

خفض الحمولات الديناميكية بالآليات ذات المحركات التحريضية المقادة ثايرستورياً

الدكتور شفيق باصيل*

(قبل للنشر في 2004/1/26)

□ الملخص □

نورد في هذا البحث تحليلاً رياضياً مسهباً لعمل الآليات الإنتاجية الصناعية ذات المحركات التحريضية المقادة بالمبدلات الثايرستورية ودور هذه المبدلات في ظهور التوافقيات العليا بمركبة العزم الكهرومغناطيسي ومن ثم أثر هذه التوافقيات على قيمة الحمولات الديناميكية بالآلية مع اقتراح طريقة لخفض هذه الحمولات في الأجزاء الحركية للآلية في الحالتين العابرة والمستقرة من خلال إعطاء المقترحات التي يجب أن يتغير عزم المحرك وفقاً لها بدلالة عوامل الجملة المذكورة والتي يتحقق عندها الحد الأدنى من الحمولات الديناميكية من دون الانخفاض الملحوظ في إنتاجية الآلية، حيث تم إثبات النتائج التحليلية بالتجربة وتبين التطابق الممتاز بين النظرية والتجربة لعدد من الآليات.

* أستاذ مساعد في قسم الطاقة - كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية - جامعة تشرين - اللاذقية - سورية.

Reducing the Dynamic Loads in the Mechanisms with Induction Motors Controlled by Thyristor Converters

Dr. Chafik Basil *

(Accepted 26/1/2004)

□ ABSTRACT □

The research presents a detailed mathematical analysis for transport mechanisms with induction motors controlled by thyristor converters, and the role of these converters in producing higher harmonics in electromagnetic moment and the effects of these higher harmonics in increasing the dynamic loads of the mechanism.

The research also propose a method for reducing these loads in the moving parts of the mechanism for both transient and steady states. This method helps to improve the control system in order to provide the desired technological process and to achieve the minimum dynamic loads without any noticeable in the productivity of the machine.

The analytical results have been verified experimentally. Excellent agreement came out between analysis and experiment for several mechanisms.

* Associate Professor At Department Of Mech and Elec. Engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria.

مقدمة:

من المعلوم أنه في أثناء عمليات الإقلاع والفرملة في آليات الرفع والنقل تظهر في القسم الميكانيكي عند كل دورة عمل للآلية حمولات ديناميكية كبيرة تفوق القيم المسموح بها وخاصة إذا احتوت هذه الآليات على حلقات ذات عزوم عطالة متفاوتة مع وجود خلوصات ميكانيكية (gaps) بين القسمين الميكانيكي والكهربائي. [1-2] إن الميزة الأساسية لهذه الآليات هي عملها بنظام العمل الدوري المنكرر والقصير الزمن بالإضافة إلى استخدامها الواسع للمحركات التحريضية والتي تمثل أيضاً حلقات غير خطية وهذا يعني أن وجودها في نظام التحكم يضيف مشكلة جديدة وهامة عند عمل الآليات المذكورة.

مما سبق نستنتج أنه من أجل تطوير وتحسين شروط موثوقية هذه الآليات وجعلها ذات إنتاجية عالية وأقرب ما يمكن من الشروط المثالية لابد من التعمق بدراسة ومعالجة الحالات الديناميكية وتحديد الأثر السلبي الناتج عنها على كل قسم من الأقسام الميكانيكية والكهربائية وهذا يمكن الوصول إليه فقط عند دراسة الجملة الكهروميكانيكية كوحدة متكاملة.

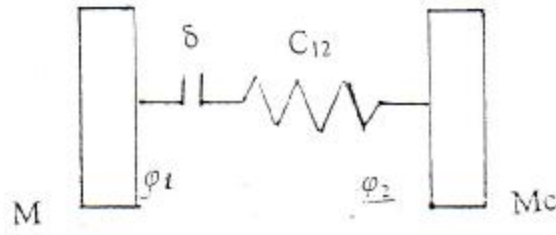
إلا أن إدخال أثر كل العوامل المذكورة مجتمعة يزيد من صعوبة الدراسة وقد تصبح المعالجة في بعض الأحيان غير ممكنة وبناءً على ذلك قمنا في بحث سابق بتحليل عمل الجملة الكهروميكانيكية للآليات المذكورة عند عملها بالنظام الدوري المنكرر والقصير الزمن عند إدخال عوامل المرونة فقط وبنتيجة البحث المذكور تم إعطاء المقترحات التي يجب أن يتغير بموجبها عزم المحرك وفقاً لعوامل (Parameters) لبارامترات الجملة المذكورة والتي يتحقق عندها الحد الأدنى من الحمولات الديناميكية من دون الانخفاض الملحوظ في إنتاجية الآلية حيث افترضنا أن قيمة عزم المحرك تبقى ثابتة لحظة الإقلاع أو الفرملة أو عكس اتجاه الدوران.

هدف البحث:

يتمثل هدف البحث في دراسة الأنظمة الكهروميكانيكية ذات المحركات التحريضية عند تغذيتها من منظمات الجهد الثابستورية للتخفيف من أثرها على الحمولات الديناميكية أثناء الحالة العابرة والمستقرة باعتبار أن استخدام المبدلات الثابستورية يسبب احتواء عزم المحرك التحريضي على التوافقيات العليا أثناء العمل بالنظام المستقر الأمر الذي يزيد من ارتفاع الحمولات الديناميكية في الآليات المذكورة. [2-3]

الدراسة التحليلية:

إن أكثر الجمل الكهروميكانيكية لآليات الرفع والنقل يمكن تمثيلها بنظام ثنائي الكتل، على الشكل (1) تظهر الدارة الحسابية للنظام الكهروميكانيكي ثنائي الكتل التي تتضمن القسم الميكانيكي من المحرك الكهربائي المتمثل بالدوار مع اعتبار أن كل القيم منسوبة إلى محور المحرك الكهربائي [4]، وهي:



الشكل (1): الدارة الحسابية للنظام ثنائي الكتل

حيث:

M_c, M - عزم المحرك والعزم المقاوم على التوالي.

$-J_1$ - عزم عطالة دوار المحرك مع بكرة الكبح (الكتلة الأولى).

$-J_2$ - عزم عطالة العضو العامل مثلاً كتلة دوار الرافعة (الكتلة الثانية).

$-C_{12}$ - قساوة الوصلة المرنة بين الكتلتين.

$-d$ - الخلوص الكلي لوسيط النقل الميكانيكي.

$g = \frac{J_1 + J_2}{J_1}$ - نسبة الكتل ونفترض بداية أن $g \gg 1$

M_y - الحمولة الديناميكية (Dynamic load) الناتجة في وسيط النقل نتيجة تأثير مرونة الحلقات والذي

يسمى اختصاراً بعزم المرونة (Moment of elasticity) في الحالة العابرة.

$$W_1 = \frac{dj_1}{dt} - \text{سرعة الكتلة الأولى}$$

$$W_2 = \frac{dj_2}{dt} - \text{سرعة الكتلة الثانية}$$

حيث J_1, J_2 المسار الزاوي للكتلتين الأولى والثانية على التوالي (moment of elasticity).

إن قيمة الحمولة الديناميكية يمكن تحديدها بالاعتماد على نتائج حل جملة المعادلات التفاضلية الواصفة

لنظام ثنائي الكتل وهي:

$$M - M_y = J_1 \frac{d^2 j_1}{dt^2}$$

$$M_y - M_c = J_2 \frac{d^2 j_2}{dt^2}$$

إذا قارنا بين المعادلات الأخيرة مع الشكل (1) نرى أنها صحيحة فقط من اللحظة الزمنية التي يكون فيها

قد تم اختيار الخلوص (لحظة تأمين الاتصال بين الكتلتين أي عندما تبدأ الكتلتان بالدوران معاً) أي عند شروط

ابتدائية غير صفرية. ووفقاً لذلك سيكون لدينا ما يلي:

$$t = 0, M_y = 0, \frac{dM_y}{dt} = C_{12} DW_z$$

حيث:

$-DWZ$ - الفرق بين سرعتي الكتلتين الأولى والثانية في لحظة اختيار الخلوص وهذا يعني أن DWZ يمثل الفرق الابتدائي للسرعتين من أجل المرحلة التي تصبح عندها كلتا الكتلتين تدوران بحركة متزامنة مثلاً عند الإقلاع (لحظة بدء حركة الكتلة الثانية) إن حل مجموعة العلاقات (1) وفقاً للشروط المذكورة يعطينا تغيرات البارامترات التالية:

$$\begin{aligned} My &= (J_2 Z \pm Mc)(1 - \cos W_{12}t) + C_{12} \frac{DWZ}{W_{12}} \sin W_{12}t \\ W_1 &= DWZ + Zt + \frac{J_2 Z \pm Mc}{J_1 W_{12}} \sin W_{12}t - C_{12} \frac{DWZ}{J_1 W_{12}^2} (1 - \cos W_{12}t) \\ W_2 &= Zt - \left(\frac{J_2 Z \pm Mc}{J_1 W_{12}} \right) \sin W_{12}t + \frac{DWZ}{g} (1 - \cos W_{12}t) \end{aligned} \quad (2)$$

في العلاقات الأخيرة تمثل W_{12} ، Z البارامترات التالية:

W_{12} - تردد الاهتزاز الذاتي لنظام ثنائي الكتل.

Z - التسارع أو التباطؤ الوسطي للجملة المدروسة.

$$W_{12} = \sqrt{\frac{C_{12}(J_1 + J_2)}{J_1 \cdot J_2}}, \quad Z = \left(\frac{M \pm Mc}{J_1 + J_2} \right) \quad \text{حيث:}$$

أي بالاعتماد على جملة المعادلات (2) نستطيع إيجاد القيمة العظمى للحمولات الديناميكية (Dynamic Loads)، في وسائط النقل كما يلي:

$$My_{\max} = (J_2 Z + Mc) + \sqrt{(J_2 Z + Mc)^2 + \left(\frac{C_{12} DWZ}{W_{12}} \right)^2}$$

إن هذه القيمة تبرهن على أن تأرجح وتغير الحمولات الديناميكية يمثل عاملاً سيئاً يتمثل بزيادة الحمولات

الأعظمية بالمقارنة مع قيمها الوسطى، وأن هذه الزيادة يعبر عنها بالثابت الديناميكي التالي:

$$Ky = \frac{My_{\max}}{My_{\text{mid}}} = 1 + \sqrt{1 + \left(\frac{C_{12}^2 DWZ^2}{W_{12}^2 M^2 y_{\text{mid}}} \right)} \quad (3)$$

من العلاقة (3) نستنتج أن قيمة $Ky > 2$ عند لحظة اختيار الخلوص وأن درجة زيادة التحميل تتحدد مباشرة

بقيمة القساوة C_{12} وبفرق السرعتين DWZ في اللحظة التي ينتهي عندها تأثير الخلوص. كما أن القيمة الأخيرة

DWZ تتعلق بقيمة عزم المحرك M فيما إذا كان ثابتاً أم متغيراً وفقاً لقانون محدد عند زمن $(t < t)$. بشكل عام

تعطى قيمة الفرق DWZ مع قيمة الخلوص d بدلالة الزمن بالعلاقتين التاليتين:

$$DWZ = \frac{1}{J_1} \int_0^t \dot{M}.dt, \quad d = \int_0^t (W_1 - W_2) dt \quad (4)$$

من مقارنة المعادلات (1,2,3,4) نستنتج مايلي:

من أجل آلية محددة، وعند قيمة مطلوبة للخلوص d تتحدد قيمة الحمولة الديناميكية لحظة اختيار الخلوص بعزم المحرك وهذا الأخير نستطيع التحكم به تبعاً لقانون معين نحدده بما يتناسب مع صفات العملية التقنية المطلوبة، وتبعاً لذلك سنناقش ثلاث حالات:

أولاً: حالة عزم المحرك ثابتاً:

تعتبر هذه الحالة الأكثر انتشاراً من الناحية العملية باعتبار أنها تعبر عن نظام الإقلاع على المميزات الاصطناعية وعن نظام الكبح في حالة الكبح على التضاد.

إذ أن تغيير السرعة بالمقدار DWz خلال فترة اختيار الخلوص t غير كبير باعتبار أن تغيير العزم خلال الفترة المذكورة t صغير نسبياً.

على الأغلب في الحالة العامة تستخدم إجراءات وتدابير خاصة تعمل على تأمين تسارع منتظم عند الإقلاع للحفاظ على ثبات العزم. في هذه الحالة عند التسارع المنتظم ستكون لدينا العلاقات التالية صحيحة [4]:

$$DWz = \sqrt{\frac{2dM}{J_1}}, d = \frac{Mt^2}{2J_1}$$

$$t = \frac{2d}{DWz} = \sqrt{\frac{2dJ_1}{M}} \quad (5)$$

إذا افترضنا أن $Mc = 0$ وأن $J_2 \gg J_1$ (وهذا يتوافق مع العديد من آليات الرفع والنقل) [1] عندئذ ستختصر العلاقة (3) إلى العلاقة التالية:

$$Ky = 1 + \sqrt{1 + \left(\frac{2dC_{12}}{M}\right)} \quad (6)$$

تبعاً لذلك نستطيع القول بأنه لتأمين القيمة المطلوبة مسبقاً لثابت الحمولات الديناميكية Ky_{max} يجب تحديد القيمة الضرورية DWz اللازمة لذلك الثابت انطلاقاً من العلاقة (3) كما يلي:

$$DWz = My_{mid} \frac{W_{12}}{C_{12}} \sqrt{Ky_{max} (Ky_{max} - 2)}$$

وبهذا الشكل نستطيع ببساطة إيجاد قيمة عزم المحرك الموافقة لـ DWz بالاعتماد على العلاقة (5) بعد استبدال قيم مركباتها على النحو التالي:

$$M = \frac{J_1}{2d} (DWz)^2$$

$$M = \frac{J_1}{2d} Ky_{max} (Ky_{max} - 2) \left(My_{mid} \frac{W_{12}}{C_{12}}\right)^2$$

تحليلياً:

إن الحسابات الجارية لتحديد الثابت الديناميكي بالعلاقة (6) لمجموعة من آليات النقل والرفع أعطت القيم التالية: $Ky = (8-13)$ وهذه القيم حددت استناداً إلى المعطيات التالية: تأثير قيم كبيرة للخلوص الميكانيكي تتراوح $d = (0.5-1.5) \text{ rad}$ مع ثبات قيمة عزم المحرك ضمن المجال $M = (1.2-1.7) \text{ Mn}$. إلا أن القيمة الحقيقية لهذا الثابت هي أقل من ذلك نتيجة إهمال المرونة المتواجدة في وسيط النقل بين حلقات الجملة الكهروميكانيكية للآليات المذكورة.

استناداً إلى ما تقدم نستنتج مايلي: عند ضرورة تأمين قيمة حسابية ضرورية للثابت الديناميكي تتراوح بين $Ky=2.5$, 3 والمقابلة للخلوصات الميكانيكية المذكورة قبل قليل يجب أن يتسارع المحرك تحت عزم ثابت يتراوح بين % (25, 5) من قيمته الاسمية.

في هذه الحالة زمن اختيار الخلوص السابق والمحسوب بالعلاقة (5) يتراوح أيضاً ضمن المجال $(1, 0.5)$ sec. بناءً على ما تقدم قمنا بمساعدة الحاسوب بإجراء مجموعة حسابات تظهرها الأشكال (2-3) حيث يُظهر الشكل (2) تغيرات زمن اختيار الخلوص t_1 مع قيمة عزم المحرك اللازمة عند تغير كل من قيمتي الخلوص الميكانيكي d وقساوة الوصلات الميكانيكية C_{12} . في حين يبين الشكل (3) تغير الجداء $(Kg_1.d)$ عند تغير التردد W_{12} من أجل قيم متعددة للثابت الديناميكي Ky .

فإذا افترضنا قيمة معينة مسبقاً للخلوص ولتكن مساوية $d=0.5rad$ عندئذ نستطيع إيجاد قيمة عزم المحرك اللازمة لحظة اختيار الخلوص مع نسبة في زيادة زمن الإقلاع. عند تغيرات التردد W_{12} وهذه المنحنيات مبينة بوضوح على الشكل (4) عند قيمتين للثابت الديناميكي ($Ky=2.6$ ثم $Ky=2.2$).

إن أهم ما نستنتجه من الشكلين الأخيرين هو إمكانية تطبيق القيم الناتجة على أية جملة كهروميكانيكية بعد حساب تردد الاهتزاز الذاتي لها W_{12} في النظام ثنائي الكتل حيث بينت النتائج الارتباط الوثيق بين قيمة الثابت Ky مع قيمة عزم المحرك.

ثانياً: حالة عمل المحرك في نظام: IVC-IM Thyristor voltage converter – Induction Motor

عند تغذية المحرك التحريضي من مبدل الجهد الثايرستوري فإن هذا المحرك سينتج مركبتين للعزم [2]: الأولى مستمرة والثانية هرمونية (ذات توافقيات عليا). أي أن العزم المحصل هو نتيجة هاتين المركبتين $(M+M_d \sin W_d t)$. وفقاً لذلك ستصبح العلاقة (4) على الشكل التالي:

$$DWz = \frac{M}{J_1} t - \frac{M_d}{J_1 W_d} \cos W_d t$$

$$d = \frac{M}{2J_1} t^2 - \frac{M_d}{J_1 W_d^2} \sin W_d t$$

فإذا كان دور الاهتزاز T_d متناسباً مع زمن اختيار الخلوص مثلاً (حالة $\frac{0.5p}{W_d} t$ £)، عندئذ يمكن اعتبار

أن عزم المحرك العابر يتغير خطياً بالعلاقة التالية: $M=K_1 t$

بافتراض أن مطال M_d يمكن أن يزيد قيمة العزم الاسمي بـ (2-5) مرة [1]. إن هذا التغير يمكن تحقيقه اصطناعياً (عملياً) من أجل أية قيمة ضرورية للثابت K_1 وتبعاً لهذا تتحول العلاقة (4) إلى الشكل التالي:

$$DWz = \frac{K_1}{2J_1}$$

$$d = \frac{K_1 t^3}{6J_1} \quad (8)$$

$$t = \frac{3d}{DWz}$$

فإذا كانت قيمة العزم الهرموني M_d تصل قيمتها الأعظمية خلال 90^0 (ربع دور الاهتزاز T_d) عندئذ قيمة K_1 تتراوح ضمن المجال $(100, 200)M_d$ « K_1 بالإضافة إلى ذلك نجد أن حساب قيمة DWZ وفقاً للعلاقة (7) من أجل القيم السابقة لآليات النقل بالروافع يبين أنه خلال الزمن t اللازم لوصول العزم M_d إلى قيمته العظمى يمكن اختيار خلوص ميكانيكي مقداره $d=(0.01, 0.04)Rad$ بمعنى أن $d=(0.5, 2)^0$ ووفقاً لذلك تكون قيمة $DWZ = (4 - 10) \frac{rad}{sec}$ ، أما قيمة الثابت الديناميكي الموافقة لذلك فهي $(Ky=6.5, 7)$. وهذه الزيادة بالحمولات الديناميكية يمكن مصادفتها فقط عند اختيار خلوصات ميكانيكية صغيرة جداً فيما لو توافقت نهاية اختيار الخلوص مع زمن القيمة الأعظمية للعزم M_d .

لندرس الآن الحالة الثانية وهي إذا كان تردد الاهتزاز W_d كبير جداً أي أن قيمة

$$\frac{2p}{W_d} \ll t \quad \text{حيث يمكن الافتراض لأسوأ حالة:}$$

$$DWZ = \frac{1}{J_1} (M.t + \frac{M_d}{W_d}) \quad (9)$$

وهذا يعني أن اختيار الخلوص يحصل خلال زمن مقداره $t = t$ عندما تتحقق العلاقة التالية:

$$W_d t = (2n+1)p \quad \text{حيث:}$$

$$n = 0.1.2..... \quad \text{وعندئذ:}$$

$$z = \sqrt{\frac{2dJ_1}{M}} t^2 \quad d = \frac{M}{2J_1} t^2$$

و في هذه الحالة سنكرر لدينا العلاقات (5) من جديد ومنه نستنتج النتيجة التالية:

"إن مركبة العزم الهرمونية لا تبدي أي تأثير على زمن اختيار الخلوص"

بعد تعويض قيمة t من العلاقة (5) في العلاقة (9) نحصل على قيمة DWZ الموافقة لها على النحو

التالي:

$$DWZ = \frac{1}{J_1} (\sqrt{2dMJ_1} + \frac{M_d}{W_d})$$

إذا أمعنا النظر في العلاقة الأخيرة DWZ نستطيع إثبات التالي:

إن المركبة الهرمونية للعزم M_d تؤثر مباشرة على قيمة DWZ وبالتالي من خلالها على قيمة الحمولات الديناميكية أي تزيد الحمولات الديناميكية الصدمية. بالآلات الحقيقية العاملة حسب المركبات الهرمونية للعزم يمكن أن تزيد الثابت الديناميكي بمقدار $(10 \text{ و } 15)\%$ ومن هنا تظهر ضرورة خفض القيم الأعظمية للعزوم الكهرومغناطيسية في المحرك قدر الامكان.

ثالثاً: حالة تغير العزم وفقاً للعلاقة $M=K_2 t^2$

تتحقق هذه الحالة عند تغير توتر التحكم بالمبدل الثايرستوري وفقاً لقانون خطي ($Uy=K_2t$) مع اعتبار أن العلاقة بين التوتر على أقطاب المحرك Us وبين توتر التحكم هي الأخرى خطية أيضاً ($Us=Ku Uy$) حيث K_u - ثابت التناسب على الجهد [3].

في هذه الحالة وفقاً للعلاقة [4] نستنتج أن :

$$DWz = \frac{K_2}{3J_1} t^3, \quad d = \frac{K_2}{12J_1} t^4, \quad t = \frac{4d}{DWz} \quad (10)$$

حيث أن:

$$K_2 = \frac{J_1}{12d^3} (DWz)^4$$

إذا افترضنا أن الجملة تؤمن حمولات ديناميكية ضمن المجال المسموح به ($Ky=2.5-2.8$) فإن قيمة DWz لا تزيد عادة عن % (10-12) من القيمة الاسمية لها، لذلك يمكن اعتبار أن قيمة العزم $M=Ku^2$ وفي هذه الحالة قيمة الثابت K تحسب أثناء الإقلاع من أجل قيمة للانزلاق $S=1$ أي قيمتها تكافئ الحالة التي يكون فيها الانزلاق مساوياً للواحد وينتج ذلك تصبح الوتيرة الضرورية اللازمة لتغير توتر التحكم على الشكل التالي:

$$K\phi = \frac{1}{Ku_1} \sqrt{\frac{K_2}{K}} = \frac{0.22(DWz)^2}{Kud} \sqrt{\frac{J_1}{Kd}}$$

وبإجراء مقارنة أولية للعلاقة (10) و(8) و(5) يتبين بوضوح أنه في كل الحالات المختلفة المذكورة يتواجد تناسب بين زمن اختيار الخلوص t وبين قيمة الخلوص نفسه d :

فمثلاً في الحالة الأولى من أجل قيم محددة لكل من DWz , d يكون التناسب المذكور أصغر ما يمكن في حين من أجل الحالة الأخيرة سيكون على العكس أكبر ما يمكن. لكن إذا أدخلنا بالاعتبار أن التوضع اللحظي للعزم عند غياب الخلوص يمكن أن يسبب في ظهور ثابت ديناميكي بالقرب من ($Ky=2$) عندئذ من المفضل في حالة الآليات ذات عزوم العطالة الكبيرة تحقيق التزايد الناعم للعزم وبالتالي عند اقتراح تزايد Uy وفقاً لقانون خطي من الضروري جداً تحديد قيم كل من K_2 ، K_2 بدقة تامة.

و من أجل خلوصات ميكانيكية $d = (0.1 - 0.2)rad$ يمكن اخذ قيمة $K_2 = (0.5, 0.6)Mn(\frac{N.m}{sec^2})$ في هذه الحالة فإن زمن اختيار الخلوص سيتراوح بين $t = (0.5 - 0.8) sec$. أما في حالة القيم الكبيرة أي $d = (0.5, 1.5)rad$ فإن القيمة المطلوبة للثابت K_2 ستتراوح بين $K_2 = (0.04, 0.06)Mn(\frac{N.m}{sec^2})$ وهذا يوافق زمن اختيار الخلوص مقداره $t = (2.5 - 4) sec$.

ومما سبق نستنتج أنه من المفضل عادة الحفاظ على هذه الوتيرة لتزايد العزم فقط خلال زمن اختيار الخلوص t وبعده ينبغي وبشكل آلي تغيير وضعية ثابت المنظم بحيث يزيد من وتيرة تسارع عزم المحرك والسبب في ذلك هو عدم السماح بانخفاض التسارع عند إقلاع الآلية.

كما نستطيع استنتاج النتيجة الهامة التالية:

أثناء حالات تنظيم تيار الدائر من المنظم الثايرستوري (Tcc-IM) يجب اختيار الخلوص عند قيمة أولية ثابتة للعزم في حين عند العمل في نظام المعدل الثايرستوري للجهد (Tvc-IM) يفضل استخدام منظم زيادة وتيرة الإقلاع للألية من أجل الحد من الحمولات الديناميكية في وسائط النقل الميكانيكية الموجودة في الجملة الكهروميكانيكية.

قبل قليل نوهنا أنه في أثناء تغذية المحرك من المنظم الثايرستوري فإن العزم الكهرومغناطيسي المحصل هو عبارة عن مجموع مركبتين هما:

- العزم التحريضي: (المركبة الثابتة $(M_1 = M)$)

الذي يعتبر ثابتاً في الحالة المستقرة ويمكن الحفاظ عليه ثابتاً أيضاً في الحالات العابرة.

- المركبة الهرمونية للعزم **Higher Harmonic component of moment**

إن مطال المركبة الهرمونية للعزم M_d والتردد الهرموني W_d يتحددان بنوع دارة المنظم الثايرستوري وبارامترات الآلية نفسها بالإضافة إلى طبيعة نظام العمل للألية ذاتها، ضمن الشروط المذكورة من المهم جداً التحقق من إمكانية حساب الوصلات المرنة للقسم الميكانيكي من الجملة الكهروميكانيكية وذلك بمقارنة التردد الذاتي لنظام ثنائي الكتل W_{12} مع تردد الاهتزازات القسرية W_d .

إن استخدام مبدأ التتضد يسمح بإيجاد الحل وبشكل مستقل لكل مركبة على حدة لكن في الحالة شبه المستقرة تتوازن المركبة الثابتة لعزم المحرك مع العزم المقاوم الستاتيكي وبالتالي سنتقل بالكامل عبر الوصلات المرنة إلى الكتلة الثانية. أما في الحالة العابرة فإن حل معادلة نظام ثنائي، الكتل من أجل القيمة الثابتة لعزم المحرك M (مع اعتبار أن العزم الستاتيكي $Mc=0$) يعطى بالعلاقة التالية [4.5]:

$$M_y = M \frac{J_2}{(J_1 + J_2)} (1 - \cos W_{12}t) \quad (11)$$

إن دراسة تأثير المركبة ذات التوافقيات العليا (الهرمونية) على الآلية المتواجدة في الدارة الحسابية لنظام ثنائي الكتل والمنقولة إلى محور المحرك يُعطي الحل التالي:

$$\left. \begin{aligned} M_d \sin W_d \cdot dt - C_{12} (j_1 - j_2) &= J_1 \frac{d^2 j_1}{dt^2} \\ C_{12} (j_1 - j_2) &= J_1 \frac{d^2 j_1}{dt^2} \end{aligned} \right\} \quad (12)$$

بطرح المعادلة الثانية من الأولى في المجموعة (12) باختصار عدة مراحل وإصلاحات للمعادلة نحصل على العلاقة التالية التي تحدد تغير الحمولات الديناميكية:

$$\frac{d^2 (My)}{dt} + W_{12}^2 My = W_1^2 M_d + \sin W_d t$$

حيث أن: $W_1 = \sqrt{\frac{C_{12}}{J_1}}$ - التردد الذاتي لاهتزازات نظام أحادي الكتل.

إن الحل العام للعلاقة الأخيرة يملك الشكل التالي:

$$My = A \sin W_{12}t + B \cos W_{12}t - M_d \frac{W_1^2}{W_d^2 - W_{12}^2} \sin W_d t$$

إذا اعتبرنا أن العمل يتم عند الشروط الابتدائية الصفرية عندئذ تصبح قيمة عزم المرونة على الشكل التالي:

$$My = M_d \frac{W_1^2}{W_d^2 - W_{12}^2} \left(\frac{W_d}{W_{12}} \right) \sin W_d \cdot t - \sin W_d \cdot t$$

إذا أخذنا بالاعتبار أيضاً الحل الناتج عن المركبة الثابتة للعزم My حسب العلاقة (11) عندئذ تصبح العلاقة النهائية لعزم المرونة هي:

$$My = M \frac{J_2}{J_1 + J_2} (1 - \cos W_{12}t) + M_d \frac{W_1^2}{W_d^2 - W_{12}^2} \cdot \frac{W_d}{W_{12}} \sin W_{12}t - M_d \frac{W_1^2}{W_d^2 - W_{12}^2} \sin W_d t \quad (13)$$

إن العلاقة الأخيرة (13) تمثل عملياً قيمة عزم الحمولة بالحالة المستقرة.

إن الشكل (5) يبين تغير المركبات الهرمونية للعزم الكهرومغناطيسي والأثر السلبي الناتج عنها والتي سنحدد نسبتها استناداً إلى العلاقات الرياضية المتتالية تبعاً لذلك فإن كل من القيمة العظمى لعزم المرونة My_{max} والثابت الديناميكي Ky أثناء الحالة العابرة يمكن إيجادهما بالشكل التالي:

$$Ky = \frac{My_{max}}{My_{min}} = 1 + \sqrt{1 + \frac{M_d^2}{M^2} \frac{W_d^2 \cdot W_{12}^2}{(W_d^2 - W_{12}^2)}} + \frac{M_d}{M} \cdot \frac{W_1^2}{W_d^2 - W_{12}^2} \quad (14)$$

من العلاقة الأخيرة (14) نجد أن قيمة الثابت الديناميكي تفوق العدد 2 ($Ky > 2$) كما أن قيمته ستكون أكبر من ذلك كلما كبرت النسبة $\frac{M_d}{M}$ (كلما ازداد مطال المركبة الهرمونية). من جهة وكلما صغر الفرق $(W_d^2 - W_{12}^2)$ وبهذا الشكل نستنتج:

أن زيادة التحميل في الوسائط الميكانيكية لنقل الحركة لا تتحدد فقط بقيمة عزم المقاومة الخارجي (إشارة التشويش) وإنما أيضاً بدرجة توافق ترددات الاهتزازات الذاتية والقسرية.

بالاعتماد على ما سبق يمكننا القول أنه حتى في حالة نظام العمل مع الاهتزازات المستقرة نجد أن حلقات الدارة الحركية في الآلية تخضع (بالإضافة إلى المركبة الثابتة المساوية لعزم المقاومة الستاتيكي) إلى تأثير مركبة العزم الهرمونية ذات التردد W_d وذات المطال My_s (المساوي لي):

$$M_{Y.S} = \frac{M_d \cdot W_1^2}{W_d^2 - W_{12}^2}$$

حيث My_s مطال المركبة ذات التوافقيات العليا لعزم المرونة.

وكما نرى أن هذه القيمة هي الأخرى تتعلق أيضاً بقيمة M_d وبالفرق $(W_d^2 - W_{12}^2)$.

لو عبرنا عن علاقة عزم المرونة في الحالة المستقرة لنظام ثنائي الكتل $M_{Y.S}$ بالوحدات النسبية سينتج لدينا علاقة تتعلق فقط بدلالة الترددات W_1, W_d, W_{12} على النحو التالي:

$$I_s = \frac{M_{Y.S}}{M_d} = \frac{W_1^2}{W_d^2 - W_{12}^2} \quad (15)$$

من العلاقة الأخيرة (15) نستنتج أن درجة تأثير الإشارة المتغيرة لعزم المحرك على حلقات نقل الحركة في الحالة المستقرة يمكن تحديدها بقيمة I_s ويمكن إيضاح التأثير المذكور فيما لو وضعنا العلاقة (15) بشكل آخر كما يلي:

$$I_s = \frac{1}{\frac{W_d^2}{W_1^2} - \frac{g}{g-1}} = \frac{1}{a-b} \quad (16)$$

حيث: $g = \frac{J_1 + J_2}{J_1}$ - نسبة الكتل
وأن $a = \frac{W_d^2}{W_{12}^2}$, $b = \frac{g}{g-1}$

وهكذا نستطيع إظهار درجة التأثير المذكورة آنفاً وفق المنحني المبين على الشكل (6) حيث مثلنا الإحداثيات الشاقولية بنفس المقياس لكل من a, b أما بالمحور الأفقي فقد وضعنا المتغيرين المستقلين J_1, g حيث تم حساب قيمة a بدلالة عزم عطالة الكتلة الأولى J_1 من أجل قيم متعددة للقساوة C_{12} عند التردد الأكثر خطورة أثناء عمل نظام المبدل الثايرستوري - محرك تحريضي ذي القيمة $W_d = 628 \text{sec}^{-1}$ في حين عبرنا عن جزء المنحني $b = f(g)$ الموافق لآليات الانتقال الأفقي بخط عريض وهذا يفيدنا في تحقيق الإمكانيتين التاليتين:

1- إمكانية تحديد الرنين (الطنين) في النظام الكهروميكانيكي عند أية قيمة للقساوة C_{12} من أجل القيم W_d, J_2 ، J_1 بمعنى آخر متى تصبح المنظومة الكهربائية غير قادرة على العمل.

2- من أجل أية آلية إنتاجية نستطيع بسهولة تحديد القيمة $\frac{1}{I_y}$ (وبالتالي I_y) تخطيطياً بالفرق بين الإحداثيات

(a,b) حسب الشكل (6).

للتأكد من صحة النتائج التي توصلنا إليها أجرينا الدراسة التطبيقية على سلسلة متعددة من المحركات

التحريضية نموذج (4A) المستخدمة على نطاق واسع في آليات الرفع وفق التسلسل التالي:

آ- في الجدول (1) تم إعطاء القيم الحسابية المميزة لعزم الحمولة M_C مع القيم المثلى لزاوية قدح الثايرستوريات للمحركات التحريضية المتوافقة مع الشكل (6).

جدول (1): البارمترات المميزة للمحركات الكهربائية المستخدمة.

نموذج المحرك	استطاعة الدخل (p_1 (kw)	نسبة التحميل I	الزاوية المثلى (θ) S_{opy}
4 A90 I4	2.2	0.73	40.3
4 AC132M8	6.	1.03	42.4
4AP160M8	11.	0.93	41.6
4A315S12	45.	0.48	41.1

ب- في الجدول (2) أوردنا قيم الضياع النسبي للمحركات الواردة في الجدول (1) عند العمل بدون الاعتماد على الشكل (5) وأثناء ادخاله بالحسبان.

جدول (2): القيم الحسابية للضياعات النسبية وفق النظام العمل الأمثل المقترح.

Dp/DPn										نموذج المحرك
1Mn		0.6 Mn		0.4 Mn		0.2 Mn		0		
**	*	**	*	**	*	**	*	**	*	
1.0	1.0	0.57	0.58	0.41	0.47	0.23	0.43	0.16	0.42	4A90L4
0.94	1.0	0.60	0.71	0.41	0.64	0.21	0.62	0.15	0.62	4AC132M8
1.0	1.0	0.59	0.63	0.42	0.55	0.25	0.52	0.17	0.51	4AP160M8
0.94	1.0	0.61	0.67	0.45	0.6	0.23	0.55	0.18	0.54	4A315S12

* - الضياعات النسبية عند العمل بدون الاعتماد على الشكل (6).

** - الضياعات النسبية عند العمل مع ادخال الشكل (6) بالحسبان.

وبمقارنة النتائج في الجدول الأخير نلاحظ الانخفاض الكبير في عزوم المرونة، الذي ينتج عنه انخفاض أكبر، بقيمة الضياع الناتج، وبالتالي ارتفاع مردود المحركات، وخاصة أثناء العمل على فراغ أو عند الحمولات الصغيرة، وهنا تبرز أهمية البحث في أن هذه المنطقة تشكل أسوأ حالة لعمل المحرك التحريضي، والمتميزة بانخفاض عامل استطاعته.

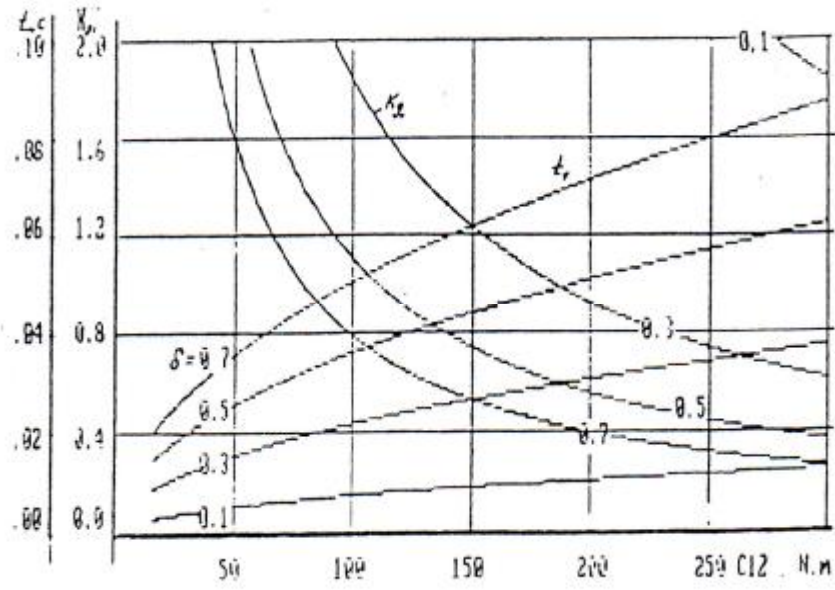
إن النتائج المبينة في الجدول (2) تسمح كمياً بتقييم المجال الاقتصادي للترشيد باستهلاك الطاقة (لدى مقارنة الضياعات النسبية بالطريقة المقترحة على الشكل مع نظيراتها المحسوبة بدون الاعتماد عليها) كما يلي: فمن جهة أولى كلما استطعنا خفض عزم المرونة المتمثل بالحمولات الديناميكية، كلما تمكنا من تحقيق الوفر الأكبر بقيمة الضياع، وبالتالي كلما استطعنا زيادة كفاءة الآلية. من جهة ثانية تساعدنا الطريقة المقترحة في تجنب الخواص السيئة لعمل المحرك التحريضي على حمولات صغيرة قريبة من حالة العمل على فراغ والممثلة بانخفاض عامل استطاعته حيث نجد أن الضياعات في هذه المنطقة قد انخفضت إلى الثلث مثلاً بالنسبة للمحرك الأول (من 0.42 حتى 0.16. من هذا المبدأ تظهر أهمية البحث في اقتصاد استهلاك الطاقة وتحسين كفاءة عمل آليات الرفع والنقل في نظام (المحرك التحريضي مع مبدل الجهد التايروستوري).

الاستنتاجات:

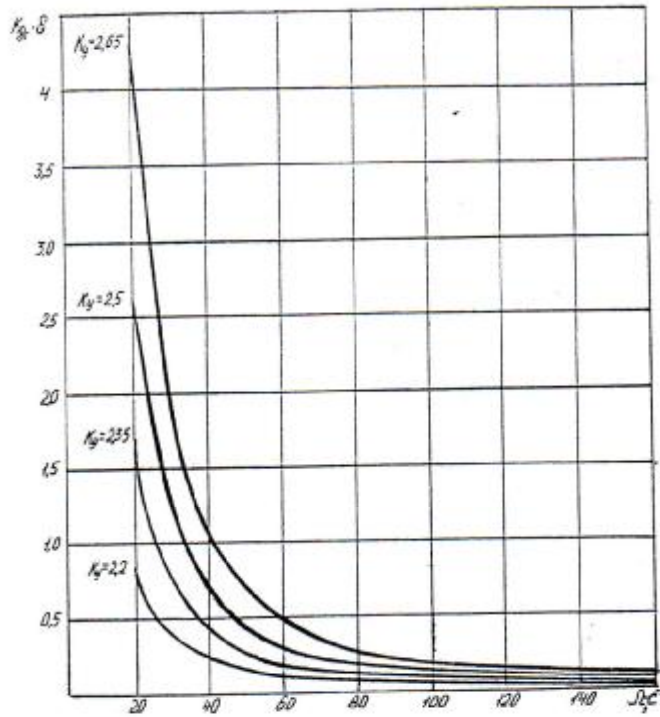
- 1- إمكانية تحديد قيمة عزم المحرك لحظة اختيار الخلوص كتابع لتردد الاهتزاز الزاوي للنظام ثنائي الكتاب.
- 2- إمكانية تحديد الطنين في النظام الكهروميكانيكي عند أية قيمة للقساوة الميكانيكية في النظام ثنائي الكتاب وبالتالي الإجابة على السؤال المهم: متى تصبح المنظومة الكهربائية غير قادرة على العمل بدلالة ثوابتها الأساسية. (J_1, J_2) من أجل القساوة المطلوبة C_{12} بمساعدة العلاقتين (15) و (16).
- 3- يسمح الجدول (2) كميًا بتقييم مجالات إمكانية الاقتصاد في الطاقة:
أ- عند حمولة $M_C > 0.1M_n$ أي الحمولات الصغيرة القريبة من العمل على فراغ تدخل بالتأثير على عمل المجموعة المحددات الطبيعية للمبدل الثايرستوري مما يلغي إمكانية استثناء الضياعات في المجموعة.
ب- بغض النظر عن البند (أ) فإن النظام المقترح يسمح بالتخلص من خاصية المحرك التحريضي السيئة المتمثلة بانخفاض عامل الاستطاعة أثناء انخفاض الحمولة.
- 4- تتجلى إمكانيات البرنامج الموضوع بلغة C^{++} بحساب الحمولات الديناميكية مع تحديد الحد الأدنى منها أثناء العمل وفقاً للثوابت الأساسية للنظام الكهروميكانيكي.
- 5- ثبت بالتجربة التطابق التام بين الآثار السلبية الناجمة عن الحمولات الديناميكية وعن التوافقيات العليا وهذا ما يؤكد صحة الإحصائيات القائلة بأن 70% من أسباب تلف الآلة قبل عمرها المفترض يعود إلى الحمولات الديناميكية.

الخلاصة:

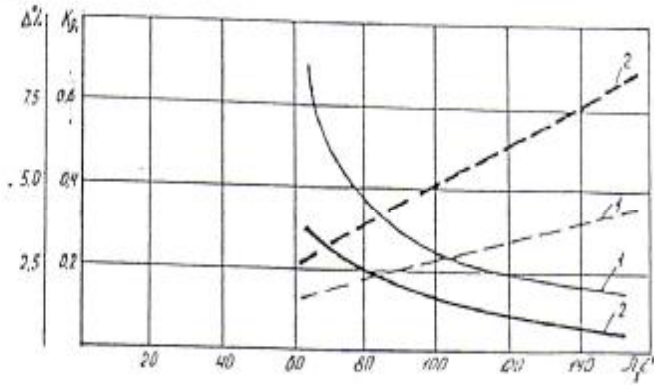
لقد أجريت الدراسة في جامعة تشرين بكلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية باستخدام الحاسوب، حيث تم وضع برنامج بلغة C^{++} يأخذ بالحسبان تأثير مختلف الثوابت، والبارامترات في الجملة الكهروميكانيكية، وقد تبين بنتيجة البحث في حالة استخدام مبدلات الجهد الثايرستورية أن قيمة $\% 25$ I_s عند التردد $W_d = 628 \frac{1}{sec}$. كما بلغت زيادة التحميل الإضافية الناتجة عن المركبة الهرمونية في الحالتين العابرة والمستقرة بحدود $(50 - 30)$ % من قيمة العزم الاسمي. ووفقاً لذلك ينصح بتغيير بارامترات الآلية (خفض القساوة C_{12})، بحيث يصبح تردد الاهتزاز الذاتي مختلفاً عن التردد القسري W_d وتؤكد ذلك المنحنيات الموضحة على الشكل (5) المأخوذة بالنسبة لمركبات العزم العابر M_1 حتى M_0 بالإضافة إلى القيمة الإجمالية لكل مركبات العزم الحرة ومن أجل استطاعات متعددة للمحرك ذي النموذج 4A. ومنها نستنتج أن المركبات ذات التوافقيات العليا (الهرمونية) تزداد شدة تأثيرها مع زيادة الاستطاعة.



الشكل (2): تغير عزم المحرك مع زمن اختيار الخلوص في حالات متعددة لقيمة δ

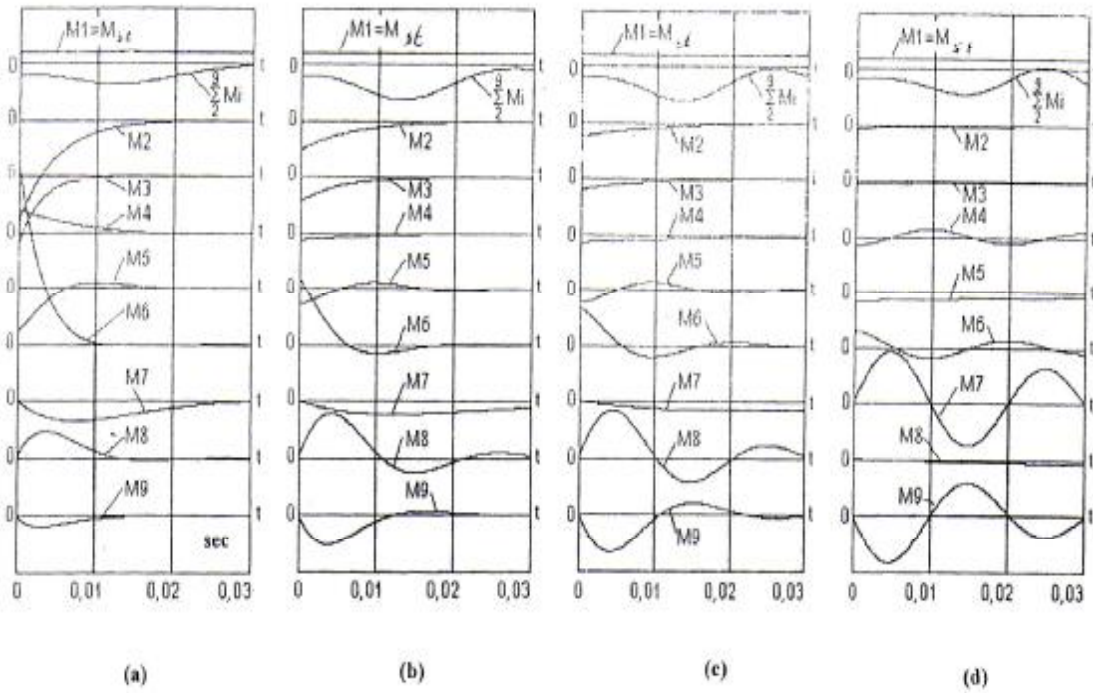


الشكل (3): تغير الجداء δ بدلالة التردد عند قيمة مختلفة للثابت الديناميكي.



الشكل (4): القيم المقترحة لعزم المحرك (---) kg، والزيادة في زمن الأطلاق (---) Δ بدلالة

التردد Ω عند قيمة $\delta=0.5$ rad في حالتين: 1)- $k_y=2.6$ 2)- $k_y=2.2$



الشكل (5) مركبات العزم الكهرومغناطيسي للمحركات التحريضية ذات النموذج 4A

من المركبة الأولى الثابتة ($M_1=M_{st}$) وحتى التاسعة

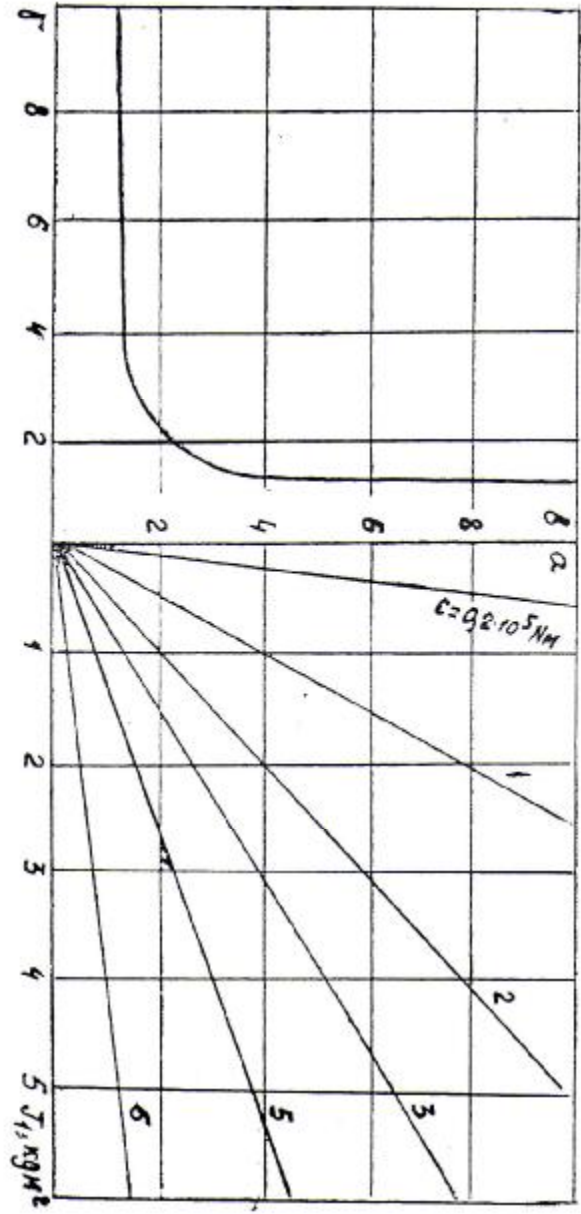
مع المجموع الكلي عند ثبات الانزلاق $S=S_n$ في الحالات التالية:

a) $P_n = 0.75$ Kw

b) $P_n = 4$ Kw

c) $P_n = 11$ Kw

d) $P_n = 250$ Kw



الشكل (6) منحنيات تحديد حمولة الآلية بالمرحلة الهرمونية (التوافقيات العليا)
 للوزن في نظام T.V.C. - IM

المراجع:

.....

- 1- Klutcheve V.E. (1985)- Theory of electrical drive MOSCOW, Energoatomizdat -560 P.
- 2- Gerasimiak R.P. (1996)- Synthesis electromechanical system in crane mechanism with flexible Oscillation. Journal electric machine and equipment Technical- Ukraine N: 48 –P: 30-70
- 3- Bose B.K. (1986)-Power electronics and Ac drives, by printice.
- 4- Bassil. S. (2001-2002)- Synthesis of electric drive regulator of complicated electro mechanical systems.
Scientific Journal- No. 4. Page-34-40
Al Tahadi University, Libya.
- 5- Journal electromachino Buduvania ta electro obladnanai (2001) Ukraine, No:56 — ISBN 966 –575- 0009-7