دراسة مقارنة لأثر الأحمال على الأنظمة الهيدروليكية التناسبية المختلفة

د. م. محمود بهاء الدين بني المرجة*

الملخص

تستطيع أجهزة القيادة الهيدروليكية توليد قوى عالية وتحريك أحمال كبيرة. وقد تمكنا بمساعدة الصمامات التناسبية من التحكم بدقة الحركات وسرعتها في الدارات الهيدروليكية.

واعتماداً على المهمة المطلوبة، فإنَّنا نستخدم أسطوانة خطية أو أسطوانة دورانية أو محركاً هيدروليكياً دورانياً، أو نتحكم بالقوة أو بالضغط بحسب الطلب. وتستخدم الأسطوانات الخطية في معظم الأحيان. وسوف نقارن حسابياً بين خواص الأسطوانات الأكثر استخداماً عملياً. وقمنا بمقارنة حالات مختلفة للأسطوانات مع الأخذ بالحسبان وجود احتكاك ومن دونه.

الكلمات المفتاحية: صمام تناسبي، متساوية المساحات، غير متساوية المساحات، تسارع، اتجاهي، ضغط.

* قسم هندسة التصميم الميكانيكي - كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية- جامعة دمشق.

تستطيع أجهزة القيادة الهيدروليكية توليد قوى عالية وتحريك أحمال كبيرة. وبمساعدة الصمامات التناسبية فقد أصبح بالإمكان التحكم بدقة الحركات وسرعتها في الدارات الهيدروليكية، وكذلك التحكم بالقوى.

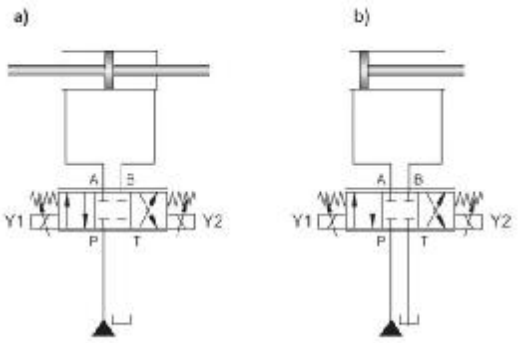
وبحسب المهمة المطلوبة، فإنَّنا نستخدم إمَّا أسطوانة خطية أو أسطوانة دورانية أو محركاً هيدروليكياً دورانياً. إلا أن الأسطوانات الخطية تستخدم في معظم الأحيان؛ ولذلك تكون التصميمات الآتية مجالاً لهذا النوع من أجهزة القيادة[1,4].

يبيّن الشكل(1) تؤخذ أنظمة القيادة الهيدروليكية ذات النوعين الرئيسين من الأسطوانات في الحسبان:

1- **أسطوانة متساوية المساحة، ثنائية التأثير ثنائية المحاور مع محور مكبس مار من خلالها**. وتكون قيم السرعة العظمى والقوة العظمى هي نفسها في كلا اتجاهي الحركة.

2- **أسطوانة غير متساوية المساحة، ثنائية التأثير مع نهاية محور مكبس مفردة**. وتختلف قيم القوة العظمى والسرعة العظمى لكل اتجاه للحركة.

تكون الأسطوانة ذات محور المكبس المفـردة المحـور أكثر تأثيراً، وتتطلب مساحة ربط أقـل بـشكل معتبـر. ولذلك فهي غالباً الأكثر استخداماً في المجال التطبيقي.



الشكل (1) a- أسطوانة ثنائية التأثير ثنائية المحاور. B- أسطوانة ثنائية التأثير أحادية المحور.

يمكن أن تحسب بيانات الأداء وخواص الحركة لأسطوانة القيادة الهيدروليكية بشكل تقريبي. تسمح هذه الحسابات بالآتي:

أ- تحديد مدة فترات الحركة.

ب- تحديد نموذج متحول التصحيح.

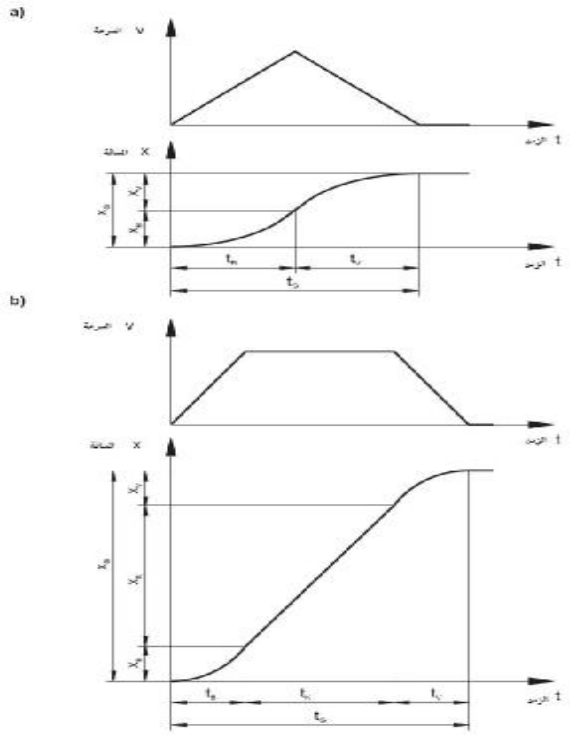
ج- اختيار المضخة المطلوبة، الصمام التناسبي المطلوب والأسطوانة المطلوبة.

مراحل فترات الحركة:

يبيّن الشكل (2) فترات حركة بسيطة لجهاز قيادة هيدروليكي يتألف من عدة مراحل:

- إذا كانت نقطة نهاية مرحلة التسارع للحركة وبداية التباطؤ منطبقتين على بعضهما، فإن فترة الحركة تتألف من مرحلتين: مرحلة التسارع (المدة T_B، المسافة المقطوعة X_B) ومرحلة التباطؤ (المدة T_V، المسافة المقطوعة X_V).
- إذا كانت نقطة نهاية التسارع وبداية التباطؤ لمرحلة الحركة غير متطابقتين كما ينبغي، فإن فترة الحركة تتألف من ثلاث مراحل (مرحلة التسارع (المدة T_B، المسافة المقطوعة X_B)، مرحلة الحركة بسرعة أعظمية ثابتة (المدة T_K، المسافة المقطوعة Y_K) ومرحلة التباطؤ (المدة T_V، المسافة المقطوعة X_V).

إن مدة الحركة الكلية هي T_G. ويتحرك محور المكبس لجهاز القيادة بالمسافة X_G.



الشكل(2) مراحل سلسلة الحركة

العوامل المؤثرة في مدة فترات الحركة:

لكي تُنَفَّذَ فترات الحركة بالسرعة الممكنة فإن نظام القيادة الهيدروليكي يجب أن يحقق تسارعاً عالياً، وتباطؤاً عالياً وسرعة أعظمية عالية. ويتأثر كل من التباطؤ والسرعة الأعظمية بمايأتي:

- § أسلوب عمل المضخة الهيدروليكية، صمام تحرير الضغط، صمام التحكم بالاتجاه التناسبي والأسطوانة.
- § الحمل (القوى والكتل).
- § المسافة بين نقطة البداية والنهاية.

الشروط الحدية للحساب:

لتبسيط الحسابات نفترض شرطين فقط[1]:

- § صمام تناسبي 4/3 – ذو أربع حافات تحكم وعلاقة إشارة / تدفق خطية.
- § شرط أساسي هو نظام ضغط ثابت للمضخة، أي: يجب أن تصمم المضخة بحيث يمكننا توصيل معدل التدفق المطلوب حتى عند سرعة قيادة عظمى.

في الحسابات كلّها يؤخذ الضغط بشكل قياسي أي إنَّ: ضغط الخزان هو الضغط الجوي.

- معدل التدفق الاسمي لصمام التحكم بالاتجاه التناسبي:

السرعة التي يمكن الحصول عليها بواسطة أسطوانة قيادة هيدروليكية، تعتمد على معدل التدفق الاسمي للصمام التناسبي المتحكم بالاتجاه.

في صفحة بيانات صمام التحكم بالاتجاه التناسبي، فإن معدل التدفق q_N يحدد مع فتحة كاملة للصمام وفرق ضغط ΔP_N عبر كل حافة تحكم قبل الصمام وبعده.

- **معدل التدفق لصمام تحكم بالاتجاه تناسبي مربوط مع جهاز قيادة هيدروليكي:**

تختلف شروط التشغيل لصمام في نظام قيادة هيدروليكي عن الشروط الحدية للقياس وتتنوع تبعاً لذلك كلٌّ من قيم الضغط والتدفق[5].

- § يدخل فرق الضغط عبر حافة التحكم للصمام في صيغة التدفق كقيمة مجذورة (تحت الجذر التربيعي).
- § مع تابع إشارة /تدفق خطي، يكون تأثير متحول التصحيح متناسباً مع فتحة الصمام والتدفق.

مثال 1: حساب التدفق:

إن المعلومات عن الصمام التناسبي 4/3 هي كالآتي:

- § التدفق الاسمي q_n= 201/min، مقاس بفرق ضغط Δp=5bar. يكون معدل التدفق الاسمي متساوياً لحافات التحكم الأربع.
- § إشارة التحكم العظمى: $y_{max}= 10_v$
- § تابع تدفق / إشارة خطي

يُسْتَخدَمُ صمام تناسبي في نظام القيادة الهيدروليكي. وتُقَاسُ القيم الآتية خلال تقدم محور المكبس:

- § إشارة التحكم: y = 4V
- § فرق الضغط عبر حافة التحكم للدخول
- § Δp_a=125bar

المطلوب:

حساب معدل التدفق $\mathbf{q_a}$ عبر حافة تحكم الدخول للصمام التناسبي عند الشروط المعطاة.

- § **حساب معدل التدفق:**

أ- حساب السرعة لأسطوانة قيادة مع مساحات متساوية بغض النظر عن الحمل وقوى الاحتكاك.

ضغوط الحجرات وهبوط الضغط عبر حافات التحكم.

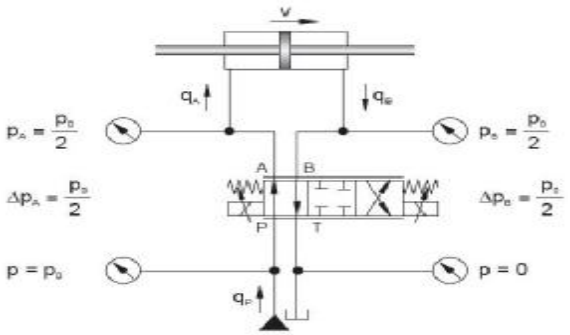
$$q_A = q_N . \frac{y}{y_{max}} . \sqrt{\frac{\Delta p_A}{\Delta p_N}} \qquad (1)$$

$$= 20. \frac{1}{\min} . \frac{4V}{10V} . \sqrt{\frac{125bar}{5bar}}$$

$$= 20. \frac{1}{\min} .0,4.5 = 40. \frac{1}{\min}$$

إن أسطوانة القيادة ذات المساحات المتساوية هي موضوع الاعتبار في الدراسة التي لا تتصل مع الحمل، الشكل (3).

ونعدُّ الاحتكاك والتسريب مهملين. فتحة الصمام ثابتة ويتحرك محور المكبس بسرعة ثابتة. يتزايد نصفا الضغط المزودان في كلتا الحجرتين. ويكون الضغط التفاضلي ΔP_A عبر حافة التحكم للمدخل مشابهاً للضغط التفاضلي ΔP_A عبر حافة تحكم المخرج. وتكون قيمة كل من الضغوط التفاضلية $P_O/2$, [3,2,6].



الشكل(3) ضغوط الحجرات والضغوط التفاضلية عبر حافات التحكم في أسطوانة قيادة متساوية مساحات سطح المكبس (بغض النظر عن الحمل وقوى الاحتكاك)

حساب السرعة:

- § إن مساحة المكبس المؤثرة هي نتيجة الفرق بين مساحة المكبس ومساحة محور المكبس.
- § معدل التدفق عبر طريق حافة تحكم الصمام يحدد من العلاقة الآتية:

$$q = q_N . \frac{y}{y_{max}} . \sqrt{\frac{\Delta p}{\Delta p_N}} \qquad (2)$$

§ لحساب السرعة، فإن معدل التدفق عبر حافات تحكم لصمام تقسم بواسطة مساحة المكبس الحلقية.

تحديد قياس المضخة:

يجب على المضخة أن تكون قادرة على توصيل معدل التدفق المسلم عبر حافة تحكم مدخل الصمام مع فتحة الصمام العظمى.

مثال 2: حساب السرعة لأسطوانة قيادة متساوية المساحات بغض النظر عن الحمل و قوى الاحتكاك.

يتألف نظام القيادة الهيدروليكي من المكونات الآتية:

§ صمام تحكم بالاتجاه تناسبي مع بيانات مشابهة للمثال 1.

§ أسطوانة متساوية المساحة لوجهي المكبس.

قطر المكبس D_k=100mm

قطرمحور المكبسD_s=70.7mm

§ مضخة ثابتة.

§ صمام تحرير ضغط معير على ضغط النظام: p_o=250bar

المطلوب:

§ السرعة العظمى لجهاز القيادة (متحول التصحيح y = 4V)

§ السرعة لجهاز القيادة مع متحول تصحيح y = 2V

§ معدل التدفق q_b الذي يجب تأمينه عن طريق المضخة.

§ **حساب المساحة الحلقية للمكبس:**

$$A_R = \frac{\pi}{4}.(100^2 - 707^2)mm^2 = 3928mm^2 = 39.3cm^2$$

حساب السرعة العظمى:

التدفق عبر حافة التحكم بمتحول تصحيح أعظمي:

$$q_{Amax} = q_N\sqrt{\frac{p_0}{2.\Delta p_N}}.20\frac{1}{\min}.\sqrt{\frac{250bar}{2.5bar}} = 100\frac{1}{\min}$$

السرعة العظمى:

$$V_{max} = \frac{q_{Amax}}{A_R} = \frac{100\frac{1}{\min}}{39.3cm^2} = \frac{100dm^3}{60s.0.393dm^3}$$

$$= 4.24\frac{dm}{s} = 42.4\frac{cm}{s}$$

§ **حساب السرعة بمتحول تصحيح** y = 2V

التدفق عبر حافة التحكم بمتحول تصحيح y = 2:

$$q_A = q_N.\frac{g}{g_{max}}.\sqrt{\frac{p_0}{2.\Delta p_N}} = 20\frac{1}{\min}.\frac{2V}{10V}.\sqrt{\frac{250bar}{2.5bar}} = 20\frac{1}{\min}$$

السرعة بمتحول تصحيح y = 2V :

$$V = \frac{q_A}{A_R} = \frac{100\frac{1}{\min}}{39.3cm^2} = \frac{100dm^3}{60s.0.393dm^2} = 8.48\frac{cm}{s}$$

§ **حساب تدفق المضخة المطلوب**

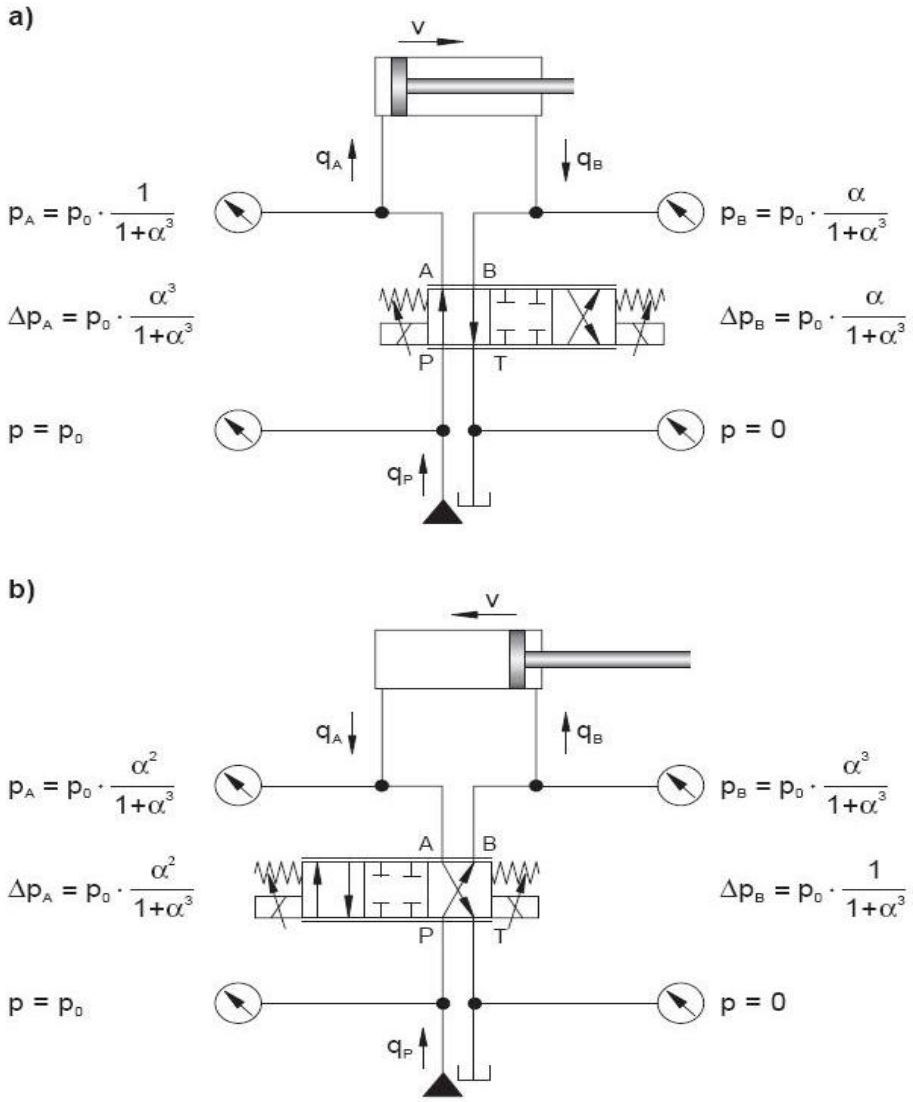
$$q_p = q_{Amax} = 100\frac{1}{\min}$$

ب- حساب السرعة لأسطوانة قيادة غير متساوية المساحة بغض النظر عن الحمل وقوى الاحتكاك:

نسبة المساحة لأسطوانة القيادة غير متساوية المساحة:

في أسطوانة القيادة ذات المساحات غير المتساوية، يؤثر الضغط في الحجرة الأولى على مساحة المكبس وفي الحجرة الأخرى على المساحة الحلقية للمكبس. وتعرف نسبة مساحة المكبس إلى المساحة الحلقية بنسبة المساحة α التي تكون أكبر من 1 (الشكل4a).

وفي أسطوانة ذات مساحات غير متساوية، تكون نسب المساحة α أكبر من الـ1.



الشكل(4) ضغوط الحجرات والضغوط التفاضلية عبر حافات التحكم في أسطوانة قيادة غير متساوية المساحات (بغض النظر عن الحمل وقوى الاحتكاك). a- تقدم محور المكبس. b- عودة محور المكبس

سلسلة التقدم:

ضغوط الحجرات وفرق الضغط عبر حافات التحكم للصمام:

يُحَدَّدُ الضغط في حجرتي الأسطوانة والضغوط التفاضلية عبر حافات التحكم من خلال موازنة القوى على المكبس وخواص جذر كمية التدفق. ينتج تقدم محور المكبس بالتصحيحات الآتية، الشكل(4a):

§ موازنة القوى على المكبس:

ما دام لا يوجد حمل، فإن القوى على طرفي المكبس متشابهة. والضغط على المساحة الحلقية لوجه المكبس أكبر بالمعامل α من الضغط على مساحة وجه المكبس الكبيرة.

§ خواص التدفق:

- مساحة المكبس أكبر من المساحة الحلقية للمكبس بالمعامل α. وفقاً لذلك، فإن التدفق عبر حافة تحكم الدخول يكون أكبر بـــ X مرة من ذلك التدفق عبر حافة تحكم الخروج. وما دام التدفق يزداد فقط بفرق الضغط بقيمة مجزورة، فإن فرق الضغط ΔP_A عبر حافة تحكم الدخول أكبر بالمعامل α^2 من فرق الضغط ΔP_B عبر حافة تحكم الخروج.
- يمكن حساب الضغوط والضغوط التفاضلية الواردة في الشكل (4a) من شروط موازنة القوى والتدفق.

سلسة التراجع:

ضغوط الحجرة وفرق الضغط عبر حافات التحكم بالصمام:

خلال التراجع، يُخَفَّضُ التدفق المار عبر حافة تحكم الدخول بالمعامل α عن التدفق عبر حافة تحكم الخروج، يتم الحصول على الضغوط والضغوط التفاضلية المدخلة في الشكل (4b) عن طريق الأخذ بالحسبان موازنة نسبة القوى على المكبس ومعدل التدفق.

حساب السرعة:

تحدد سرعة المكبس خلال التقدم بخطوتين:

§ حساب التدفق لحافة تحكم الدخول: يُدْخَلُ فرق الضغط عبر حافة تحكم الدخول ΔP_A في الشكل (4a) في معادلة التدفق.

§ حساب السرعة: يُقَسَّمُ معدل التدفق المار عبر حافة تحكم الدخول على مساحة المكبس.

تُنْجَزُ عملية حساب سرعة العودة أيضاً بخطوتين. تبعاً لحساب التدفق عبر حافة تحكم الدخول، يُطَبَّقُ فرق الضغط ΔP_B تبعاً للشكل (b4) في معدل التدفق. تُحْسَبُ السرعة بتقسيم قيمة التدفق على مساحة المكبس الحلقية.

تحديد قياس المضخة:

خلال تقدم محور المكبس فإن معدل التدفق عبر حافة تحكم الدخول أكبر منه خلال العودة بالمعامل $\alpha^{1.5}$؛ ولذلك يجب استخدام معدل التدفق الأعظمي خلال التقدم كأساس لتحديد حجم المضخة. وهذا يحدث مع فتحة صمام عظمى.

مقارنة بين سرعة التقدم والتراجع لأسطوانة قيادة باستخدام صمام تناسي 4/3:

إذا حُدِّدَ قياس المضخة بشكل صحيح، أمكن أن يصل معدل التدفق إلى القيمة العظمى ضمن أي شروط عبر حافة تحكم الدخول لصمام تناسبي للتحكم بالاتجاه ذي ضغط تزويد P_{max}. ضمن هذه الشروط، يبقى الضغط P_0 دائماً في المدخل P لصمام التحكم الاتجاهي التناسبي. جهاز القيادة مع صمام تحكم تناسبي يمكن إدراجه كنظام ضغط ثابت.

في نظام الضغط الثابت، تكون فتحة الصمام هي العامل الحرج للسرعة، وسرعة التقدم لأسطوانة القيادة ذات المساحات غير المتساوية، وغير المحملة أكبر من سرعتها عند الرجوع بالمعامل α.

- **مقارنة بين سرعة التقدم والتراجع لأسطوانة قيادة باستخدام صمام تبديل 4/3.**

إذا تمت قيادة أسطوانة تحريك هيدروليكية بواسطة صمام تبديل 4/3، فإن السرعة تكون محدودة بالتناسب مع معدل التدفق الحجمي للمضخة. ويستخدم نظام تدفق ثابت.

في نظام التدفق الثابت، تكون سرعة التراجع لأسطوانة قيادة غير متساوية المساحة أكبر بالمعامل α من سرعة التقدم [2,5,6].

مثال 3: حساب السرعة لأسطوانة قيادة غير متساوية المساحات بغض النظر عن الحمل وقوى الاحتكاك:

إن المعطيات لضغط التزويد وصمام التحكم بالاتجاه التناسبي هي نفسها في المثال (2). قطر المكبس وقطر محور المكبس أيضاً هي نفسها.

المطلوب:

- § سرعة التقدم العظمى لمحور المكبس(متحول تحكم: y=10 v)
- § سرعة التراجع العظمى لمحور المكبس(متحول تحكم: y=-10 v)
- § معدل التدفق الحجمي المطلوب للمضخة q_p .

حساب الأسطوانة

مساحة المكبس

$$A_K = \frac{\pi}{4}.D_K^2 \frac{\pi}{4}100^2\,mm^2 = 7854mm^2 = 0.785dm^2$$

نسبة المساحة

$$a = \frac{A_K}{A_R}. = \frac{7854mm^2}{3928mm^2} = 2$$

- § **حساب سرعة التقدم العظمى:**

معدل التدفق عبر حافة تحكم الدخول

$$q_A = q_N.\frac{g}{g_{max}}.\sqrt{\frac{p_0}{\Delta p_N}.\frac{a^3}{1+a^3}} \qquad (3)$$

$$= \frac{1}{\min}.\frac{10V}{10V}.\sqrt{\frac{250bar}{5bar}}.\frac{8}{9} = 1333.3\frac{1}{\min}$$

سرعة التقدم العظمى

$$V = \frac{q_A}{A_K} = \frac{133.3dm^3}{360s.0.785dm^3} = 2.8\frac{dm}{s} = 0.28\frac{m}{s}$$

- § **حساب سرعة التراجع العظمى:**

معدل التدفق عبر حافة تحكم الدخول

$$q_B = q_N.\frac{g}{g_{max}}.\sqrt{\frac{p_0}{2.\Delta p_N}.\frac{1}{1+a^3}} = \qquad (4)$$

$$= 20\frac{1}{\min}.\frac{2V}{10V}.\sqrt{\frac{250bar}{2.5bar9}} = 47.1\frac{1}{\min}$$

سرعة التراجع العظمى

$$V = \frac{q_B}{A_R} = \frac{q_B.a}{A_K} = \frac{47.1dm^3.2}{60s.0.785dm^2} = 2\frac{dm}{s} = 0.2\frac{m}{s}$$

- § **حساب معدل التدفق الحجمي المطلوب للمضخة:**

$$q_P = q_{max} = q_N..\sqrt{\frac{p_0}{.\Delta p_N}.\frac{a^3}{1+a^3}} = 133.3\frac{1}{\min}$$

ت- حساب السرعة لأسطوانة قيادة متساوية المساحات مع الأخذ بالحسبان الحمل وقوى الاحتكاك.

القوة العظمى لمكبس القيادة:

تؤثر القوة F_{max} في المكبس، إذا سيطر ضغط المورد في حجرة واحدة من الأسطوانة الهيدروليكية، وفي الحجرة الأخرى ضغط الخزان. تُحْسَبُ القوة العظمى لأسطوانة قيادة هيدروليكية متساوية المساحة كنتيجة لضغط المورد على مساحة المكبس الحلقية.

قوة المكبس مع سرعة حركة ثابتة.

مع سرعة حركة ثابتة، فإن قوة المكبس الفعلية F تتألف من قوة الحمل F_l وقوة الاحتكاك F_r، الذي وفقاً له يجري التمييز بين تغيرات الإشارة الآتية:

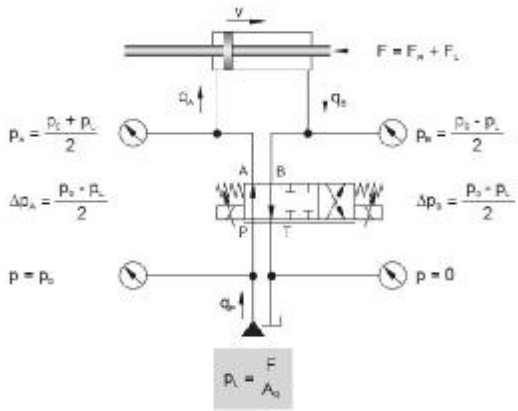
- § توصف قوة الحمل المؤثرة ضد الحركة كحمل دفع وتُوصَفُ مع إشارة موجبة.
- § توصف قوة الحمل المؤثرة باتجاه الحركة أي: تدعم تتابع الحركة، كحمل سحب وتُوضَعُ بإشارة سالبة.

§ تؤثر دائماً قوة الاحتكاك ضد الحركة؛ ولذلك يجب دائماً أن تكون بإشارة موجبة.

لكي يتحرك المكبس في الاتجاه المطلوب دائماً، فإن قوة الحمل على المكبسF يجب أن تكون دائماً أقل من قوة المكبس العظمى F_{max}.

ضغط الحمل، ضغط الحجرة والضغط التفاضلي عبر حافات التحكم:

يشير ضغط الحمل P_1 إلى أي من الضغطين التفاضليين سوف يسود بين حجرتي الأسطوانة لكي تُولِّدُ القوة F. ويُحْسَبُ هذا لأسطوانة قيادة متساوية المساحات بتقسيم قوة المكبس F على مساحة المكبس الحلقية A_r. وبالأخذ بالحسبان ضغط الحمل، يحدث الضغط والضغوط التفاضلية المبينة في الشكل (5).



الشكل(5) ضغوط الحجرات والضغوط التفاضلية عبر حافات التحكم في أسطوانة قيادة متساوية المساحات (مع الأخذ بالحسبان الحمل وقوى الاحتكاك)

حساب سرعة الحركة:

تُحْسَبُ سرعة الحركة بخطوتين:

§ حساب معدل التدفق: يكون معدل التدفق q_a و q_b متشابهين ويُحَدَّدان بتضمين الضغط التفاضلي Δp_a أو Δp_b في معدل التدفق.

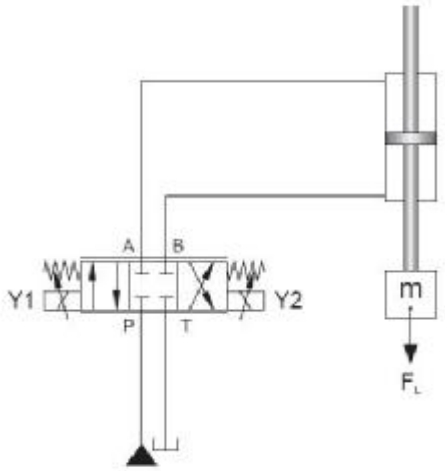
§ حساب السرعة: يُقَسَّمُ معدل التدفق على مساحة المكبس الحلقية A_R.

إذا عُيِّنَتْ سرعة الحركة بجهاز قيادة غير محمل، فإن ذلك ملائم لتحديد السرعة V_L تحت تأثير الحمل من افتراض السرعة لجهاز قيادة غير محمل.

تحديد قياس المضخة:

ما دام معدل التدفق الحجمي المطلوب يزداد مع زيادة سرعة الحركة بجهاز القيادة، فإن تحديد قياس المضخة يتبع إلى اتجاه الحركة مع سرعة أعلى. ومع حمل سحب، فإن الحمل يؤثر في اتجاه الحركة وقوة الحمل F_L سالبة.

تحت الشروط الحدية، فإن سرعة المكبس ومعدل التدفق الحجمي المطلوب للمضخة يصبح أعلى في حالة دون حمل.



الشكل(6) أسطوانة قيادة متساوية المساحات مع كتلة حمل واحتكاك

مثال 4: حساب السرعة لأسطوانة متساوية المساحات مع الأخذ بالحسبان قوة الحمل والاحتكاك:

تُثَبَّتُ أسطوانة القيادة بشكل شاقولي ويجب أن تقوم برفع حمل وتنزيله، الشكل (6).

- قوة الحمل F_1=20kN §
- قوة الاحتكاك لكلا اتجاهي الحركة F_r=5kN §

بقية المعلومات التقنية تتبع كما في المثال (2).

المطلوب:

- السرعة العظمى لحركة الصعود لجهاز القيادة (متحول التصحيح y = 10V) §
- السرعة العظمى لحركة الهبوط لجهاز القيادة (متحول التصحيح y = - 10V) §
- معدل التدفق الحجمي المطلوب من المضخة q_p §
- السرعة العظمى دون حمل: §

(من المثال 2):

$$V = \frac{q_A}{A_R} = \frac{100dm^3}{A_K} = \frac{100dm^3}{60s.0.393dm^2} = 4.24\frac{dm}{s} = 0.424\frac{m}{s}$$

حساب قوة المكبس العظمى:

$$F_{\max} = A_R.p_0 = 39.3cm^e.250bar = 39.3cm^{2.}250\frac{Kp}{cm^2}$$

$$= 9825K_P = 98.25KN$$

- **حساب السرعة العظمى:** §

(حركة الصعود، حمل دفع)

قوة المكبس الفعلية

$$F= F_R + F_L = 5kN + 20kN = 25kN$$

السرعة مع فتحة صمام عظمى

$$V_L = V..\sqrt{\frac{F_{\max} - F}{F_{\max}}}. = 0.424\frac{m}{s}..\sqrt{\frac{98.25kN - 25kN}{98.25kN}} = 0.366\frac{m}{s}$$

- **حساب السرعة العظمى:** (حركة الهبوط، حمل سحب) §

قوة المكبس الفعلية

$$F= F_R + F_L = 5kN - 20kN = 15kN$$

السرعة مع فتحة صمام عظمى

$$V_L = V.\sqrt{\frac{F_{\max} - F}{F_{\max}}}. = 0.424\frac{m}{s}..\sqrt{\frac{98.25kN + 15kN}{98.25kN}} = 0.455\frac{m}{s}$$

- **حساب معدل التدفق الحجمي المطلوب من المضخة:** §

إن السرعة مع حركة الهبوط v ومعدل التدفق الحجمي q_p عبر حافة تحكم الدخول تكون أكبر منها عند حركة الرفع. ولذلك يجب أن يُحَدَّدُ قياس المضخة لأجل حالة حركة الهبوط.

$$q_P = q_{A\max}. = v_{\max}.A_R = 4.55\frac{dm}{s}..0.393dm^2 = 179\frac{dm^3}{s} = 107.5\frac{1}{\min}$$

تأثير قوة الحمل في سرعة الحركة:

يشرح المثال تأثير قوة المكبس في سرعة الحمل لأسطوانة القيادة الهيدروليكية:

- مع حركة الصعود، فإن جهاز القيادة يجب أن يتغلب على قوة، التي تؤثر بعكس جهة الحركة. وتكون السرعة أقل مع فتحة صمام مشابهة لحالة عدم التحميل. §
- مع حركة الهبوط، فإن القوة تؤثر في اتجاه الحركة. وتكون السرعة أكبر مع فتحة صمام مماثلة لحالة عدم التحميل. §

ث- حساب السرعة لأسطوانة غير متساوية المساحات مع الأخذ بالحسبان قوى الحمل والاحتكاك.

يُحْسَبُ قوة المكبس العظمى F_{max}، وتكون قوة خطوات التقدم أكبر بالمعامل α من تلك لخطوات التراجع.

قوة المكبس عند سرعة حركة ثابتة:

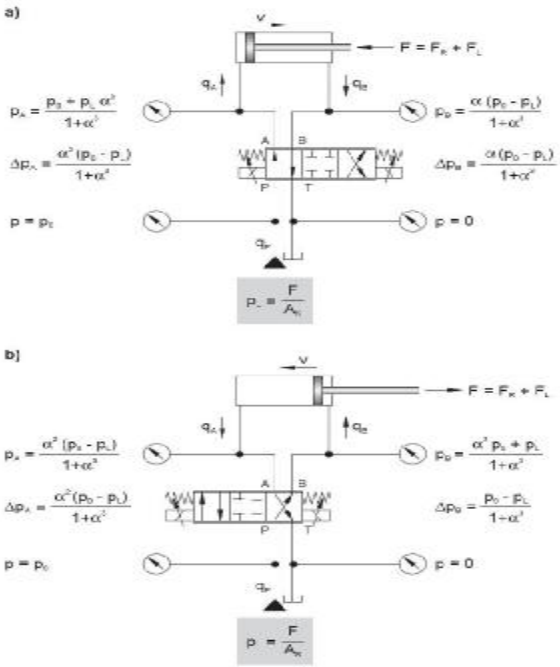
الروابط نفسها تطبق كتلك لأسطوانة القيادة متساوية المساحات.

ضغط الحمل، ضغوط الحجرات والضغوط التفاضلية عبر حافات التحكم:

إن صيغة الحساب لضغط الحمل p_L من أجل تتابع التراجع والتقدم مختلفة. يسبب حمل متشابه خلال تتابع التراجع ضغط حمل أكبر p_L بالمعامل α.

إن ضغوط الحجرات p_A وp_B فضلاً عن الضغوط التفاضلية Δp_A وΔp_B عبر حافات التحكم مبينة في

الشكل (7a) (تتابع التقدم) وفي الشكل(7b) (تتابع التراجع).



الشكل(7) ضغوط الحجرات والضغوط التفاضلية عبر حافات التحكم في أسطوانة غير متساوية المساحات (مع الأخذ بالحسبان الحمل وقوى الاحتكاك)

حساب سرعة التقدم والتراجع:

تُحْسَبُ سرعة التقدم والتراجع طبقاً للمبادئ نفسها كتلك لأجل الأسطوانة متساوية المساحات.

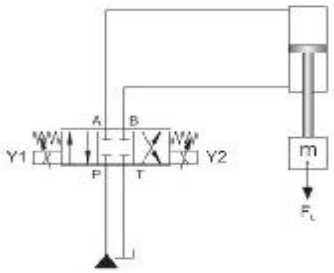
تأثير قوة الحمل:

خلال تتابع التراجع، فإن قوة المكبس العظمى F_{max} أقل من تلك خلال تتابع التقدم. تؤثر قوة الحمل ضد اتجاه الحركة، وتقود إلى ضغط حمل أعلى p_L، الذي وفقاً له فإنَّ تأثير السرعة بحمل الدفع ينخفض في أثناء تتابع التراجع.

تحديد قياس المضخة:

إن العامل الحاسم في تحديد قياس المضخة هو معدل التدفق الحجمي الأعظمي عبر حافة تحكم الدخول الذي يحدث خلال فتح الصمام. ولتحديد معدل التدفق الحجمي المطلوب للمضخة، فإن كلا اتجاهي الحركة يحتاج إلى الاختبار:

- في أغلب أنظمة القيادة، يكون معدل التدفق الحجمي الأعظمي عبر حافة التحكم للدخول أكبر خلال التقدم، ولذلك يُحَدَّدُ قياس المضخة لأجل تتابع التقدم.
- إذا أثر حمل الدفع خلال التقدم بشكل معاكس لحمل السحب خلال التراجع فإن معدل التدفق الحجمي عبر حافة تحكم الدخول قد يكون أكبر خلال التراجع منه خلال التقدم. في هذه الحالة، فإنه يُحَدَّدُ قياس المضخة لأجل تتابع التراجع.



الشكل(8) أسطوانة قيادة غير متساوية المساحات مع كتلة حمل وقوة احتكاك

مثال 5: حساب السرعة لأسطوانة قيادة غير متساوية المساحات مع الأخذ بالحسبان قوة الاحتكاك والحمل:

تُثَبَّتُ أسطوانة القيادة بشكل شاقولي ويجب أن تقوم برفع حمل وتنزيله، الشكل(8). وبقية المعلومات التقنية تؤخذ من نظام القيادة في المثال 4.

المطلوب:

- السرعة العظمى لحركة الصعود لجهاز القيادة (متحول التصحيح y = 10V)
- السرعة العظمى لحركة الهبوط لجهاز القيادة (متحول التصحيح y = -10V)
- معدل التدفق الحجمي المطلوب من المضخة.
- **حساب السرعة العظمى لحركة الصعود**

يعود محور المكبس خلال حركة الصعود. السرعة العظمى لحركة التراجع دون حمل (من المثال 3)

$$V = \frac{q_B}{A_R} = \frac{47.1 dm^3}{60 s.0.393 dm^2} = 0.2 \frac{m}{s}$$

قوة المكبس العظمى (حركة تراجع):

$F_{max} = A_R . p_0 = 0.393\ dm^2 . 250_{bar} = 98.25kN$

قوة المكبس الفعلية:

$F = F_R + F_L = 5kN + 20kN = 25kN$

السرعة مع فتحة صمام عظمى (حركة تراجع)

$$V_L = V.\sqrt{\frac{F_{max} - F}{F_{max}}}. = 0.20 \frac{m}{s} .. \sqrt{\frac{98.25kN - 15kN}{98.25kN}} = 0.173 \frac{m}{s}$$

§ حساب السرعة العظمى لحركة الهبوط:

يتقدم محور المكبس خلال مرحلة النزول. السرعة العظمى لحركة التقدم دون حمل (من المثال 3).

$$V = \frac{q_A}{A_K} = \frac{133.3 dm^3}{60 s.0.785 dm^2} = 0.28 \frac{m}{s}$$

قوة المكبس العظمى (حركة التقدم)

$F_{max} = A_K . p_0 = 0.785 dm^2 . 250bar\ 196.3kN$

قوة المكبس الفعلية

$F = F_R + F_L = 5kN - 20kN = -15kN$

السرعة مع فتحة صمام عظمى (حركة تقدم)

$$V_L = V.\sqrt{\frac{F_{max} - F}{F_{max}}}. = 0.28 \frac{m}{s} .. \sqrt{\frac{196.3kN + 15kN}{196.3kN}} = 0.29 \frac{m}{s}$$

§ حساب معدل التدفق الحجمي المطلوب من المضخة

معدل التدفق الحجمي الأعظمي عبر حافة تحكم الدخول خلال التقدم:

$$q_A = v_L . A_K = 0.29 \frac{m}{s} . 0.785 dm^2 = 2.3 \frac{dm^3}{s} = 137 \frac{1}{\min}$$

معدل التدفق الحجمي الأعظمي عبر حافة تحكم الدخول خلال التراجع:

$$q_B = v_L . A_R = 0.173 \frac{m}{s} . 0.393 dm^2 = 0.68 \frac{dm^3}{s} = 40.8 \frac{1}{\min}$$

معدل التدفق الحجمي المطلوب من المضخة

$$q_P = q_{max} = q_A = 137 \frac{1}{\min}$$

- تأثير قوة المكبس العظمى في عمليات التباطؤ والتسارع:

السرعة ونمط متحول التحكم خلال مرحلة التسارع:

للقيام بحساب تقريبي، يُفْرَضُ معدل تدفق ثابت، وهذا ينتج سرعة ثابتة، ومتزايدة خلال مرحلة التسارع، الشكل (2) حيث تُزَادُ فتحة الصمام بشكل تصاعدي تدريجي خلال مرحلة التسارع.

القوى خلال مرحلة التسارع:

خلال مرحلة التسارع، فإن قوة المكبس F تتألف من قوة الاحتكاك F_R، قوة الحمل F_L وقوة التسارع F_B يحدث كل من قوة التسارع العظمى والتسارع الأعظمي a_{MAX} مع قوة المكبس الأعظمية F_{MAX}. ويتم الوصول إلى قوة المكبس الأعظمية F_{MAX}، إذا سيطر ضغط المنبع P_0 في إحدى حجرات الأسطوانة وضغط الخزان في الحجرة الأخرى.

مدة عملية التسارع والمسافة المقطوعة:

لكي يتم الوصول إلى تتابع حركة سريعة، فإن التسارع يحتاج إلى أَنْ يكون كبيراً قدر الإمكان. يُحْسَبُ التسارع الأعظمي الممكن الوصول إليه α_{max} كحاصل قسمة قوة التسارع العظمى F_{Bmax} على الكتلة المتحركة m. تُحَدَّدُ الكتلة المتحركة m بإضافة كتلة الحمل وكتلة جهاز القيادة الهيدروليكية.

متحول السرعة ونمط متحول التصحيح لحالة التباطؤ.

مادام الشرط الأساسي لحالة التباطؤ هو تباطؤاً ثابتاً، فإن هذا ينتج بسرعة متناقصة تدريجياً (الشكل (2)) وتُقَلَّلُ فتحة الصمام بشكل تصاعدي حتى ينغلق الصمام.

الاتجاه الفعال للقوى خلال التباطؤ:

خلال عملية التباطؤ، فإن القوى الناتجة F المبذولة من المكبس على الحمل تكون في الاتجاه المعاكس لاتجاه الحركة. لذلك تصبح موجبة، إذا أثرت بعكس جهة الحركة. تدعم كل من قوة الاحتكاك F_R وقوة الحمل

الموجبة F_L عملية التباطؤ (8c) وتقلل قوة المكبس F المطلوبة للتباطؤ.

التكهف وموجة الضغط:

لكي تُخَفَّفُ سرعة أسطوانة القيادة، نحتاج إلى إغلاق صمام التحكم بالاتجاه التناسبي. ولكن إذا خُفِّضَتْ فتحة الصمام بشكل سريع جداً نلاحظ حدوث إحدى النتيجتين الآتيين:

- § في الحجرة، التي ينضغط فيها سائل الضغط بواسطة الحمل المحرك، يزداد الضغط فجأة فوق ضغط المورد. والأسطوانات والأنابيب قد تنفجر كنتيجة لموجة الضغط.
- § في الحجرات الأخرى، ينخفض الضغط تحت ضغط الخزان ويحدث التكهف[4,2,1].

قيم قوة المكبس الحرجة خلال التباطؤ:

لكي يُمنَعُ التكهف وموجة الضغط الزائد خلال التباطؤ لأسطوانة متساوية المساحات، يجب أن يُغْلَقَ الصمام ببطء كافٍ لكي تبقى قوة المكبس F تحت القيمة الحرجة F_{max}.

في أسطوانة القيادة متساوية المساحات يجب أن لا يتم تجاوز القوة العظمى F_{max} المحسوبة للتسارع.

- § إذا تباطأ محور المكبس العائد لأسطوانة قيادة غير متساوية المساحات، فإن خطر التكهف أقل، مادام تدفق قليل نسبياً يمر خلال حافة تحكم الدخول. إنه من المستحسن أن يتم تبطيء جهاز القيادة بطريقة ما بحيث لايرتفع الضغط على مساحة المكبس فوق ضغط المورد.
- § إن الحالة الحرجة بشكل واضح هي كبح تقدم جهاز قيادة غير متساوية المساحات، إذْ في هذه الحالة يحدث التكهف بسهولة مع قوة مكبس F_{max} منخفضة نسبياً.

مدة عملية التباطؤ والمسافة المقطوعة:

يصل جهاز القيادة إلى حالة التباطؤ الأعظمي α_{max} ، عندما تؤثر قوة المكبس العظمى بعكس اتجاه الحركة.

المناقشة:

إذا حُدِّدَ قياس المضخة بشكل صحيح، فإنها توصل ضمن أي شروط على الأقل معدل التدفق الأعظمي القادر على التدفق عبر حافة تحكم الدخول لصمام التحكم الاتجاهي التناسبي مع ضغط تزويد P_{max}. ضمن هذه الشروط، يبقى الضغط P_0 دائماً في المدخل P لصمام التحكم الاتجاهي التناسبي. ومن ثَمَّ فإنَّ جهاز القيادة مع صمام تحكم تناسبي يمكن إدراجه كنظام ضغط ثابت.

في نظام الضغط الثابت، تكون فتحة الصمام هي العامل الحرج للسرعة، وسرعة التقدم لأسطوانة القيادة ذات المساحات غير المتساوية، وغير المحملة أكبر من سرعتها عند الرجوع بنسبة المعاملα.

وبالمقارنة بين سرعة التقدم والتراجع لأسطوانة قيادة باستخدام صمام تبديل 4/3 (صمام غير تناسبي). إذا تمت قيادة أسطوانة قيادة هيدروليكية بواسطة صمام التبديل 4/3، فإن السرعة تكون محدودة بسبب معدل التدفق الحجمي للمضخة. ويستخدم نظام تدفق ثابت.

في نظام التدفق الثابت، تكون سرعة التراجع لأسطوانة قيادة غير متساوية المساحة أكبر بالمعامل α من سرعة التقدم.

كذلك فإن المسافة المغطاة خلال مرحلة التسارع X_B والتباطؤ X_V أقل بشكل عام من المسافة الكلية X_G .

النتائج:

نستنتج مما سبق أن تتابع الحركة في الدارات الهيدروليكية التناسبية يتألف من ثلاث مراحل. مرحلة التسارع ومرحلة السرعة المنتظمة ومرحلة التباطؤ، ورأينا كيف أن مرحلة السرعة المنتظمة تشكل أكبر هذه

المراحل. ومن ثَمَّ فإنَّ جهاز القيادة مع صمام تحكم تناسبي يمكن إدراجه كنظام ضغط ثابت.

وهنا نجد أن الأنظمة الهيدروليكية التناسبية هي الوحيدة القادرة على تأمين معدل التدفق الأعظمي القادر على المرور عبر حافة تحكم الدخول لصمام التحكم الاتجاهي التناسبي مع ضغط التزويد الأعظمي P_{max} بغض النظر عن الحمل، ومن ثَمَّ يبقى الضغط P_0 دائماً في المنفذ P لصمام التحكم الاتجاهي التناسبي، وهذا مالا يمكن تحقيقه في صمامات التوجيه العادية المعروفة.

ومن أبرز الأمثلة على تطبيقات هذه الدارات الهيدروليكية التناسبية هو آلات حقن البلاستيك وآلات حقن المعادن والمكابس الهيدروليكية المختلفة الأنواع.

جدول مقارنة السرعات باختلاف الحالة:

أسلوب حساب السرعة	متحول التصحيح	السرعة	
أسطوانة متساوية المساحات بغض النظر عن الحمل والاحتكاك	أعظمي	Vmax= 0.424m/s	
	Y=2V	V=0.0848m/s	
أسطوانة متساوية المساحات مع الأخذ بالحسبان الحمل والاحتكاك	العظمى للصعود y=10V	V=0.366m/s	دون حمل
		V=0.424m/s	مع حمل
	العظمى للهبوط y=-10V	V_l=0.455m/s	
أسطوانة غير متساوية المساحات بغض النظر عن الحمل والاحتكاك	أعظمي	التقدم V=0.28m/s	
	أعظمي	التراجعV=0.2m/s	
أسطوانة غير متساوية المساحات بغض النظر عن الحمل وقوى الاحتكاك	التقدم العظمى	V=0.28m/s	
	التراجع العظمى	V=0.2m/s	
أسطوانة غير متساوية المساحات مع الأخذ بالحسبان الحمل وقوى الاحتكاك	Y=10V	العظمى للصعود دون حمل تقدم	V=0.2 m/s
		العظمى للصعود دون حمل تراجع	V=0.1 73m/s
	Y= -10V	العظمى للهبوط	V=0.2 8m/s
		العظمى للهبوط مع تقدم وفتحة عظمى	V=0.2 9m/s

المراجع:

1- الهيدروليك التناسبي – كتاب النظري. بني المرجـــة د. محمود، العلي م. نذير. دمشق - 2010 ، 126 صفحة.

2- مبادىء تقنيات الهيدروليك – مستوى المبتدئ. بنـــي المرجة، د. محمود. درويش، م. أبي. الرفاعي، م. محمد. دمشق – 2008، 205 صفحات.

3-Proportional Hydraulics, Workbook, Basic level. FESTO- DIDACTIC. 2008,120p.

4-Proportional Hydraulics, Workbook, Advanced level. FESTO- DIDACTIC. 2008, 160p.

5- Proportional and Servo Valve technology, The Hydraulic Trainer, Volume 2. R. Ewald, J. Hutter, D. Kertz, F. Liedhegener, W. Schenkel. A. Schmitt, M. Reik. HYDAC GmbH, Sulzbach.1989. 299p.

6-ElectoHydraulische Proportional-und Regelungstechnik in Theorie und Praxis. Werner GÖtz. Rober Bosch GmbH, 1989. 149p.

تاريخ ورود البحث إلى مجلة جامعة دمشق 2012/4/24