

## The Influence of The Hydraulic Pumps Design Characteristics and Temperature of Mineral Oil on The Stability of Actuator

**Abdul Karim Swadi Saleh**

Ministry of Industrial and Material. Al Akah Company/Baghdad

**Dr. Farid Abou Hamed**

Faculty of Mechanical and Electrical Engineering, University of Damascus/ Damascus

**Dr. Jafer Mehdi Hasan**

Machines and Equipment Engineering Department, University of Technology / Baghdad

Email: abdulcarems.s@yahoo.com

Received on: 24/11/2013 & Accepted on: 13/5/2014

### ABSTRACT

Much research dealt with the problem in the pulsation of hydraulic pumps, studies, research and literature for vibration did not interfere with the effect of the medium which make vibrations and effect of temperature on the medium (the indirect effect on mechanical vibration). In this research a practical correlation between pulsation of pumps and temperature, pressure and vibration will be developed. To achieve this goal the hydraulic system was designed and implemented to deduce the effect of the internal design of the three main hydraulic pumps, gear pump, vane pump and piston pump, in conjunction with the high temperature of the mineral oil on the vibration generated by the piston arm and the stability of the actuator. Vibration Meter device used to indicate the vibration at the tip of the arm plunger for hydraulic piston and uploaded with a variable load (spring), as well as a computer-aided reading was recorded. It was shown that the interior design of the pumps had an effective influence on the values of acceleration and speed of vibration, even if convergence frequency pulse outside of the slot pressure pumps. This effect cannot be separated from the oil temperature which affect the increasing values of acceleration and speed of vibration recorded on the tip of the plunger arm (performance of the piston) also the pressure has an effect on the values of acceleration and speed of vibration . The temperature of the mineral oil had a strong influence on the performance of hydraulic systems, at the resonance condition.

**Keywords:** hydraulic pumps, vibration, stabilizing the actuator, hydraulic system , mineral oil temperature.

تأثير الخصائص التصميمية للمضخات الهيدروليكية ودرجة حرارة الزيت  
المعدني على استقراره المستخدم

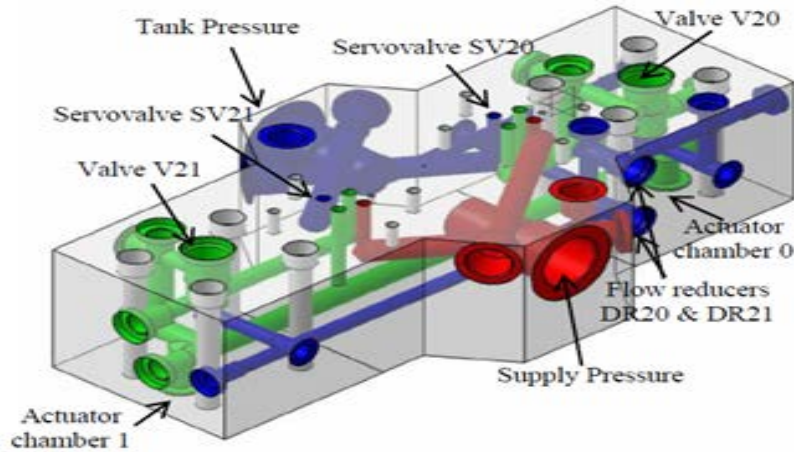
الخلاصة:

تناولت البحوث والدراسات مشكلة النبض في المضخات الهيدروليكية وكذلك تناولت العديد من البحوث والمؤلفات الاهتزازات الميكانيكية، لكنها لم تتناول التأثير للوسط المسبب للاهتزازات وكذلك

المؤثرات الأخرى على هذا الوسط ومنها درجة الحرارة (اي التأثير غير المباشر على الاهتزازات الميكانيكية). في هذا البحث سيتم التوصل الى تأثير هذا الوسط وهو الزيت المعدني ووضع الترابط العملي بين النبض للمضخات ودرجة الحرارة والضغط والاهتزازات مع مرجعية نظرية. لتحقيق هذا الهدف تم تصميم وتنفيذ منظومة هيدروليكية لاستنتاج تأثير التصميم الداخلي لثلاث مضخات هيدروليكية أساسية وهي المضخة المسننة والريشية والمكبسية بالتزامن مع ارتفاع درجة الحرارة للزيت المعدني والضغط على الاهتزازات الناتجة على طرف ذراع الكباس أي على استقراره المستخدم (المشغل). تم الاستعانة بجهاز قياس الاهتزازات لتحديد الاهتزازات على طرف ذراع الكباس للمكبس الهيدروليكي والذي تم تحميله بحمل متغير عبارة عن نابض، وكذلك بمساعدة الحاسوب تم تسجيل القراءات. تم التوصل الى ان التصميم الداخلي للمضخات له تأثير فعال على قيم تعجيل وسرعة الاهتزاز حتى وان تقارب تردد النبض الخارج من فتحة الضغط للمضخات وأن هذا التأثير لا يمكن فصله عن درجة حرارة الزيت المعدني حيث تم الاستنتاج ان درجة الحرارة تؤثر على زيادة قيم تعجيل وسرعة الاهتزاز المسجلة على طرف ذراع الكباس أي على أداء المكبس وأن الضغط يؤثر على قيم التعجيل والسرعة عند ثبوت درجة الحرارة. كذلك وجد ان لدرجة الحرارة للزيت المعدني تأثير قوي على الحالة الأكثر سوءاً على أداء المنظومات الهيدروليكية وهي حالة الرنين.

### المقدمة :

يتأثر الأداء في المنظومات الهيدروليكية بشكل التصميم للأجزاء الداخلة في تكوين المنظومة الهيدروليكية وتبين ان أكبر التأثيرات تتسبب بها طريقة التصميم للمضخات الهيدروليكية باعتبارها هي الجزء المسؤول في المنظومة الهيدروليكية عن تحويل الطاقة الى طاقة محملة بالزيت المعدني، لذلك سيتم البحث عن تأثير التصميم الداخلي للمضخات الهيدروليكية ودرجة حرارة الزيت المعدني على استقراره المستخدم (المشغل) (actuator) وهل ان درجة حرارة الزيت المعدني تساعد على تحسين الأداء للمضخات ذات التأثير السلبي الأكبر على استقراره المستخدم أم لها تأثير سلبي. تناول العديد من البحوث دراسة النبض للمضخات وتأثير الأجزاء الداخلة في المنظومة الهيدروليكية على الأداء حيث تناول الباحثون Yaozhong XU et. al [1] تأثير الكتلة الوسيطة المستخدمة في المنظومات الهيدروليكية لتركيب الأجزاء من صمامات وغيرها كما في الشكل (1) والتي تعتبر العناصر الأساسية في نظام التحكم الهيدروليكي. ومع ذلك، فإن تأثير هذه الكتلة عادة ما يتم إهمالها، ولكن يجب أن يؤخذ بعين الاعتبار عندما يتحتم تحقيق تطبيقات عالية الأداء، وخصوصاً في الترددات العالية. هذا البحث تركز على هذا المكون وتأثير ديناميك النظام الهيدروليكي، و تحليلًا كاملاً للأثار (هبوط الضغط، الانضغاطية، والجمود) الناجمة عن الكتلة المتوسطة على أداء النظام برتمه. تم إيجاد العلاقة بين انخفاض الضغط جنباً إلى جنب مع المفقود من الطاقة و تم استخدام البرامج الحاسوبية لديناميك السوائل (CFD) للتحقق من صحة النتائج. الى جانب ذلك فإن الانضغاطية والقصور الذاتي تم دراسة آثارهما بعناية لأن لها تأثير كبير على الترددات الهيدروليكية. وأخيراً، وبالمحاكاة والتجارب لبيان أهمية تأثير كتلة وسيطة في النظام الهيدروليكي وبواسطة النمذجة. وعن طريق إدخال الانضغاطية و آثار القصور الذاتي لكتلة وسيطة، أظهرت نتيجة المحاكاة تطابق أفضل مع النتائج التجريبية في الترددات العالية. توضح المقارنة الى أن التصميم في نظم السيطرة الهيدروليكية ممكن أن تصل الى أداء أفضل اذا أخذ بنظر الاعتبار النموذج الديناميكي للكتلة الوسيطة.



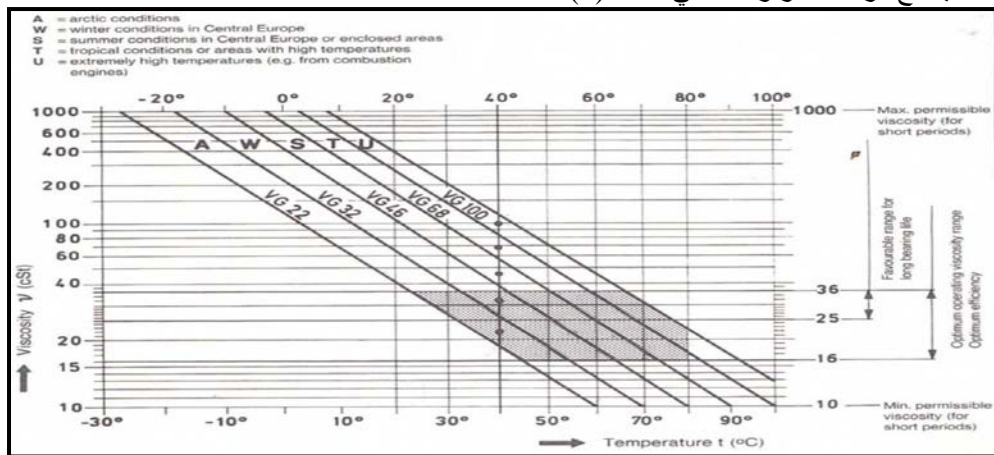
شكل (1) مخططاً يوضح الكتلة الوسيطة [1]

قدمت شركة Mobil industrial [2] تفسيراً لتأثير انخفاض كفاءة المضخات بارتفاع درجات الحرارة وذلك عن طريق التغير في لزوجة السوائل المعدنية ، تم دراسة استقراره اجهاد القص للسوائل وقد تم جمع البيانات لأثنين من الزيوت المعدنية من شركة (Vickers) (25 VQ) وباستخدام المضخة الريشية (Vane pump) وبتشغيل تحت درجة حرارة (125°F 52°C) وبضغط (138 bar) ولفترة (138 ساعة) وتم الاستنتاج أن 30% من درجة اللزوجة قد فقدت خلال يومين تشغيل . والتأثير على كفاءة المضخة حصل من خلال تأثر عملية التزيت لأجزاء المضخة .

درس الباحثان Howells E., and Norton E. T. [3] نظرياً تأثير الحرارة على معامل تلك وسرعة الصوت واستنتجا ان الحرارة لها تأثير مهم على هاتين الخاصيتين ، هذه الدراسة تمت لدرجات حرارة من -30°C الى 130°C وأوجدا ان التأثير للحرارة على سرعة الصوت يكون أكبر من التأثير على معامل تلك.

تناول الباحثان Fukuhara M. , and Tsubouchi T. [4] تأثير اللزوجة للزيوت على سرعة الصوت وأثبتوا تأثيرها. وبما ان اللزوجة تتغير بتغير التركيب الجزيئي للزيت لذلك فإن سرعة الصوت تتغير من زيت لآخر .

اللزوجة للزيوت المعدنية تتغير بتغير درجة الحرارة حيث وضعت شركة Mannesmann Rexroth [5] منحنيات تغير اللزوجة الحركية (Kinematic viscosity) لمجموعات الزيوت المعدنية مع درجة الحرارة كما في الشكل (2).



شكل (2) تغير اللزوجة الحركية للزيوت المعدنية مع تغير درجة الحرارة [5]

درس الباحث [6] Manring N. D. تأثير الهواء الداخل مع الزيت المعدني على معامل بلوك وأثبت ان نسبة (1%) من الهواء الداخل مع الزيت المعدني يؤدي الى تقليل معامل بلوك بمقدار (1085 MPa) ، وأن الهواء المذاب في الزيت المعدني له تأثير قليل .

### الجانب العملي Experimental work :

لغرض دراسة تأثير التصميم الداخلي للمضخات ودرجة حرارة الزيت المعدني تم تصميم منظومة هيدروليكية مكونة من ثلاث دوائر مرتبطة مع بعضها بمستخدم واحد وهو مكبس غير متماثل ، والموضحة بالمخطط للدائرة الهيدروليكية الشكل (3)، تم تركيب الأنواع الثلاثة الرئيسية من المضخات وهي المسننة والريشية والمكبسية والتي تحمل الأرقام (3،4،5) على التوالي، كما في الشكل (4 D) مع تفاصيل بالمخططات لأجزاء المضخات كما في الشكل (4 A,B,C) (علماً أنها ذات حجم متقارب) ويتم تجهيزها بزيت معدني (SAE 46) وبدرجات حرارة متفاوتة بواسطة خزان رقم (14) مركب بداخله سخان زيت كهربائي رقم (2). يتم التحكم بالتدفق بواسطة صمام التحكم بالتدفق رقم (7) أما التحكم بالضغط فيتم عبر صمام التحكم بالضغط رقم (8) وحركة المكبس يتم التحكم باتجاهها بواسطة صمام التحكم بالاتجاه رقم (11) تم الاستعانة بجهاز قياس الاهتزازات المبين بالشكل (5) والذي تم ربطه مع الحاسوب وبمساعدة برنامج (Lutron softwear) والموضحة بالشكل (6) والذي يعرض أيضاً صورة عامة لمنصة الاختبار. تم ربط مزدوجات حرارية رقم (10) تتحمل ضغوط عالية في بداية ونهاية الأنبوب الرابط بين المستخدم وأجزاء المنظومة الهيدروليكية الأخرى لمعرفة درجات الحرارة للزيت المعدني داخل الأنبوب وكذلك مقياس حراري لمعرفة درجة حرارة الزيت المعدني في الخزان رقم (1).

### الخصائص التصميمية للمضخات:

سيتم التركيز على أجزاء المضخات المسؤولة عن دفع الزيت لأنها هي المؤثرة على شكل الانسياب

1. المضخة المسننة وهي من النوع الخارجي أي ذات تروس بأسنان خارجية (External gear pump) وعدد الأسنان في كلا الترسين (20 سن) وبحجم 26 أي (26 cm<sup>3</sup>/rev) كما في الشكل (4 A).
2. المضخة الريشية وهي ذات مدخلين لخط السحب ومخرجين لخط الضغط وذات 12 ريشة وبحجم 27 أي (27 cm<sup>3</sup>/rev) كما في الشكل (4 B).
3. المضخة المكبسية وهي من النوع المحوري المائل (Bent axil piston pump) وذات (7) مكابس وبحجم 28 أي (28cm<sup>3</sup>/rev) كما في الشكل (4 C).

**22 التردد للمضخات**  
المحركات الكهربائية التي تقود المضخات هي ذات سرعة دورانية مقدارها (N = 1450 rev/min) وبذلك وحسب عدد الأسنان للمضخة المسننة يكون التردد للمضخة المسننة:  
n = 20

$$\frac{N \times n}{60} = \frac{\text{cycle}}{\text{sec}} = 483.333 \text{ HZ}$$

بينما للمضخة الريشية يكون :

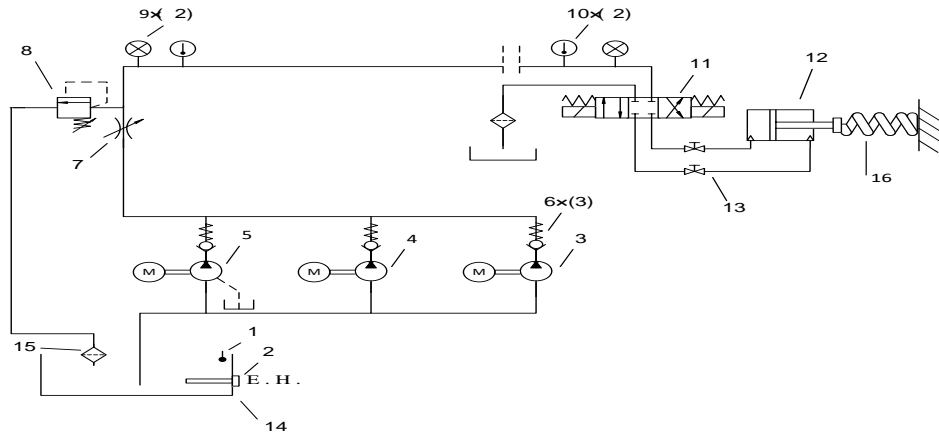
$$n = 12 \times 2 = 24$$

$$\frac{N \times n}{60} = \frac{\text{cycle}}{\text{sec}} = 580 \text{ HZ}$$

$$n = 7$$

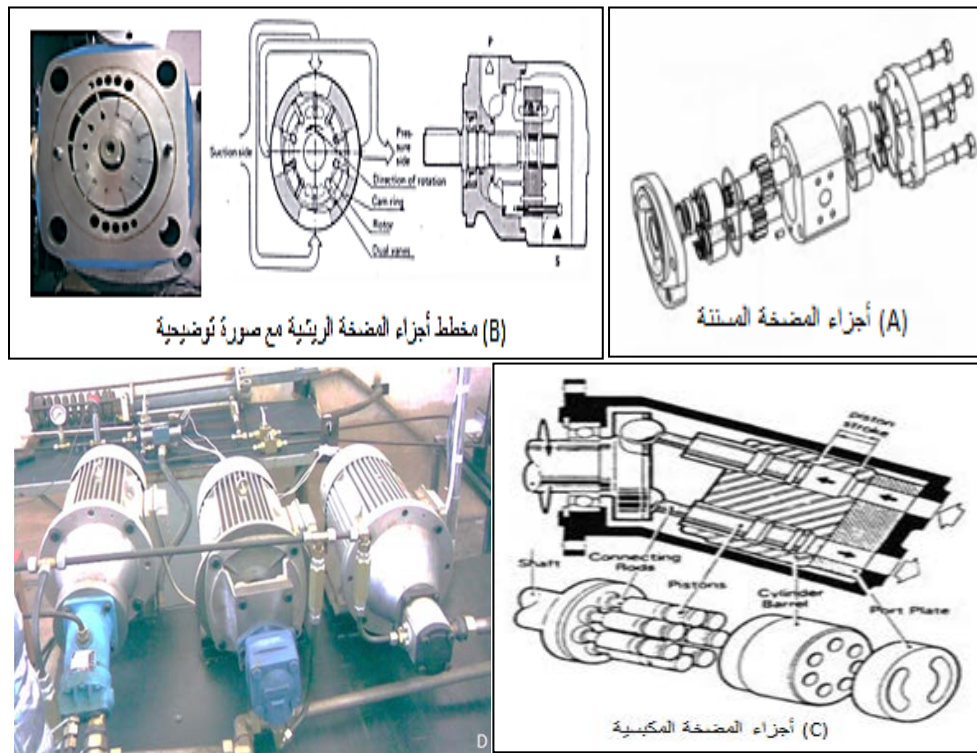
أما للمضخة المكبسية فأن التردد هو:

$$\frac{N \times n}{60} = \frac{\text{cycle}}{\text{sec}} = 169.166 \text{ HZ}$$



شكل (3) مخطط الدائرة الهيدروليكية

- 1- مقياس حرارة
- 2- سخان زيت كهربائي
- 3- مضخة مسننة (Gear Pump) ذات اسنان خارجية  
Type (1PF2G3-3X/26LA07MS)
- 4- مضخة ريشية (vane pump) ( F3- v20- 1P10P-1C10K )  
Type Us
- 5- مضخة مكبسية (Pent axis piston pump) (A2P28.W.3.P.X.71118) زاوية  
الميلان 25°
- 6- صمامات لارجعية
- 7- صمام تحكم بالتدفق (STB – G1/2)
- 8- صمام أمان (تحكم بالضغط) (DBDS 10G12 / 200)
- 9- مقاييس ضغط
- 10- مقاييس درجة حرارة
- 11- صمام تحكم اتجاهي (4WE6E60 / ERAC220N9K4Z5LS)
- 12- مكبس غير متماثل (Hydraulic cylinder (Ø36 Bore×360 Stroke -Ø 32 shaft diameter))
- 13- صمامات فتح وغلق يدوية (VH2V – G3/8)
- 14- خزان الزيت المعدني
- 15- فلتر مع صمام أمان كهربائي (TG21541)
- 16- نابض (حمل متغير)



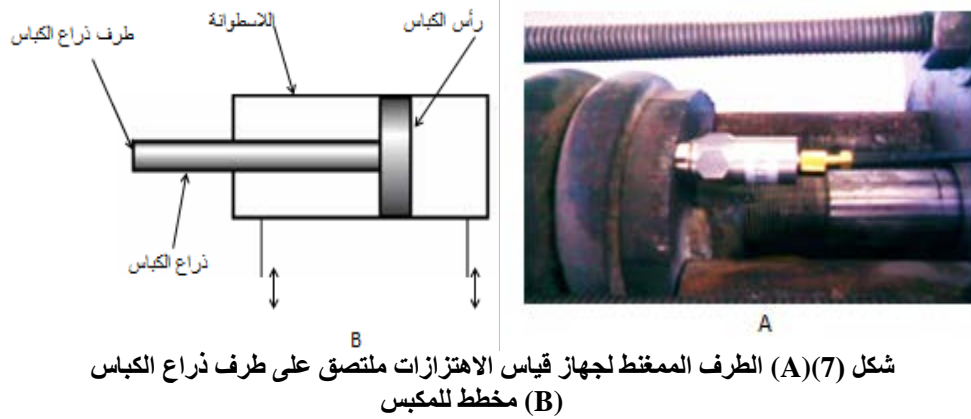
شكل (4) (A,B,C) مخططات لأجزاء المضخات المستخدمة في منصة الاختبار (D) منظر عام للمضخات الهيدروليكية ويظهر خلفها المكبس مع الحمل المتغير (الناض)



شكل (5) جهاز قياس الاهتزازات



شكل (6) منصة الاختبار وتظهر المكونات الأساسية مع الحاسوب



شكل (7) (A) الطرف الممغنط لجهاز قياس الاهتزازات ملتصق على طرف ذراع الكباس  
 مخطط للمكبس (B)

#### طريقة العمل

- 1- يربط الطرف الممغنط لجهاز قياس الاهتزازات الموضح بالشكل (5) على طرف ذراع الكباس كما في الشكل (7A).
  - 2- تشغل إحدى المضخات وتكون المضخة المسننة لمدة خمس دقائق للتخلص من الفقاعات الهوائية.
  - 3- تسجل درجات الحرارة لزيت الخزان ولبداية الأنبوب ونهايته.
  - 4- يتم التحكم بالضغط بواسطة منظم الضغط (8) وعند كل مقدار معين من الضغط يسجل مقدار تعجيل الاهتزاز.
  - 5- بعد أخذ كل القراءات (الضغط ودرجة الحرارة وتعجيل الاهتزاز) يتم أطفاء المحرك الكهربائي لهذه المضخة وتسجل درجات الحرارة النهائية وذلك لأخذ المعدل ، حيث ترتفع درجة الحرارة قليلاً بسبب التحميل ثم تشغل المضخة الريشبية ثم المكبسية وتؤخذ القراءات لكل مضخة على نفس النمط .
  - 6- رفع درجة الحرارة لمستوى آخر وتعاد الفقرات ( 3 و 4 و 5 ) وهكذا لعدة مستويات من درجات الحرارة.
  - 7- تعاد الفقرات أعلاه لإيجاد قيم سرعة الاهتزاز.
- علماً ان كل القراءات تتم عند نفس التدفق .

### النتائج والمناقشة : Results and Discussion

بالطريقة التي تم توضيحها في القسم العملي تم أخذ القراءات لسرع وتعجيل الاهتزاز وبمساعدة الحاسوب وللمضخات الثلاث ولعدة مستويات من درجات الحرارة وعند نفس التدفق وغطت القراءات ظروف واسعة تعمل بها المنظومات الهيدروليكية من حيث الضغط ودرجة الحرارة وتم وضع التمثيل البياني للمتغيرات الثلاث وهي الضغط ودرجة الحرارة ونوع المضخة ، ففي الشكل (8) وبتشغيل المضخة المكبسية نلاحظ أن تعجيل الاهتزاز على طرف ذراع الكباس يكون بمستويات واطئة عند درجة الحرارة الأقل من 30°C ويرتفع مقدار تعجيل الاهتزاز مع ارتفاع درجات الحرارة وذلك بسبب تأثير الحرارة على خصائص الجريان من اللزوجة والكثافة للزيت المعدني(الشكل7)(5] وكذلك تغير معامل تلك وسرعة الموجة (سرعة الصوت) [3] ويرتفع بشكل أكبر عند حالة الرنين وهي الحالة التي يتساوى فيها التردد الهيدروليكي الطبيعي مع التردد الاستثنائي الذي تسببه المضخة والواضحة في النقاط الأعلى من المنحنيات، والتقلبات بقيم التعجيل تزداد مع زيادة درجات الحرارة. أما الشكل (9) فهو بتشغيل المضخة الريشية، نلاحظ أن قيم تعجيل الاهتزاز تكون متقاربة تقريباً مع ارتفاع درجات الحرارة ماعدا القيم عند حالة الرنين فلها فوارق ملحوظة والتقلبات بقيم التعجيل هي متساوية تقريباً لكل المستويات ماعدا أعلى درجة حرارة. والشكل (10) هو لتوضيح الفرق بين أعلى وأقل درجة حرارة اختبارية. والشكل (11) هو بتشغيل المضخة المسننة والذي نلاحظ فيه تقلبات معدومة تقريباً عند أعلى درجة حرارة اختبارية وقيم التعجيل عند نفس النقاط أقل من المضخة المكبسية وأعلى من المضخة الريشية بينما حالة الرنين تنشأ بضغط أقل من المضختين المكبسية والريشية . والشكل (12) هو لمقارنة الأداء للمضخات الثلاث عند أعلى درجة حرارة اختبارية متساوية تقريباً حيث نلاحظ أن أسوء أداء سجلته المضخة المكبسية ، أما الشكل (13) فهو للمقارنة عند أقل درجة حرارة اختبارية حيث نلاحظ ان المضخة المسننة سجلت أسوء أداء. الشكل (14) هو لقراءات سرعة الاهتزاز وبتشغيل المضخة المسننة حيث نلاحظ ان قيم سرعة الاهتزاز لا تتزايد الا عند مستويات فرق درجات حرارة أكثر من 15°C وأن صعود القيم يكون حاداً مع تغير الضغط، وأن حالة الرنين سجلت مع سرعة الاهتزاز عند نفس الضغوط التي سجلت بها لتعجيل الاهتزاز والتقلبات تكون ضعيفة . الشكل (15) هو أيضاً لتغير سرعة الاهتزاز مع الضغط وبتشغيل المضخة الريشية ونلاحظ صعود القيم يكون ضعيفاً مع تزايد الضغط اذا استثنينا حالة الرنين والتقلبات تظهر بوضوح في درجات الحرارة العالية . يوضح الشكل (16) تغير سرعة الاهتزاز مع الضغط بتشغيل المضخة المكبسية والذي نلاحظ فيه قيم أعلى من بقية المضخات . الشكل (17) يوضح المقارنة بسرعة الاهتزاز للمضخات الثلاث عند أقل درجة حرارة اختبارية حيث نلاحظ فيه ان المضخة الريشية ذات أداء متوازن وبصعود بسيط مقارنة مع المضختين المسننة والمكبسية بينما نلاحظ ان سرعة الاهتزاز في حالة الرنين تكون متساوية للمضختين المسننة والمكبسية ولكنها حدثت للمضخة المسننة عند الضغط 90 bar بينما للمضخة المكبسية عند الضغط 120 bar وأما أقل قيمة فهي سجلت للمضخة الريشية . أما المقارنة عند أعلى درجات حرارة اختبارية ( الشكل 18) فنجد ان ارتفاع مستويات سرعة الاهتزاز لكل المضخات تقريباً بصورة متقاربة عن الضغط 50 bar فما دون تقريباً وبين الضغط 50 bar-100 bar نلاحظ ان المضخة الريشية تعطي للمستخدم سرع اهتزاز ثابتة بينما هي متغيرة ومتقلبة للمضختين المسننة والمكبسية .

ان درجة الحرارة تؤثر على الخصائص للزيت المعدني وبذلك تؤثر على التردد الهيدروليكي الطبيعي عن طريق تغير معامل تلك (Bulk modulus) وكذلك على سرعة الصوت ( سرعة الموجة) (Wave velocity) بتغير معامل تلك والكثافة. [7]

$$\omega_h = \sqrt{\frac{4BD_m^2}{V_d t}} \quad (1)$$

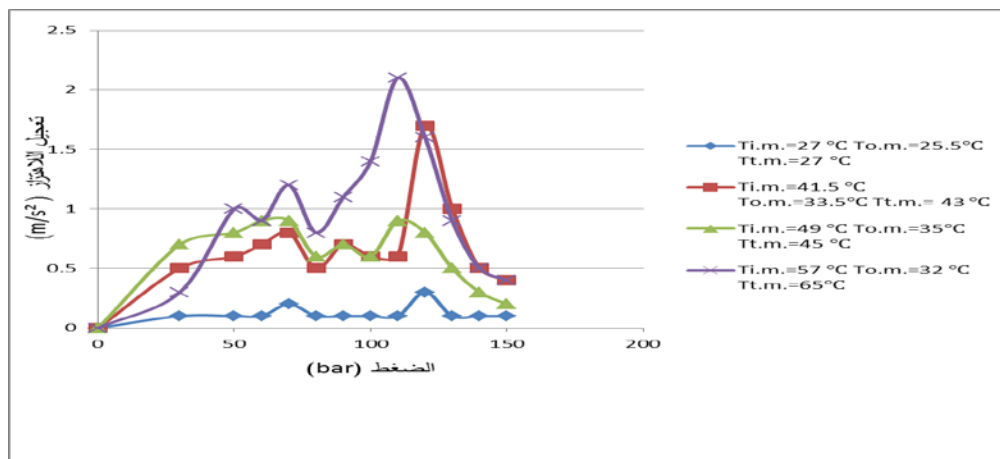
$$\bar{a} = \sqrt{\frac{B}{\rho \left[ 1 + \frac{B D}{E} \right]}} \quad (2)$$



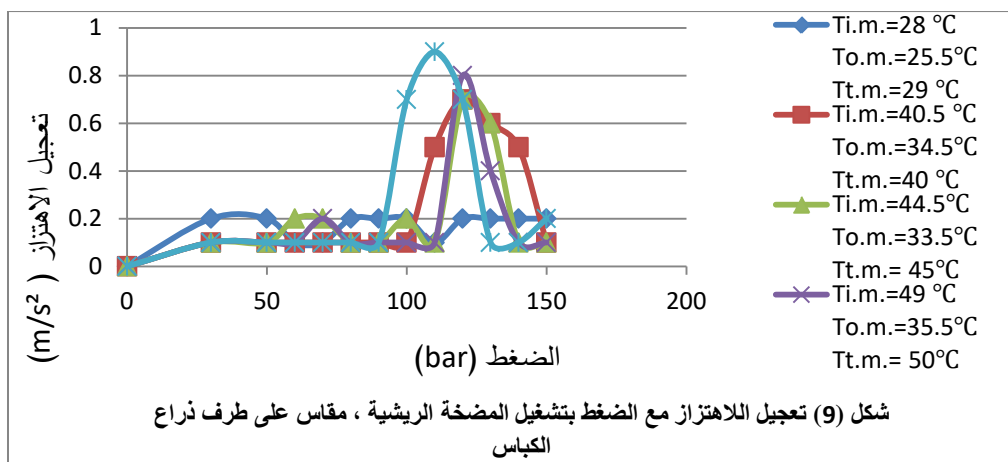
التأثيرات للتغير بنبض المضخات والتغير بالتردد الهيدروليكي الطبيعي وسرعة انتقال موجة الضغط (سرعة الصوت)

تكون أحياناً موازرة وتساعد على تحسين الأداء و أحياناً تكون متضادة تؤدي الى رداءة الأداء من خلال زيادة او نقصان السعة للتردد. ان تأثير درجة الحرارة سيكون واضحاً على التردد الهيدروليكي الطبيعي (المعادلة 1) وأيضاً درجة الحرارة تؤثر على سرعة انتقال موجة الضغط (سرعة الصوت) من خلال تغير خصائص الزيت المعدني من كثافة ومعامل بلك (المعادلة 2). الاختبارات العملية تمت بعد التأكد من خلوا الزيت المعدني من الهواء الداخل وذلك لتأثيره المباشر على معامل بلك [6] وبالتالي سيؤثر على التردد الهيدروليكي الطبيعي وعلى سرعة الصوت (سرعة موجة الضغط).

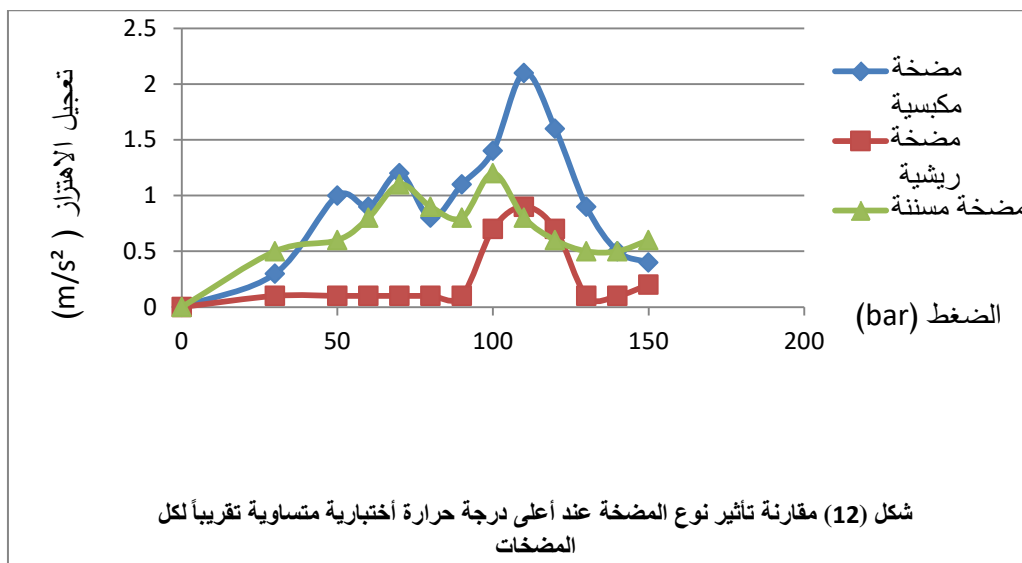
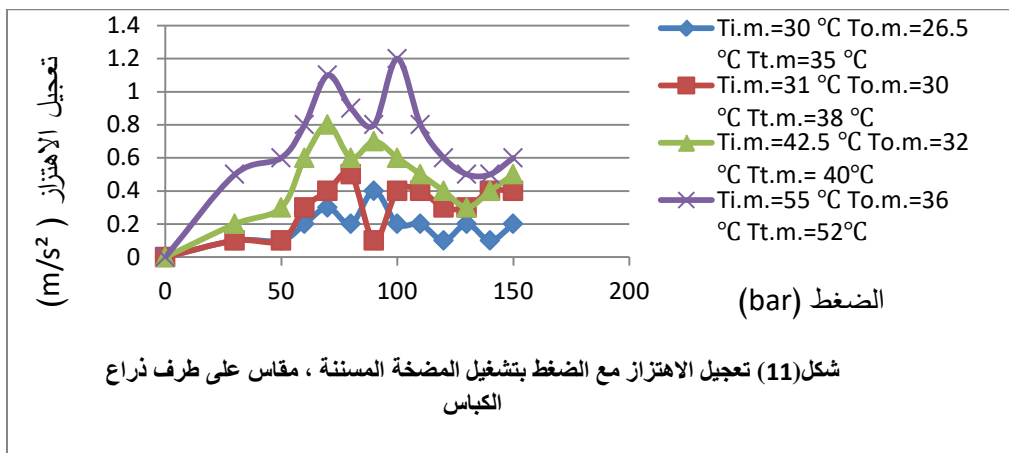
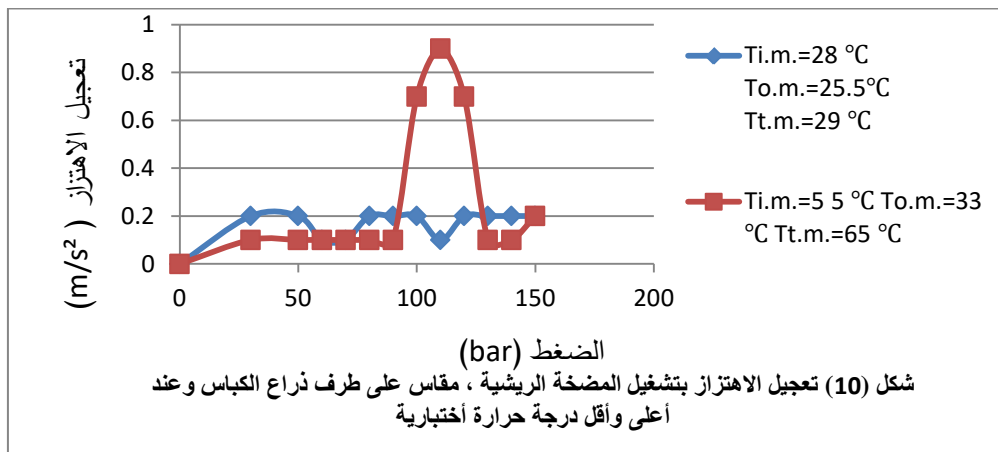
الاهتزاز المستنتج على طرف ذراع الكباس هو حركة توافقية بسيطة (Simple harmonic motion) [8] و تعجيل الاهتزاز يعطينا الشكل العملي لتغير سعة الاهتزاز (magnitude) باعتبار أن التعجيل هو المشتقة الثانية للمسافة التي تقطعها موجة الذبذبة بالثانية من قمة لقمة او قعر لقعر (التردد) وأن السعة dB ممكن أن نستنتجها من قيم التعجيل المستنتجة عملياً [9].

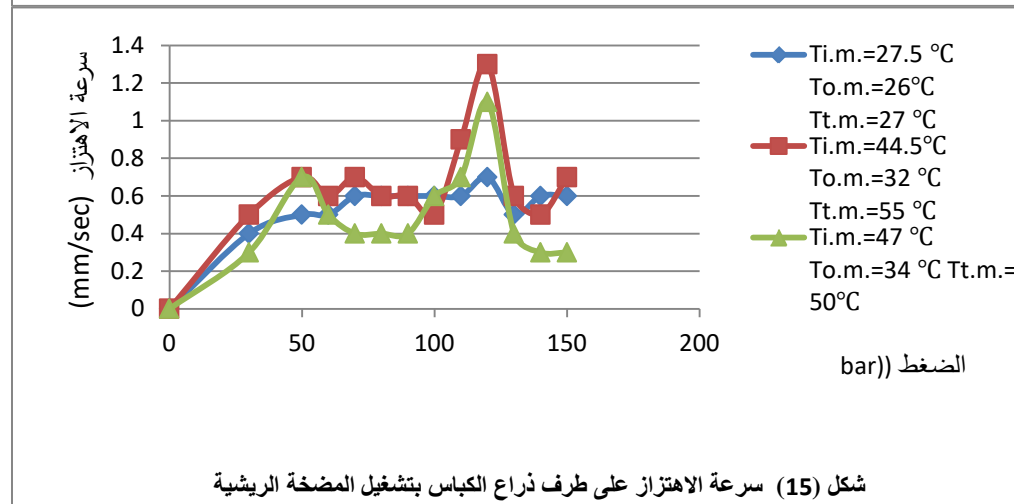
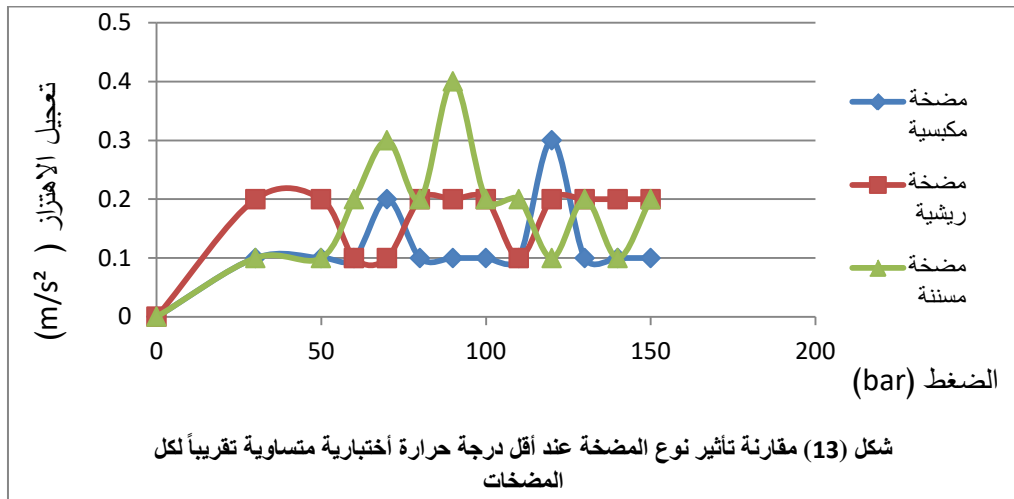


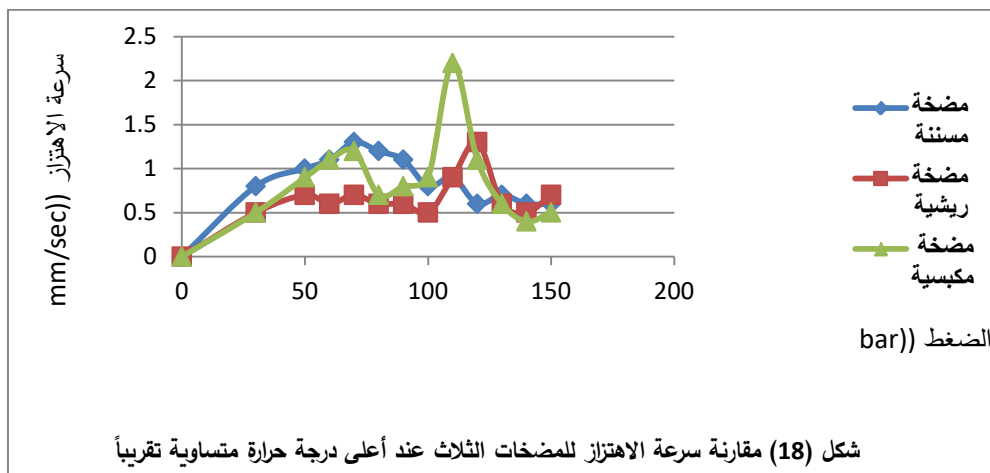
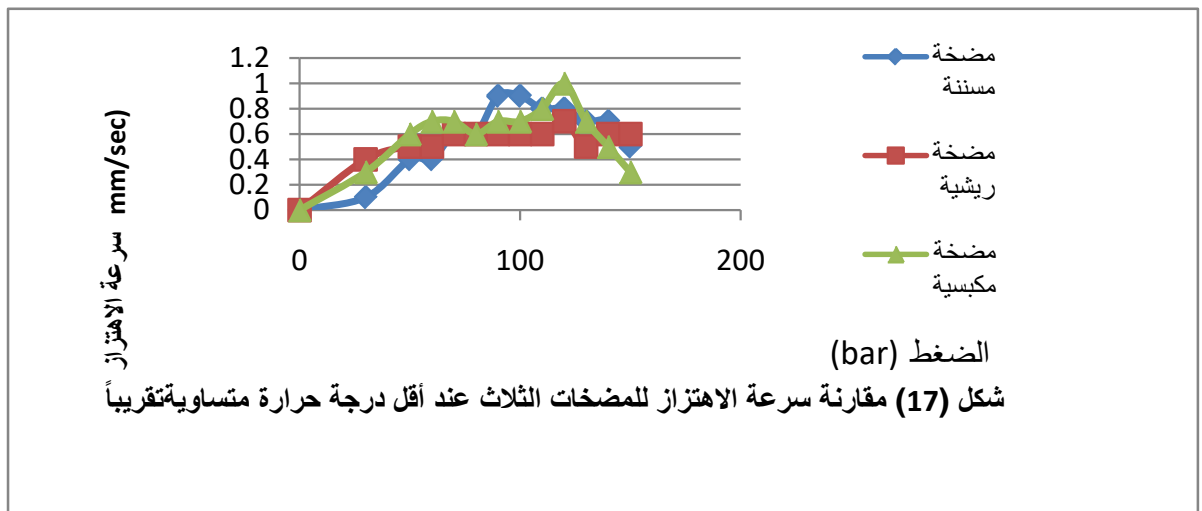
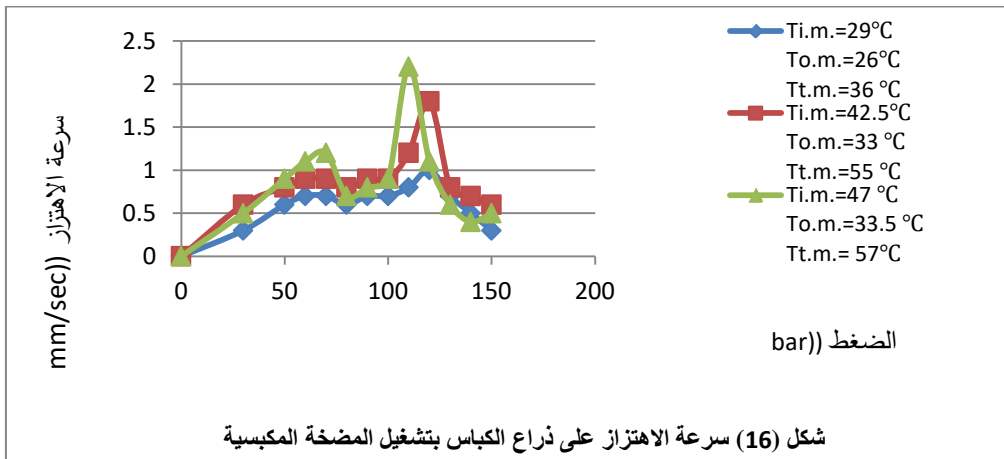
شكل (8) تعجيل الاهتزاز مع الضغط بتشغيل المضخة المكبسية، مقاس على طرف ذراع الكباس



شكل (9) تعجيل الاهتزاز مع الضغط بتشغيل المضخة الريشبية، مقاس على طرف ذراع الكباس







### الاستنتاجات :

- 1- التصميم الداخلي للمضخات الهيدروليكية يؤثر على استقراره المستخدم من ناحية تعجيل وسرعة اهتزاز العنصر الفعال في المستخدم حتى وأن كان التردد للمضخات متقارب.
- 2- للمضخات الثلاث تكون درجة الحرارة الأقل من 30°C ذات تأثير ايجابي وتحسن الأداء.
- 3- عند أعلى وأقل درجة حرارة اختبارية سجلت المضخة الريشية افضل أداء.
- 4- درجة الحرارة تؤدي الى زيادة قيم تعجيل وسرعة الاهتزاز عند نقاط حالة الرنين بشكل فعال.
- 5- التقلبات الدورية لتعجيل للاهتزاز تكون أقل للمضخة الريشية مقارنة بالمضخة المسننة والمكبسية.
- 6- ارتفاع درجة الحرارة فوق 45°C يؤدي الى خفض سرعة الاهتزاز عند حالة الرنين للمضخة الريشية فقط .
- 7- ارتفاع درجة الحرارة يؤدي الى زيادة تعجيل الاهتزاز عند تشغيل المضخة المكبسية بشكل أكبر مقارنة مع تشغيل المضختين المسننة والريشية.
- 8- التقلبات الدورية لتعجيل الاهتزاز تكون أكبر ومتعددة مقارنة مع سرعة الاهتزاز وللمضخات الثلاث.
- 9- اعلى قيمة لتعجيل وسرعة الاهتزاز في حالة الرنين وعند أعلى وأقل درجة حرارة سجلت للمضخة المكبسية.
- 10- درجة حرارة الزيت المعدني والضغط لهما تأثير بتحديد الموقع الذي ستحدث به حالة الرنين لكل مضخة من خلال تحكمهما بالتردد الهيدروليكي الطبيعي.

### الرموز والمصطلحات:

الرمز	المعنى	الوحدات
$\omega_h$	التردد الهيدروليكي الطبيعي	rad/sec
B	معامل بلك	N/m <sup>2</sup>
D <sub>m</sub>	مساحة وجه الكباس	m <sup>2</sup>
V <sub>t</sub>	حجم المائع الكلي من جهتي المكبس	m <sup>3</sup>
J <sub>t</sub>	الكتلة الكلية للكباس مع الحمل	m <sup>3</sup>
$\bar{a}$	سرعة الصوت	m/sec
$\rho$	الكثافة الكتلية	kg/m <sup>3</sup>
e	سمك جدار الأنبوب	m
E	معامل يونغ (معامل المرونة)	N/m <sup>2</sup>
D	القطر الداخلي للأنبوب	m
T <sub>i.m</sub>	معدل درجة الحرارة للزيت المعدني في بداية الأنبوب	°C
T <sub>o.m</sub>	معدل درجة الحرارة للزيت المعدني في نهاية الأنبوب	°C
T <sub>t.m</sub>	معدل درجة الحرارة للزيت المعدني في الخزان	°C
CFD	Computational Fluid Dynamics	

المصادر :

- [1]. Yaozhong XU , Bideaux E. , Sesmat S. , Simon J. P. “Dynamic Effect of the Intermediate Block in a Hydraulic Control System” Journal of Mechanical Engineering and Automation p-ISSN: 2163-2405 e-ISSN: 2163-2413 2012; 2(6): 184-193, Scientific & Academic Publishing, 2012
- [2]. Mobil and the Pegasus design are registered trademarks of Exxon Mobil Corporation or one of its subsidiaries. “Hydraulic Fluid Shear Stability” www.mobilindustrial.com Exxon Mobil Corporation, 2009
- [3]. Howells E., and Norton E. T, “Parameters affecting the velocity of sound in transformer oil,” IEEE T. Power Ap. Syst., vol. PAS-103, no. 5, pp. 1111-1115, 1984.
- [4]. Fukuhara M., and Tsubouchi T., “Naphthenic hydrocarbon oils transmissible for transverse waves,” Chem. Phys. Lett., vol. 371, pp. 184-188, 2003
- [5]. Mannesmann Rexroth GmbH Johnsrabe 3-5, D-8770 Lohr am Main “Hydraulic Components” 1978
- [6]. Manring N. D, “The effective fluid bulk-modulus within a hydrostatic transmission,” J. Dyn. Systems – T. ASME, vol. 119, pp. 462-466, September 1997.
- [7]. Merritt H. E. “Hydraulic control systems” John Wiley & Sons, Inc. 1967
- [8]. Malcolm J. Crocker “Handbook of Noise and Vibration Control” John Wiley & Sons, Inc., 2007
- [9]. Singiresu S. Rao “Mechanical Vibrations” Fifth Edition , Pearson Education, Inc., publishing as Prentice Hall, 2011