

Computer Modeling of Hydraulic Piston Working By Simulating a Hydraulic Proportional Machine

Amer Muzaber*

(Received 10 / 2 / 2019. Accepted 28 / 3 / 2019)

□ ABSTRACT □

The development of hydraulic power comes in parallel to our desire to control larger quantities of energy and mass, more quickly and more accurately; which is characterized by hydraulic pistons that perform many functions in different fields of engineering. However, some of these applications require precise working conditions, and the movement of the piston and tracking of control signals is essential. The aim of this research is to verify the ability of control circuits to deal with changing bad working conditions. The most prevalent of these conditions is the possibility of leakage in hydraulic machines, and that is by simulating a computer hydraulic system including a valve to simulate leakage in the system and control piston movement to evaluate its performance. The results showed that the open-loop control circuit was unable to compensate for the deviation for high leakage rates. In addition, the results showed that the closed-loop control circuit is capable of eliminating the leakage effect in the circuit and mitigating the effect for high leakage rates.

Keywords: control circuit, proportional hydraulic, steady state, control factor, leakage.

* Engineer – The Department of General Mechanics – Faculty of Mechanical and Electrical Engineering – Damascus University – Damascus - Syria

نمذجة عمل مكبس هيدروليكي من خلال محاكاة آلة هيدروليكية تناسبية حاسوبياً

عامر المزعبر*

(تاريخ الإيداع 10 / 2 / 2019. قُبل للنشر في 28 / 3 / 2019)

□ ملخص □

إن تطور الطاقة الهيدروليكية جاء موازياً لرغبتنا في التحكم بكميات أكبر من الطاقة والكتلة بسرعة أكبر و قدر أكبر من الدقة وهذا ما تتميز به المكابس الهيدروليكية التي تؤدي العديد من الوظائف في مختلف المجالات الهندسية، لكن تتطلب بعض هذه التطبيقات شروط عمل دقيقة وتكون حركة المكبس وتتبعه لإشارات التحكم أمر ضروري. يهدف هذا البحث إلى التحقق من قدرة دارات التحكم على التعامل مع ظروف العمل السلبية المتغيرة، وأهم هذه الظروف وأكثرها انتشاراً هو حدوث التسرب الممكن أن يحصل في الآلات الهيدروليكية، وذلك من خلال محاكاة دارة هيدروليكية حاسوبياً تتضمن صمام لمحاكاة حدوث تسرب في الدارة ومراقبة حركة المكبس لتقييم أدائه. بينت النتائج أن دارة التحكم المفتوحة غير قادرة على تعويض الانحراف الحاصل في حالة معدلات مرتفعة للتسرب. كما بينت النتائج أن دارة التحكم المغلقة قادرة على الغاء أثر التسرب الحاصل في الدارة، و تخفيف أثر ذلك من أجل معدلات تسرب مرتفعة.

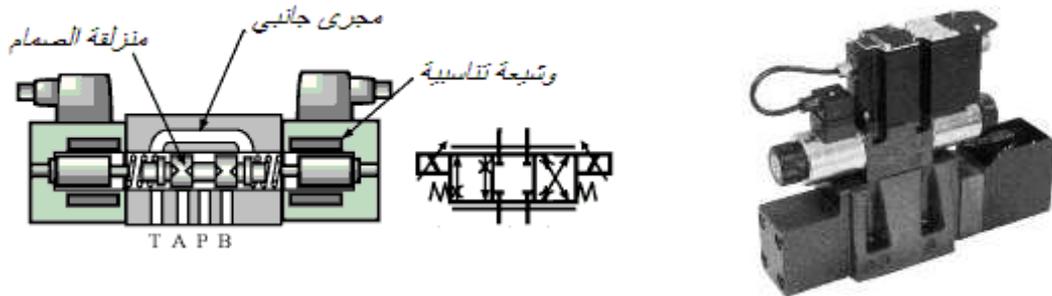
الكلمات المفتاحية: دارة تحكم، الهيدروليك التناسبي، الحالة الثابتة، معامل التحكم، تسرب.

* مهندس – قسم الميكانيك العام – كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية – جامعة دمشق – دمشق – سورية

مقدمة

ينتشر استخدام الآلات الهيدروليكية في الكثير من التطبيقات الحديثة في مختلف المجالات بسبب مجال استطاعتها الكبير، وسرعة استجابتها لتغير ظروف العمل. فهي ذات مجال تحكم واسع إذ تستخدم في التطبيقات ذات الأداء العالي كآلات الاختبار ومحاكاة الطيران وبناء السفن والروبوتات وغيرها. تعتمد الصناعات في معظمها على الآلات متعددة المحاور multi-axis machines ، ونسبة لا بأس بها من هذه الآلات وخصوصاً ذات الطاقة الكبيرة منها تُقاد هيدروليكيًا مُتحكم بها بواسطة دارات تحكم آلية. [1] [2]

يُستخدم في الدارات الهيدروليكية الحديثة صمامات هيدروليكية تناسبية للتحكم بالطاقة الهيدروليكية التي تمثل نقلة نوعية من التحكم البسيط الذي يستخدم صمامات الاغلاق الكهربائية solenoid valves إلى تقنية أكثر تقدماً تستخدم فيه الصمامات التناسبية proportional valves الذي يبينها الشكل(1). إن استخدام هذه الصمامات في التطبيقات ينتشر بشكل مستمر بسبب المرونة العالية في عملها وتحقيقها عدة وظائف. يكمن الفرق بين صمامات الاغلاق الكهربائية والصمامات التناسبية بأن الصمام الكهربائي إما أن يكون مفتوح تماماً أو مغلق تماماً حيث لا توجد وضعية متوسطة. بينما يمكن للصمام التناسبي أن يتوقف بوضعية متوسطة (فتحة جزئية للصمام). تستخدم الصمامات الهيدروليكية التناسبية للتحكم بأحد البارامترات التالية: الضغط، سرعة وموضع المكبس، أو التحكم باثنين منهما معاً كأن نتحكم بسرعة المكبس والضغط. [1] [9] [10]



الشكل(1): صمام تحكم اتجاهي تناسبي

يتم التحكم بالآلات الهيدروليكية إما بدارة تحكم مفتوحة open-loop circuit أو بدارة تحكم مغلقة closed-loop circuit. يعتمد ذلك على مستوى الدقة المطلوب في الآلة. هناك العديد من التطبيقات التي لا تتطلب دقة كبيرة إذ تؤمن دارة التحكم المفتوحة حركة مستقرة للآلة. لكن عندما تكون الدقة في العمل مطلوبة لا بد في هذه الحالة من استخدام دارة التحكم المغلقة إذ أنها تخفف من التشويشات الخارجية. لتحقيق التحكم الدقيق بالمكابس الهيدروليكية يتم استخدام المتحكم المناسب لضبط بارامترات الآلة بشكل دقيق ما أمكن. هنا تكمن أهمية استخدام المتحكم المناسب ببارامتراته الصحيحة في دارة التحكم المغلقة لضبط متغيرات الآلة الهيدروليكية. [7][8]

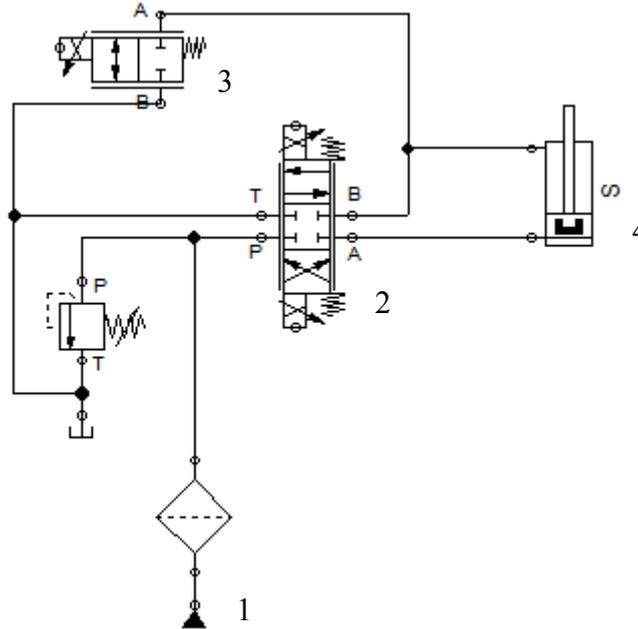
أهمية البحث وأهدافه

تتقاطع عدة اختصاصات هندسية مهمة في مجال هذا البحث كالهندسة المدنية والهندسة الميكانيكية بفروعها المختلفة إذ تتطلب بعض التطبيقات الهندسية استجابة سريعة للمكابس الهيدروليكية بأصغر انحراف ممكن في تتبع إشارات التحكم، تدخل هنا أهمية دراسة دارات التحكم في الآلات الهيدروليكية للتقليل من تأثير الانحرافات المؤثرة على حركة المكابس، وذلك من خلال نمذجة دارة هيدروليكية بصمام تحكم تناسبي نبين من خلالها العوامل المؤثرة على

الأداء الانتقالي والثابت لهذه الدارة. من أهم العوامل المؤثرة والشائعة في عمل الآلات الهيدروليكية وجود تسريب في الدارة الهيدروليكية، لذلك فإن الهدف من البحث هو تحسين أداء الدارة الهيدروليكية مع وجود تسريب للزيت الهيدروليكي فيها.

طرائق البحث ومواده

تم إجراء البحث حاسوبياً في مخبر الأتمتة والتحكم الآلي في كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية بجامعة دمشق، إذ تم نمذجة الآلة الهيدروليكية ودارات التحكم الخاصة بها كما يبين الشكل (2). إن الدارة المدروسة هي دارة تحكم بموضع المكبس. يتحرك المكبس الهيدروليكي بين موضعين يتم تحديدهما اختياريًا. لدراسة تأثير تسريب الزيت من الدارة على الأداء الانتقالي والأداء الثابت لها كدارة تحكم مفتوحة ومغلقة، نستخدم برنامج *FluidSim* لبناء نموذج للدارة الهيدروليكية ونمذجة العمل.



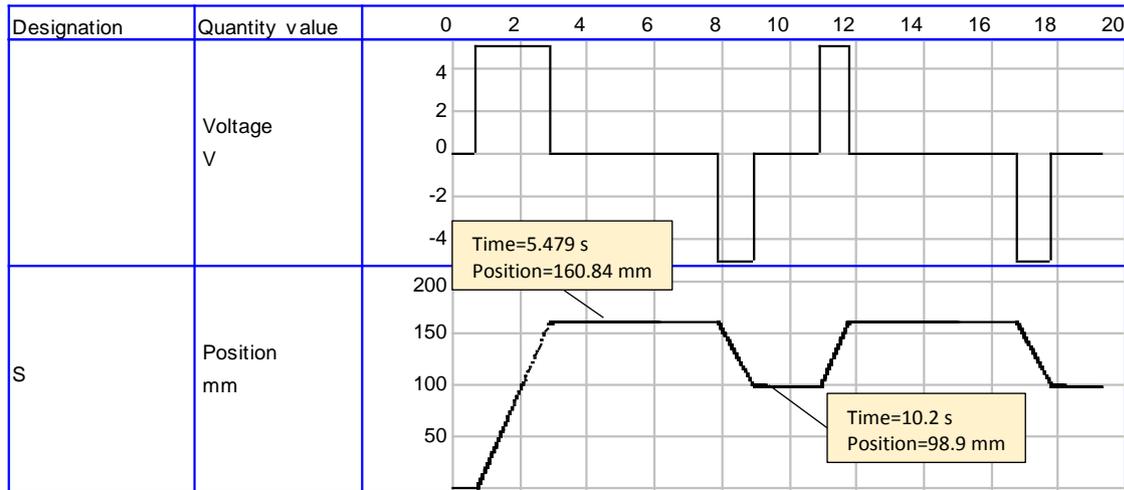
1- مضخة هيدروليكية، 2- صمام تحكم اتجاهي تناسبي، 3- صمام لمحاكاة التسريب، 4- مكبس هيدروليكي

الشكل (2): الدارة الهيدروليكية المدروسة

النتائج والمناقشة

دارة التحكم المفتوحة

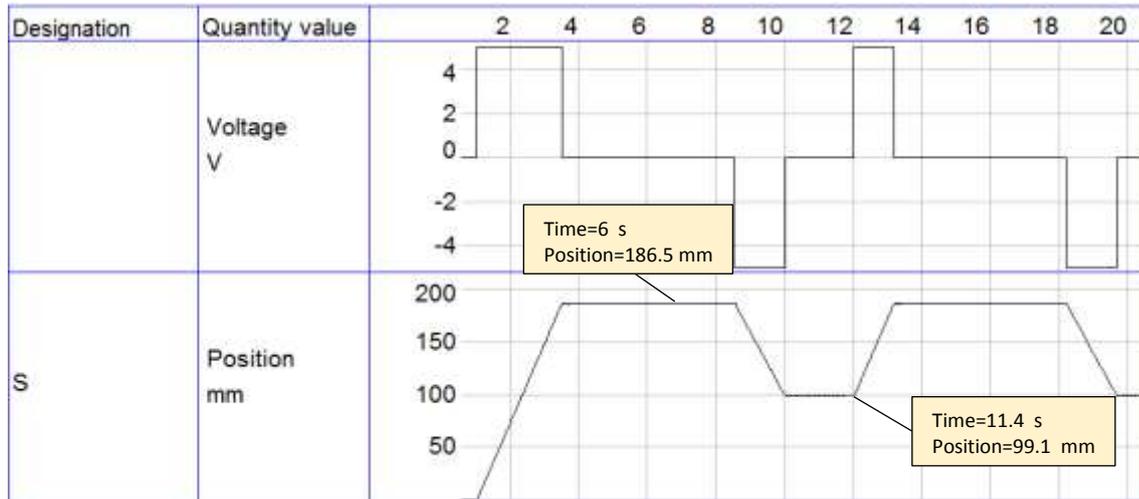
نختار نقطتين ليتحرك ضمنهما المكبس وهما 100 mm و 160 mm، ثم نقرأ القيم الفعلية التي يسجلها راسم الإشارة لموضع المكبس، كما يبين الشكل (3). نجد من راسم الإشارة أن موضع المكبس فعلياً يقع بين 98.9 mm عند النقطة السفلى و 160.8 mm عند النقطة العليا. يعطي مولد الإشارة في دارة التحكم المفتوحة إشارات تحكم خطوية *step signal* لوشيع الصمام الاتجاهي التناسبي على شكل جهد كهربائي، كما يبين الشكل (3). تتميز هذه الإشارات بأنها مستمرة مع الزمن حيث تكون الإشارة معرّفة من أجل قيم مستمرة على كامل محور الزمن، كما أنها من الإشارات التماثلية *analog* حيث قيمة الإشارة معرّفة على كامل المحور *y* أو محور الجهد الكهربائي.



الشكل(3): حركة المكبس من أجل جهد تحكم $W = \pm 10\text{ V}$ بدون تسريب.

من أجل دائرة التحكم المفتوحة دون وجود التسريب في الدارة يكون انحراف الحالة الثابتة للنقطة السفلى $\delta = 100 - 98.9 = 1.1\text{ [mm]}$ من أجل جهد تحكم $W = \pm 10\text{V}$.

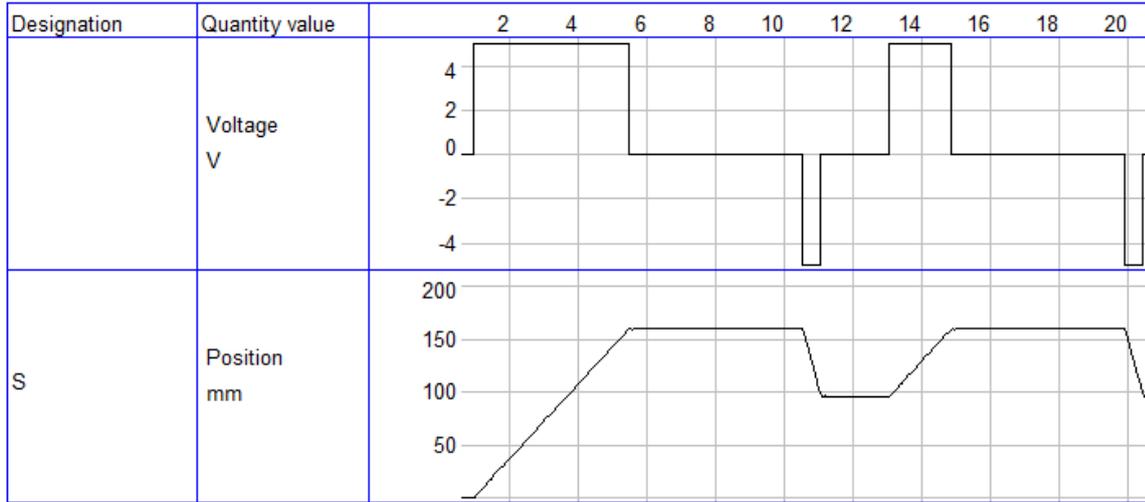
نقوم بإعادة ضبط كرت التحكم على القيمة $W = \pm 7\text{V}$ ، ثم نقرأ القيم الفعلية التي يسجلها راسم الإشارة لموضع المكبس كما يبين الشكل(4). نجد من راسم الإشارة أن موضع المكبس فعلياً يقع بين 99.1 mm عند النقطة السفلى و 186.5 mm عند النقطة العليا.



الشكل(4): حركة المكبس من أجل جهد تحكم $W = \pm 7\text{ V}$ بدون تسريب.

يكون انحراف الحالة الثابتة للنقطة السفلى $\delta = 100 - 99.1 = 0.9\text{ [mm]}$ من أجل جهد تحكم $W = \pm 7\text{V}$. بالتالي حسب الشكل(3) والشكل(4) مع انخفاض إشارة التحكم ينخفض انحراف الحالة الثابتة للمكبس في الدارة المفتوحة.

بنفس الطريقة ولمحاكاة الدارات الفعلية نقوم بفتح الصمام3 في الشكل(2) لزيادة معدل التسريب المحتمل من أجل جهد تحكم $W = \pm 10\text{V}$ ، نسجل حركة المكبس من أجل تسريب يكافئ فتحة صمام مقدارها 5% كما يبين الشكل(5).



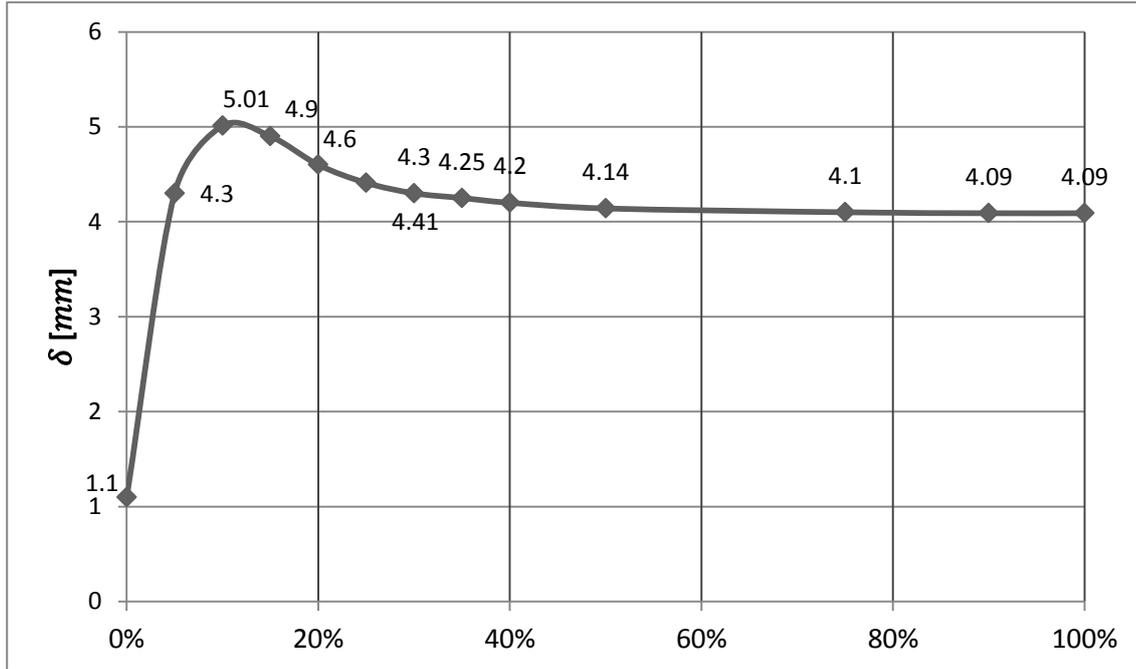
الشكل(5): حركة المكبس من أجل جهد تحكم $W = \pm 10$ V مع تسريب

من الشكل(5) نلاحظ أن دائرة التحكم المفتوحة تؤخر استجابة المكبس لإشارات التحكم في حال وجود تسريب في الدارة. نزيد فتحة الصمام3 تدريجياً ونأخذ قيم انحراف الحالة الثابتة للنقطة السفلى للمكبس من راسم الإشارة ونسجلها في الجدول التالي:

الجدول(1): انحراف الحالة الثابتة للمكبس في الدارة المفتوحة

δ [mm]	النقطة العليا [mm]	النقطة السفلى [mm]	مقدار التسرب المكافئ
4.3	160.756	98.9	5%
5.01	160.672	95.7	10%
4.9	160.588	94.99	15%
4.6	160.504	95.1	20%
4.41	160.42	95.4	25%
4.3	160.336	95.59	30%
4.25	160.252	95.7	35%
4.2	160.168	95.75	40%
4.14	160.084	95.8	50%
4.1	160	95.86	75%
4.09	159.916	95.9	90%
4.09	159.832	95.91	100%

نرسم العلاقة التي تربط بين معدل التسريب في الدارة المكافئ لفتحة الصمام3، مع انحراف الحالة الثابتة للنقطة السفلى للمكبس، حسب الشكل(6).



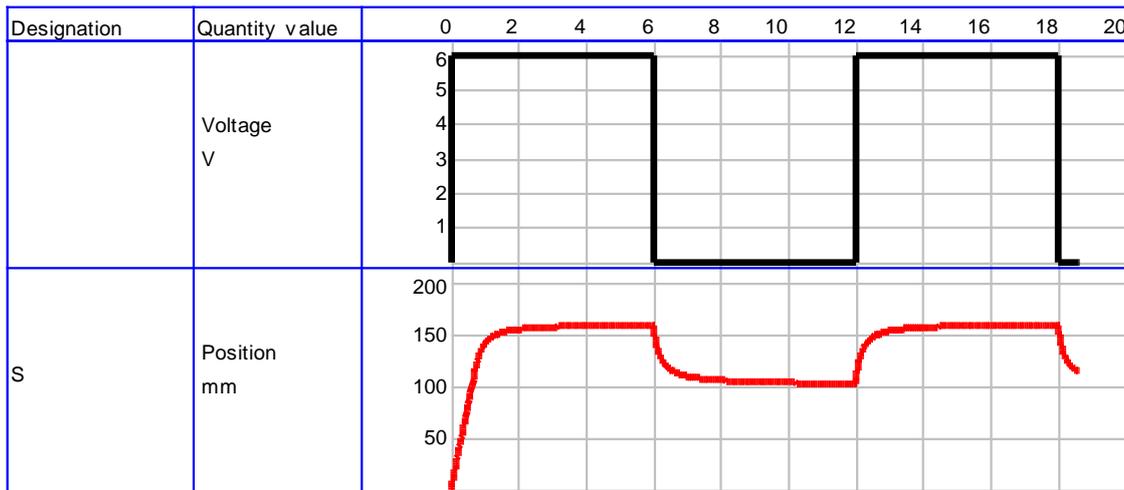
الشكل(6): علاقة انحراف الحالة الثابتة للمكبس مع التسريب من أجل دائرة تحكم مفتوحة

نلاحظ من الشكل(6) أن انحراف الحالة الثابتة للمكبس في دائرة التحكم المفتوحة كبير عند معدلات تسريب

كبيرة.

دائرة التحكم المغلقة

المتحكم المستخدم في التجربة هو المتحكم التناسلي P . نضبط ربح المتحكم إلى القيمة $K_p = 2$. زمن تحويل الإشارة يساوي 5 ثانية. نجد من راسم الإشارة في الشكل(7) أن موضع المكبس فعلياً يقع بين 101.8 mm عند النقطة السفلى و 158.2 mm عند النقطة العليا. و بين 100.88 mm عند النقطة السفلى و 158.8 mm عند النقطة العليا من أجل $K_p = 8$ كما يبين الشكل(8)



الشكل(7): حركة المكبس من أجل دائرة تحكم مغلقة بدون وجود تسريب $K_p = 2$

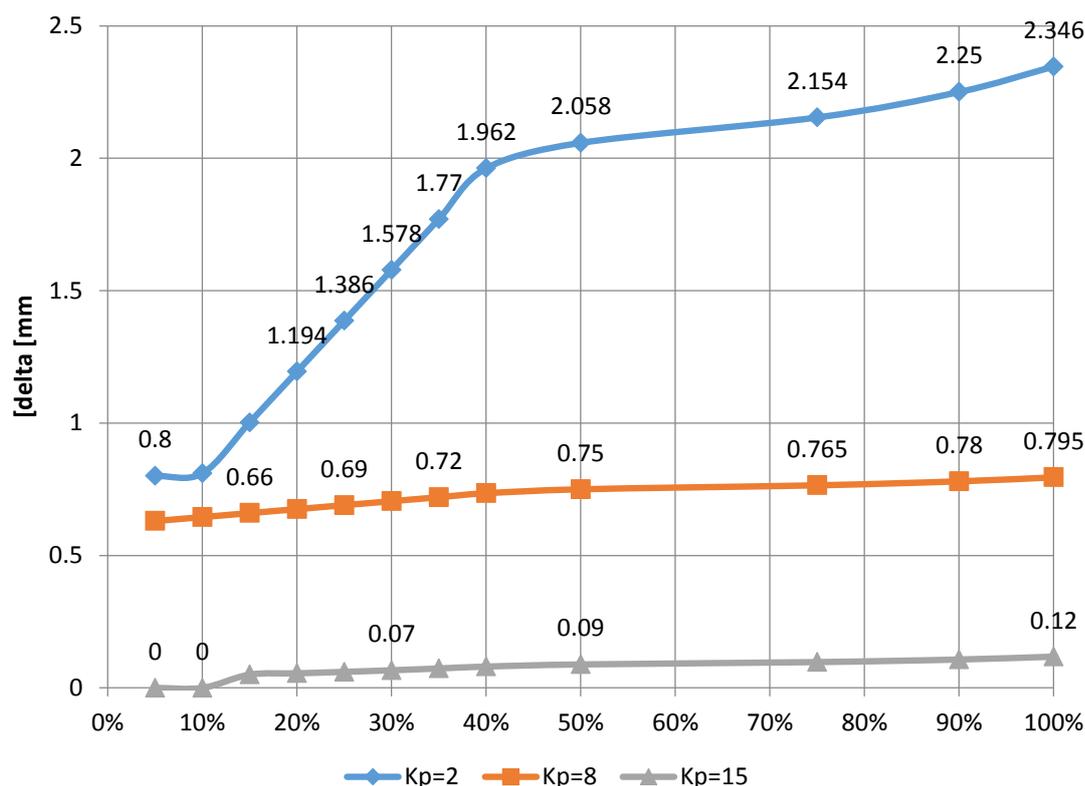


الشكل(8): حركة المكبس من أجل دارة تحكم مغلقة بدون وجود تسريب $K_p = 8$

لمحاكاة دارات التحكم المغلقة الفعلية نقوم بفتح صمام التحكم بالغازة قليلاً، نلاحظ أن شوط حركة المكبس لا يتأثر بشكل ملحوظ كما تأثر في الدارة المفتوحة، حيث ينخفض انحراف الحالة الثابتة بشكل كبير في الدارة المغلقة حتى في حالات فتحة الصمام الكبيرة.

الجدول(2): انحراف الحالة الثابتة للمكبس في الدارة المغلقة

$K_p = 15$	$K_p = 8$	$K_p = 2$	مقدار التسرب المكافئ
0	0.63	0.8	5%
0	0.645	0.81	10%
0.05	0.66	1.002	15%
0.06	0.675	1.194	20%
0.06	0.69	1.386	25%
0.07	0.705	1.578	30%
0.07	0.72	1.77	35%
0.08	0.735	1.962	40%
0.09	0.75	2.058	50%
0.10	0.765	2.154	75%
0.11	0.78	2.25	90%
0.12	0.795	2.346	100%



الشكل (9): علاقة انحراف الحالة الثابتة للمكبس مع التسريب من اجل دارة تحكم مغلقة

من الأشكال (7) و (8) و (9) نجد أنه مع زيادة معامل التحكم يتحسن أداء المكبس من ناحية انحراف الحالة الثابتة وسرعة استجابة المكبس، إلى أن يصل معامل التحكم إلى قيمة حدية ($K_p = 15$)، فعند زيادة معامل التحكم عن قيمته الحدية يفقد المكبس استقراره.

الاستنتاجات والتوصيات

1. بينت النتائج أنه مع انخفاض إشارة التحكم في دارات التحكم المفتوحة ينخفض انحراف الحالة الثابتة، وذلك على حساب زيادة الزمن اللازم لوصول المكبس إلى النقطة المطلوبة.
2. وجدنا أن دارة التحكم المفتوحة غير قادرة على تخفيف أثر التسريب على حركة المكبس من أجل معدلات تسريب كبيرة نسبياً.
3. يتعلق الأداء الانتقالي للآلة الهيدروليكية المتحكم بها بدارة المغلقة بقيم بارامترات المتحكم (معاملات المتحكم التناسبية أو التكاملية أو التفاضلية).
4. وجدنا أن انحراف الحالة الثابتة ينخفض جداً كلما ازدادت قيمة معامل التحكم التناسبي K_p .
5. تصل قيمة معامل التحكم في دارة التحكم المغلقة إلى قيمة حدية يفقد عندها المكبس استقراره.
6. ينصح في الدراسات المستقبلية دراسة تأثير أنواع أخرى من المتحكمات التي من الممكن أن تقدم أداء أفضل للدارة .
7. نوصي بتغيير نقطتي عمل المكبس والتحقق من استقرار عمله من أجل مجالات مختلفة.

8. وعليه يمكن إجراء دراسات أخرى على أحمال مختلفة للمكبس الهيدروليكي وإيجاد علاقة تربط بين الاحمال ومعاملات التحكم.

المراجع

- [1] Parambath, J. , Industrial Hydraulic Systems: Theory and Practice , Universal-Publisher , Florida , USA, 2016.
- [2] Schrader, B. , Merkel, D. , Thomes , M *Closed-loop Hydraulics*. Festo GmbH Co. Germany , 2000
- [3] Jeffrey, O. , *System Requirements Analysis m Academic Press of Elsevier* , 2006.
- [4] Rajeshwari, P. , *Single Otrra Based PD Controllers*. , International Journal of Engineering Science and Technology (IJEST) Vol. 4 No.04. , 2002.
- [5] Emerson Process Management. , *Control valve handbook. 4th ed* , Fisher Controls International LLC. , 2005.
- [6] Cooper P. , Heald, P. , Karassik I. , Messina J. , *Pump Handbook* , McGraw-Hill. , 2001.
- [7] Murray , Richard M. , Astrom, K. , *Feedback Systems: An Introduction for Scientists and Engineers* , Princcton University Press , 2002.
- [8] Tehrani K. , Mpanda, A. , *Introduction to PID Controllers - Theory, Tuning and Application to Frontier Areas*. Rames C. Panda Ed. inTech , 2012.
- [9] Barnard, A. , Doddannavar, R. , *Practical Hydraulic Systems: Operation and Troubleshooting for Engineers and Technicians* , Newnes , 2005.
- [10] Tannenbaum, A. , Doyle, J. , Francis, B. , *Feedback Control Theory* , Macmillan Publishing Co. 2008.
- [11] Bosgra, H. , Kwakernaak, H. , Meinsma, G. , *Design Methods For Control Systems*. Dutch Institute of Systems and Control. 2002
- [12] Chioncel, C.P. , Chioncel, P. , Gillich, N. *PID Controller with Operational Amplifier*. ANALELE UNIVERSITY. 2009
- [13] Schrader, B. , Merkel, D. , Thomes , M *Proportional Hydraulics*. Festo GmbH Co. Germany , 2003

- [14] زيدان، غسان ؛ "الآلات والدارات الهيدروليكية" ؛ جامعة البعث ؛ 2008
- [15] بني المرجة، محمود ؛ " مبادئ تقنيات الهيدروليك"؛ جامعة دمشق ؛ 2008