

النمذجة بمساعدة الحاسوب للحالة الديناميكية العابرة لميكانيزم الرفع في رافعة ودراسة تأثير المميزات الميكانيكية الستاتيكية لنظام القيادة الكهربائية على المعامل الديناميكي لميكانيزم الرفع

الدكتور سمير نمر كفا *

الدكتور كارلو مقدسي **

(قبل للنشر في 2004/5/19)

□ الملخص □

يعتبر تطوير الطرق التصميمية من المسائل الهامة ويرتبط بتطوير المبادئ النظرية الأولية في أتمتة التصاميم وإدخال علوم الحاسوب وهذا بدوره يحدد نتائج تطور عمل وإنشاء المعدات والآلات. لذلك هدفت هذه الدراسة إلى تطوير نمذجة حاسوبية لدراسة العمليات الانتقالية العابرة على ديناميكية ميكانيزم الرفع في رافعة حيث تفترض دراسة الحملات الديناميكية النظرية إما ثبات سرعة الرفع أو الأخذ بعين الاعتبار المميزات الميكانيكية الستاتيكية لمحرك الإدارة وذلك من خلال إعداد النماذج الرياضية التي يتم وضعها وتوصيفها بواسطة جملة معادلات تفاضلية عادية واستخدام طرق التكامل العددي على نموذج الحالة الديناميكية العابرة في ميكانيزم الرفع في الرافعة.

وجدير بالذكر أن البحث هو عبارة عن مساهمة في إطار تطوير التصاميم من خلال نمذجة حاسوبية للحالة الديناميكية العابرة التي تنشأ أثناء عمل ميكانيزم الرفع في رافعة وتقييمها حتى يستطيع المصمم استنتاج النتائج الخطيرة لنشئها وفهمها ليتمكن من السيطرة عليها والتحكم بها.

*أستاذ مساعد في قسم هندسة التصميم والإنتاج بكلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية، جامعة تشرين، اللاذقية - سورية.
**أستاذ مساعد في قسم هندسة الطاقة الكهربائية بكلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية، جامعة تشرين، اللاذقية - سورية.

The Simulation of Dynamic Passing Process in the Hoisting Mechanism in Crane and Studying the Effects of Static Mechanical Characteristics of Electrical Drive on the Dynamic Factor of Hoisting Mechanism

Dr. Samir Nmr Kafa*
Dr. Karlo Makdisi **

(Accepted 19/5/2004)

□ ABSTRACT □

The development of designing methods is considered one of the most important subjects connected to the improvement of the essential theoretical principles of automation designs and introducing computing sciences that, by their turn, specify the results of developing the function and the structure of machines and mechanisms. This study aims at enhancing the computing simulation for analyzing the passing process of the dynamics of hoisting mechanism in a crane. The study of theoretical dynamic loads assumes the stability of hoisting velocity (constant speed), or takes into consideration the static mechanical characteristics of the driving motor, by preparing the mathematical modeling of dynamic passing process of hoisting mechanism in a crane, and making simulation of all systems in a simple and accurate way.

This research is a contribution of design improvement by using a new simulating method of the dynamic passing process which is produced through the work period of hoisting mechanism in a crane.

This method gives the valuations of all passing processes, so the designer can deduce the serious results of their occurrence besides controlling and eliminating them.

All the results of the previously study are essential steps for enhancing the hoist mechanism analysis in addition to the dynamic processes, that are related to other steps from which we can have new results too. These results help to simplify the design and analyzing all hoisting mechanism.

* Associate Professor Of Design And Production Department, Faculty Of Mechanical And Electrical Engineering, Tishreen University, Lattakia - Syria.

**Associate Professor Of Electrical Power Department, Faculty Of Mechanical And Electrical Engineering, Tishreen University, Lattakia - Syria.

مقدمة:

في الدراسات النظرية للاجهادات الديناميكية لميكانيزم الرفع ، وخاصة لملفاف الرفع المزود بالكباشات / Grabs / نفترض كمبدأ إما ثبات سرعة الرفع [1] أو ندخل في الدراسة المميزات الميكانيكية الساكنة لمحرك القيادة.

وجدير بالذكر بأن الدراسات [2,3] المختصة بتجهيزات المحركات الكهربائية اللائزمانية ذات الطور الدوار توصف المميزات الميكانيكية الستاتيكية لمحرك القيادة بمعادلة كلوس /Kloss/ المعدلة [4] والتي تأخذ الشكل التالي :

$$P_g = P_{gr} \times \frac{2+q}{\frac{S}{S_{cr}(1+r)} + \frac{S_{cr}(1+r)}{S} + q} ; S = \frac{V_{gxx} - V_g}{V_{gxx}} , \quad (1)$$

حيث أن:

P_{gr} - القيمة العظمى (الحدية) لقوة محرك القيادة المتزايدة P_g .

V_g - سرعة محرك القيادة .

V_{gxx} - السرعة المثالية للمحرك على فراغ (بدون حمولة).

r - نسبة المقاومة المضافة على مقاومة الجزء الدوار .

S_{cr} - الانزلاق الحدي على خط الميزة الميكانيكية الطبيعية (باعتبار $r = 0$).

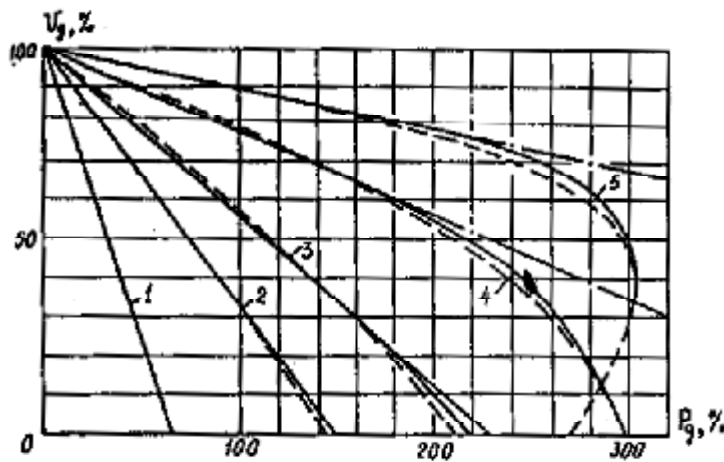
q - معامل التصحيح ويؤخذ 0.3 .

عند الانزلاقات S الصغيرة نسبياً فإن العلاقتين (1) تصبح خطية وتأخذ الشكل التالي:

$$P_g = P_{gr} \frac{2 \times S}{S_{cr} (1+r)} \quad (2)$$

وبالاعتماد على العلاقتين السابقتين (1, 2) فإن المواصفات الميكانيكية الستاتيكية لمحرك القيادة المرتبط

بملفاف الكباش / grab / يبين في الشكل التالي /1/:



الشكل رقم /1/ يبين المواصفات الميكانيكية

الستاتيكية لمحرك القيادة.

الحقيقية --- الموصوفة بالعلاقة /1/

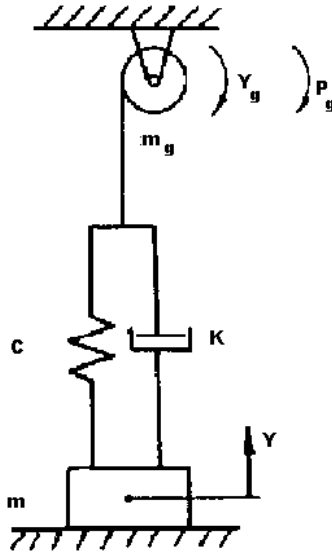
___ الموصوفة بالعلاقة /2/

هدف البحث:

يهدف البحث إلى تطوير نمذجة حاسوبية تقوم بتوصيف العمليات الانتقالية العابرة وأثرها على ديناميكية ميكانيزم الرفع المربوط بالكباش ، ودراسة تأثير المميزات الميكانيكية الستاتيكية لنظام القيادة الكهربائية على المعامل الديناميكي لميكانيزم الرفع. وذلك بغية الحد من الحمولات الديناميكية التي يتعلق بها . بدرجة كبيرة . طول عمر الآلة وإنتاجيتها.

تحليل المسألة وصياغة الموديل الرياضي:

يبين الشكل /2/ المرفق الديناميكي لميكانيزم الرفع بالخطاف [5,6,7] ،



الشكل /2/ يبين المخطط الديناميكي للميكانيزم

حيث أن:

m - كتلة الحمل المرفوع.

C - جساءة الحبال.

K - معامل تخامد الاهتزازات.

m_g - الكتلة المحولة للأجزاء الدوارة في محرك القيادة.

في النموذج الديناميكي المدروس للحركة الانتقالية يتم الانتقال من عزم المحرك T_g وسرعة دورانه n_g إلى القيم

P_g و V_g . وبالاعتماد على العلاقات التالية :

$$P_g = \frac{2 \times u \times u_n}{D_b} \times n \times T_g \quad , \quad V_g = \frac{p \times D_b}{u \times u_n} \times n_g \quad (3)$$

حيث:

D_b - قطر اسطوانة الملفاف.

u - نسبة التخفيض بين المحرك والاسطوانة.

u_n - العتلة (وهي النسبة بين مجموعة البكرات المتحركة والثابتة).

h - مردود نقل الحركة من محرك الإدارة إلى مقرن مجموعة البكرات.

نفترض بأن هيكل الرافعة الإنشائي ومكان استناد الحمل جاسئين بشكل مطلق.

وبالتالي فإن حركة الميكانيزم من بدء دوران المحرك حتى انفصال الحمل عن نقطة استناده توصف بالعلاقة التفاضلية التالية:

$$m_g \times y_g = P_g - C \times y_g - k \times y_g \quad (4)$$

وعندها نفترض بأنه في هذه اللحظة الزمنية t ينعدم الارتخاء في الحبال وتصبح مشدودة تماماً.

نبدأ الحل انطلاقاً من الشروط الابتدائية التالية:

$$y_g = 0, \quad y_g = V_{g0}, \quad P_g = p_{gr} \times \frac{2 \times S_0}{S_{cr}(1+r)} \quad (5)$$

حيث أن الحل المذكور يحدد سلوك النموذج الديناميكي حتى تنفيذ الشرط :

$$S = C \times y_g \quad (6)$$

ويحدد الانزلاق S_0 من المعادلة (5) بقيمة السرعة V_{g0} عند بلوغ المساواة في الشرط (6). أما الشروط الابتدائية لمرحلة رفع الحمل فتعطى من خلال حل المعادلتين التاليتين:

$$\begin{aligned} m_g \times y_g &= P_g - c(y_g - y) - k(y_g - y) \\ m \times y_g &= c(y_g - y) + k(y_g - y) \end{aligned} \quad (7)$$

ومن أجل المعادلة الثانية فإنه يجب أن نضع في (7) $y = y_g = 0$. وبحسب الشد في الحبال بالعلاقة التالية :

$$S_z = C(y_g - y) \quad (8)$$

يجب أن تبقى قيمة العلاقة (8) موجبة دوماً.

ويهدف اختزال التوصيف الرياضي السابق ندخل في الدراسة مصفوفة الأعمدة [8]:

$$Z = \{Z_i\} = \{y_g, V_g, y, V\} \quad (9)$$

ثم نضع جملة المعادلات (3) و(7) في الشكل التالي:

$$Z_i = f_i(t, Z_1, Z_2, \dots, Z_4) \quad ; \quad i = 1, 2, 3, 4 \quad (10)$$

وعندئذ سيكون سهلاً التأكد من أن:

$$\begin{aligned}
f_1 &= Z_2 \\
f_2 &= [Z_1 - C \times (Z_1 - Z_3) - K \times (Z_2 - Z_4)] / m_g \\
f_3 &= Z_4 \\
f_4 &= [C \times (Z_1 - Z_3) + K \times (Z_2 - Z_4)] / m
\end{aligned} \quad (11)$$

اختيار الطريقة العددية وبناء خوارزمية حل المسألة:

لأجل حل جملة المعادلات التفاضلية (10) نستعين بالطريقة العددية رانغ . كوتا /Rang-Kutta /Method من الدرجة الرابعة حيث أن المعادلات المحسوبة بهذه الطريقة تكتب على الشكل التالي:

$$\begin{aligned}
Z_{k+1,i} &= Z_{k,i} + \bar{K}_{1,i} + \bar{K}_{2,i} \quad ; \quad i = 1,2,\dots,4 \\
\bar{K}_{1,i} &= 0.5 \times Dt \times f_i(t_k, Z_{k,1}, \dots, Z_{k,4}); \\
\bar{K}_{2,i} &= 0.5 \times Dt \times f_i(t_k + Dt, Z_{k,1} + 2\bar{K}_{1,1}, \dots, Z_{k,n} + 2\bar{K}_{1,4})
\end{aligned} \quad (12)$$

حيث: $Z_{k,i}$ و $Z_{k+1,i}$ - هي قيم حل $Z_i(t)$ في اللحظة الزمنية t_k و t_{k+1} وهذه القيم تتعلق بخطوة التكامل Dt وفق العلاقة التالية [9,10]:

$$t_{k+1} = t_k + Dt$$

يوضح الشكل /3/ المخطط الصندوقي لخوارزمية تكامل جملة المعادلات التفاضلية (10) حيث أن الخطوة 1 من المخطط الصندوقي تقرأ: كتلة الحمل المرفوع ومواصفات تعليقه والخطوة التكاملية مع الزمن الكلي لاستمرار عملية النمذجة t_m .

الخطوة 2 توصف محرك آلية الرفع من خلال إدخال المعطيات الأولية الضرورية للمحرك حيث يوصف بالمميزة الميكانيكية الساكنة (2).

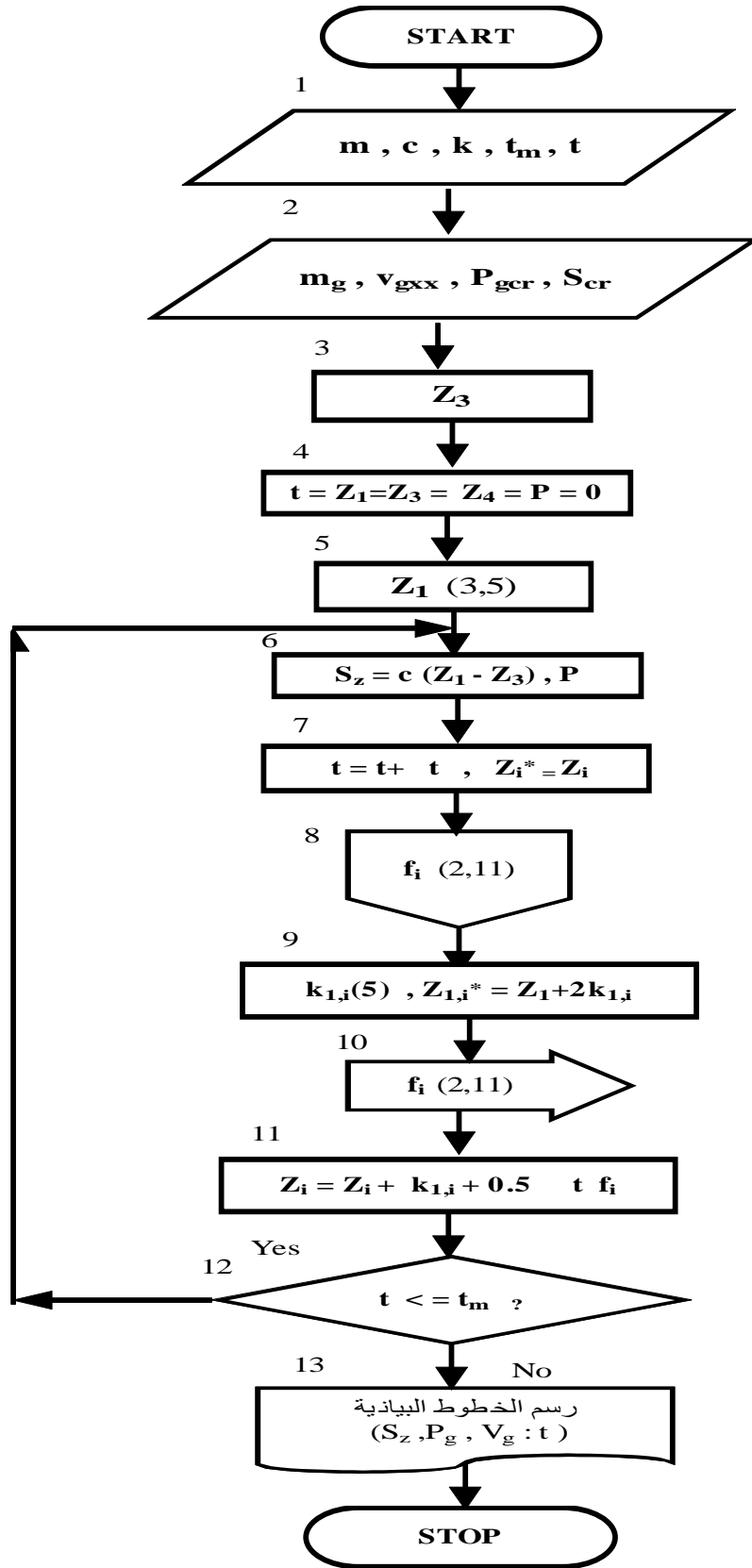
عند تنفيذ الخطوة 3 تعطى قيمة السرعة Z_3 . وفي الخطوة 4 يأخذ الزمن الابتدائي القيمة صفر وتعطى القيم الأولية الصفرية للانتقالات Z_3 و Z_4 وكذلك المتغير P الذي يشير إلى مرحلة رفع الحمل.

بعد الخطوة 4 تنفذ الخطوة 5 حيث تأخذ تغير سرعة المحرك بالحسبان وتحسب القيمة الابتدائية للقوة Z_1 حسب القيمة الابتدائية للسرعة Z_3 .

عند تنفيذ الخطوة 6 يكون حل جملة المعادلات التفاضلية (10) خلال الزمن الجاري t معروفاً. وبشكل خاص قوة الشد في الحبال S قبل انفصال الحمل عن قاعدته $Z_p = P = 0$ وعند مخالفة الشرط (5) يستحوذ الدليل P على القيمة واحد، وبعد ذلك تبقى هذه القيمة ثابتة وغير متغيرة. وتظهر قيم الحل على شاشة الحاسوب أو تطبع على الطابعة.

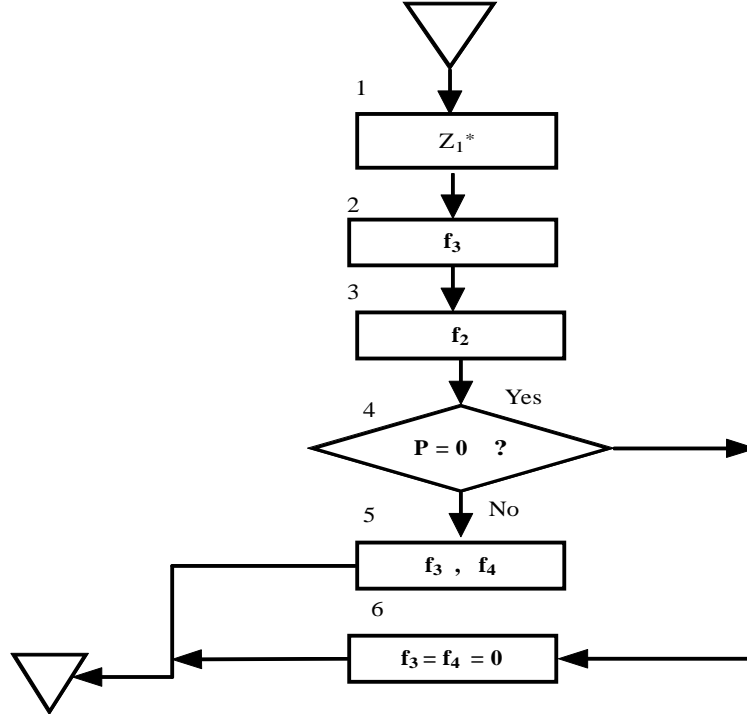
في الخطوة 7 يعاد حساب المعادلات وحلها عند قيم جديدة لـ t .

تعزل قيم حدود الأجزاء اليمنى (11) لجملة المعادلات التفاضلية (10) باستخدام النجمة كما هو مبين في المخطط الصندوقي.



الشكل /3/ يبين المخطط الصندوقي لخوارزمية تكامل جملة المعادلات التفاضلية

يتم حساب الأجزاء اليمنى بالخوارزمية المبينة بالشكل /4/ والمصاغ على شكل مخطط صندوقي فرعي. وقد مُنّلت العودة إلى خوارزمية الشكل /3/ بالخطوتين 8 و 10.



الشكل /4/ يبين المخطط الصندوقي لخوارزمية حساب الأجزاء اليمينية من المعادلات (10)

تشير الخطوة 1 في الشكل /4/ إلى نقل الحركة إلى المتغيرات المناسبة من خوارزمية الشكل /3/ وتحسب القوة Z_1 الداخلة في العلاقة f_3 بالخطوة 2. في حال عدم تحرك الحمل بعد الخطوة 4 تنفذ الخطوة 6 وتأخذ الأطراف اليمنى للمعادلة الأخيرة قيمة صفرية وتبقى المتغيرات Z_3 و Z_4 صفراً وتنفذ الخطوة 5 بعد انفصال الحمل عن نقطة استناده. يتضح من البيانات الواردة لخوارزمية الشكل /4/ أن تنفيذ الخطوات 9 و 11 في الشكل /3/ لا يتعلق بمرحلة الرفع. إذا كان الزمن t_m غير محققاً فإنه بعد فحص شرط الخطوة 12 يعود إلى تنفيذ الخطوة 6 وفي الحالة المعاكسة فإن عملية النمذجة لعمل آلية الرفع تكون قد تمت.

كتابة البرنامج:

يمكن حل الخوارزمية الموصوفة سابقاً باستخدام الحاسوب وهذا يتطلب كتابة البرنامج بإحدى لغات البرمجة العاملة على IBM-PC وقد اختيرت اللغة فيجوال بيسك / Visual Basic 6.00 / لكتابة هذا البرنامج [11, 12]

وصف البرنامج:

تتألف الحزمة البرمجية المكتوبة بلغة الفيجوال بيسك من واجهة بيانية رسومية /User interface/ ندخل من خلالها مدخلات المسألة / Data Input / وتخفي خلفها برنامج رئيسي / Main / program / وبرنامج فرعي / Sub - program / ، حيث يتضمن البرنامج الرئيسي حلول المعادلات الرئيسية للمسألة باستخدام طريقة رانغ/كوتا /Rang-Kutta Method/ ويحفظ النتائج في ملف AS.RES ثم يقوم بتحويل هذا الملف إلى خطوط بيانية تظهر علاقة الزمن ب / إجهاد الحبال ، قوة محرك الإدارة وسرعة محرك الإدارة / أما البرنامج الفرعي فهو يعمل من خلال البرنامج الرئيسي كإجراء ويقوم بحساب الأجزاء اليمينية من المعادلات التفاضلية المنمذجة للمسألة.

اختبار البرنامج:

إن النموذج الديناميكي المطروح قد تم تحقيقه في الحواسيب الالكترونية ، وتم تجريبه على المثال الذي يملك المعطيات التالية :

كتلة الحمل $m = 5000 \text{ Kg}$ ، البكرة مزدوجة ومضاعفها يساوي 2. أما الارتفاع فهو $m = 45$ والجساءة $C = 470000 \text{ N/m}$. الكتلة المحولة لمحرك الإدارة $m_g = 27000 \text{ Kg}$ والقوة الحدية $P_{gr} = 128100 \text{ N}$ ، أما القوة الاسمية $P_{gn} = 48090 \text{ N}$ وسرعة المحرك الخطية على فراغ $V_{gxx} = 0.53 \text{ m/Sec}$ والسرعة الاسمية $V_{gn} = 0.5 \text{ m/Sec}$.

وهذه المعطيات السابقة هي لرافعة معروفة . مختبرة وتعمل في الواقع [7] .

نتائج البحث:

إن نتائج نمذجة ميكانيزم الرفع الموضحة في الشكل /5/ تبين المخططات البيانية لتغير قوة الشد في الحبال S وقوة محرك الإدارة P_g والسرعة V_g مع الزمن .

إن المعامل الديناميكي في حبال الرفع y يساوي 1.493 وبحسب من العلاقة :

$$Y = \frac{S_{z(stat)} + S_{z(dyn)}}{S_{z(stat)}} = \frac{S_{z(max)}}{Q}$$

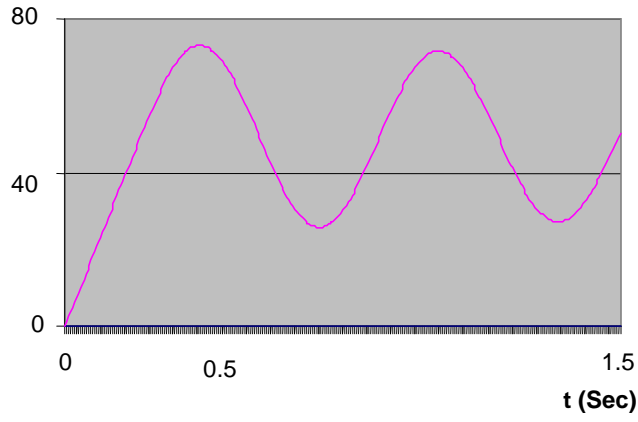
حيث تأخذ القيم من المخططات البيانية لقوى الشد وتساوي إلى قوة الشد الأعظمية $S_{z(max)}$ على الحمولة . Q

وجدير بالذكر أن النتائج المعروضة أدناه تم الحصول عليها عند قيم تخامد صفرية $K=0$ أي دون الأخذ بعين الاعتبار قوى التشتت والإخماد . وفي الشكل /6/ توضح نتائج النمذجة مع الأخذ بعين الاعتبار قيم الإخماد حيث اعتبر أن $K = 10^4 \text{ N} > \text{m/Sec}$ ، وكانت قيم المعامل الديناميكي $y = 1.419$ وبالمقارنة نجد أن عدم إهمال قوى التخماد يؤدي إلى تخفيض قيم عامل الإضافة الديناميكي $1 - y$ في حبال الرفع حيث تصل نسبة التخفيض إلى 15% .

S_z (KN)

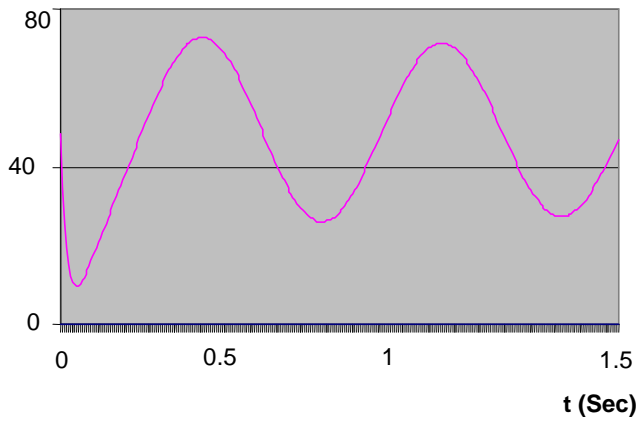
قوة الشد في الحبال

$$y = \frac{72.751}{49050} = 1.493$$



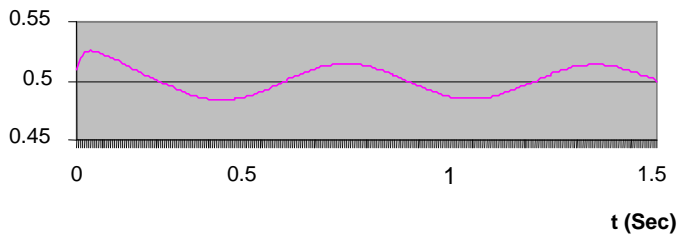
P_g (KN)

قوة الشد في محرك الإدارة



V_g (m/Sec)

سرعة محرك الإدارة

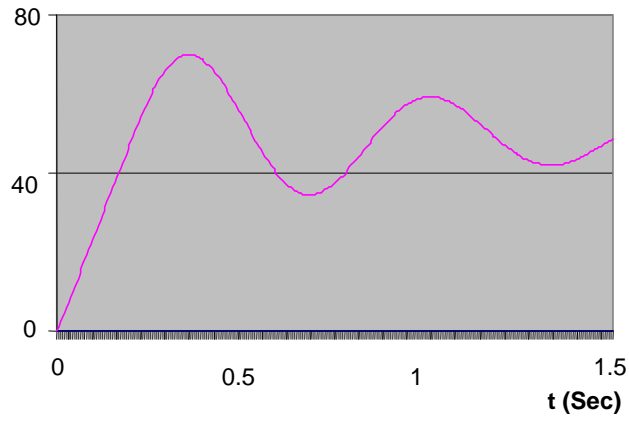


الشكل 5/ يبين نتائج النمذجة مع إهمال قوى التشتت والإخماد

S_z (KN)

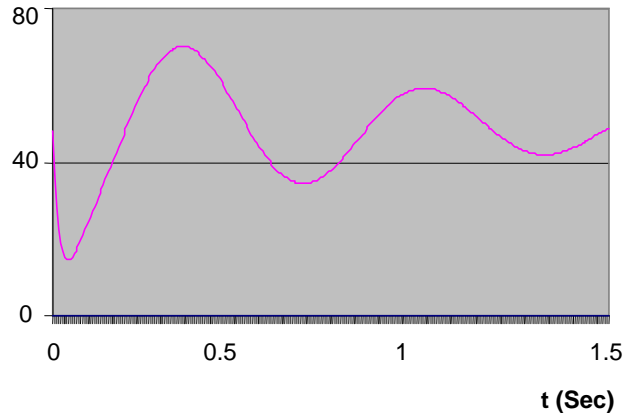
قوة الشد في الحبال

$$y = \frac{69.649}{49050} = 1.419$$



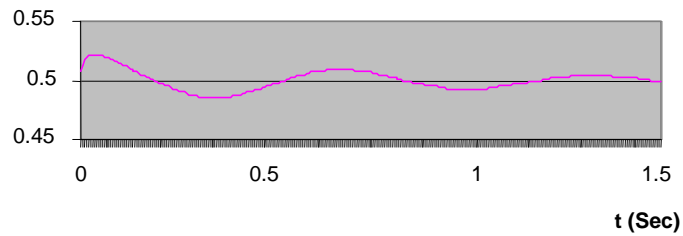
P_g (KN)

قوة الشد في محرك الإدارة



V_g (m/Sec)

سرعة محرك الإدارة



الشكل 6/ يبين نتائج النمذجة مع الأخذ بعين الاعتبار قوى التشتت والإخماد

وعلى أساس النتائج المدونة أعلاه تم التوصل إلى الخلاصة التي مفادها أن كيفية توصيف محرك القيادة المربوط على ملفاف الكباش بالميزات الميكانيكية الستاتيكية المبينة في الشكل /1/. وفي حال وجود ملفافين من هذا النوع منفصلين فإن التوصيف يكون مشابهاً ، وهكذا في نهاية عملية غرف المواد يكون تحميل ملفاف الإغلاق أكبر عملياً بمرتين من التحميل الاسمي ، وعند انفصال الكباش المملوء عن كتلة الحمل يعمل المحرك على القسم غير الخطي للمميزة الميكانيكية. وبننتيجة دراسة الحالات العابرة العملية -النظرية المدرجة والمرافقة لعمل ميكانيزم الرفع، فقد أُجري للمنظومة الجزئية تحليل ديناميكي للآلات الرافعة وتبين أن أعظم الأحمال الديناميكية تنشأ عند رفع الحمل عن الأرض. ويتعلق تدقيق الحساب الديناميكي للأحمال في المرحلة الأولى بالمميزة الميكانيكية الساكنة لمحرك الإدارة وبالتالي يتعلق بتدقيق الشروط الابتدائية لمرحلة بعد انفصال الحمل فكلما كان زمن انفصال الحمل عن الأرض أكبر بالنسبة للمجال الزمني للاهتزازات كان المعامل الديناميكي أقل.

المراجع:

.....

1. Kafa S; Hamwi L, Computer Aided Design for study the dynamic passing the lifting mechanism. Magasin of Tshreen universty, 2001.
2. Salaviof V.G, The theoritical principles for the raising of a productivity of Grabs. Leningrad, 1981.
3. Salaviof V.G, Designing the hoisting cranes by CAD systems. Leningrad, 1991.
4. Klwtchef V.E, Electrical Machine and Drive system, McGraw-Hill, 1995.
5. Lobov N.A, Dynamic of hoisting cranes, Moscow, Mashinostroenie. 1987
6. Vaenson A.A, Hoisting – conveying machines, Moscow, Mashinostroenie. 1989.
7. Handbook of cranes, part /1-2/, Leningrad, Mashinostroenie.1988.
8. Bikov V.P, Methods CAD for machine design, Leningrad, Mashinostroenie. 1989.
9. Berezin P.S, Numerical Methods, T₂. – McGraw-Hill, 2002.
10. John H.Mathews, Numerical methods for mathematical, Science, And engineering, McGraw-Hill, 1992.
11. Nelson Ross, Running Visual Basic 6.0 for windows, Microsoft press,1999.
12. Halvorson Michel, Visal Basic 6.0, Microsoft press, 2001.