كشف عطب تكسر قضبان الجزء الدوار للمحرك الحثي ثلاثي الطور

أ.د. باسل محمد سعيد*، د. ياسر محمد يونس أمين**، محمد حامد سعود***
قسم الهندسة الكهربائية / جامعة الموصل / موصل – العراق
Email: basilms2005@yahoo.com*, yasir_75000@yahoo.com,**
mohammed_hamed8674@yahoo.com***

الخلاصة

يقدم هذا البحث نتائج مقارنة بين استخدام طريقة تحليل بصمة تيار المحرك الحثي و تحليل بصمة الاهتزاز و تحليل الإشارة الصوتية في كشف عطب تكسر قضبان الجزء الدوار. حيث تم اخذ النتائج في حالة كون المحرك سليم وفي حالة وجود عطب عند سرع مختلفة ناتجة عن تغير الحمل. وتم إجراء مقارنة بين الطرق الثلاثة لمعرفة مدى حساسيتها لكشف العطب ومن اجل اعتماد التقنية الملائمة لكشف العطب بدقة اكبر، تمت مراقبة الإشارات في حيز الزمن وفي حيز التردد، ومراقبة قيمة جذر معدل التربيع لإشارة التيار و قيمة الذروة لإشارة الاهتزاز علاوة على مراقبة مستوى شدة الصوت الناتج من الماكنة في الحالة السليمة وفي حالة وجود عطب.

بينت الفحوصات المختبرية بان طريقة تحليل بصمة تيار المحرك تعتبر من أكثر الطرق تحسساً لكشف عطب تكسر قضبان الدوار في مراحله المبكرة، بينما أظهرت إشارة الاهتزاز تحسساً اقل لكشف العطب في مراحله الأولية لوجود مركبات عديدة في إشارة الاهتزاز. أما الطريقة الصوتية فلم يلاحظ تغير محسوس لكشف العطب نظراً لوجود ضوضاء في بيئة القياس ولترددات العطب الواطئة.

الكلمات المفتاحية : تكسر قضبان الجزء الدوار، تحليل بصمة التيار، تحليل الاهتزاز، الضوضاء الصوتي.

Broken Rotor Bars Fault Detection of The Three-phase Induction Motor

Prof. B. M. Saied **Dr. Y. M.Y. Ameen.** **M. H. Saud**

Abstract

This paper presents results of the comparison between the use of induction motor current signature, vibration signature, and acoustic signal analysis methods to detect broken rotor bars fault. The results have taken at healthy and faulty conditions at different speeds due to change of load. It is a comparison between three ways to determine the sensitivity for detecting faults and to adopt the best technology in detecting damages in order to increase the reliability of the system. Signals are been analyzed in time and frequency domains. The value of the root mean square of the current signal, the peak value of vibration signal, and the sound pressure level of the machine sound have monitored for healthy and faulty conditions.

The laboratory tests show that the results of analyzing the current signature is considered one of the most sensitive to detect the rotor broken bar faults in its early stages، while the vibration signal method is less sensitive to detect the fault in the initial stages because of the presence of other components in the vibration signal. But the acoustic method is not reliable method for detecting this type of the faults. This is due to the presence of noise in the environment and fault low order frequencies.

Keywords: Broken rotor bars, Current signature, Vibration Analysis, Acoustic Noise.

أستلم: 15 - 5 – 2011 قبل: 22 – 11- 2011

1- مقدمة

تستخدم المكائن الحثية ثلاثية الطور بشكل واسع في المجال الصناعي حيث تمثل نسبتها ما يقارب 80% من نسبة المكائن المستخدمة [1]. وتمثل المحركات الحثية ذات القفص السنجابي نسبة 97% من نسبة المحركات الحثية المستخدمة [2]، وذلك بسبب مميزاتها من حيث سهولة التركيب، وخلوها من الفرش الكاربونية، وقلة حاجتها إلى الصيانة، وكفاءتها العالية، و إمكانية تشغيلها في بيئة ملوثة، فضلاً عن سهولة السيطرة على سرعتها وخاصة بعد التطور الكبير في مجال الكترونيات القدرة و صناعة المسوقات (Drives).

تعمل المحركات الكهربائية في المجال الصناعي عادة بمقنناتها القياسية عند الحمل التام، وذلك من اجل المحافظة على كمية الإنتاج ومتطلباته وكذلك المحافظة على سلامة الماكنة. لذلك فبالرغم من الوثوقية العالية لهذه المكائن، إلا انه في حالة حدوث أي عطب في الماكنة في مراحله الابتدائية، سواء كان بسبب المصادر الخارجية، مثل مشاكل التجهيز ومشاكل الحمل الميكانيكي، أو بسبب مشاكل داخلية داخل المحرك، قد يؤدي إلى حدوث أعطاب في المحامل أو حدوث دائرة قصر في ملفات الجزء الثابت أو عطب في الجزء الدوار وغيرها من الأعطاب. ونتيجة زيادة تفاقم العطب سيؤدي حتماً إلى توقف الماكنة وخروجها من العمل مما يسبب خسائر ملحوظة في الإنتاج.

لذلك يتطلب مراقبة مستمرة لحالة الماكنة أثناء العمل لمعرفة التغيرات التي تحدث خلال فترة التشغيل وهذا يساهم في كشف الأعطاب بمراحلها الأولى وتحديد نوع العطب مما يوفر الجهد والوقت المستغرق للتشخيص والصيانة وينعكس إيجابا على كلفة وكمية الإنتاج ونوعه وحماية العاملين [3].

فعلى سبيل المثال أن الهدف من عملية تشخيص عطب تكسر قضبان الجزء الدوار هو كشفه في مراحله الأولية قبل تطوره وتفاقمه إلى مراحل متقدمة تؤدي إلى إخراج الماكنة عن العمل حيث ربما تكون مراحله الأولية غير مؤثرة ولكن عند تفاقمه كأن يكون زيادة التصدع في القضيب سيؤدي إلى خروجه من موقعه ويؤدي إلى حدوث دائرة قصر مع الجزء الثابت (Rub between stator & rotor) أو يمكن إن يمتد التصدع إلى القضبان الأخرى مما يؤدي إلى ازدياد الاهتزاز في الماكنة وهذا بدوره قد يؤدي إلى خلخلة الربط (Structure Lossless) في الماكنة مما يمهد الطريق لظهور أعطال أخرى مثل أعطال المحامل (Bearing Fault) أو أعطال المعشق (Coupling Defect) أو صندوق التعشيق (Gearbox Defect).

2- عطب تكسر قضبان الجزء الدوار (Broken Rotor Bars Fault)

لقد ازداد اهتمام الباحثين في العقدين الأخيرين بدراسة أعطاب المكائن الكهربائية بصورة عامة وعطب الجزء الدوار خاصة. حيث بدء الاهتمام بدراسة أعطاب الجزء الدوار منذ 1980 وقد قام العديد من الباحثين بدراسة هذا العطب بصورة موسعة ومنهم (H. Douglas)، حيث قاموا بدراسة عطب تكسر قضبان الجزء الدوار باستخدام تقنية تحويل فورير السريع (FFT) وتحويل المويجة المقطع (Discrete Wavelet Transform) خلال الفترة العابرة التي تحصل عند تغير الحمل [4]. وقام (K. Abbasadeh)، بدراسة العطب باستخدام تقنية تحويل المويجة (Wavelet Transform) وباستخدام تقنية تحويل حزمة المويجة (Wavelet Packet Transform) [5].

تبلغ نسبة حدوث عطب تكسر قضبان الجزء الدوار حوالي 10% من نسبة الأعطاب التي يمكن أن تتعرض لها الماكنة [2]. ويصنف عطب تكسر قضبان الجزء الدوار ضمن أعطاب الجزء الدوار الكهربائية لان حدوثها يؤدي إلى عدم انتظام القوة الدافعة الكهربائية المحتثة على الجزء الدوار مما يؤدي إلى توليد مركبات ترددية تنتقل عن طريق الفيض المغناطيسي إلى الجزء الثابت وفي الوقت نفسه فان عدم انتظام القوة الدافعة الكهربائية المحتثة تؤدي إلى اهتزاز الماكنة فتظهر هذه المركبات عند تحليل إشارة التيار أو إشارة الاهتزاز و الإشارة الصوتية لأنه كما هو معروف أن الصوت ينتج من اهتزاز جسم معين.

يحدث عطب تكسر قضبان الجزء الدوار نتيجة تعرض الماكنة إلى إجهادات تؤدي إلى حدوث العطب [6] ويمكن تلخيص هذه العوامل إلى :-

1- إجهادات حرارية (Thermal Stresses): ناتجة بسبب التحميل المفرط (Over Load) أو عدم الاتزان (Unbalance) أو فشل التهوية (Ventilation) أو التفريغات الكهربائية (Spark).
2- إجهادات مغناطيسية (Magnetic Stresses): ناتجة عن عدم اتزان قوة الجذب الكهرومغناطيسية (UMP) التي تنتج بسبب عدم اتزان الفجوة الهوائية (Air Gap Eccentricity).
3- إجهادات ميكانيكية (Mechanical Stresses): ناتجة عن إعياء في المحامل (Bearing Fatigue) أو عدم محاذاة محور الدوران (Shaft Misalignment).
4- إجهادات حركية (Dynamic stresses): ناتجة بسبب عدم انتظام قوة الجذب المركزية (Centrifugal Force) لمحور الدوران الذي يؤدي إلى حدوث عزم نبضي.
5- إجهادات كيميائية (Chemical Stresses): ناتجة بسبب استخدام هذه المحركات في المصانع الكيميائية الحاوية على مواد تساعد على تأكل القضبان. وكذلك استخدامها في مناطق ذات رطوبة عالية.
6- إجهادات ناتجة بسبب عيوب تصنيعية (Manufacture Defects).

علاوة على هذه العوامل فان التشغيل المستمر للمحرك بطريقة مباشرة بدون وجود مسوق قد يؤدي إلى حدوث تصدع في القضبان. يمكن استخدام عدة تقنيات لكشف عطب تكسر قضبان الجزء الدوار منها:-

1- تقنية مراقبة الفيض الكهرومغناطيسي (Electromagnetic Flux Monitoring Technique).
2- تقنية مراقبة الاهتزاز (Vibration Monitoring Technique).
3- التقنية الصوتية (Acoustic Emission Monitoring Technique)
4- تقنية مراقبة تيار الماكنة (Current Monitoring Technique)
5- تقية مراقبة فولتية محور الدوران (Shaft Voltage Monitoring Technique)

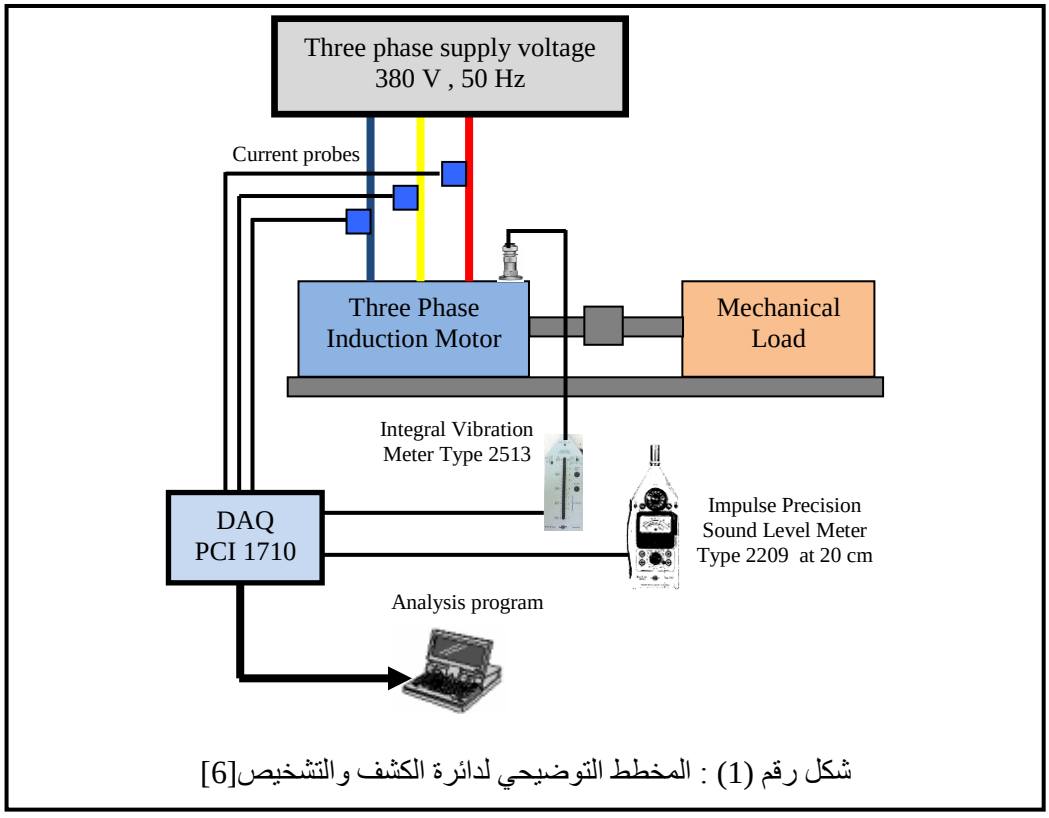
يمكن كشف عطب تكسر قضبان الجزء الدوار من خلال مراقبة المركبات الجانبية (sideband component) التي تظهر على جانبي المركبة الأساسية لموجة التيار أو موجة الاهتزاز أو الإشارة الصوتية. ويمكننا إيجاد هذه المركبات من خلال مراقبة الإشارات الناتجة من الماكنة وعن طريق العلاقة الاتية [5]،[4]،[2]:-

$$F_{brb_c} = f_s\,(1 \pm 2S) \quad \{\text{ In current signal}\} \qquad \ldots (1)$$
$$F_{brb_V\&A} = F_{sh}\,(1 \pm 2S) \quad \{\text{ In Vibration and Acoustic signals}\} \qquad \ldots (2)$$

حيث تمثل: F_{brb_c} : تردد المركبات الجانبية الناتجة من عطب تكسر قضبان الجزء الدوار في إشارة التيار.
$F_{brb_V\&A}$: تردد المركبات الجانبية الناتجة من عطب تكسر قضبان الجزء الدوار في إشاراتي الاهتزاز او الصوت .
f_s : تردد المصدر المجهز.
F_{sh} : تردد دوران محور دوران المحرك (Rotational Frequency F_{sh}) بوحدة (Hz) وتساوي سرعة دوران الدوار في الثانية الواحدة [Nr/60].
S : عامل الانزلاق للماكنة.

3- منظومة الكشف والتشخيص

تم بناء وربط منظومة للكشف والتشخيص كما مبين في الشكل رقم (1)، والتي تتكون من محركين حثيين متماثلين ثلاثيي الطور بالخصائص التالية. (380V,1.3kW,4 Pole, 1430 RPM) احدهما خالي من العطب أما الآخر فقد تم ثقب ثلاثة قضبان متجاورة في الجزء الدوار وذلك من اجل محاكاة عطب تكسر قضبان الجزء الدوار [7].



شكل رقم (1) : المخطط التوضيحي لدائرة الكشف والتشخيص[6]

تتكون منظومة الكشف من ثلاثة متحسسات للتيار (Hall probe) من نوع LA 25-NP من شركة LEM. ومتحسسين للاهتزازات احدهما من نوع CTC AC102- 1A مع جهاز مقياس الاهتزاز 205M لشركة BALMAC ، والآخر من نوع Bruel & Kjaer من طراز (2513)، ومن عداد قياس مستوى الاندفاعات الصوتية من طراز (2209) من شركة Bruel & Kjaer. ومن مقياس رقمي لمستوى الصوت من طراز 407750 لشركة EXTECH. تم إدخال هذه الإشارات إلى الحاسوب باستخدام بطاقة اكتساب البيانات من نوع PCI 1710 ، لشركة Advantch ذات تردد تقطيع 100KHz. وتم استخدام برنامج Matlab لبناء البرمجيات اللازمة لعملية تحليل هذه الإشارات المكتسبة باستخدام تقنية تحويل فوريير السريع (FFT) حيث تم إدخال الإشارات باستخدام تردد اخذ عينات قدره (F_s = 4096 Hz) وبعدد عينات (N_{sa} = 32768).

4- النتائج والمناقشة

بعد استكمال بناء وربط منظومة كشف وتشخيص الأعطاب تم ربط المنظومة لكشف حالة محركين متماثلين وكما أسلفنا سابقاً حيث تم تشغيل المحرك الأول لمدة ساعتين وأدخلت البيانات من إشارات التيار والاهتزاز والصوت إلى الحاسبة لغرض التعامل معها وتحليلها في خطوات لاحقة. ومن ثم أعيدت عملية الفحص والتشغيل مع المحرك الأخر وأدخلت البيانات اللازمة إلى الحاسبة أيضا. وتبين الفقرة (4-1) عينة من نتائج القياس والتحليل في حيزي الزمن والتردد والتي تم الحصول عليها من حالات تشغيل مختلفة.

4-1- نتائج القياس في حيز الزمن (Time Domain Measurement Results)

1- عند حساب قيم معدل الجذر التربيعي (RMS) لتيار الساكن للمحركين (السليم والمعطوب) للأطوار الثلاثة عن طريق برنامج حيث يقوم البرنامج بأخذ عينات من أشارة التيار ثم يقوم بحساب قيمة جذر معدل التربيع لإشارة التيار إضافة إلى حساب القيمة العظمى للتيار (Peak current Value) و حساب قيمة المعدل (Mean value) لقيمة التيار لمعرفة إذا كانت الشبكة تحتوي على مركبة مستمرة DC offset . وكانت النتائج كما موضحة في الجدول رقم (1). وتبين النتائج أن عطب تكسر القضبان لا يمكن تشخيصه في مراحله الأولية باستخدام هذه الطريقة، حيث لا يؤدي إلى ارتفاع ملحوظ في قيمة التيار المسحوب.

جدول رقم (1) تيارات الأطوار الثلاثة للمحركين السليم والمعطوب

Load	Speed (RPM)	Healthy motor current			Faulty motor Current		
		I_R (A)	I_S (A)	I_T (A)	I_R (A)	I_S (A)	I_T (A)
N.L	1490	1.73	1.72	1.74	1.73	1.72	1.73
H.L	1450	2.41	2.45	2.44	2.43	2.44	2.44
F.L	1430	3.15	3.08	3.13	3.11	3.14	3.16

2- عند قياس مستوى الاهتزاز للمحركين (السليم والمعطوب) عند الاتجاهات الثلاثة (عمودي، أفقي، محوري) كانت نتائج إشارات الإزاحة والسرعة والتعجيل (Displacement، Velocity، Acceleration) لاهتزاز جسم الماكنة كما في الجداول (2 و 3)على التوالي للاتجاهات الثلاثة.

جدول رقم (2) مستوى اهتزاز المحرك السليم

LOAD	**Vertical Position**			**Horizontal Position**			**Axial Position**		
	Acc (mm/s^2)	**Vel (mm/s)**	**Dis (mm)**	**Acc (mm/s^2)**	**Vel (mm/s)**	**Dis (mm)**	**Acc (mm/s^2)**	**Vel (mm/s)**	**Dis (mm)**
N.L	0.22	0.95	6.81	0.16	0.89	9.8	0.06	0.66	4.35
H.L	0.28	1.86	35.6	0.27	1.1	10.2	0.11	0.89	6.16
F.L	0.34	1.67	31.5	0.23	1.07	7.6	0.12	0.85	6.35

جدول رقم (3) مستوى اهتزاز المحرك المعطوب الذي يحتوي على ثلاث قضبان مكسورة

LOAD	Vertical Position			Horizontal Position			Axial Position		
	Acc (mm/s^2)	Vel (mm/s)	Dis (mm)	Acc (mm/s^2)	Vel (mm/s)	Dis (mm)	Acc (mm/s^2)	Vel (mm/s)	Dis (mm)
N.L	0.21	1.46	16.23	0.24	0.86	8.28	0.11	0.74	3.24
H.L	0.26	2.08	23.7	0.29	1.97	10.5	0.13	1.09	6.73
F.L	0.29	1.96	22.6	0.45	1.93	9.25	0.12	1.23	6.75

كما نلاحظ من الجداول أن قيم الاهتزاز كانت متذبذبة ومن الصعوبة التمييز بينها الا عند مراقبة اهتزاز السرعة في محاور القياس الثلاثة عامودي او افقي او محوري (vertical, axial, horizontal) ، حيث تبين وجود تغير ملحوظ في نتائج قياس المحركين السليم والمعطوب.

3- عند قياس مستوى شدة الصوت للمحركين كانت النتائج كما مبينة في الجدول (4)، حيث تبين النتائج على عدم وجود زيادة ملحوظة في شدة صوت الماكنة مع حدوث العطب.

جدول رقم (4) مستوى شدة صوت المحرك السليم والمعطوب.

Load	Speed (RPM)	Healthy motor noise (dB)	Faulty motor noise (dB)
N.L	1490	76.4	77.4
H.L	1450	77.9	78.8
F.L	1430	80.3	79.5

4-2- نتائج تحليل الإشارات المكتسبة في حيز التردد:-

قبل البدء بتحليل الإشارات المدخلة الى الحاسوب تم حساب الترددات محتملة الظهور في إشارتي التيار والاهتزاز في حالة حدوث عطب تكسر قضبان الجزء الدوار وفقا للمعادلتين رقم (1) ورقم (2) عند سرع مختلفة للماكنة ويبين الجدول رقم (5) هذه الترددات عند تجهيز المحرك من مصدر ذو تردد يساوي fs=50Hz .

جدول رقم (5) الترددات المحتملة الظهور عند حصول عطب تكسر قضبان الجزء الدوار

Load	Speed (R.P.M)	F_{sh} (Hz)	Slip factor S	Current sideband freq. (Hz) F_{brb_c}		Vibration &Acostic noise sideband (Hz) $F_{brb_V\&A}$	
N.L	1490	24.83	0.67%	50.67	49.33	25.163	24.497
H.L	1450	24.167	3.33%	53.33	46.67	25.776	22.556
F.L	1430	23.83	4.67%	54.67	45.33	26.055	21.604

4-2-1- تحليل إشارة التيار:-

تمتاز تقنية مراقبة إشارة التيار بمحاسنها مقارنة مع تقنية تحليل الاهتزاز من حيث كلفتها الواطئة وعدم حاجتها إلى متحسسات إضافية. وتعتبر طريقة تحليل بصمة التيارMCSA من أكثر طرق مراقبة التيار استخداما لتشخيص اعطاب الماكنة ً من قبل الباحثين في السنوات الأخيرة. حيث يتركز محور هذه الطريقة على تحليل موجة التيار الآني لأحد أطوار الساكن في حيز التردد باستخدام تقنيات فورير كأن تكون تقنية FFT حيث تحسب وترسم التوافقيات المرافقة لموجة الأساس. حيث تظهر التوافقيات الزمنية و الفضائية (Time & Space Harmonics) فضلاً عن ظهور توافقيات الاعطاب المبينة في العلاقة (1).

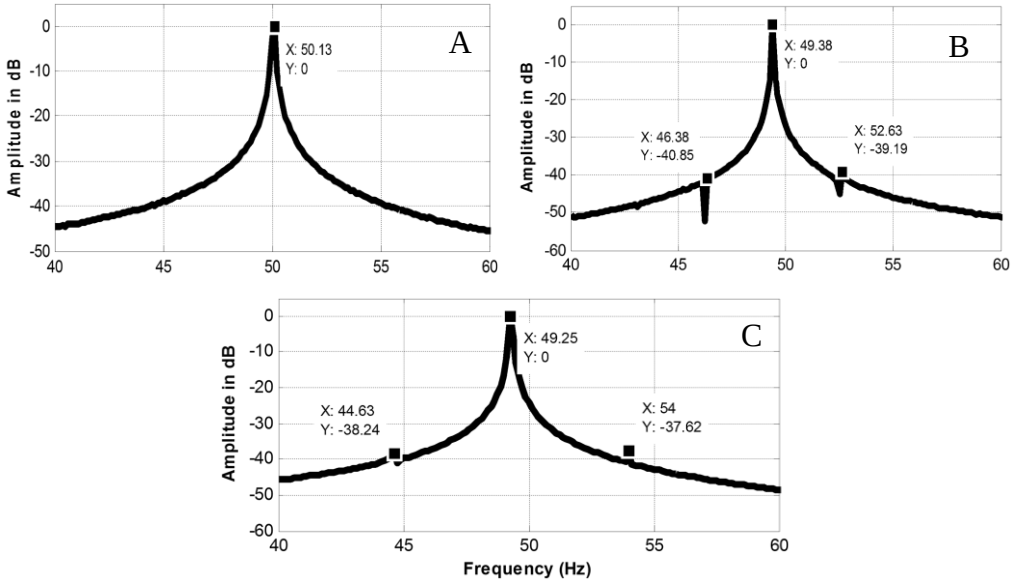
عند تحليل إشارة التيار للأطوار الثلاثة وجد أنها تتأثر بنفس المركبات ولذلك تم عرض نتائج أحد الأطوار فقط (الشكل رقم 2) ، والتي يمكن استنباط ما يأتي:-

- عند تحليل إشارة التيار في حالة اللاحمل لا يوجد ما يشير إلى وجود عطب تكسر القضبان كما موضح في الشكل رقم (2-A).
- بينما عند تحليل إشارة التيار في حالة نصف الحمل التام (HL) ظهرت بوضوح الترددات المتوقعة لهذا العطب حيث نلاحظ المركبات الظاهرة على جانبي المركبة الأساسية حيث كانت قيمة المركبة الجانبية اليسرى (left sideband)

عند تردد (46.38 Hz) وبقيمة (40.85 db-) وكانت المركبة اليمنى (right sideband) عند تردد (52.63 Hz) وبقيمة (39.15 db-). كما موضح في الشكل رقم (2-B).

- وكذلك عند تحليل إشارة التيار في حالة الحمل التام (FL) ظهرت ترددات العطب على جانبي المركبة الأساسية حيث كانت قيمة المركبة الجانبية اليسرى عند تردد (44.63 Hz) وبقيمة (38.24 db-) وكانت المركبة اليمنى عند تردد (54 Hz) وبقيمة (37.62 db-). كما موضح في الشكل رقم (2-C).

إن سبب الاختلاف القليل في قيم النتائج يعود إلى عدم ثبوت سرعة الماكنة و تردد المصدر حيث انه من خلال التحليل نجد إن التردد اقل بقليل من 50 Hz.



شكل رقم (2) الطيف الترددي لإشارة التيار عند حدوث عطب تكسر قضبان الجزء الدوار في حالة :

(A) في حالة اللاحمل. (B) في حالة نصف الحمل. (C) في حالة الحمل التام.

4-2-2- تحليل إشارة الاهتزاز:-

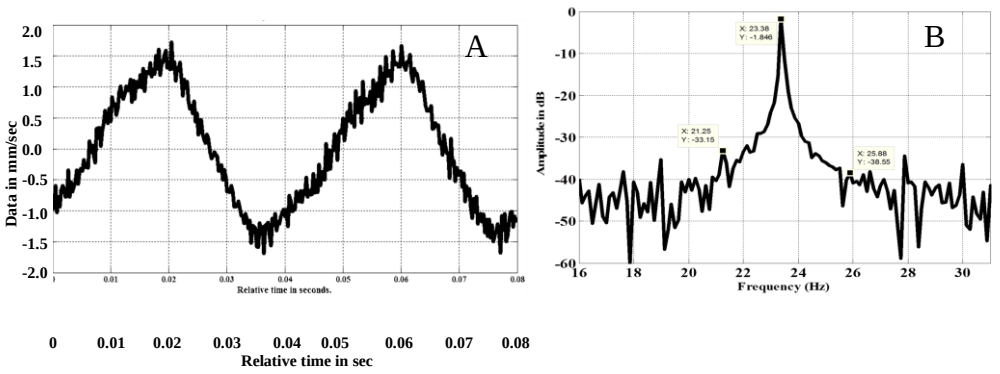
تعتبر هذه الطريقة من الطرق الشائعة في كشف الأعطاب الميكانيكية في مراحلها الأولية وتتم عن طريق تحليل إشارة الاهتزاز الناتجة من المتحسس باستخدام إحدى تقنيات معالجة الإشارة من اجل بيان المركبات الموجودة داخل إشارة الاهتزاز.

تم تحليل إشارة الاهتزاز باستخدام المتحسس Bruel & kjaer لمحاور (مواقع) مختلفة و وجد أنه لكل موقع قدرة على التحسس لعطب معين في الماكنة كما أن لكل إشارة (إشارة الإزاحة، إشارة السرعة، وإشارة التعجيل) إمكانية تحسس عطب أو أعطاب معينة حيث إن لكل إشارة مدى من الترددات التي يمكن تحسسها فمثلاً إشارة الاهتزاز (الإزاحة) لها القدرة على كشف الظواهر ذات الترددات اقل من 200 Hz بينما إشارة الاهتزاز (السرعة) لها القدرة على تحسس الترددات ذات المدى (10 Hz–1KHz)، وإشارة الاهتزاز (التعجيل) لها القدرة على تحسس الترددات الأعلى من 1KHz.

إن الجهاز Bruel & Kjaer له القدرة على تزويدنا باشارة سرعة وتعجيل وخلال التحليل استنتجنا ما يلي:

- أن إشارة التعجيل غير كفوءة للاستدلال على وجود عطب تكسر قضبان الدوار بالرغم من وضع المتحسس في المحاور الثلاثة.
- بينما إشارة السرعة (الشكل (3-A)) كانت أفضل للاستدلال على العطب ولجميع المحاور وخاصة أن إشارة الاهتزاز الناتجة من متحسس بموضع عامودي كان له النسبة الأكبر في كشف العطب بوضوح في حالة الحمل التام بالرغم من وجود مركبات أخرى داخل إشارة الاهتزاز حيث يوضح الشكل (3-B) نتائج التحليل.
- عند تحليل إشارة سرعة الاهتزاز في حالة اللاحمل ونصف الحمل لوحظ انه من الصعوبة الاستدلال على مركبات الأعطاب بسهولة مقارنة مع حالة تحليل بصمة التيار.
- عند تحليل إشارة سرعة الاهتزاز في حالة الحمل التام ظهرت الترددات المتوقعة للعطب بعد مقارنتها مع نتائج تحليل المحرك السليم حيث نلاحظ ظهور المركبات على جانبي المركبة الأساسية لتردد دوران المحرك. وكانت قيمة المركبة

الجانبية اليسرى عند تردد (21.25 Hz) وبقيمة (33.15 dB-) وكانت المركبة اليمنى عند تردد (25.88 Hz) وبقيمة (38.55 dB-). وكما موضح في الشكل رقم (3-B).



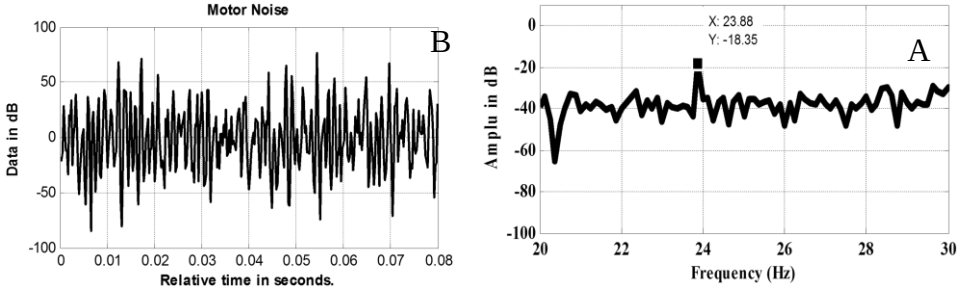
شكل رقم (3): (A) موجة لإشارة سرعة الاهتزاز.
(B) الطيف الترددي لإشارة موجة الاهتزاز في حالة الحمل التام.

4-2-3- تحليل الإشارة الصوتية:-

ازداد اهتمام الباحثين باستخدام الطريقة الصوتية في كشف أعطاب المكائن الكهربائية بصورة عامة عن طريق تحليل الإشارة الصوتية الناتجة من المكائن وملاحظة الطيف الترددي للموجة الصوتية .أول من استخدم طريقة تحليل البصمة الصوتية كان [D. Leducq] في عام 1990 [8]. ثم توالت البحوث من قبل العلماء في تشخيص أعطاب المكائن باستخدام الطريقة الصوتية حيث تم استخدامها في كشف عطب تكسر قضبان الجزء الدوار [9]. أن الصوت المتولد من الماكنة يحتوي على مركبات ترددية عديدة منها المركبات الترددية للأعطاب والتي يمكن عن طريق تحليل الطيف الترددي للموجة الصوتية معرفة نوع العطب داخل الماكنة.

تعتبر هذه الطريقة من التقنيات الحديثة التي تم استخدامها في كشف الأعطاب الميكانيكية بصورة خاصة في المكائن الكهربائية كما تتميز بسرعة كشف مثل هذه الأعطاب من خلال الأذن البشرية حيث أن العامل الخبير في المصنع له القدرة على تحديد كون الماكنة تعمل بصورة طبيعية أو غير طبيعية من خلال صوتها لذلك فقد تم استخدام هذه التقنية في كشف الأعطاب من خلال تحليل الإشارة الصوتية للماكنة . إلا أن لهذه الطريقة بعض المساوئ منها وجود ضوضاء ناتجة من البيئة المحيطة وهذه الضوضاء تحد من وثوقية هذه التقنية عند استخدامها. حيث إن اغلب البحوث المنشورة تذكر أن الفحوصات تمت في غرفة معزولة (Anechoic Chamber)، وصعوبة فصل مركبات العطب عن الضوضاء عند استخدامها في البيئة العملية[10].

عند تحليل إشارة الصوت الشكل (A-4) لا يوجد دلالة واضحة على وجود عطب تكسر قضبان الدوار على الرغم من وضع المنظومة في غرفة عديمة الصدى وذلك بسبب كون العطب ذا طبيعة كهربائية أكثر من كونه ذا طبيعة ميكانيكية ولضعف استجابة متحسسات الصوت المستخدمة في هذا البحث للترددات الواطئة ، لذلك بينت نتائج تحليل إشارة صوت الماكنة (الشكل (B-4)) ضعف دلالة وكفاءة الطريقة الصوتية في كشف عطب تكسر قضبان الدوار خصوصا في مراحل العطب المبكرة. رغم أن هذه الطريقة شخصت اعطاب المحامل واعطاب أخرى بكفاءة أفضل وبدلالة أوضح في بحوثنا السابقة [12][11].



شكل رقم (4) : (A) موجة صوتية ناتجة من محرك حثي ثلاثي الطور.
(B) الطيف الترددي للإشارة الصوتية.

5. الاستنتاج

إن حدوث عطب تكسر قضبان الجزء الدوار لا يسبب زيادة محسوسة في قيمة التيار المسحوب من المصدر، حيث لا يمكن معرفة كون المحرك سليماً أو حاوياً على عطب تكسر قضبان الجزء الدوار. في حين بينت نتائج البحث عند استخدام ثلاثة طرق مختلفة لتشخيص عطب تكسر الدوار، وهي طريقة تحليل بصمة التيار وطريقة تحليل الاهتزاز وطريقة تحليل الإشارة الصوتية ، أن طريقة تحليل بصمة التيار يمكن الاعتماد عليها بنسبة عالية لتشخيص مثل هذا النوع من العطب مقارنة مع استخدام طريقتي الاهتزاز والصوت. وان نتائج تحليل بصمة التيار كانت أوضح تشخيصا في حالة تحميل الماكنة مقارنة مع حالة اللاحمل.

أما طريقة تحليل موجة الاهتزاز فقد أظهرت صعوبة في تمييز مركبات عطب تكسر قضبان الدوار في مراحله المبكرة مقارنة مع طريقة تحليل بصمة التيار وذلك لضعف مركبة هذا العطب في إشارة الاهتزاز وتداخلها مع المركبات الأخرى بما فيها الضوضاء، ومع ذلك فقد أعطت نتائج تشخيص افضل نسبيا مقارنة مع تحليل إشارة صوت الماكثة.

في حين أن الطريقة الصوتية كانت اقل كفاءة ودلالة من الطريقتين السابقتين في كشف وتشخيص عطب تكسر قضبان الدوار سواء من خلال مراقبة شدة صوت الماكنة ، أو من خلال تحليل الإشارة في حيز التردد ضمن مديات الصوت المسموعة وذلك بسبب وجود ضوضاء عالية ذات تردد واطئ في بيئة القياس. كما تم فحص المحرك في غرفة عديمة الصدى لتجنب الضوضاء وعزل الماكنة ولكن لم تظهر مركبات ترددية ملحوظة ناجمة من عطب تكسر قضبان الدوار.

6. المصادر

1. P. J. Tavner، "Review of Condition Monitoring of Rotating Electrical Machines"، IET Electrical power application، Vol. 2، No. 4، PP. (215-247)، 2008.
2. Yasir M. Y. Ameen، "Advanced Methods for Induction Motors Fault Diagnosis"، Ph. D. Thesis، Mosul University، Mosul، Iraq، 2007.
3. Clarence W. de Silva، "Vibration and Shock Handbook"، Mechanical Engineering Series، Frank Kreith - Series Editor، Chapter 25، 2005. (Book).
4. H. Douglas، P. Pillay، and A. K. Ziarani، "Broken Rotor Bar Detection in Induction Machines With Transient Operating Speeds"، IEEE Transactions on energy conversion، Vol. 20، No. 1، March 2005.
5. K. Abbasadeh، J. Milimonfared، M. Haji، H. A. Toliyat، "Detection of Broken rotor bars in induction motors using wavelet analysis"، IEEE industrial electronics society، 2001.
6. Subhasis Nandi ، Hamid A. Toliyat، and Xiaodong Li،" Condition Monitoring and Fault Diagnosis of Electrical Motors—A Review " ،IEEE Transactions on energy conversion، Vol. 20، No. 4، December 2005
7. C. Kral، A. Haumer، and C. Grabner " Modeling and Simulation of Broken Rotor Bars in Squirrel Cage Induction Machines"، Proceedings of the World Congress on Engineering 2009، Vol. I، WCE 2009، July 1 - 3، 2009، London، U.K.
8. D. Leducq، Hydraulic noise diagnostics using wavelet analysis، Proceedings of the International Conference on Noise Control Engineering، 1990، pp. 997–1000.
9. Weidong Li، Chris K. Mechefske، "Detection of Induction Motor Faults: A Comparison of Stator Current، Vibration and Acoustic Methods"، Journal of Vibration and Control، 12(2): 165–188، 2006
10. J. R. Cameron، W. T. Thomson، and A. B. Dow، "Vibration and current monitoring for detecting air gap eccentricity in large induction motors،" *Proceedings of IEE*، Vol. 133، Pt. B، No. 3، May 1986، pp155-163.
11. M. H. Saud " Intelligent Methods for Three Phase Induction Motor Fault Detection and Diagnosis" Msc. Thesis, Mosul University, Mosul, Iraq, 2010.
12. B.M. Saied, Y.M.Y Ameen, M. H. Saud " Acostic Technique for Three-Phase Induction Motor Bearing Faults Detection" Proceedings of The Fifth Libyan Arab International Conference On Electrical and Electronic Engineering ,23-26 October, 2010.

تم اجراء البحث في كلية ألهندسة = جامعة ألموصل