهربائي).
6. وجود تدرج حراري أو عدم استقراريهحراري مثل الأجزاء العمود الدوار في المحطة الغازية و المحطة البخارية, وكذلك في العمود المجوف الموجود في الماكينة تصنيع الورق.

ويمكن معرفة حالة الماكنة فيما اذا كانت ضمن الحدود المسموح بها ام لا. وذلك عن طريق قياس قيمة معدل الجذر التربيع (RMS) اذ يتم اخذها من المحامل(Bearing)ومقارنتها مع المقاييس العالمية(ISO12372)[9] .وكما هو موضح في الجدول رقم (1), ويعتمد هذا الجدول على قدرة المحرك الكهربائي (Power) اذ يتكون هذا الجدول من عدة مجاميع وتقسم هذه المجاميع على حسب قدرة المحرك الكهربائي.

الجدول (1):المقاييس العالمية(ISO 12372 or BS 4675: 1971)[10]

Ranges of vibration severity for various classes of machinery (ISO 12372 or BS 4675: 1971)							
Range of Vibration Severity		Maximum Value		Class of Vibration of Machine			
Range Classification	Effective Velocity: RMS (mm/s)	Vibration Velocity (mm/s)	Vibration Displacement (µm)	Class I	Class II	Class III	Class IV
0.28	0.28	0.40	1.25	A	A	A	A
0.45	0.45	0.63	2.00				
0.71	0.71	1.00	3.15				
1.12	1.12	1.60	5.00	B			
1.80	1.80	2.50	8.00		B		
2.80	2.80	4.00	12.5	C		B	
4.50	4.50	6.30	20.0		C		B
7.10	7.10	10.0	31.5	D		C	
11.2	11.2	16.0	50.0		D		C
18.0	18.0	25.0	80.0			D	
28.0	28.0	40.0	125				D
45.0	45.0	63.0	200				
71.0							

Class I: تمثل المكائن الصغير ذات القدرة الأقل من (15 KW)

Class II:تمثل المحركات ذات القدرة التي تتراوح بين **(**15 KW- 75 KW)

Class III : تمثل المحركات الكهربائية ذات القدرة التي تتراوح بين(75KW–300KW)

Class IV: المكائن الكهربائية الكبيرة ذات القدرة الكهربائية الأكثر من (300 KW)

A:- حالة جيدة (الماكنة تعمل بصورة طبيعية)

B: - حالة مقبولة (الماكنة تعمل ضمن الحدود المسموحة)

C: - بداية العطل (الماكنة تعمل بصورة غير طبيعية و تحتاج الى مراقبة و صيانة)

D: - حالة غير مسموحة (الماكنة تعمل في ظروف خطرة و يتوجب أطفاها بسرعة و أجراء صيانة مستعجلة)

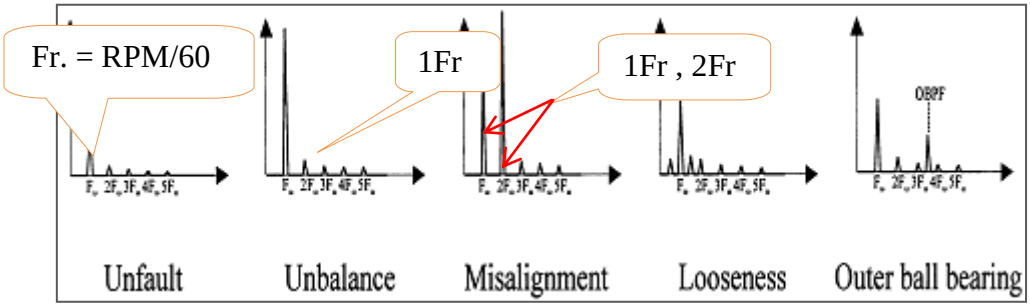
ان تفسير وجود المجاميع(A, B, C, D) في كل صف (Class I, II, III, IV) على انه توجد نسب من الاهتزازات مسموحة وغير مسموحة. اذ نلاحظ من وجود الحرف (A) (لون الاخضر) في الجدول السابق انه توجد نسبة من الاهتزازات لا يمكن الغاؤها او فصلها وهي ضمن الحدود المسموح بها وحسب قدرة المحرك الكهربائي المستخدم, أي يوجد تناسب طردي ما بين قيمة الاهتزاز المسموح بها مع قدرة المحرك الكهربائي. وبهذا يمكن ان نستدل على وجود الاهتزازات مهما كانت نوع الماكنة او انها حديثة المنشأ. ومن هذا الجدول يمكن معرفة حالة المنظومة فقط. وكذلك يمكن تفسير تلك المجاميع على ان مجموعة (A) (اللون الاخضر) تحتوي على مجموعة اعطاب ولكن لا تأثير لها في المنظومة. ومجموعة (B) (لون الازرق) كذلك تحتوي على مجموعة اعطاب ولكنها مقبولة على المنظومة. ومجموعة (C) (اللون الاصفر) تحتوي على مجموعة اعطاب ولكن في بدايات تلك الاعطاب. ومجموعة (D) (اللون الاحمر) تحتوي على مجموعة اعطاب ولكن غير مسموح بها. وبهذا الجدول يمكن ان نعرف حالة المنظومة ولكن لا نعرف مسبب الاهتزاز اذ انها تعطي قيمة الاهتزاز ولا تشخصه.

وكذلك يمكن معرفة حالة الماكنة عن طريق تشخيصهافي حيز التردد بطريقة التحليل الطيف الترددي وهي عبارة عن مخطط يتكون من محورين المحور العمودي يبين قيمة السعة (Amplitude) والذي يقاس بـ(V) والمحور الافقي يعرض لنا التردد (Frequency) والذي يقاس بـ(Hz) اذ ان المحور الافقي يعرض لنا تردد عطب عدم الاتزان الساكن وتردد المحرك الكهربائي (Motor). ومن هنا يجب ان نفرق ما بين تردد عطب عدم الاتزان الساكن (1Fr) وتردد المحرك الكهربائي(Fr), اذ يكن ان نميز تردد المحرك الكهربائي وذلك بأنه يكرر نفسه عندا نفس تردد المحرك الكهربائي ولكن يختلف عنه بقيمة السعة, اذ يعتمد تردد المحرك الكهربائي على سرعة المحرك الكهربائي كما في المعادلة رقم (1). ويتطابق تردد المحرك الكهربائي مع اول تردد للعطب عدم الاتزان الساكن فقط[11].

ويمكن حساب تردد المحرك الكهربائي عن طريق المعادلة التالية [2]:

$$Fr = RPM/60 \quad \text{.....(2)}$$

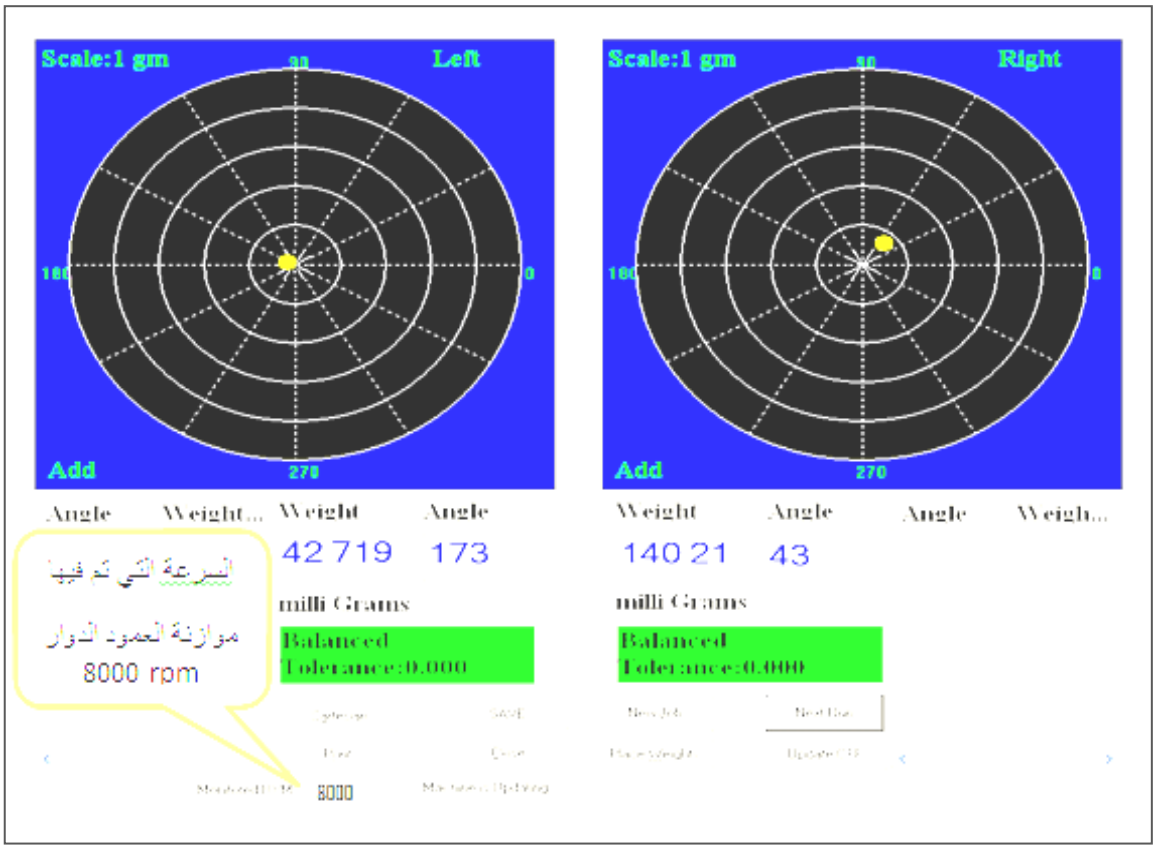
وجد ان طيف تردد الاهتزازات في اغلب المكائن له مميزات وشكل معين.وعندما تكون الماكنة بالحالة الطبيعية, ولكن عندا تغيير بعض من القوى المؤثرة على الاعمدة الدوارة او تغيير في الخواص الميكانيكية للأجزاء نفسها فإنها سوف يتغير شكل الطيف الترددي وبالتالي يمكن كشف هذا التغيير بالمقارنة مع الطيف الترددي عندما تكون الماكنة في حالة جيدة[13], ويوضح الشكل رقم (4) مخططات الطيف الترددي بصورة عامة وهي في الحالة الطبيعية وفي حالات وجود الاعطاب المختلفة.



الشكل (4): مخططات الطيف الترددي لأنواع من الاعطاب الاعمدة الدوارة[8]

الجانب العملي:

تم تصميم عمود الدوران بموجب سرعة المحرك الدورانية اذاخذنا في نظر الاعتبار السرعة الحرجة للعمود الدوران التي تسبب فشلة او انهياره،وعند تصميم عمود الدوران واجهتنا اسباب كثيرة في صعوبة موازنة عمود الدوران وذلك بسبب عدم تجانس معدن عمود الدوران وكذلك بسبب تواجد الاقراص (Disks) المختلفة الاوزان التي تسبب عدم الاتزان للعمود الدوران، لذا تم موازنة العمود الدوران مع الاقراص المحملة علية في جهاز موازنة(Precibalance) الموجود في معمل أسمنتبأدوش(التوسيع)وكما هو موضح في الشكل المرقم (5):

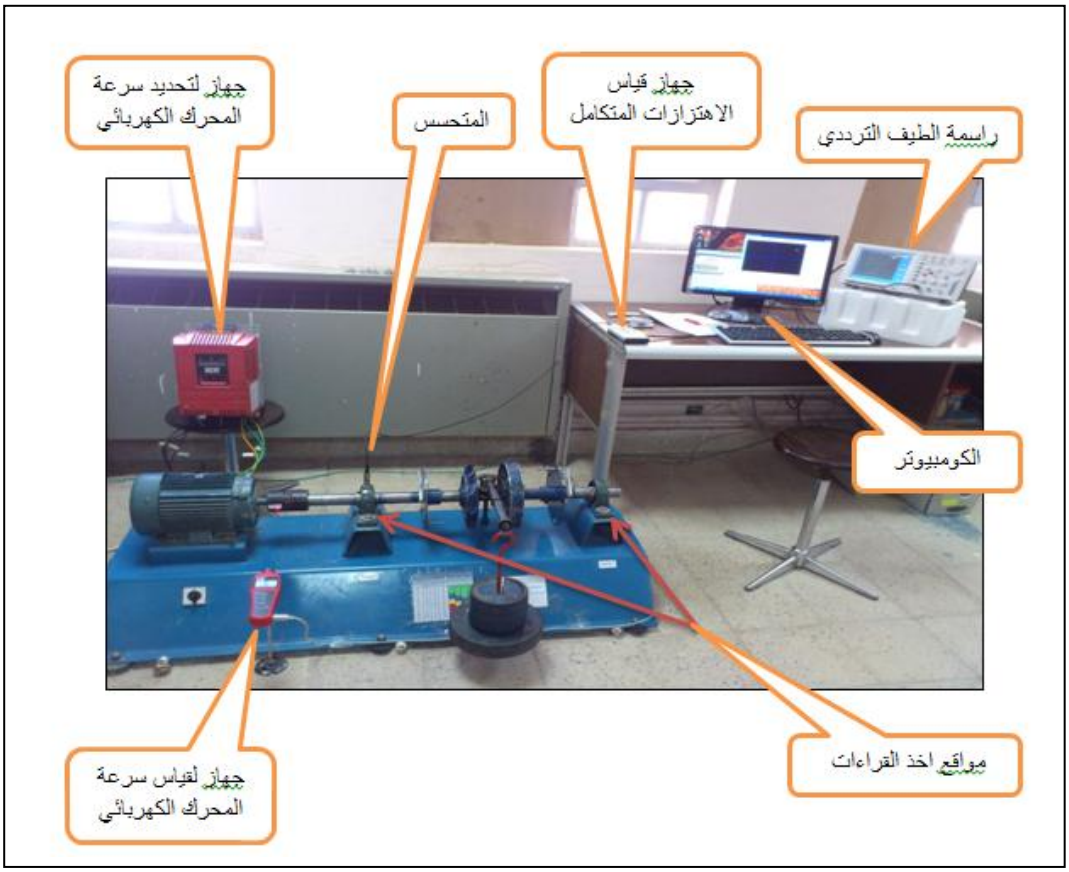


الشكل (5): شاشة الحاسوب الموجودة لجهاز الموازنةفي معمل الاسمنتبأدوش/نينوى.

وكانت اجراء الموازنة للعمود الدوار عندا سرعة (8000) rpmكما مبين في شكل رقم (5) مما يؤكد انها موزونة بشكل جيد عندا تشغيلها بسرعة (1500)rpmوهي سرعة التشغيل النموذج العملي. وبعد موازنة عمود الدوران تم تركيب الجهاز ألمختبري على قاعدة على شكل حرف ∩ من الصفيحة الحديد ثقيلة الوزن والمثبت على الأرض ببراغي معزولة بواسطة ربل وذلك لامتصاصالاهتزازات الناتجة من المحيط الخارجي، ويحتوي الجهاز على مقياس سرعة العمود الدوران (Tachometer) حديث من نوع LNU_T ويعطي قراء رقمية كما مبين في الجدول المرقم (1). ويحتوي الجهاز على (Inverter) من نوع (SEW) المانيوالذي يسيطر على السرعة الدورانية للمحرك الكهربائي عن طريق التردد الكهربائي الداخل على المحرككما موضح في الشكل المرقم (6).

الجدول (2) مواصفات مقياس السرعة المستخدم

Range Selection	10000 to 99999
Best Accuracy	0.04 % ± 2 digit
Target Distance	50mm to 200mm
Low Battery Display	4.8 V
USB	-



الشكل (6):صورة فوتوغرافية توضح الجهاز المستخدم في البحث الحالي.

خطوات عمل التجربة :

1. يتم وضع ثقل وزنة100غرامعلى كل من القرص الاول (القريب من المحرك الكهربائي)والقرص الثاني(البعيد من المحرك الكهربائي)وفرق الزاوية بينهما صفر.
2. نقوم بتشغيل المحرك بسرعة 500 دورة /دقيقة وثم نأخذ القراءات من المحمل الاول (position1) والمحمل الثاني(position2) وبثلاثة محاور (محوري وافقي وعامودي).
3. وهكذا بقية السرع الاخرى مثل 1000 دورة \دقيقة و1480 دورة /دقيقة.

4. نقوم بربط مقياس الاهتزازات التكاملي (Integrating Vibration Meter) المصنع من Brüel&Kjær نوع 2513 على المحامل[7] ،حيث يمكن التحويل بين اشارة سرعة أوإشارةتعجيل. وذلك عن طريقة التكامل لمرحلتين ولذلك سمي بجهاز مقاس الاهتزاز التكاملي(Integrating Vibration Meter)، ونوع المتحسس المستخدم هو متحسس بيزو (Piezoelectric Sensor) حيث يقوم بتحويل الاهتزاز المتولد في المحامل الى اشارة كهربائية يمكن الاستفادة منها .

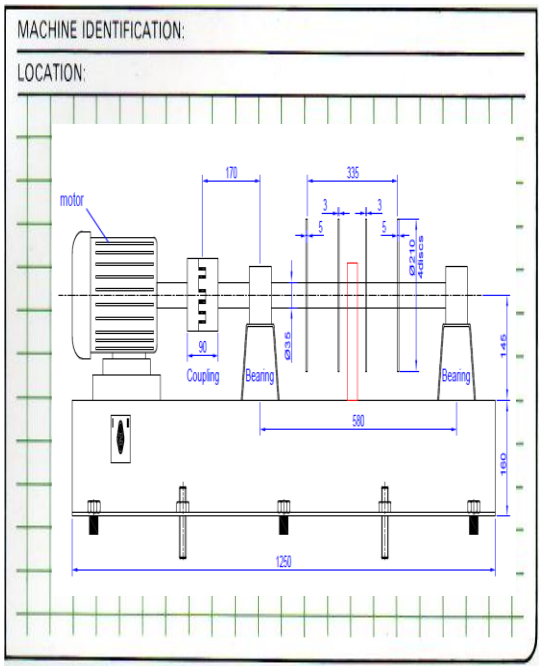
5 . يتم تشغيل المحرك وضبط السرعة عن طريق (Inverter) وهو يقوم بالتحكم في مقدار التردد الداخل على المحرك الكهربائي وعن طريق مقياس السرعة الدوران(Tachometer)يمكن معرفة سرعة الدوران المطلوبة .

6 . يتم تسجيل كل المعلومات على (sheet) متخصص في الجهاز المستخدم وذلك من اجل تنظيم القراءات كما موضح في الجدول المرقم (3):

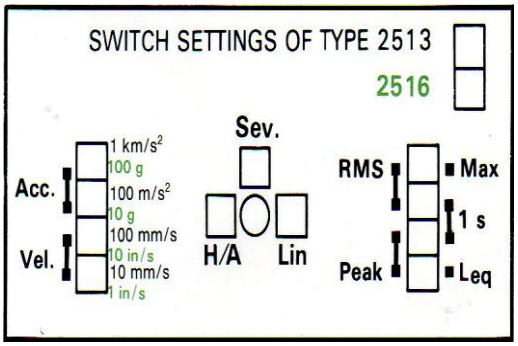
MACHINE VIBRATION RECORD

MACHINE IDENTIFICATION:

LOCATION:



PROJECTED VIBRATION LIMITS			
MEAS. POINT	H	V	A
POS.1			
POS.2			



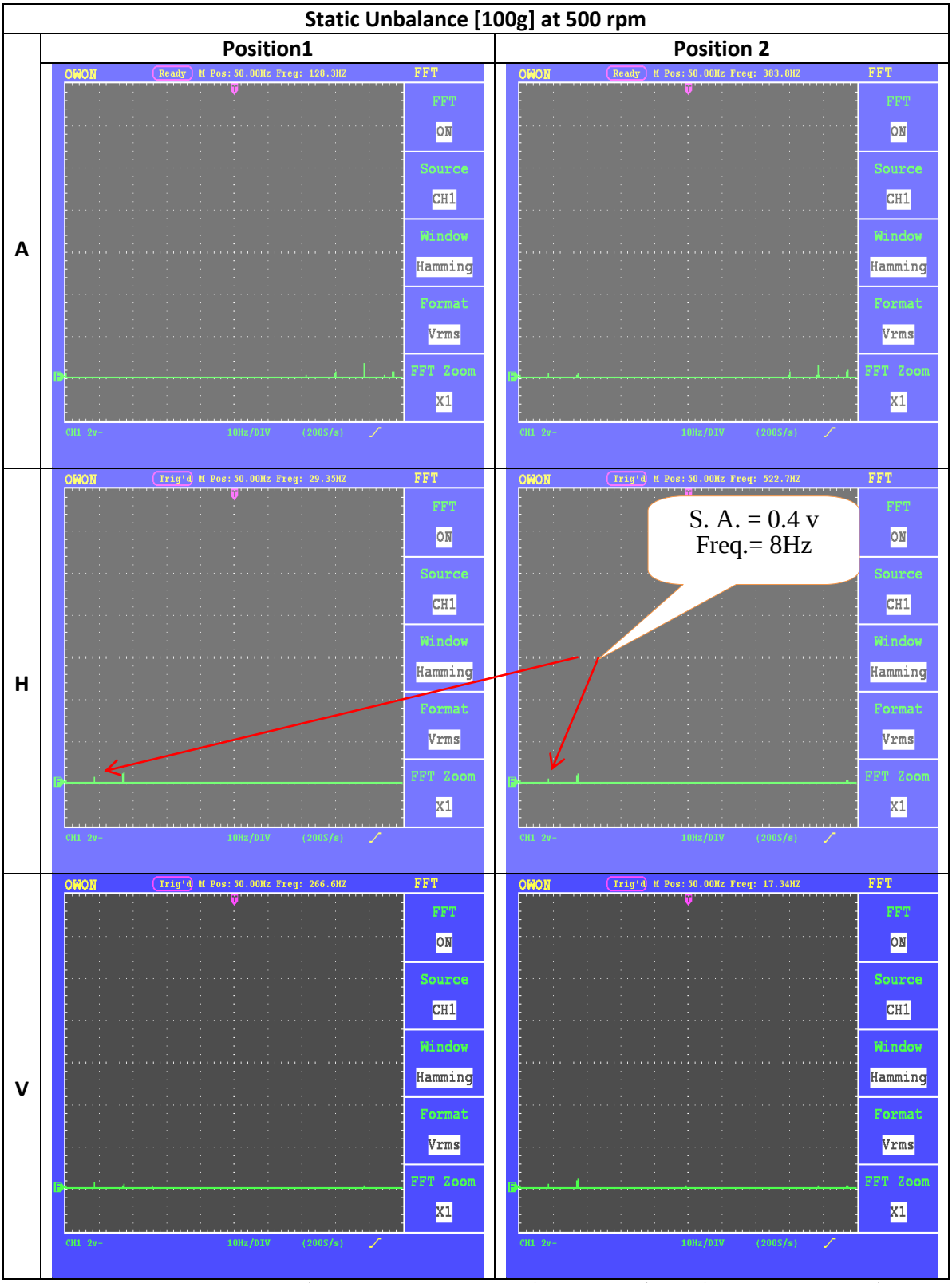
MACHINE SPEED | | RPM | HZ

الجدول (3): تسجيل قيماهتزازات الناتجة من البحث.

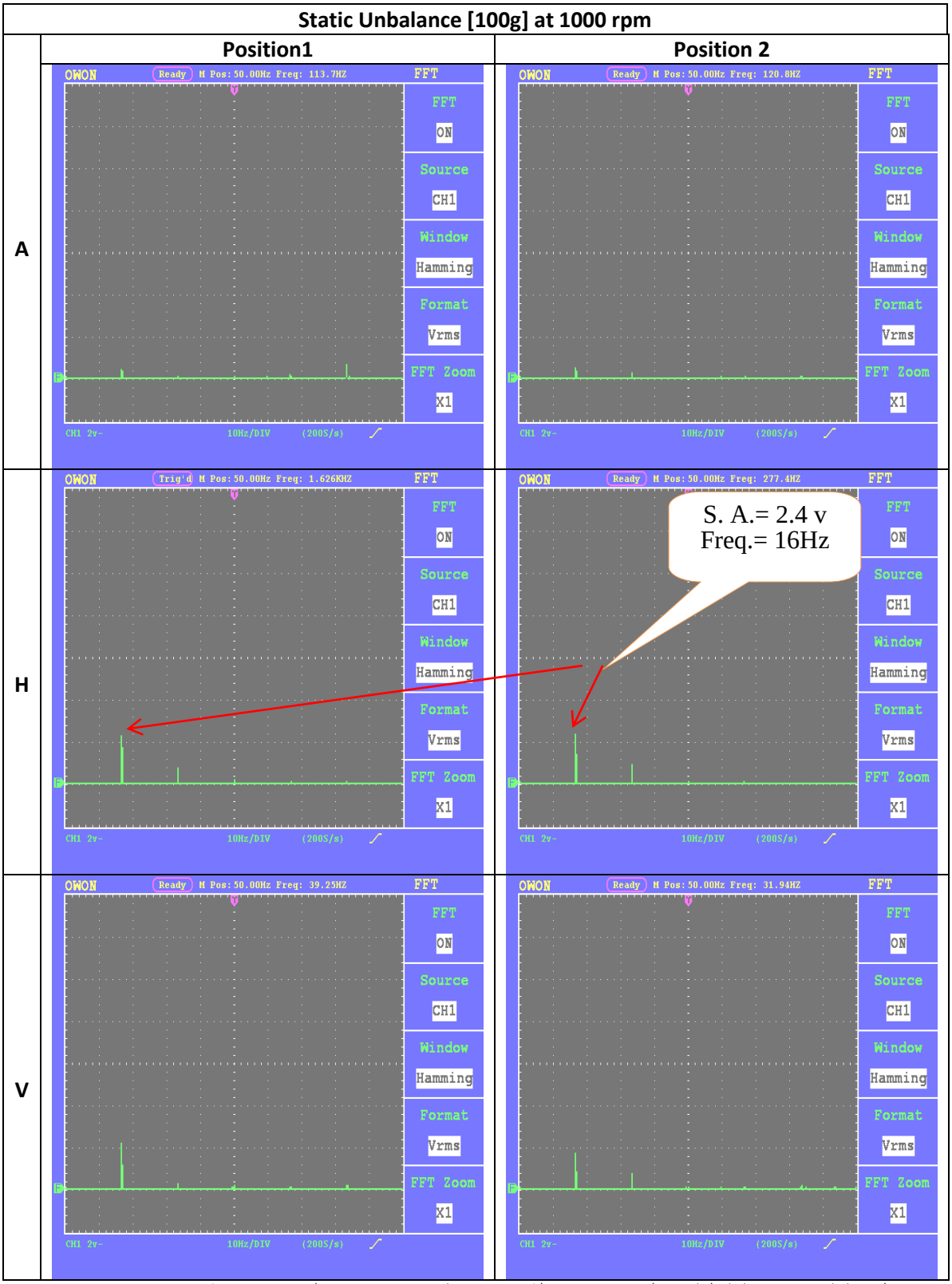
5. النتائج والمناقشة:

مخطط الطيف الترددي المرقم (1) يبين حالة عطب عدم الاتزان الساكن بسرعة 500 rpm وبوزن 100 gm وبثلاثة اتجاهات للمحمل (A, H, V), مخطط الطيف الترددي المرقم (2) يبين حالة عطب عدم الاتزان الساكن بسرعة 1000 rpmوبوزن 100 gm وبثلاثة اتجاهات للمحمل (A, H, V), مخطط الطيف الترددي المرقم (3) يبين حالة عطب عدم الاتزان الساكن بسرعة 1480 rpm وبوزن 100 gm وبثلاثة اتجاهات للمحمل (A, H, V), ومن هذه المخططات نحصل على قيم سعة الاهتزاز (S. A.) والتي تقاس بـ(v). الشكل المرقم (4) وهي العلاقة ما بين السرعة المحرك الكهربائي وقيمة الاهتزاز الذي يقاس بـ(mm/ s) ومن هذا الشكل نحصل على اي اتجاهات تكون قيمة الـ(RMS) اعلى ما يمكن اذ تعطينا تشخيص اولي لكشف العطب قبل وقوعه. والشكل المرقم (5) يرسم العلاقة ما بين قيم المقياس العالمي

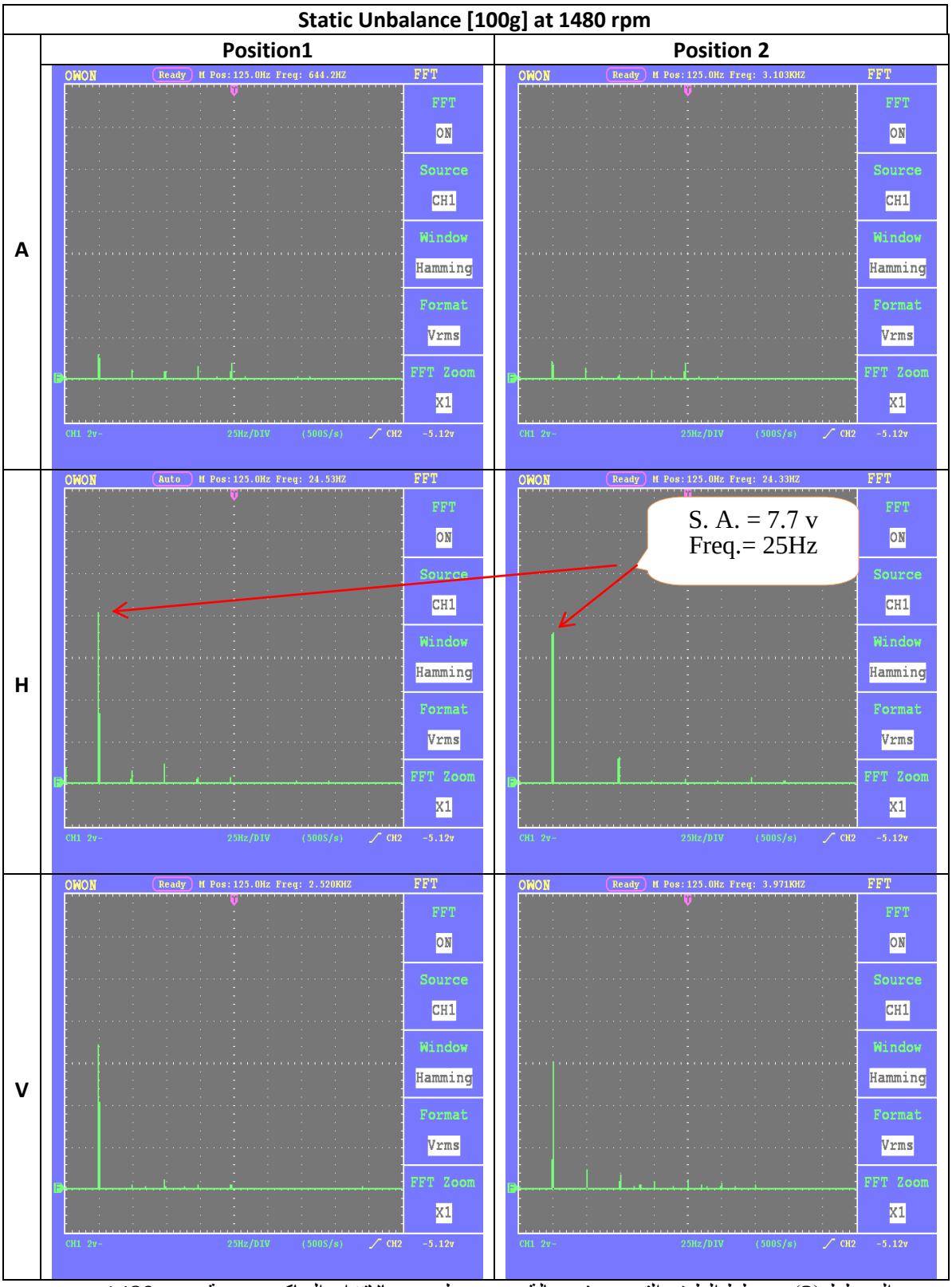
في (Class I) الـ(RMS)وقيم سعة الطيف الترددي (.S. A) التي حصلنا عليها من مخططات الطيف الترددیوبالتالي نحصل على مناطق كشف العطب والتي تمثل الون الازرق.



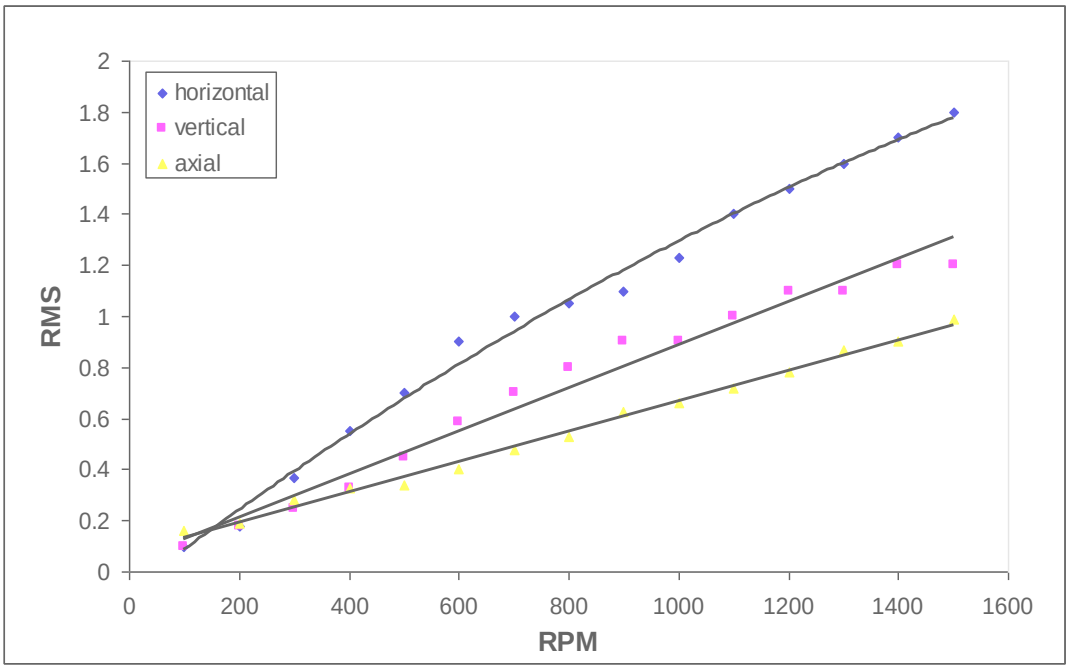
المخطط (1): مخطط الطيف الترددي في حالة وجود عطب عدمالاتزان الساكن بسرعة 500 rpm.



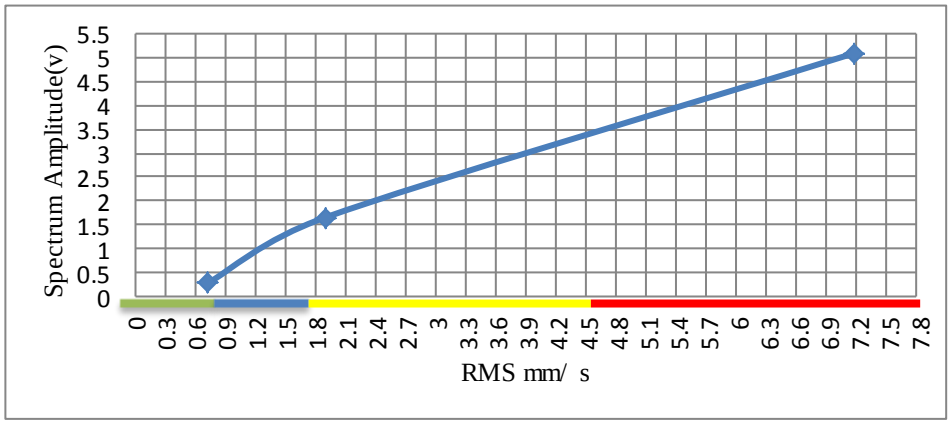
المخطط (2): مخطط الطيف الترددي في حالة وجود عطب عدمالاتزان الساكن بسرعة 1000 rpm.



المخطط (3): مخطط الطيف الترددي في حالة وجود عطب عدمالاتزان الساكن بسرعة 1480 rpm.



الشكل (7): أفضل موقع لأخذ القراءات من المحمل.



الشكل(8): مناطق تشخيص عطب عدم الاتزان الساكن 100 gm

مناقشة النتائج:

نلاحظالنتائج في حيز التردد (Frequency Domain)أنه عطب عدم الاتزان الساكن (Static Unbalance)يكون واضح في الاتجاهالأفقي(H) للمحمل وعندا السرع الثلاثة (500 و1000 و1480) وان زيادة السرعة يؤدي الى زيادة قيمة السعة الطيف الترددي (S. A.). وهذا ما نلاحظه من الشكل المرقم (1) و(2) و(3), وهذا ما يؤكده قيمة السعة الطيف اذ تزداد قيمة عندما يكون وضع المتحسس في الاتجاه الافقي(H) للمحمل, وتقل قيمة السعة نسبيا عندما يكون وضع المتحسس في الاتجاه العمودي للمحمل (V), وتكون قيمة السعة قليلة وبوضوح عندما يكون وضع المتحسس في الاتجاه الموازي(A) للمحمل. وكذلك نلاحظ ان قيم سعة الاهتزاز متساوية على المحملين في الاتجاه الافقي. مما يمكننا من تميز عطب عدم الاتزان الساكن عن عطب عدم الاتزان المزدوج والحركي.

ومن الشكل المرقم (7) نلاحظ من النتائج اي بطريقة معدل الجذر التربيعي (RMS)أن أفضل قيمة نأخذها من الاتجاهات الثلاثة (أفقي وعمودي ومحوري)هو الاتجاهالأفقي, لأنه يعطي أعلى قيمة للاهتزاز ممكن أن يصل اليها العمود الدوار.

والشكل المرقم (8) يمكن من خلاله تحديد مناطق كشف العطب في الوقت المبكر أي المنطقة في الون الازرق للنموذج العملي. وهي ما بين (0.2v-1.5v).

الاستنتاجات:

وبعد دراسة هذا البحث يمكن الوصول الى الاستنتاجات لتالية:

1. عمل نموذج حقيقي للاعطاب الاعمدة الدوارة هو افضل من دراسة النظرية والذي قام بها معظم الباحثين.
2. من خلال تطبيق النموذج العلمي لنظام الاعمدة الدوارة, اصبح بالإمكان تشخيص اعطاب الاعمدة الدوارة التي تتعرض لها, اذ اصبحت لدينا القدرة على تمييز انواع الاعطاب عن طريق مخطط الطيف الترددي.
3. يمكن تشخيص الاولي للاعطاب اذا حددنا اعلى قيمة لـRMS ومن اي اتجاه من المحمل.
4. ان لكل ماكنة مناطق تشخيص الاعطاب قبل وقوعها وذلك برسم العلاقة ما بين الـ(Class) التي تمثل بـ(RMS) مع سعة الاهتزاز الطيف (S. A.).

References::المصادر

[1] :د. خالد العبيدي "الاهتزازاتالميكانيكيةفيالقرآنالكريم"www.pdffactory.com

[2] Douglas G. Stadelbauer " Balancing of Rotating Machinery" Handbook, Chapter 39, partI

[3] Chris K. Mechefske "Machine Condition Monitoring and Fault Diagnostics "Vibration and Shock Handbook , Chapter 25

[4] sunilpandey "Vibration Monitoring of a Rotor System using RMS Accelerations (m/s2)" International Journal of Engineering Science and Technology (IJEST).

[5] a.el-Shafei " Neural Network and Fuzzy Logic Diagnostics of 1X Faults in Rotating Machinery" journal of Engineering for Gas Turbines and Power

[6] H.K.Srinivas "Application of Artificial Neural Network and Wavelet Transform for Vibration Analysis of Combined Faults of Unbalances and Shaft Bow" Adv. Theor.Appl.Mech.,Vol.3,2010 no.4,159-176

[7] Ali M. Al-Shurafa, "Determination of Balancing Quality Limits" Vibration Engineer .Saudi Arabia.

[8] Clarence W. de Silva, "Vibration and Shock Handbook", Mechanical Engineering Series, Frank Kreith- Series Editor,Machine Condition Monitoring and Fault Diagnostics, Chapter 25, 2005. Book

[9]Pratesh J. et al "Machine Fault Signature Analysis " International Journal of Rotating Machinery . Volume 2008, Article ID 583982,10 pages

[10] Ranges of vibration severity for various classes of machinery (ISO 12372 or BS 4675: 1971)

[11] C. I. Ugechi, E, A. Ogbonnaya, M.T. Lillt, S. O. T. Ogaji, S. D. Probert, " Condition-Based Diagnostic Approach for Predicting the Maintenance Requirements of Machinery ", Scientiflc Research, 2009.

[12] N. Tandon and A. Parey, " Condition Monitoring of Rotary Machines" , Industrial Tribology, Machine Dynamics & Maintenance Engineering Center , HauzKhas, New Delhi 110016, India

[13] Brüel&Kjær Company , " Catalog of Product Data, 1987"

[14] C. Liguori et al ." A DSP-Based FFT-Analyzer for the FaulDiagnosisof Rotating Machine Based on Vibration Analysis "IEEE TRANSACTIONS ON INSTRUMENTATION AND MEASUREMENT, VOL. 51, NO. 6, DECEMBER 2002

تم اجراء البحث في كلية ألهندسة = جامعة ألموصل