

Study of the Effect of Some Manufacturing and Operating Defects on the Unbalance of Rotating Shafts Using MATLAB

Dr. Muafaq Almunjid*

Anas Al Saloumi **

(Received 5 / 10 / 2023. Accepted 21 / 11 / 2023)

□ ABSTRACT □

Rotary machines are widely used in mechanical and electromechanical systems that include motor axes, industrial turbine turbines, etc., in the case of an unbalanced distribution of the rotating masses around the axis of rotation, which leads to vibrations, which is a serious engineering problem that negatively affects the performance of these machines, where vibration occurs In any rotating machine due to manufacturing or operational defects, etc., these harmful vibrations are accompanied by the emergence of large centrifugal forces that can lead to damage to the bearings and eventually to the destruction of the machines. Therefore, vibration reduction techniques in such machines are of prime importance to improve performance

. One of the techniques used to improve the work of the rotary shaft is the shaft balancing technique, which is based on reducing vibration to a minimum (as practically vibrations cannot reach zero values), thus increasing the life of the bearings, reducing audible noise and energy loss, and thus improving the work of the rotor.

The aim of modeling and simulation of rotor systems is to study and determine the deflection of the rotating body due to vibration and to calculate the position and additional masses needed to remove the vibration when rotating at high speeds. In this research, we designed a mathematical model used to study the static behavior of rotating axes and to determine deviations at high speeds using MATLAB/SIMULINK software.

Keywords: Static balance, Vibration, Mathematic Modeling, MATLAB/SIMULINK.

Copyright



:Tishreen University journal-Syria, The authors retain the copyright under a CC BY-NC-SA 04

* Professor- Faculty of Mechanical and Electrical Engineering- Al-Baath University- Homs- Syria.

** Postgraduate Student (Ph.D.)- Faculty of Mechanical and Electrical Engineering- Al-Baath University- Homs- Syria. anas.alsaloumi@tishreen.edu

دراسة تأثير بعض عيوب التصنيع والتشغيل في عدم توازن المحاور الدوارة باستخدام برنامج MATLAB

د. موفق المنجد*

أنس السلومي**

تاريخ الإيداع 5 / 10 / 2023. قَبْلُ للنشر في 21 / 11 / 2023

□ ملخص □

تستخدم المحاور الدوارة بشكل واسع في الأنظمة الميكانيكية والكهروميكانيكية والعنفات التوربينية الصناعية وما إلى ذلك، وهنا تبرز مشكلة هندسية خطيرة في حالة التوزيع غير المتوازن للكتل الدوارة حول محور الدوران الأمر الذي يؤدي لحدوث الاهتزازات مما يؤثر سلباً على أداء هذه الآلات، حيث يحدث الاهتزاز في أي آلة دوارة بسبب عيوب تصنيعية أو تشغيلية وما إلى ذلك، ويرافق هذه الاهتزازات الضارة ظهور قوى كبيرة للطرد المركزي التي يمكن أن يؤدي إلى تلف المحامل وفي النهاية تدمير الآلات. لذلك فإن تقنيات تقليل الاهتزازات في مثل هذه الآلات لها الأهمية الأولى لتحسين الأداء.

فمن التقنيات المستخدمة في تحسين عمل المحور الدوار هو تقنية موازنة المحور والتي تقوم على تقليل الاهتزاز إلى أقل حد (حيث أنه عملياً لا يمكن أن تصل الاهتزازات إلى قيم صفرية) وبالتالي زيادة عمر المحامل وتقليل الضوضاء المسموعة وفقدان الطاقة وبالتالي تحسين عمل الدوار.

أما النمذجة والمحاكاة لأنظمة المحور الدوار تهدف إلى دراسة وتحديد انحراف المحور الدوار نتيجة الاهتزاز وحساب الموضع والكتل الإضافية اللازمة لتقليل الاهتزاز عند الدوران بسرعات عالية. حيث قمنا في هذا البحث بتصميم نموذج رياضي يستخدم لدراسة السلوك الستاتيكي للمحاور الدوارة وتحديد الانحرافات عند السرعات العالية استخدام برنامج MATLAB/SIMULINK.

الكلمات المفتاحية: التوازن الستاتيكي الاهتزازات، النموذج الرياضي، MATLAB/SIMULINK.

حقوق النشر : مجلة جامعة تشرين- سورية، يحتفظ المؤلفون بحقوق النشر بموجب الترخيص



CC BY-NC-SA 04

* استاذ- كلية الهندسة الكهربائية والميكانيكية- جامعة البعث- حمص- سورية.

** طالب دراسات عليا- دكتوراه- كلية الهندسة الكهربائية والميكانيكية- جامعة البعث- حمص- سورية.

anas.alsaloumi@tishreen.edu

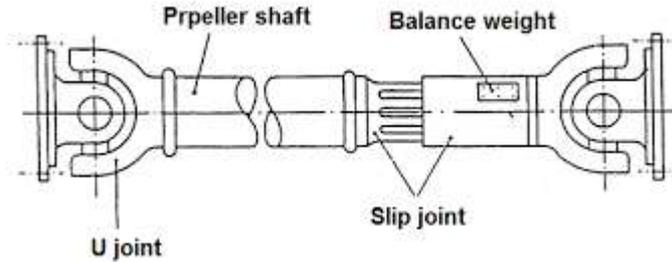
مقدمة:

تُستخدم المحاور الدوارة بشكل واسع في الأنظمة الميكانيكية والكهروميكانيكية التي تشمل عادة محاور الدوران في المحركات والآلات ، والتوربينات الصناعية ، وما إلى ذلك . وهنا تبرز مشكلة هندسية خطيرة عند حدوث توزيع غير متوازن للكتل على المحاور الدوارة حول محور الدوران تؤدي لقوى الطرد المركزي غير المتوازنة فبالإضافة للاهتزازات التي تسببها يمكن أن تؤدي إلى أضرار في المحامل وأخيراً إلى تدمير الآلات.

يتم التخلص من اهتزاز الآلية الدوارة عن طريق القضاء على السبب الجذري للاهتزاز - عدم توازن النظام - فمن الناحية العملية ، لا يمكن للاهتزازات الوصول إلى قيم صفرية ، ولكن عادةً ما يكون من المقبول تقليلها إلى قيمة أقل من تلك المسموح بها لفئة أداء معينة من الآلات [1] . تزيد موازنة المحور الدوار من عمر المحامل ، ويقلل من الاهتزازات ، والضوضاء المسموعة ، وفقدان الطاقة ، وأخيراً يؤدي إلى زيادة جودة المنتجات.

إذا كانت الاهتزازات أقل من المستوى الطبيعي ، فقد تشير هذا إلى التآكل الطبيعي فقط ، ولكن عندما تتزايد ، فقد يشير إلى الحاجة إلى اتخاذ إجراء صيانة فوري . فمستوى عدم التوازن المقبول بسرعات منخفضة غير مقبول تماماً بسرعة أعلى . وذلك لأن حالة عدم التوازن تنتج قوة الطرد المركزي ، والتي تزداد مع مربع السرعة [9] لهذا السبب ، من المهم تحديد السرعة الحرجة التي تشكل فيها التذبذبات المفرطة خطراً خطيراً مباشراً .

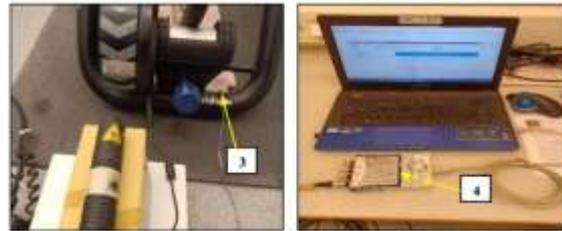
وبالتالي فإن دراسة وتحديد مقدار سعة الاهتزاز للمحور الدوار نتيجة قوى الطرد المركزي المتولدة في المحور نتيجة عوامل داخلية تصميمية (مثل مجرى خابور في محور) أو خارجية طارئة (مثل انكسار جزئي لسن من أسنان أحد المسننات على المحور) وبالتالي تحديد طرق إزالة هذا الاهتزاز بإضافة كتل في أماكن معينة من المحور تسمح للألة بالعمل بسرعات عالية كما هو موضح بالشكل (1) .



الشكل (1) إضافة كتل موازنة لبعض المحاور

1- الدراسات المرجعية :

بالعودة لبعض الدراسات المرجعية نلاحظ أن الباحث في البحث [1] حاول الوصول إلى نموذج رياضي عدم التوازن في الجزء الدوار لآلة كما هو موضح بالشكل (2). وتحقق من صحة نمودجه باستخدام الطريقة العددية والتجريبية.



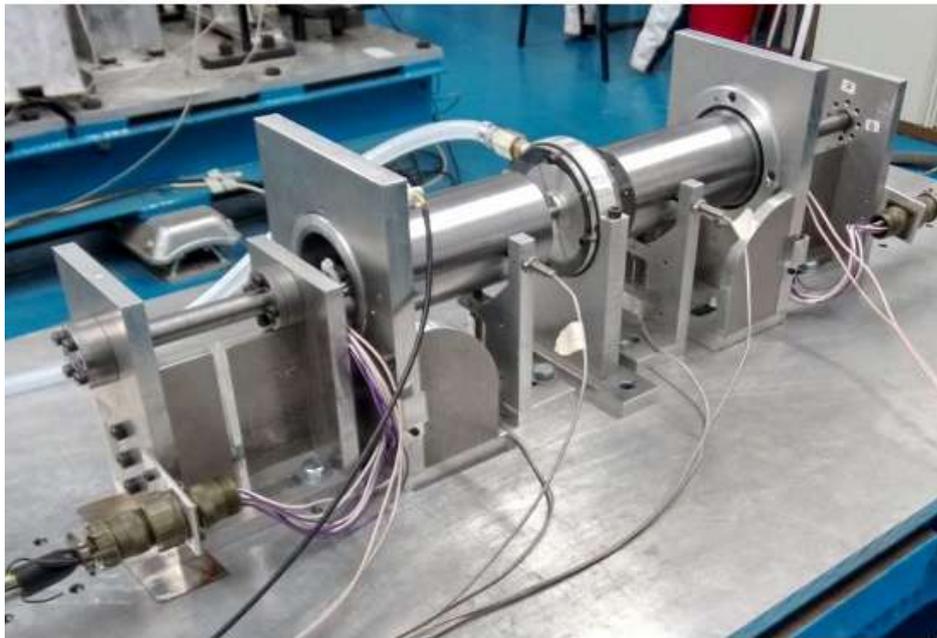
الشكل (2) نظام الدوار المرن [1]

أما ما قام به الباحث في البحث [2] فهو تقديم نموذج محاكاة لنظام محور دوار مرن غير متوازن كما هو موضح بالشكل (3) حيث قام بتطوير طريقة تعتمد على التجربة والخطأ لإيجاد طرق لموازنة نظام غير متوازن عن طريق تحليل خصائص النظام .



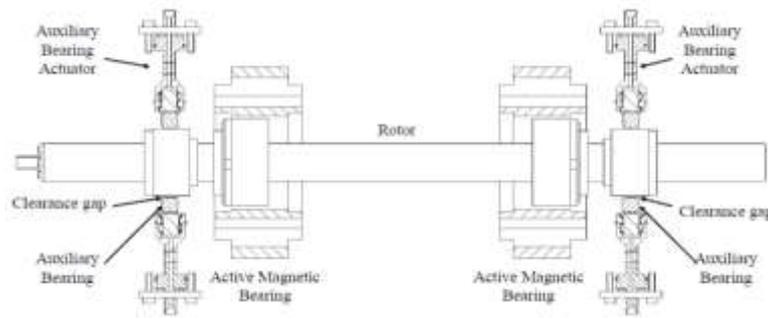
الشكل (3) نظام الدوار المرن [2]

في البحث التالي وجد الباحث [3] أن استخدام محامل مغناطيسية متمركزة على محور مرن داخل المحور الدوار يمكن أن تحد من الاهتزاز بنسبة جيدة عند السرعات العالية. حيث قام بالتأكد من ذلك تجريبياً كما هو موضح بالشكل (4).



الشكل (4) نظام الدوار المرن [3]

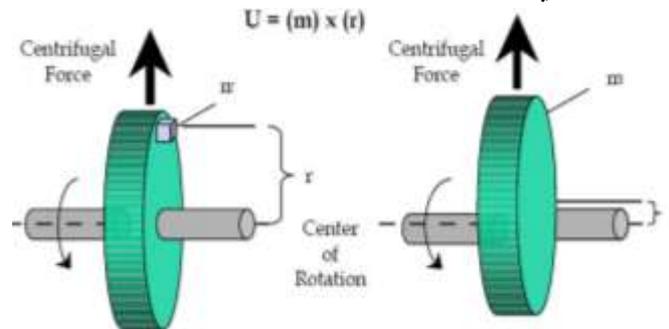
أما الباحث في البحث [4] فقد قام بتصميم المحمل المغناطيسي وإجراء دراسة ديناميكية للمحور الدوار واستطاع من خلال التحليل على برنامج ANSYS إيجاد معاملات التشغيل المثالية للمحور الدوار المدعوم مغناطيسياً كما هو موضح بالشكل (5).



الشكل (5) نظام الدوار المرن [4]

2- الدراسة النظرية :

يعتمد التوازن أو عدم التوازن في أي نظام دوار على حالة القوى والعزوم العاملة أثناء حركة الجسم. حيث أن أي قوة أو عزم غير محسوب ينتج عنهما خلل في حركة النظام. يرتبط التوازن في الجسم الدوار بمفاهيم مثل مركز الكتلة، ومركز الثقل، ومحور الدوران، والمحور الرئيسي للقصور الذاتي، وقوى الطرد المركزي. مركز الكتلة هو النقطة التي يتم فيها توزيع الكتلة الكلية لجسم صلب بالتساوي.



الشكل (5) القوى المحورية [2]

ويمكن تصنيف عدم التوازن الدوراني إلى ثلاثة أقسام [2] كما هو موضح بالشكل (6):

1. عدم التوازن الستاتيكي.

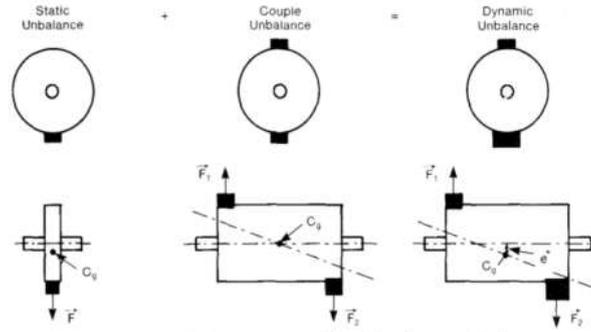
عدم التوازن الستاتيكي يتم عند انزياح المحور المركزي بالتوازي مع خط المركز للمحور الدوار. عند الدوران فإن الجانب الثقيل من المحور الدوار سوف يتأرجح. يمكن تعديل عدم التوازن الستاتيكي إذا وضعت كتلة متساوية على الجانب الآخر (180 درجة) ، فستوازن الجزء المتحرك.

2. عدم التوازن المزدوج .

عدم التوازن المزدوج يحدث عندما يكون هناك كتلتان متساويتان موضوعتان بشكل متماثل حول مركز الجاذبية ، لكن يتم وضعهما عند 180 درجة من بعضهما البعض. يكون الجزء المتحرك في توازن ثابت (لا يوجد انحراف مركزي لمركز الثقل) ، ولكن عندما يدور المحور ، تتسبب الكتلتان في حدوث تحول في محور القصور الذاتي ، بحيث لا يكون موازياً لمحور الدوران . يمكن تصحيح عدم الاتزان بإضافة كتل التصحيح في مستويين

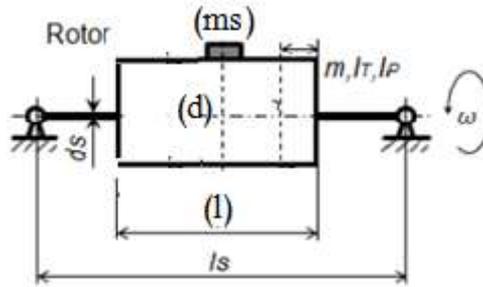
عدم التوازن الديناميكي.

عدم التوازن الديناميكي هو مزيج من عدم التوازن الستاتيكي وبين عدم التوازن المزدوج حيث لا يمر مركز الثقل من الخط الواصل بين الكتلتين . يتم التصحيح عن طريق تطبيق وزن التصحيح في مستويين على الأقل.



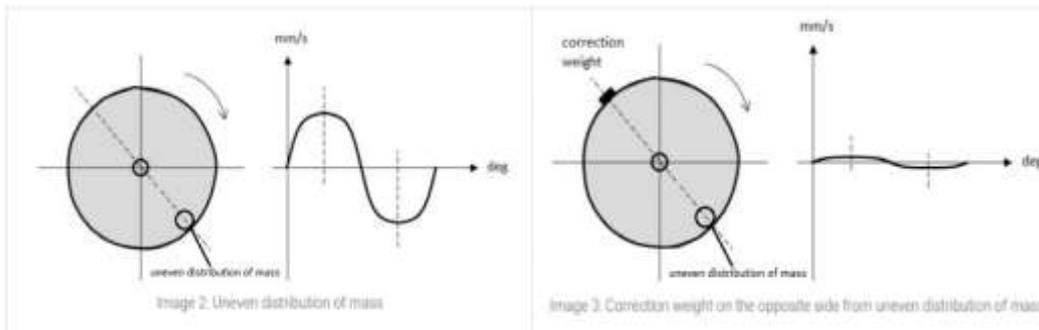
الشكل (6) حالات عدم التوازن الدوراني [2]

ولدراسة عدم التوازن الستاتيكي لمحور دوار سوف ندرس محور يدور بسرعة (ω) قطره (d) وطوله (l) يثبت على المحور كتلة عدم توازن (ms) كما في الشكل (7).



الشكل (7) نظام المحور المدروس [5]

نلاحظ أنه في حالة التوازن ينطبق مركز الثقل على المركز الهندسي للمحور إلا أنه نتيجة لوجود الكتل وتوزعها بشكل غير متساو حول محور الدوران تتولد ازاحة بين مركز الثقل والمركز الهندسي [5] ومن أجل التخلص من هذا الانحراف الناتج عن عدم توازن الكتل يجب وضع كتلة موازنة صغيرة في الاتجاه المعاكس بحيث تعمل قوة الطرد المركزي F_b المتولدة نتيجة إضافة هذه الكتلة ضد القوة F_c كما هو مبين في الشكل (8).



الشكل (8) إضافة كتلة موازنة للمحور الدوار [5]

أهمية البحث وأهدافه:

3- هدف البحث:

إيجاد نموذج رياضي يمثل حركة المحور الدوار بوجود كتلة لامركزية تسبب قوة طاردة مركزية وذلك لدراسة السلوك الستاتيكي لمحاولة تخفيض الاهتزاز عند السرعات العالية باستخدام النمذجة الرياضية في برنامج الماتلاب .

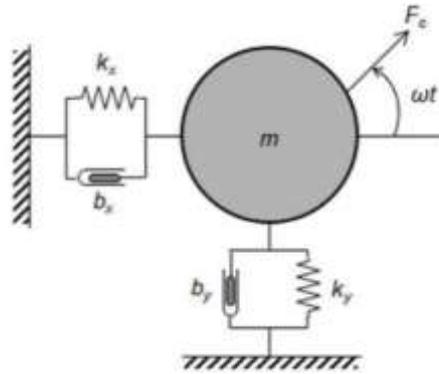
طرائق البحث ومواده:

في هذا البحث استخدم محور دوار وله المواصفات الموضحة بالجدول (1) أضيف إليه كتلة لا مركزية تعمل على خلق قوة طاردة مركزية (يمكن أن تكون ناتجة عن انكسار في أحد جزئي في أحد اسنان مسنن أو وجود مجرى خابور في بكرة تسبب في توزيع غير متجانس للكتل حول محور الدوران) تؤدي لعدم توازن المحور ودراسة الاهتزاز في هذه الحالة ومن ثم إضافة كتلة موازنة للمحور ودراسة الاهتزاز بعد اجراء الموازنة .

الجدول (1) مواصفات نظام المحور المرن

50	[mm]	D	قطر المحور الدوار
200	[mm]	L	طول المحور الدوار
3080	[g]	Mc	كتلة المحور الدوار
0	[Nm/s]	B	ثابت التخميد
800	[rev./min]	N	سرعة العمل للدوار
25	[mm]	R	نصف قطر مكان تثبيت كتلة عدم التوازن
20	[g]	Ms	وزن كتلة عدم التوازن
100	[mm]	L	مسافة كتلة عدم التوازن عن طرف المحور الدوار

إن النموذج الحسابي للمحور الدوار مع المحامل يمكن مكافئته كما في الشكل (9)[6].



الشكل (9) نظام الدوار المرن المدروس [6]

تعطى المعادلة الرياضية للدوار عند الحركة وفي حالة عدم التوازن الستاتيكي على المحورين x و y بحسب نيوتن على الشكل التالي:

$$m_c \ddot{x} + b_x \dot{x} + k_x x = F_c \cos(\omega t) \quad (1)$$

$$m_c \ddot{y} + b_y \dot{y} + k_y y = F_c \sin(\omega t) \quad (2)$$

يتم حساب قوة الطرد المركزي من خلال المعادلة التالية:

$$F_c = m_s(r + z)w^2 \quad (3)$$

حيث أن:

z: الانحراف الكلي المقابل لسعة الاهتزاز الكلية.

ms: الكتلة التي تقود لعدم الاتزان الستاتيكي

w: سرعة الدوران.

r: نصف قطر الدوار.

من أجل الموازنة يتم إضافة كتلة m_b تنتج قوة طاردة مركزية معاكسة للقوة F_c لتصبح معادلات الحركة بعد الإسقاط على المحاور:

$$m_c \ddot{x} + b_x \dot{x} + k_x x \quad (4)$$

$$= m_s(r + z)w^2 \cos(\omega t)$$

$$+ m_b(r_b - z)w^2 \cos(\omega t + \phi)$$

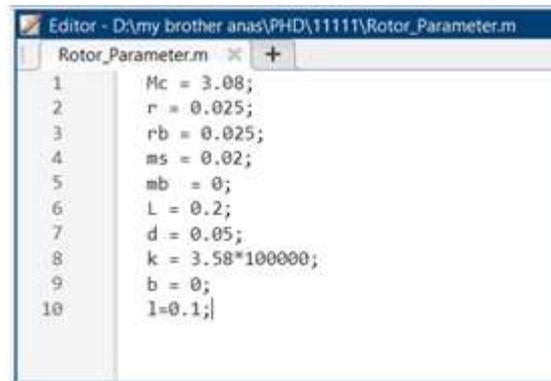
$$m_c \ddot{y} + b_y \dot{y} + k_y y \quad (5)$$

$$= m_s(r + z)w^2 \sin(\omega t)$$

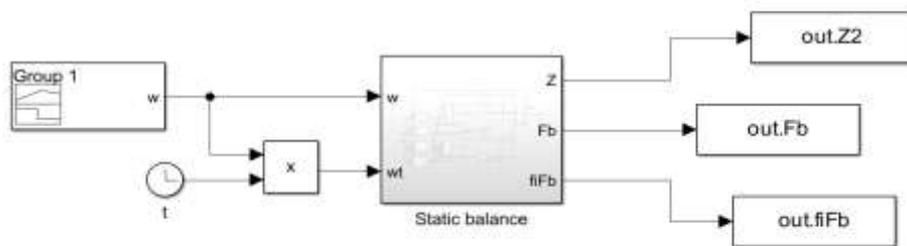
$$+ m_b(r_b - z)w^2 \sin(\omega t + \phi)$$

إن المعادلات الرياضية (4-5) تمثل النموذج الرياضي لنظام المحور الدوار المرن، لحل هذا النموذج سنقوم باستخدام برنامج (MATLAB/SIMULINK) والذي يعد من البرامج المختصة بالنمذجة والحسابات العددية، كما ويستخدم لنمذجة الأنظمة الديناميكية الخطية أو اللاخطية عن طريق رسم تمثيلي للنظام المراد نمذجته.

تم تمثيل النموذج الرياضي للمحرك باستخدام برنامج (MATLAB/SIMULINK) كما هو مبين في الشكل (11).

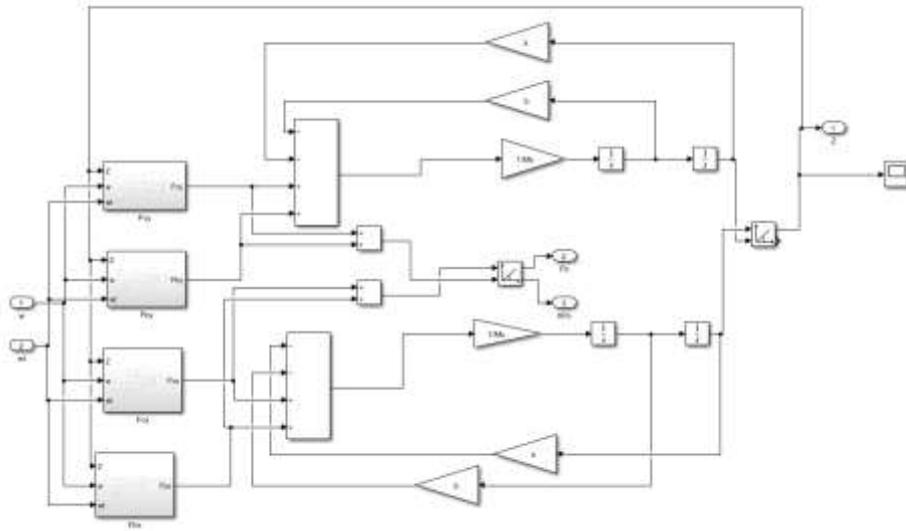


الشكل (10) ادخال ثوابت المحور الدوار بوجود كتلة عدم التوازن فقط



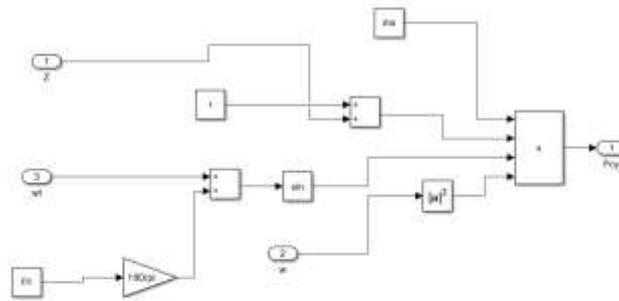
الشكل (11) تمثيل النموذج الرياضي لنظام الدوار المرن

يبين الشكل (12) تمثيل المعادلات الرياضية لنظام الدوار المرن المتوازن ستاتيكيًا.



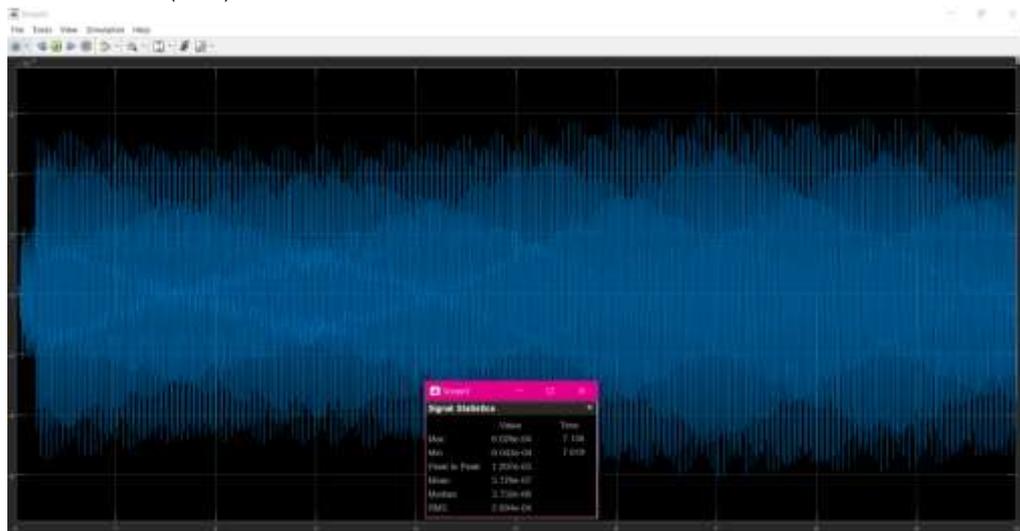
الشكل (12) تمثيل النموذج الرياضي لنظام التوازن الستاتيكي

أما الشكل (13) فيبين تمثيل المعادلات الرياضية لحساب قوة الطرد المركزي F_c .



الشكل (13) تمثيل معادلة مسقط القوة الطاردة المركزية F_c على المحور y

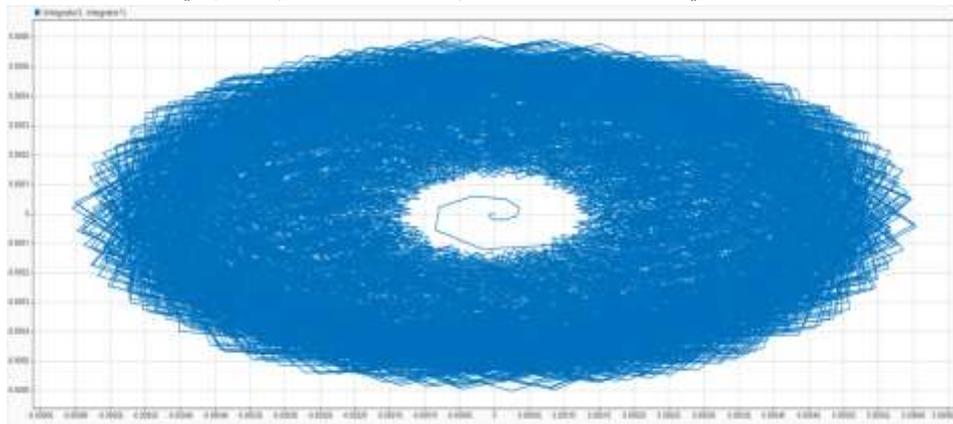
نلاحظ أنه عند وجود كتلة عدم الاتزان فقط على المحور نلاحظ أن الانحرافات الناتجة عن عدم التوازن الستاتيكي حيث أن هذه الاهتزازات دائمة وغير متخامدة وتكون بسعة أعظمية قيمتها كما هو مبين بالشكل (13) $6.02 \times 10^{-4}m$.



Signal Statistics		
	Value	Time
Max	6.028e-04	7.156
Min	-6.043e-04	7.019
Peak to Peak	1.207e-03	
Mean	5.729e-07	
Median	3.732e-06	
RMS	2.894e-04	

الشكل (13) يبين انحراف المحور والقيمة الاعظمية لهذا الانحراف في حالة عدم التوازن

كما يبين الشكل (14) مخططاً يوضح الانحرافات على المحور X وY. وكما هو موضح عند بدء التشغيل ، يزداد قطر المسار تدريجياً ويدور المدار الأخير له في نطاق معين ونتيجة لعدم التوازن نلاحظ عدم انتظام في المدار الأخير للحركة.



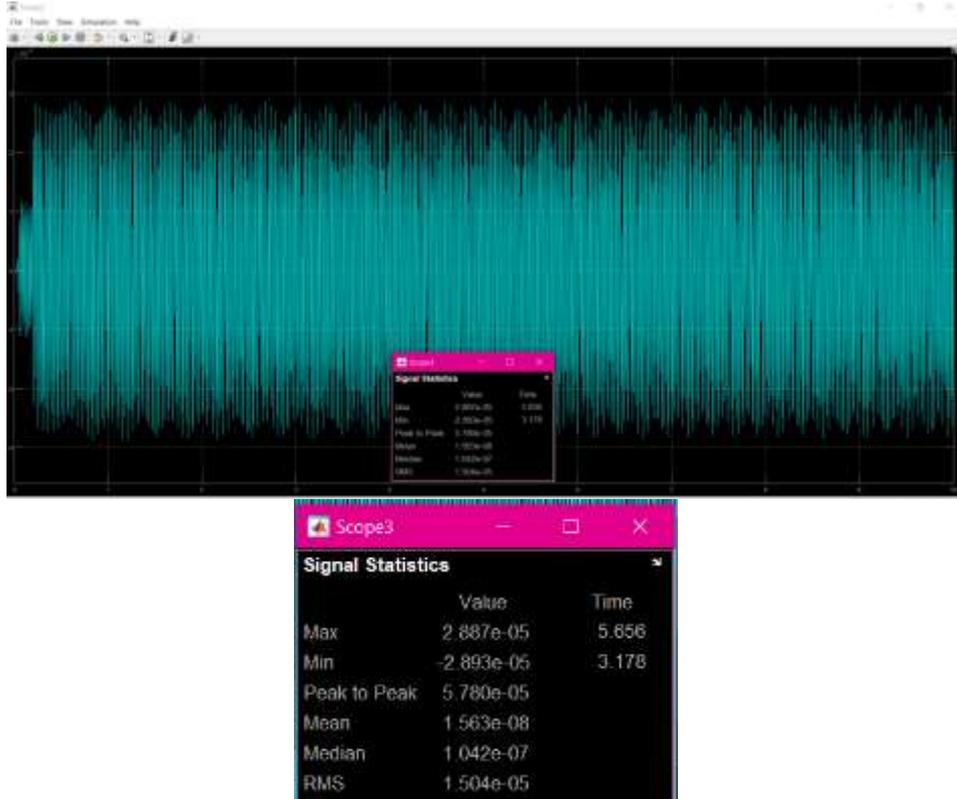
الشكل (14) الانحرافات على المحور الافقي والرأسي في حالة عدم التوازن

ومن أجل الوصول إلى الموازنة يتم إضافة كتلة m_b تنتج قوة طاردة مركزية معاكسة للقوة F_c تعمل على خفض الاهتزاز كما هو مبين بالشكل (15) :

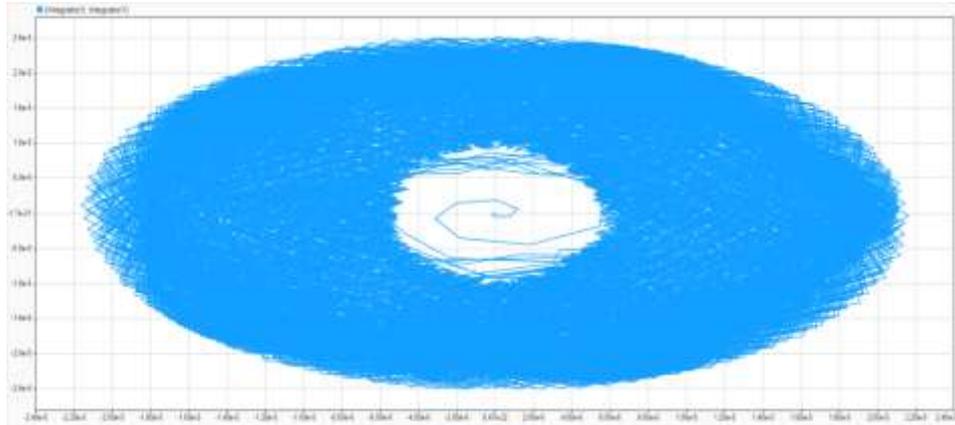
```

Editor - D:\my brother anas\PHD\11111\Rotor_Parameter.m
Rotor_Parameter.m
1  Mc = 3.08;
2  r = 0.025;
3  rb = 0.025;
4  ms = 0.02;
5  mb = 0.01;
6  L = 0.2;
7  d = 0.05;
8  k = 3.58*100000;
9  b = 0;
10 l=0.1;
    
```

الشكل (15) ادخال ثوابت المحور وقيمة كتلة الموازنة m_b



الشكل (16) يبين انحراف المحور والقيمة الاعظمية لهذا الانحراف بعد اجراء الموازنة



الشكل (17) الانحرافات على المحور الافقي والرأسي في حالة التوازن

أما في حالة التوازن فنجد انخفاض في سعة الاهتزازات انخفض إلى $2.88 \times 10^{-5}m$ كما نلاحظ من الشكل (16) بعد الموازنة نلاحظ أن المسار المداري يدور حول قطر أقل بكثير من القطر الذي كان يدور فيه قبل الموازنة (لاحظ المقاييس المختلفة في المحاور x في الأشكال قبل الموازنة وبعدها) الشكل (17) .

4- نتائج البحث :

1- تم في هذا البحث تقديم نموذج رياضي من أجل محاكاة عمل نظام المحور المرن أثناء الحركة وتحديد مقدار الانحرافات والاهتزازات الناتجة عن وجود كتل غير متوازنة على المحور (مثل انكسار جزئي لأحد أسنان مسنن على المحور أو وجود مجرى خابور في مسنن أو بكرة مركبة على المحور) .

2- هذا النموذج قادر على موازنة الدوار من خلال إضافة كتل بمواقع محددة وتحديد السلوك الستاتيكي للمحور الدوار بعد إضافة هذه الكتل.

الاستنتاجات والتوصيات:

1- استخدام المحامل المغناطيسية النشطة وربطها مع النموذج الرياضي لنظام الدوار المرن للحد من الاهتزازات الناتجة أثناء الحركة.

2- تصميم أنظمة تحكم متقدمة للمحامل المغناطيسية النشطة والتي تؤدي لتحسين أدائها في تقليل اهتزازات الدوار أثناء الحركة.

References:

- [1] MOHD SHAFIQ SHARHAN BIN ZAINAL, 2020, **SIMULATION ANDEXPERIMENTAL STUDYFOR VIBRATION ANALYSIS ON ROTATINGMACHINERY**, Blekinge Institute of Technology, Sweden.
- [2] K. Pavan Kumar, Vinod Kumar, 2018- **Balancing of Rotating Masses using MATLAB Simulation**, IJRASET.
- [3] Firoozian, **Servo Motors and Industrial Control Theory**, "Mechanical EngineeringSeries". Springer, 236p.
- [4] Gerhard Henneberger, 2002– **Electrical Machines I**. Aachen University, 207p.
- [5] Gerhard Henneberger, 2002– **Electrical Machines II**. Aachen University, 133p.
- [6] Ogata, 1997-**Modern Control Engineering**. "3rdedition",USA, 1013p.
- [7] Jantzen. 2007-**Foundations of Fuzzy Control**.Wiley, 220p.
- [8] Ross, 2004–**Fuzzy Logic with Engineering Applications**, Wiley, 625p.
- [9]Umesh Kumar Bansal, Rakesh Narvey- **Speed Control of DC Motor Using Fuzzy PID Controller. Advance in Electronic and Electric Engineering**.Research India Publications, ISSN 2231-1297, Volume 3, Number 9 (2013), pp. 1209-1220