مجلة جامعة تشرين للدراسات والبحوث العلمية - سلسلة العلوم الهندسية المجلد (21) العدد (8) 1999
Tishreen University Journal for Studies and Scientific Research –Engineering Science Series Vol. (21) No (8) 1999

نظام التحكم بالجملة الكهروميكانيكية ثنائية الكتل

الدكتور شفيق باصيل*
الدكتور يوسف ياخور*

(ورد إلى المجلة في 1998/4/4، قبل للنشر في 1999/9/6)

□ الملخّص □

قمنا في هذا البحث بداية بإجراء وصف مختصر لأهم ميزات الجمل الكهروميكانيكية الحديثة وشروط عملها، كما مثلنا المخطط الصندوقي المكافئ للجملة الكهروميكانيكية بحلقتين؛ إحداهما ذات عطالة، والأخرى اهتزازية، ترتبط كل منهما بشكل أساسي بعامل التخامد، ووضعنا بناءً على الدراسة الواردة في البحث بعض المنحنيات التي تؤكد صحة النتائج، مستخدمين في ذلك الحاسوب، حيث أثبتت نتائج التجارب وجود العلاقة الوثيقة بين استقرار الجملة الكهروميكانيكية وثوابت قسمها الميكانيكي. كما تعتبر الطريقة المقترحة في الحل أحد الحلول الهندسية لزيادة موثوقية عمل الجملة الكهروميكانيكية.

* مدرس في قسم هندسة الطاقة الكهربائية - كلية الهندسة الميكانيكية و الكهربائية – جامعة تشرين – اللاذقية – سورية.

مجلة جامعة تشرين للدراسات والبحوث العلمية - سلسلة العلوم الهندسية المجلد (21) العدد (8) 1999
Tishreen University Journal for Studies and Scientific Research –Engineering Science Series Vol. (21) No (8) 1999

Electric Drive in Two Parts of Electromechanical System

Dr. Yossef YAKHOUR*
Dr. Shafik BASIL*

(Received 4/4/1998, Accepted 6/9/1999)

❐ ABSTRACT ❐

This research shows the charasteristics of electromecanical systems, which consist of two parts: electric drive in speed feed back automatic control system and multimass mechanical part with its elastic shafts and gopes.

This paper presents the influence of regulator factor in feed back loop for quality of two mass electromechanical systems. These methods help to improve control the system in order to provide the desired technological process and protection of mechanisms against dynamic loads without reduction of quick operation.

* Lecturer at Mechanical Engineering Department - Faculty of Mechanical & Electrical Engineering, Tishreen University – Lattakia – syria.

مقدمة:

من المعلوم أنه أثناء عمليات الإقلاع و الفرملة في الآلات المتميزة بالحلقات المرنة، ستظهر في كل دورة عمل القسم الميكانيكي لآلية التشغيل الإنتاجية الصناعية حمولات ديناميكية إضافية، وستصل بشكل رئيسي الى قيم كبيرة لا يمكن التغاضي عنها، فيما لو توضعت بين حلقات الآلية خلوصات ميكانيكية، أو عناصر ذات عزوم عطالة كبيرة متفاوتة منقولة إلى محور المحرك [1].

إضافة إلى ذلك، تتميز الأنظمة المذكورة بوجود الاهتزازات المرتفعة (فوق الحد المسموح به عند العمل الطبيعي)، ويبدو تأثيرها -تحديداً- في القسم الميكانيكي من الجملة الكهروميكانيكية [2] إضافة إلى ذلك، تعتبر الأنظمة الكهروميكانيكية الحديثة الأكثر تعقيداً أثناء الدراسة، وتحديداً للتصميم و البحث؛ لكونها تتصف بالمواصفات التالية [3]:

1- شروط عمل قاسية ومجهدة.

2- نظام العمل المتكرر و القصير الزمن؛ حيث يصل عدد حالات الإقلاع و الفرملة إلى 500 مرة في الساعة.

3- استخدامها للمحركات التحريضية التي تتصف بما يلي: تستخدم نصف الطاقة المنقولة إلى محور دورانها أثناء الإقلاع المباشر لها عبر الشبكة، كما هو معلوم من نظرية القيادة والتحكم [4]. إضافة الى تحسسها الكبير بتغييرات توتر شبكة التغذية.

4- هيكلية كهروميكانيكية متشعبة: إن الجمل الكهروميكانيكية الحديثة تعتبر أنظمة عديدة الكتل، تتألف من قسم كهربائي يتمثل بالجزء الكهربائي من المحرك مع نظام التحكم الخاص به، إضافة الى القسم الميكانيكي الذي يحتوي على عدد كبير من الأجزاء الميكانيكية، التي تؤثر تأثيراً مباشراً في القسم الكهربائي، في الحالات الديناميكية المذكورة.

إن مجمل هذه المواصفات يؤثر في الجمل الكهروميكانيكية للآليات الإنتاجية مسبباً انخفاض مردودها الإنتاجي؛ لذلك تحتل الدراسة العملية للحمولات الديناميكية و الاهتزازات الناتجة عنها أهمية علمية و عملية كبيرة، حيث من المفضل تحقيق التخفيض الأمثل للحمولات الديناميكية في الجزء الميكانيكي من الجملة الكهروميكانيكية، مع تخميد الاهتزازات الناتجة باعتبار أن هاتين القيمتين تلعبان دوراً كبيراً في تحديد عمر الآلة وإنتاجيتها، وقد أثبتت الدراسات المتعددة و الإحصائيات الجارية حول الموضوع، أن حوالي 70% من تلف الآلات قبل انتهاء عمرها في الخدمة، يعود الى تأثير الحمولات الديناميكة المذكورة و الاهتزازات الناجمة عنها.

هدف البحث:

إن هدف هذا البحث، يتمثل في تشكيل أنظمة التحكم بالجمل الكهروميكانيكية ذات عزم العطالة الكبير، والمنقول إلى محور المحرك القائد، ومن ثم وضع المقترحات المتمثلة بخوارزميات التحكم التي تؤمن الحد الأدنى من الاهتزازات في الحالات الديناميكية المتمثلة بالإقلاع و الفرملة و عكس اتجاه الدوران، عن طريق الاختيار الأمثل لعامل التخامد، مع الحفاظ على إنتاجية الآلية المطلوب تأمينها مسبقاً، وفقاً لشروط العملية التقنية، وخاصة بعد التطور السريع في عالم الإلكترونيات الصناعية الحديثة [5].

- الدراسات التحليلية للبحث:

إن معظم الجمل الكهروميكانيكية للآليات الإنتاجية يمكن التعبير عنها بالنظام الثنائي الكتل [1]. على الشكل (1) تظهر الدارة الحسابية للجملة الكهروميكانيكية الثنائية الكتل، التي تتضمن القسم الميكانيكي من المحرك الكهربائي.

حيث إن:

M_g: عزم المحرك. φM: المسار الزاوي للآلية.

M_c: العزم الستاتيكي. J_1: عزم عطالة دوار المحرك مع عنصر الكبح.

φg: المسار الزاوي للمحرك. J_2: عزم عطالة عضو التشغيل.

C_{12}: قساوة الوصلات الميكانيكية بين الكتلتين منقولة إلى محور المحرك.

δ: الخلوص الميكانيكي.

إن إحدى الطرق الفعالة لتشكيل أنظمة قيادة ذات خواص تخميدية عالية عند أي قيمة للثابت التالي: $\gamma = \frac{j_1 + j_2}{j_1}$ تتمثل بإدخال:

- تغذية خلفية سالبة مرنة بعزم المرونة M_y.
- أو تغذية خلفية سالبة قاسية بفرق سرعة كتلتي النظام الثنائي الكتل ω_1، ω_2 المبين على الشكل (1)، والمكافئ للجملة الكهروميانيكية [1].

على الشكل (2) يظهر المخطط الصندوقي العام للجملة الكهروميكانيكية بنظام ثنائي الكتل المكافئ للقسم الميكانيكي ، والذي يحقق عمل الجملة بالنسبة لمحركات التيار المستمر و التيار المتناوب على السواء و المغذاة من منظم الجهد المقود (TC-DC,TVC-IM)

Thystr voltage converter – DC motor, IM motrs.

حيث تظهر الثوابت التالية على المخطط:

K_P: ثابت المبدل الكهروميكانيكي.

K_M: ثابت العزم في المحرك.

K_K: ثابت دارة التغذية الخلفية التعويضية.

β: قساوة المميزة الميكانيكية الخطية للمحرك الكهربائي.

C_{12}: ثابت القساوة للحلقات المرنة.

فيما يخص المحرك التحريضي، تكون قيمة الثابت K_M متغيرة ومتعلقة بقيمة التوتر المطبق على ثابت المحرك.

إن المعادلة التفاضلية الإجمالية التي تصف النظام المبين في الشكل (2) يعبر عنها بالعلاقة التالية:

$$\left[T_M.T_{12}^2P^3+T_2^2(1+\frac{K_0.K_K}{P})P^2+T_M.P+1\right]M_Y=K_0J_2.P.U_\tau+(T_{M1}.P+1)M_C \qquad (1)$$

حيث:

$$K_0=K_P.K_M$$

$T_M=\gamma.T_{M1}$, $T_{M1}=\frac{J_1}{\beta}$ هي الثوابت الزمنية الكهروميكانيكية.

$$\Omega_2^2=1/T_2^2=C_{12}/J_2 \ , \ \Omega_{12}^2=1/T_{12}^2=\gamma/T_2^2$$

هي الترددات الذاتية للاهتزازات.

إن الشيء غير المألوف في المعادلة (1)، هو أمثال الحد P^2 التي تتعلق بثوابت دارة التعويض.

إذا عبرنا الآن عن المعادلة المميزة ذات الدرجة الثالثة، والناتجة عن العلاقة (1) بشكل نموذجي يمثل الوصل التسلسلي لحلقتين؛ إحداهما ذات عطالة، والأخرى اهتزازية، فإننا سنحصل –عندئذٍ– على العلاقة التالية:

$$(\frac{k}{\Omega}p+1)(\frac{1}{\Omega^2}p^2+\frac{2\xi}{\Omega}p+1)=0 \qquad (2)$$

حيث تمثل قيم Ω ، ξ تردد وثابت التخامد للاهتزازات ، وهذه القيم ترتبط بشكل مباشر بثوابت الجملة الكهروميكانيكية.

إن الحل المشترك لجملة الحدود الثلاثة الناتجة عن مساواة ثوابت الأمثال المتطابقة للمعادلتين المميزتين (1) و (2)، يقودنا إلى معادلة حساب ثابت التخامد ξ التالي:

$$\xi=0.5T_M.\Omega(1-T_{12}^2\Omega^2) \qquad (3)$$

لإيجاد القيمة العظمى لثابت التخامد ξ_{max} نحسب القيمة التالية:

$$\frac{d\xi}{d\Omega}=0$$

إن قيمة التردد الناتجة عن الاشتقاق السابق نرمز لها بـ Ω_{OPT} .

فإذا عوضنا هذه القيمة في العلاقة (3) نحصل -عندئذٍ- على قيمة ثابت التخامد الأعظمي للاهتزازات كما يلي:

$$\xi_{max}=\frac{1}{3\sqrt{3}}.\frac{T_M}{T_{12}} \qquad (4)$$

وهذه القيمة العظمى لثابت التخامد تتحقق إذا حسب ثابت التغذية العكسية حسب [3] بالعلاقة التالية:

$$K_{KOPT}=\frac{\beta}{K_0}\left[\frac{3}{\gamma}\left(\frac{2}{27}\frac{T_M^2}{T_{12}^2}+1\right)-1\right] \qquad (5)$$

تبرهن العلاقة (4) على أن المقدرة التخميدية للجملة الكهروميكانيكية، تتعلق فقط بثوابت قسمها الميكانيكي، وبقساوة المميزات الميكانيكية للمحرك الكهربائي، وبدرجة إدخال التغذية العكسية التعويضية.

- مناقشة نقاط البحث:

بناء على العلاقات الناتجة في الدراسة التحليلية، نستطيع تحليل أنظمة العمل للجملة الكهروميكانيكية، استناداً إلى ثوابت القسم الميكانيكي في الجملة الكهروميكانيكية مع ثوابت المحرك، وفي مخابر جامعة تشرين قمنا، بمساعدة الحاسوب، بالحصول على بعض المنحنيات البيانية اعتماداً على الشكل (2) والعلاقات (1) ... (5) على الشكل (3) تظهر منحنيات الحالة العابرة للكتلتين الأولى و الثانية من أجل الثوابت التالية:

$$J_1=8.37Kg.m^2\text{ ، }J_2=12.43Kg.m^2,\ C_{12}=147N.\frac{m}{rad},\ \delta=0.5rad,$$

أ- $K_\omega=2,\ K_K=0$

ب- $K_\omega=4,\ K_K=0$ بينما على الشكل (4) تظهر المنحنيات من أجل نفس القيم السابقة للثوابت الميكانيكية في الدارة، و لكن من أجل $K_K=5$ ، $K_\omega=2$، ثم من أجل $K_K=5$، $K_\omega=4$.

من الشكلين الأخيرين نستنتج أن القيمة الأمثل لثابت التخامد الأعظمي تتوافق عند تغير ثابت التغذية الخلفية التعويضية بين القيمتين (0.8 - 5).

ومن هنا تظهر علاقة الارتباط الوثيق بين استقرار الجملة وقيم ثوابتها الميكانيكية والكهربائية.

ومن اللافت للنظر، أن زيادة ξ عند استخدام K_{KOPT} بمقارنة مع الحالة التي فيها $K_K=0$ يتعلق بقيمة القساوة β، ويتضح ذلك من المثال التالي:

لنفرض من أجل قيمة محددة للقساوة النسبية $\beta_*=1.7$، ازدادت قيمة ثابت التخامد ξ بمقدار مئة مرة. الآن لو زادت قيمة القساوة النسبية بمقدار أربع مرات، أي $\beta_*=6.8$، عندئذٍ ستزداد قيمة ثابت التخامد بمقدار /12/ مرة فقط عن القيمة الأساسية الابتدائية؛ أي أن زيادة قيمة القساوة النسبية تتناسب عكساً مع قيمة ثابت التخامد ξ.

الآن لو عدنا إلى العلاقة (4) لاستطعنا كتابتها على الشكل التالي:

$$\xi_{\max}=\frac{1}{3\beta}\sqrt{\frac{C_{12}}{3}.I} \qquad (6)$$

$$I=\frac{(J_1+J_2)^{\frac{3}{2}}}{(J_1.J_2)^{\frac{1}{2}}}$$

حيث:

بتحليل العلاقة الأخيرة على الحد الأعظمي مع اعتبار القيم β ، C_{12} ثوابت، سنحصل على أصغر قيمة لـ $\xi_{\max}$ تتحقق من أجل $J_1=2J_2$ أو $\gamma=1.5$. وهذا يظهر بوضوح في الشكلين (3) و (4) الناتجين عن الحاسوب، بينما على الشكل (5) نورد العلاقة $I=f(J_2/J_1)$ باعتبار قيمة J_1 ثابتة، ومن هذا الشكل نستنتج أن الاقتراب إلى الحد الأعظمي لنسبة عزوم العطالة γ يؤدي إلى تناقص $\xi_{\max}$، بمعنى آخر، يؤدي إلى ازدياد اهتزاز النظام عند العمل مع ثابت K_{KOPT} المحدد بالعلاقة (5).

- النتائج:

استناداً إلى التحليل السابق مع الأشكال البيانية نستنتج ما يلي:

1- تؤثر قيمة الثابت γ تأثيراً مباشراً على قيمة الحمولات الديناميكية، وفي مطال الاهتزازات.

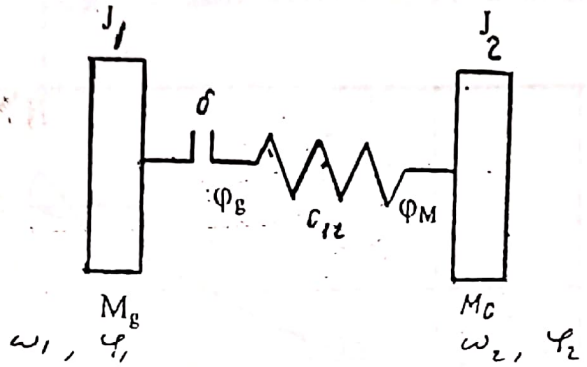
2- إن طريقة التغذية العكسية بفرق السرعات تحقق عملية التخامد المطلوبة، حيثما كان بالإمكان تقنياً قياس سرعة عنصر التنفيذ. وهنا تظهر بوضوح أهمية استخدام أجهزة المراقبة القياسية.

3- إن قيمة ثابت التخامد المثلى الموافقة لحالة $J_2=2J_1$، عند قيمة خطأ ستاتيكي معدوم، هي: $K_K=5$ بينما من أجل نفس القيمة $J_2=2J_1$، ولكن بوجود خطأ ستاتيكي مقداره $\Lambda\varphi = 0.2rad$ كانت قيمة $K_K=4$، أي كلما ازداد K_K قلّ الخطأ ضمن مجال عمل الجملة المدروسة.

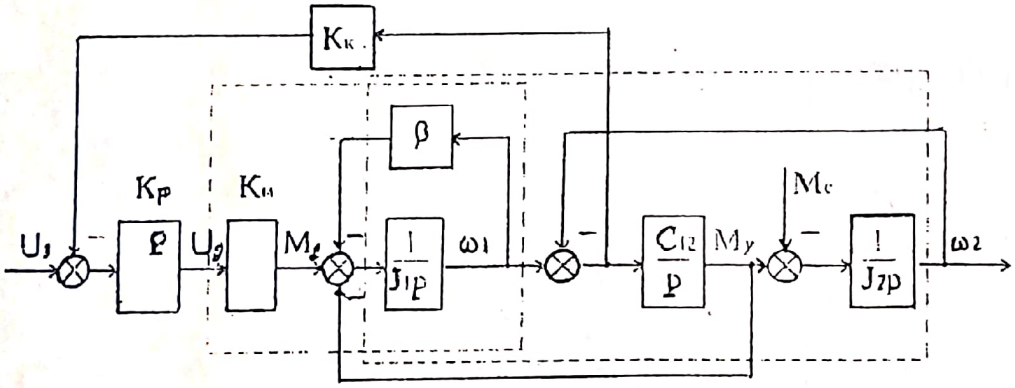
- الخاتمة:

لقد بينا أن بالإمكان الحصول على موديل حسابي وطريقة هندسية، في تحديد أثر البارمترات الميكانيكية في الجملة الكهروميكانيكية على زمن الحالة العابرة، وعلى قيمتي الاهتزازات، والحمولات الديناميكية، التي تعتبر أحد الحلول الهندسية العملية لزيادة موثوقية عمل الجملة.

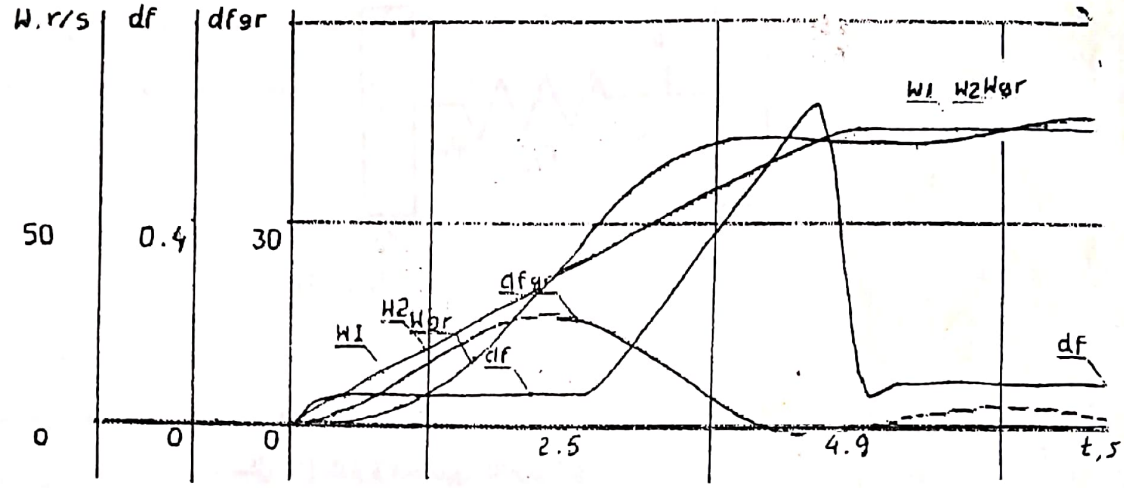
أخيراً إن أهمية البحث تأتي من أنه عند الاستغناء عن إضافة أي عنصر خارجي ميكانيكي إلى الجملة الكهروميكانيكية، مع الحفاظ على المؤشرات الاقتصادية لها يعتبر ذاته عملاً علمياً له دلائله التكنولوجية، وخصائصه التطبيقية الهامة في الصناعة.



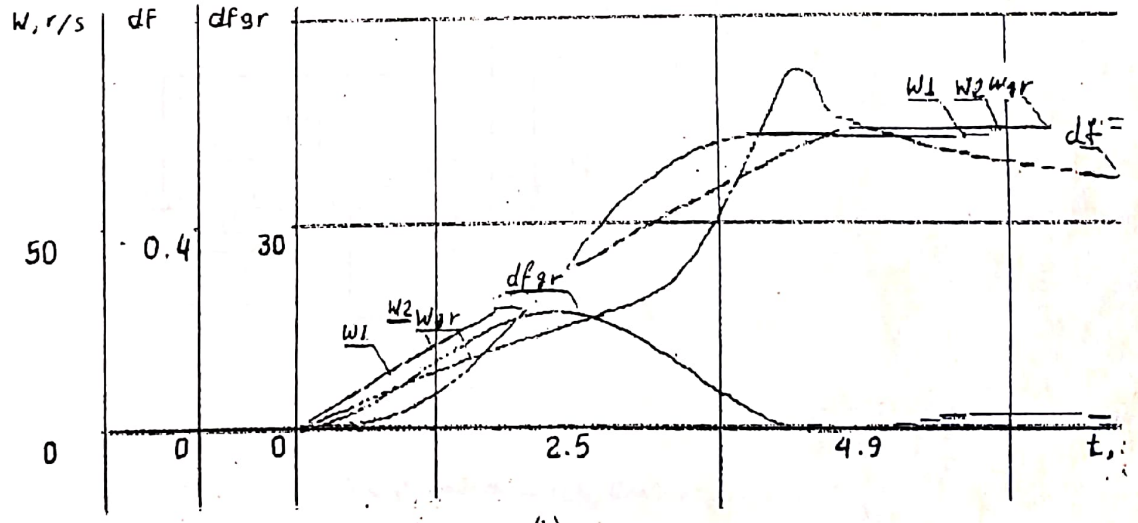
الشكل (1) الدارة الحسابية للنظام ثنائي الكتل في الجملة الكهروميكانيكية



الشكل (2) المخطط الصندوقي للجملة الكهروميكانيكية



(a)



(b)

الشكل (3) منحنيات الحالة العابرة للجملة الكهروميكانيكية ثنائية الكتل

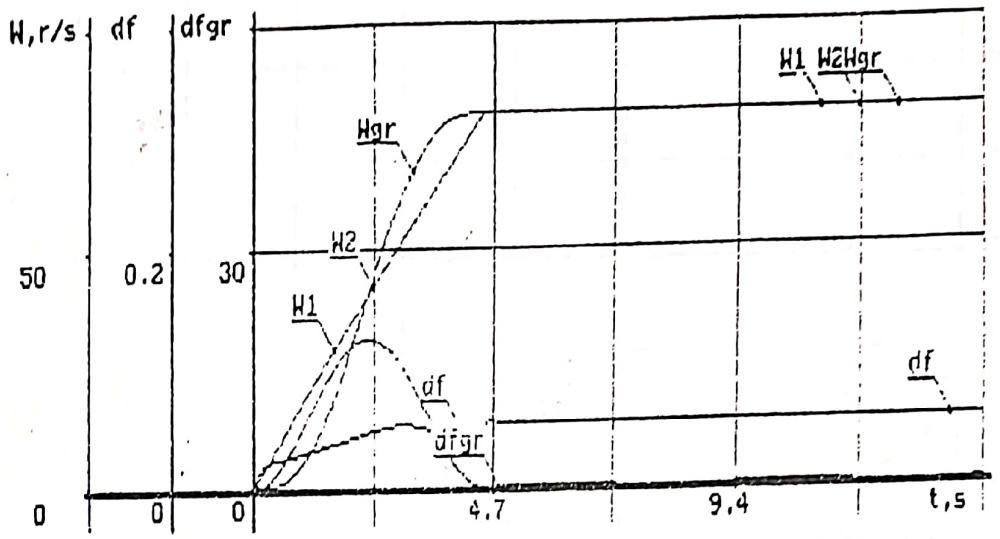
حيث: w_1 – سرعة الكتلة الأولى ، φ_1 – المسار الزاوي للكتلة الأولى

w_2 – سرعة الكتلة الأولى ، φ_2 – المسار الزاوي للكتلة الأولى

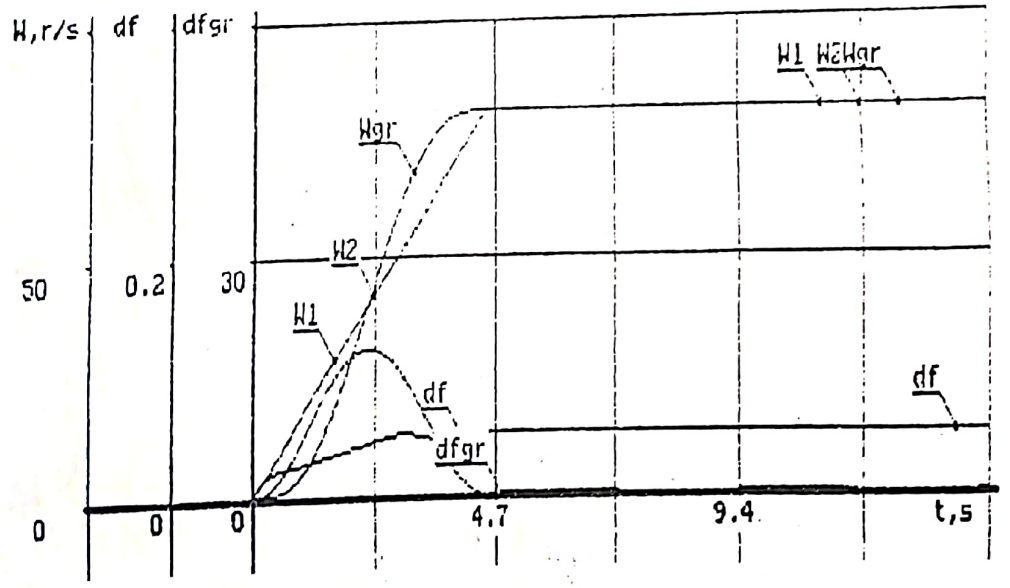
wgr – سرعة الحمل المعلق في نهاية الكتلة الثانية.

φgr – مسار الحمل.

$\Delta\varphi$ – فرق المسار بين الكتلتين الأولى و الثانية.

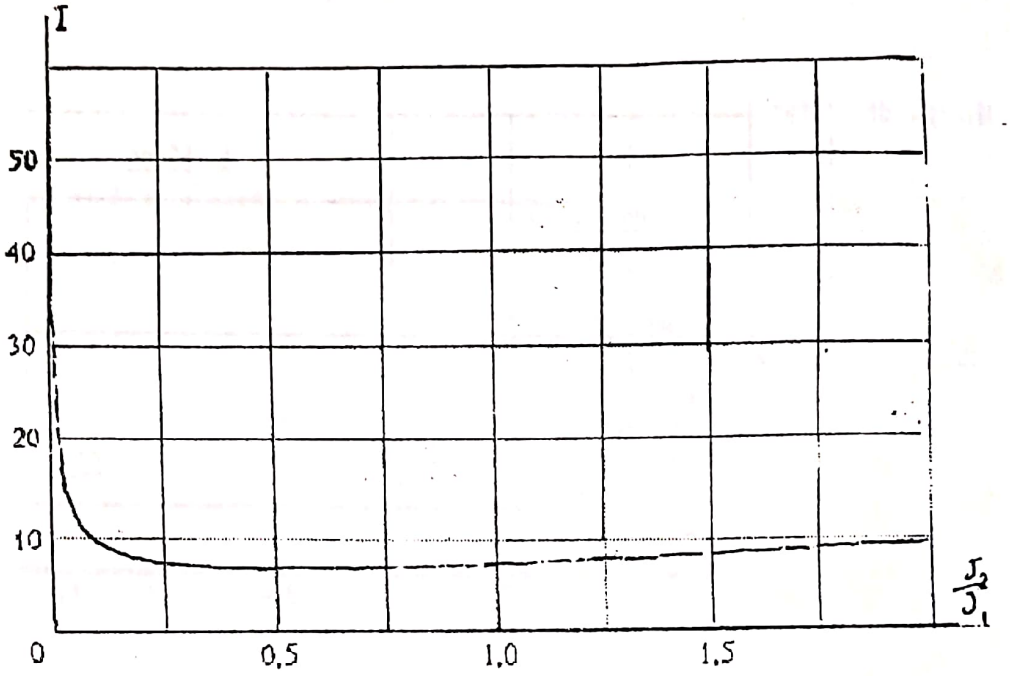


(a)



(b)

الشكل (4) منحنيات الحالة العابرة للجملة الكهروميكانيكية من أجل قيم مختلفة لثابت دارة التعويض



الشكل (5) تغير نسبة عزوم العطالة عند تغير عزم عطالة القسم الميكانيكي

REFERENCES المراجع

[1]– غاراسيمياك.ر.ب.الحد من الحمولات الديناميكية في الآلات ذات المحركات التحريضية – مجلة الكهروديناميكا – موسكو 1990 العدد الأول من الصفحة 63 إلى الصفحة 69 (باللغة الروسية).

[2]- غاراسيمياك.ر.ب.تشكيل أنظمة آليات الرفع الكهروميكانيكية ذات الاهتزازات المرنة – مجلة المعدات و التجهيزات الكهربائية – أوديسا 1996– العدد 48 (باللغة الروسية).

[3]- باشارين.أ.ب. التحكم بالمحركات الكهربائية – لينينغراد 1982 – 392 صفحة (باللغة الروسية).

[4]- كلوتشيف.ف.ي. نظرية القيادة الكهربائية و التحكم الآلي – موسكو 1985 – 560 صفحة (باللغة الروسية).

[5]- Muhammed H. Rashiad. Power Electronics, Prentice Hall – Newjersey – 1993.