

نمذجة الأنظمة السيرفو هوائية

د.م. محمود بهاء الدين بني المرجة*

الملخص

تستطيع أجهزة القيادة السيرفو هوائية توليد قوى وسرعات عالية وتحريك العناصر بشكل دقيق جداً وسريع. وبمساعدة الصمامات التناسبية صار بمقدورنا التحكم بدقة الحركات وسرعتها في الدارات السيرفو هوائية. وبحسب المهمة المطلوبة، تستخدم الأسطوانات الخطية في معظم الأحيان. وقمنا بنمذجة نظام سيرفو هوائي باعتماد صمامات هواء تناسبية بملف واحد وبملفين تناسبيين للتحريض والقيادة. برهنا هنا أنه من الممكن اختيار حجم عناصر الأنظمة السيرفو هوائية ومواصفاتها، بالتشغيل أولاً على النموذج المحول إلى الخطي، ومن ثم فحص التأثيرات الكلية لهذا الاختيار مع نموذج النظام اللاخطي الكامل. وهذا يساعد على اختيار عناصر دارات الأنظمة السيرفو هوائية بشكل أفضل، ويسهل على المصمم تنفيذ الدارات الفعلية المعقدة التصاميم في مجالات الصناعات التي تستخدم مثل هذه التقنيات بشكل مبسط ودقيق بحيث تحقق الوثوقية المطلوبة منها بأقل التكاليف والجهود المبذولة للحصول على النتائج المرجوة.

الكلمات المفتاحية: صمام تناسبي، سيرفو هوائي، نمذجة، مضخم، ملف تناسبي.

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

البحث:

نتيجة للتطور الهائل في مجال الصناعة فقد تزايد مع الزمن مقدار تعقيد المهام المطلوبة من الآلات ومن ثمَّ ظهرت الحاجة للحصول على الحركات الدقيقة والسريعة لعناصر الآلات؛ مما فرض الحاجة للبحث عن أنواع جديدة من صمامات التحكم بالهواء المضغوط التي تقوم بالتحكم بالضغط أو بالتدفق أو بالاتجاه وبما يتناسب ومقدار التشويش الخارجي الذي تتعرض له هذه الآلات أو المهام المطلوبة من الآلة.

ظهرت عدة أنواع من الصمامات التناسبية تقود أنظمة السيرفو هوائية التي يجري التحكم بها عن طريق تغيير شدة التيار أو فرق الجهد المطبق على وشيعة التحكم (محول الإشارة) التي بدورها صارت تعطي أوامر الحركات بمقادير تتناسب وتغير شدة المجال المغناطيسي المتولد عن تلك الملفات التناسبية الكهربائية التي تتحكم بمقدار حركة القلب المتحرك للصمام أو بمقدار القوة المطبقة على عناصر التحكم بقلب الصمام الرئيس أو الصمام الطيار.

تصميم المضخم وعمله:

المضخمات للصمامات التناسبية هي عناصر ضرورية لتكبير الإشارة بحيث تصبح قيمتها قابلة للتعامل معها من قبل باقي عناصر نظام التحكم، وهنا نميز بين نوعين للمضخمات الأول يربط مباشرة بالصمام ضمن دائرة التحكم الخاصة به. والثاني يكون مفصلاً عن الصمام

ومركباً في لوحة التحكم للصمامات الصغيرة الحجم أو التي تعمل في أجواء تشويش للإشارات.

وظائف المضخم:

يبين الشكل (1- a) الوظائف الثلاث الأساسية لمضخم الصمام التناسبي:

§ عنصر التصحيح:

إن الهدف من هذا هو التعويض عن المنطقة الميتة للصمام.

§ جهاز التحكم بعرض النبضة: يستخدم هذا الجهاز لتحويل الإشارة.

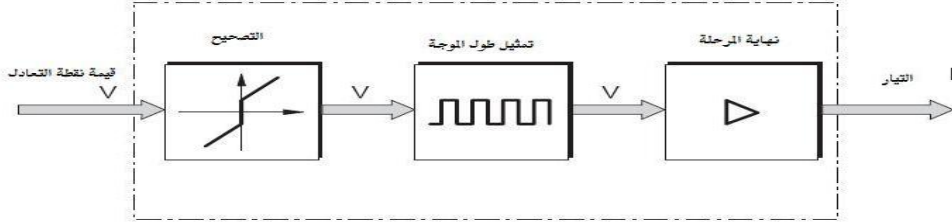
§ مرحلة الإخراج: وتزود هذه المرحلة الملف بالسعة الكهربائية المطلوبة. ومن أجل الصمامات ذات الملفات الكهربائية التناسبية المتحكم بموقعها، فإن تقييم الحساس والمتحكم الإلكتروني ذي الحلقة المغلقة يكون مدمجاً في المضخم (الشكل (1- b)) وتكون الوظائف الإضافية الآتية مطلوبة:

§ مصدر الجهد الكهربائي: يولد الجهد اللازم من أجل نظام القياس التحريضي.

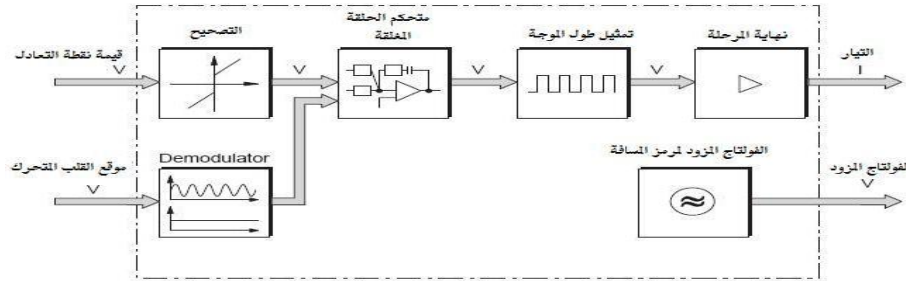
§ المتحكم بعرض النبضة: يحول مفكك إشارة المتحكم بعرض النبضة فرق الجهد المزود بواسطة نظام القياس.

§ متحكم الحلقة المغلقة: في متحكم الدارة المغلقة، يجري عمل مقارنة بين متحولات التصحيح المجهزة وموقع القلب المتحرك. وتولد إشارة الدخل للمتحكم بعرض النبضة تبعاً للنتيجة.

بدون تحكم بالموقع للقلب المتحرك



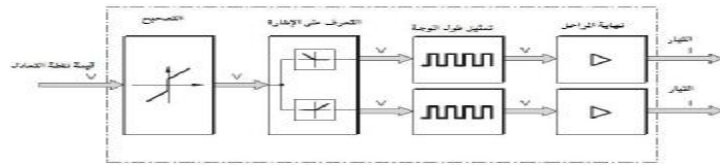
مع تحكم بالموقع للقلب المتحرك



الشكل (1) المخطط الصندوقي لمضخم بقناة واحدة

المضخم بمسار واحد وبمسارين: تنقسم المضخمات إلى نوعين بمسار واحد وبمسارين: إذ يكون المضخم بمسار واحد ملائماً للصمامات أحادية الملف، وذو المسارين للصمامات الثنائية الملفات. أمّا

صمامات التحكم بالاتجاه المفعلة بواسطة ملفين كهربائيين فتتطلب مضخماً بمسارين. وبالاعتماد على حالة إشارة التحكم، يطبق تيار إما على الملف الكهربائي من الطرف اليميني أو اليساري فقط، الشكل (2).



الشكل (2) مضخم بقناتين (من دون تحكم بموقع القلب المتحرك)

خصائص شكل نبضة جهاز التحكم بعرض النبضة: يبين الشكل (3) مبادئ جهاز التحكم بعرض النبضة. إذ يُحوّل الجهد الكهربائي إلى نبضات. وتُولدُ 10000 نبضة في الثانية تقريباً. وعندما تبدأ مرحلة الإخراج بالاكتمال، فإن الإشارة ذات الشكل النبضي تبدأ بالتأثير في الملف الكهربائي التناسبي.

لإشارة التردد العالي تعرف بتأثير الارتجاج. وهناك مضخمات محددة تسمح للمستخدم بتوليد إشارة ارتجاج إضافية بغض النظر عن التحكم بعرض النبضة.

تسخين المضخم:

نتيجة للتحكم بعرض النبضة. تحدث ثلاث مراحل تغيرات في ترانزيستورات المرحلة النهائية:

§ قيمة الإشارة الأقل: الترانزيستور يكون مكبوتاً، وفقدان الطاقة في الترانزيستور صفراً، في حين لا يتدفق تيار.

§ قيمة الإشارة الأعلى: الترانزيستور يكون موصلاً. ومقاومة الترانزيستور في هذه الحالة صغيرة جداً وتترافق مع فقدان قليل جداً للطاقة.

§ حافات الإشارة: الترانزيستور يتغير. لما كان التغير سريعاً جداً، فإن فقدان القدرة قليل جداً في هذه الحالة. وعموماً، فإن فقدان القدرة هنا أقل بشكل معتبر من المضخم من دون تحكم بعرض النبضة. وتصبح التجهيزات الالكترونية أقل سخونة مما له تأثير ايجابي في القدرة، كما أن أبعاد المضخم تكون أصغر. [4]

ولما كان تهيج الملف الكهربائي التناسبي عالياً، فإن التيار لا يستطيع التبديل بسرعة كالجهود الكهربائي. ويتأرجح التيار بشكل بسيط فقط حول قيمة وسطى.

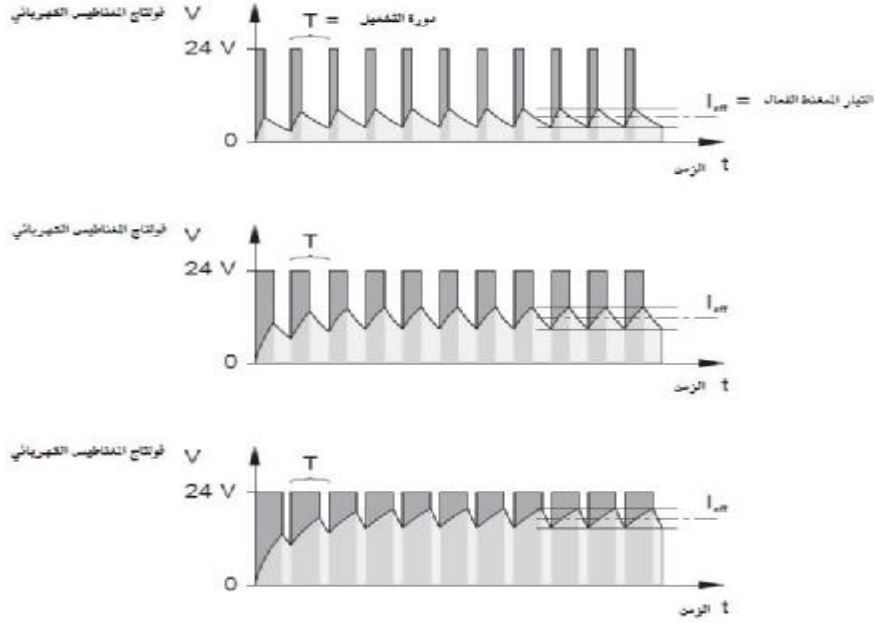
§ يُنشأ فرق جهد كهربائي صغير كإشارة دخل نبضات صغيرة. ويكون معدل التيار الكهربائي المار خلال الملف الكهربائي صغيراً.

§ كلما ازداد الجهد الكهربائي، ازداد عرض النبضة. وكذلك فمعدل التيار الكهربائي المار من خلال الملف الكهربائي يزداد.

ويكون معدل التيار المار من خلال الملف الكهربائي وجهد الدخل للمضخم متناسبين كل منهما مع الآخر. [2].

تأثير الارتجاج:

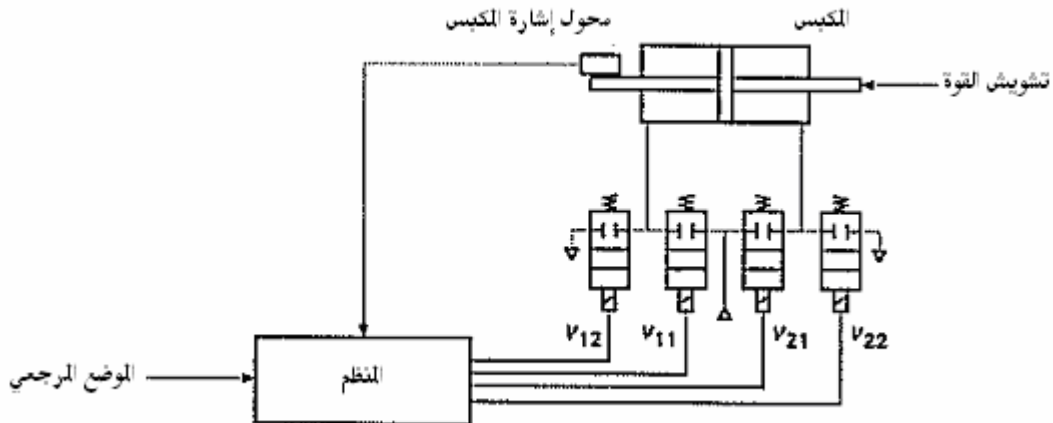
إن النبض البسيط للتيار ونتيجة للتحكم بعرض النبضة يسبب ظهور اهتزاز صغير لمحور مكبس الصمام وقلب صمام التحكم المتحرك للصمام عند الترددات العالية. ولذلك لا يحدث احتكاك سكوني، وتتنخفض بشكل واضح كل من عتبة الاستجابة، ومجال الانعكاس وتخلفية ملف الصمام. والانخفاض في الاحتكاك وتخلفية الملف كنتيجة



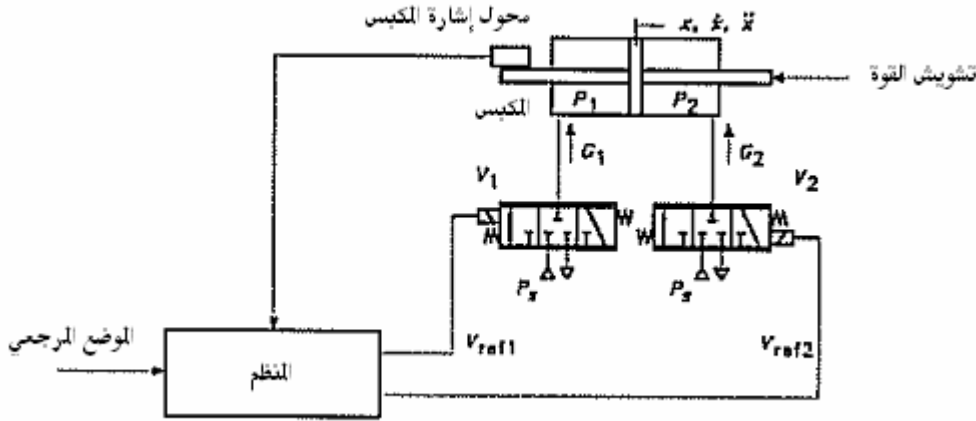
الشكل (3) تمثيل طول النبضة لجهاز التحكم

في الدارة الموضحة في الشكل (4) يحدد موضع محور المكبس والتغذية المرتردة لمحول إشارة التوضع من خلال التحكم بالضغط في حجرات الدفع 1 و 2؛ وذلك عن طريق استخدام الجسور البينية المتناسبة مع التدفق.

يجب أن تكون إشارة محول الإشارة لعرض النبضة المطلوب عبارة عن تغذية مرتدة للمنظم في الحلقة المغلقة؛ وذلك بالاعتماد على قيم عرض النبضات المحددة. [1].



الشكل (4) مخطط النظام السيرفو هوائي ذو الصمامات الرقمية ثنائية الوضعيات.



الشكل (5) مخطط النظام السيرفو هوائي ذو الصمامات التناسبية ثلاثية الوضعيات.

يقارن الموضع المرجعي بإشارة التغذية المرتدة ويُعوَضُ الخطأ في منظم التحكم. وبالاعتماد على إستراتيجية فتح الصمام المستخدمة، ترسل الإشارة إلى صمامات التنظيم التي تغذي حجرات المكبس التي يفترض أن تكون متناسقة. قوى الضغط المؤثرة في سطوح الدفع للمكبس تعاكس تشويش القوة الخارجية. تفترض الدارة التخطيطية استخدام أربعة صمامات رقمية كل منها ذو وضعيتين غير مستقرتين، ويجري التحكم بكل منها كهربائياً، إن هذا الحل يوفر إمكانية استخدام صمامات صغيرة الحجم ذات عرض موجة كبير الذي يجب أن يكون متوافقاً مع عرض الموجة الكلي المطلوب في الأنظمة السيرفو هوائية. يتم الحصول على تناسب في فتحة الصمامات من خلال التحكم بعرض نبضة الإشارة الرقمية، كل زوج من الصمامات V_{11} , V_{12} و V_{21} , V_{22} عبارة عن صمام ثلاثي الوضعيات الذي يُوصَلُ مخرجه إلى حجرة المكبس، لذلك نجد أن المخطط الموضح في الشكل (4) مكافئاً للمخطط الموضح في الشكل (5) ذي الصمامات

يقارن الموضع المرجعي بإشارة التغذية المرتدة ويُعوَضُ الخطأ في منظم التحكم. وبالاعتماد على إستراتيجية فتح الصمام المستخدمة، ترسل الإشارة إلى صمامات التنظيم التي تغذي حجرات المكبس التي يفترض أن تكون متناسقة. قوى الضغط المؤثرة في سطوح الدفع للمكبس تعاكس تشويش القوة الخارجية. تفترض الدارة التخطيطية استخدام أربعة صمامات رقمية كل منها ذو وضعيتين غير مستقرتين، ويجري التحكم بكل منها كهربائياً، إن هذا الحل يوفر إمكانية استخدام صمامات صغيرة الحجم ذات عرض موجة كبير الذي يجب أن يكون متوافقاً مع عرض الموجة الكلي المطلوب في الأنظمة السيرفو هوائية. يتم الحصول على تناسب في فتحة الصمامات من خلال التحكم بعرض نبضة الإشارة الرقمية، كل زوج من الصمامات V_{11} , V_{12} و V_{21} , V_{22} عبارة عن صمام ثلاثي الوضعيات الذي يُوصَلُ مخرجه إلى حجرة المكبس، لذلك نجد أن المخطط الموضح في الشكل (4) مكافئاً للمخطط الموضح في الشكل (5) ذي الصمامات

تتضمن المعادلات التالية:

$$dP_1/dt = G_1 n R T_{1i} / [A_1 (x_0 + x_{m1} + x) (P_1 / P_{1i})^{(1-n)/n}] - P_1 n / (x_0 + x_{m1} + x) \cdot dx/dt$$

$$dP_2/dt = G_2 n R T_{2i} / [A_2 (x_0 + x_{m2} - x) (P_2 / P_{2i})^{(1-n)/n}] + P_2 n / (x_0 + x_{m2} - x) \cdot dx/dt$$

$$d^2x/dt^2 = [(P_1 - P_{amb})A_1 - (P_2 - P_{amb})A_2 - F_e - \gamma dx/dt] / M$$

نعتمد الرموز والمصطلحات الآتية في المعادلات المستخدمة إذ إن قيم عرض الموجات الآتية هي قيم تفاضلية (الرمز السفلي المكتوب أسفل الرموز الآتية 1 يشير إلى خلف حجرات المكابس والرقم 2 يشير إلى أمام حجرات المكابس).

تتضمن المعادلات التالية:

$$dP_1/dt = G_1 n R T_{1i} / [A_1 (x_0 + x_{m1} + x) (P_1 / P_{1i})^{(1-n)/n}] - P_1 n / (x_0 + x_{m1} + x) \cdot dx/dt$$

$$dP_2/dt = G_2 n R T_{2i} / [A_2 (x_0 + x_{m2} - x) (P_2 / P_{2i})^{(1-n)/n}] + P_2 n / (x_0 + x_{m2} - x) \cdot dx/dt$$

$$d^2x/dt^2 = [(P_1 - P_{amb})A_1 - (P_2 - P_{amb})A_2 - F_e - \gamma dx/dt] / M$$

نعتمد الرموز والمصطلحات الآتية في المعادلات المستخدمة إذ إن قيم عرض الموجات الآتية هي قيم تفاضلية (الرمز السفلي المكتوب أسفل الرموز الآتية 1 يشير إلى خلف حجرات المكابس والرقم 2 يشير إلى أمام حجرات المكابس).

A: قسم الدفع من المكبس.

F_e : تشويش القوة المؤثرة في ذراع المكبس.

G: نسبة التدفق الكتلي للهواء الداخل إلى الحجرة.

M: كتلة الأجزاء المتحركة للمكبس.

η : ثابت الهواء البوليتروبي.

وصلة اللفظ للمستخدم، عندئذٍ يجب إعادة كتابة المعادلة المناسبة للتدفق في الأعلى بالطريقة نفسها. عند حساب ناقلية الصمام التناسبي للتدفق يجب أن نأخذ بالحسبان العلاقة الستاتيكية والديناميكية بين الجهد المرجعي V_{ref} ومقدار فتحة ثقب المرور A_v ؛ وذلك وفقاً لنمذجة الدرجة الثانية للنوع.

يجب أن تحدد فتحة ثقب المرور بالعلاقة:

$$d^2 A_v / dt^2 + 2\zeta \sigma_n dA_v / dt + \sigma_n^2 A_v = K_s \sigma_n^2 V_{ref}$$

إذ ζ معامل التخميد، σ_n التردد الطبيعي للصمام، K_s الريح الستاتيكي لمساحة الصمام.

عند افتراض أن العلاقة استاتيكية للنوع الخطي بين مقدار الفتحة A_v والناقلية C بشكل تقريبي نحصل عندئذٍ على:

$$C = K_c A_v = K_c K_s V_{ref} = K_v V_{ref}$$

إذ إن K_v الريح الستاتيكي للتدفق للصمام والتي هي تابع للناقلية الأعظمية C_{max} وللقيمة الأعظمية للجهد المرجعي $V_{ref max}$:

$$K_v = C_{max} / V_{ref max}$$

تحدد العلاقة الديناميكية الكاملة بين الجهد المرجعي والناقلية بالمعادلة الآتية:

$$d^2 C / dt^2 + 2\zeta \sigma_n dC / dt + \sigma_n^2 C = K_c \sigma_n^2 V_{ref}$$

يتعين النموذج اللاخطي للنظام السيرفو هوائي وذلك بدلالة الموضع X_{set} وتشويش القوة F_c كمدخل من نظام لاخطي مكون من تسع معادلات من الدرجة الثانية:

- $C_1 = C_1(V_{ref 1}, t)$ order 2
معادلة من الدرجة الثانية، ناقلية الصمام V_1 .
- $C_2 = C_2(V_{ref 2}, t)$ order 2
معادلة من الدرجة 0، نسبة التدفق للصمام V_1 .
- $G_1 = G_1(C_1, P_1)$ order 0
معادلة من الدرجة 0، نسبة التدفق للصمام V_1 .
- $G_2 = G_2(C_2, P_2)$ order 0
معادلة من الدرجة الأولى، نسبة التدفق للصمام V_2 .

P : ضغط حجرة الأسطوانة.

P_i : الضغط البدائي في حجرة الأسطوانة.

P_{amb} : ضغط الوسط المحيط.

R : ثابت الهواء.

T_i : درجة الحرارة البدائية للهواء داخل حجرة الأسطوانة.

X : موضع الذراع مقيساً بدءاً من X_0 .

X_0 : نصف شوط المكبس.

X_m : النبضة الميتة.

γ : معامل الاحتكاك للزج.

ينمذج الصمام التناسبي V_1 كمتحول لمقاومة الجزء الهوائي. والمعادلات المستخدمة من أجل حساب نسبة التدفق الكتلي G من خلال المقاومة الهوائية (التي يُعَبَّرُ عنها من خلال الناقلية C والنسبة الحرجة b ؛ وذلك وفقاً لنظام ISO 6358) التي تتصل بالحجرتين A, B ذوات الضغوط P_A, P_B هي كالتالي:

الجريان (التدفق) الصوتي:

$$G = \rho_0 P_A C \quad \text{for } 0 < P_B / P_A \leq b \quad (1)$$

الجريان تحت الصوتي:

$$G = \rho_0 P_A C \sqrt{1 - [P_B / P_A - b / (1 - b)]^2} \quad \text{for } b < P_B / P_A \leq 1 \quad (2)$$

الجريان الصوتي:

$$G = -\rho_0 P_B C \quad \text{for } 0 < P_A / P_B \leq b \quad (3)$$

الجريان تحت الصوتي:

$$G = -\rho_0 P_B C \sqrt{1 - [P_A / P_B - b / (1 - b)]^2} \quad \text{for } b < P_A / P_B \leq 1 \quad (4)$$

إذ: ρ_0 : كثافة الهواء

P_A : الضغط بالحجرة A

P_B : الضغط بالحجرة B

نفترض أن الإشارة المرجعية ثنائية القطبية، ومن الممكن أن نفترض أيضاً أن المجال $V_{ref} > 0$ يتوافق مع وصلة التغذية للمستخدم، في حين يتوافق المجال $V_{ref} < 0$ مع

$$G_1 = K_{L1}(P_s - P_1)$$

إذ إن:

$$K_{L1} = G_{1sonic}/(P_s - b_1^* P_s) = \rho_n C_1 P_s / [P_s(1 - b_1^*)] = \rho_n C_1 / (1 - b_1^*)$$

أو

$$G_1 = \rho_n (P_s - P_1) C_1 / (1 - b_1^*)$$

ولما كان $p_1 = p_{1r}$ و $C_1 = C_{1r} = 0$ (إذ يشير الرمز r إلى القيم المرجعية) وجدنا أن:

$$G_1 = \rho_n (P_s - P_{1r}) C_1 / (1 - b_1^*) = K_{11} C_1$$

تبقى المعادلة السابقة فعّالة من أجل $V_{ref1} > 0$ التي تتوافق مع $C_1 > 0$.

ويعبر عن نسبة تدفق التفريغ بالعلاقة:

$$G_1 = \rho_n C_1 P_1$$

وبتعويض $p_1 = p_{1r}$ نحصل على:

$$G_1 = \rho_n P_{1r} C_1 = K_{12} C_1$$

والمعادلة السابقة فعّالة من أجل $V_{ref1} < 0$ التي تتوافق مع $C_1 < 0$.

يُحسب متوسط الانحدارات K_{11} , K_{12} للحصول على الانحدار المتوسط المعطى بالعلاقة الآتية:

$$K_{mean} = (K_{11} + K_{12}) / 2 = \rho_n (P_s - b_1^* P_{1r}) / [2(1 - b_1^*)]$$

تصبح عندئذٍ نسبة التدفق الخطية كتابع ل C_1 كالآتي:

$$G_1 = \rho_n (P_s - b_1^* P_{1r}) C_1 / [2(1 - b_1^*)] = K_1 C_1$$

$$e) G_1 = G_1(P_1, P_1, x, x \cdot) \quad \text{order 1}$$

معادلة من الدرجة الأولى، حجرة الاستمرار 1.

$$f) G_2 = G_2(P_2, P_2, x, x \cdot) \quad \text{order 1}$$

معادلة من الدرجة الثانية، حجرة الاستمرار 2.

$$g) x \cdot = x \cdot (F_e, P_1, P_2, x \cdot) \quad \text{order 2}$$

معادلة من الدرجة 0، توازن المكبس.

$$h) V_{ref1} = V_{ref1}(x_{set}, x_{ret}) \quad \text{order 0}$$

معادلة من الدرجة صفر، التحكم بالصمام V1.

$$i) V_{ref2} = V_{ref2}(x_{set}, x_{ret}) \quad \text{order 0}$$

معادلة من الدرجة صفر، التحكم بالصمام V2.

إذا أردنا إجراء تحليل خطي، نفترض أن المعادلات السابقة a, b, g, h, i مكتوبة بشكل خطي. وكذلك

بالنسبة إلى نسب التدفق للصمامات c, d إذ يفترض أن

نسبة التدفق لكل منها هي تحت صوتية في التغذية (عند

الدخل)؛ وذلك عند $V_{ref} > 0$ وصوتية عند التفريغ (عند

الخروج)؛ وذلك عند $V_{ref} < 0$.

وهذا يعني أنه من أجل الصمام V1 (على سبيل المثال)

يجب أن يكون الضغط P_1 ضمن المجال $bP_s < P_1 \leq P_s$

عند التغذية، وضمن المجال $P_1 \geq P_{amb}/b$ عند الخرج.

هذا الافتراض مقبول فيزيائياً، نفترض في العلاقة (2)

أن $b=0.3$ و $P_s=10 \text{ bar}$ و $P_{amb} = 1 \text{ bar}$ فنجد عندئذٍ

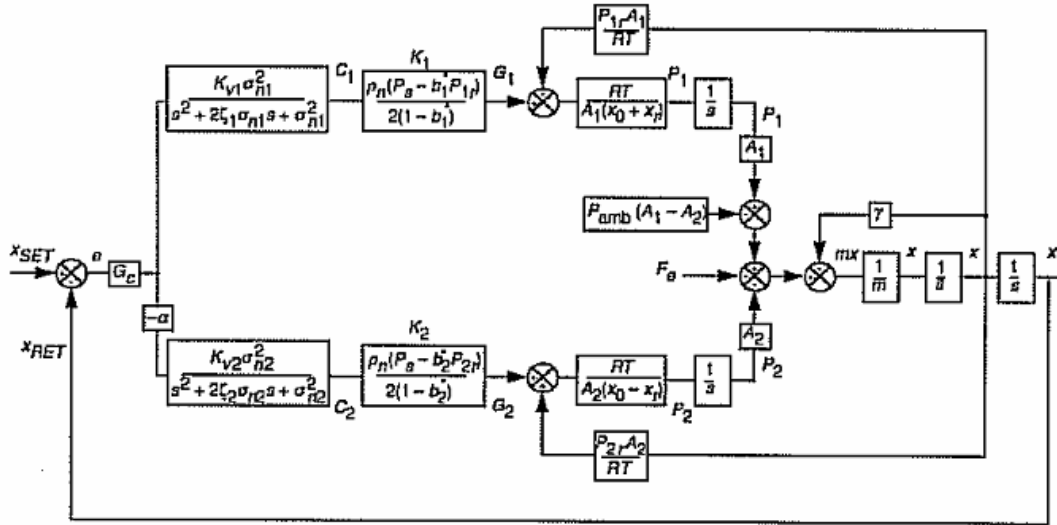
أن P_1 تتغير بين 3.33 bar و 10 bar ، وكذلك بالنسبة

إلى P_2 .

يُحوّل منحنى نسبة التدفق تحت الصوتي المغذى إلى

علاقة خطية من خلال النقاط $P_1=P_s$ و $G_1=0$

و $P_1=b_1^* P_s$.



الشكل (6) المخطط الصندوقي للنموذج الخطي للنظام السيرفو هوائي مع التحكم بالتوضع.

K_{OLF} : ربح تشويش القوة.

σ_A : التردد الطبيعي للمؤازر (الأسطوانة).

ζ_A : معامل التخميد.

G_c : قانون التعويض.

توضح هذه النتيجة في المخططين الصندوقيين في الشكل (7) والشكل (8)، ومن جهة أخرى يظهر المخطط الكتلي ذو الحلقة المغلقة مع التغذية المرتدة للتوضع بالنسبة إلى قلب الملف التناسبي في الصمام السيرفو هوائي. [3].

ويمكن ملاحظة التشابهات الملموسة في الدراسة للصمامات السيرفو هوائية عندما تقارن هذه المخططات ببارامترات مخططات الأنظمة السيرفو هيدروليكية. [4]. وهي أنظمة متشابهة من حيث المبدأ في أسلوب التحكم بها.

وبالطريقة نفسها من أجل الصمام V_2 يمكن أن نحصل على:

$G_2 = \rho_n(P_s - b_2^* P_{2r}) C_2 / [2(1-b_2^*)] = K_2 C_2$
معادلات استمرارية الكتلة في حجرات المكبس e, f تحول إلى الخطية في المستوى المجاور المحدد من خلال:

$$x = x_1, P_1 = P_{1r}, P_2 = P_{2r}, \\ P_{1r} = P_{1r} = 0, P_{2r} = P_{2r} = 0, x = x_r = 0 \\ X_{m1} = x_{m2} = 0, n=1$$

وتصبح كالاتي:

$$G_1 = P_{1r} A_1 x / (RT) + A_1 (x_0 + x_r) P_{1r} / (RT) \\ G_2 = P_{2r} A_2 x / (RT) + A_2 (x_0 - x_r) P_{2r} / (RT)$$

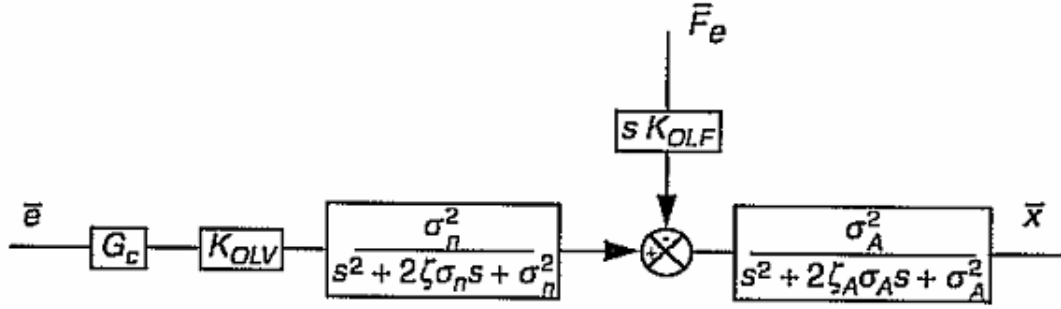
المخطط الصندوقي للنموذج المحول إلى الخطي موضح في الشكل (6).

بتطبيق تحويلات لابلاس على النظام ذي المعادلات المحولة إلى الخطية، إذ نفترض أن القيم ذاتها، نحصل على الآتي:

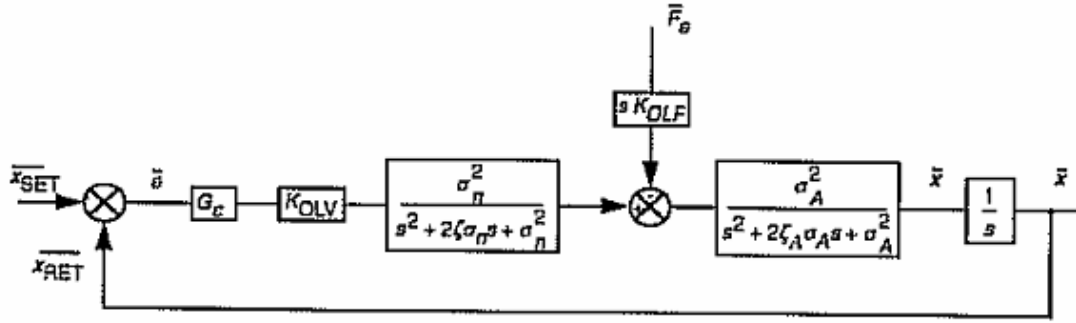
$$\dot{x} = \frac{\sigma_1^2}{(s^2 + 2\zeta_1 \sigma_1 s + \sigma_1^2)} G_1 K_{OLV} z - \frac{\sigma_1^2}{(s^2 + 2\zeta_1 \sigma_1 s + \sigma_1^2)} K_{OLV} \dot{x} + C.I.$$

إذ إن C.I: الشروط البدائية.

K_{OLF} : الربح السناتيكي في السرعة.



الشكل (7) المخطط الصندوقي لنموذج الحلقة المفتوحة.



الشكل (8) المخطط الصندوقي لنموذج الحلقة المغلقة.

الخطي، ومن ثم فحص التأثيرات الكلية لهذا الاختيار مع نموذج النظام اللا خطي الكامل. وهذا يساعد في اختيار عناصر دارات الأنظمة السيرفو هوائية بشكل أفضل، ويسهل عمل المصمم لتنفيذ الدارات الفعلية المعقدة التصاميم في مجالات الصناعات التي تستخدم مثل هذه التقنيات بشكل مبسط ودقيق بحيث تحقق الوثوقية المطلوبة منها بأقل التكاليف والجهود المبذولة للحصول على النتائج المرجوة

وبشكل عملي نفترض أن:

$$P_{1r} = P_{2r} = \delta P_s \quad \text{with } \delta \in 0.6 - 0.9$$

$$A_1 = A_2 = A$$

$$n = 1 \quad \text{التحول الأيزوترمي.}$$

نستطيع التعبير عن البارامترات المهمة في الأنظمة السيرفو هوائية كالاتي:

$$K_{olv} = RT\rho_n K_v (1/\delta - b^*) / [2(1-b^*)A(1-b^*)]$$

$$K_{olf} = x_0 [1 - (x_r/x_0)^2] / (2\delta P_s A)$$

$$\sigma_A = \sqrt{2\delta P_s A \{x_0 m [1 - (x_r/x_0)^2]\}}$$

$$\zeta_A = \gamma \sqrt{\{x_0 [1 - (x_r/x_0)^2] / (8\delta P_s A m)\}}$$

النتيجة:

بالاعتماد على مواصفات التصميم السابقة، فإنه من الممكن اختيار حجم عناصر الأنظمة السيرفو هوائية ومواصفاتها، بالتشغيل أولاً على النموذج المحول إلى

المراجع العلمية*

- 1- الأنظمة السيرفو هوائية- كتاب التمارين. د. محمود بني المرجة، م. منال السعودي. فيستو للتعليم والتدريب، 2009 مترجم، 180 صفحة.
- 2- التحكم الآلي والأتمتة الإنتاجية. د. محمود بني المرجة، جامعة دمشق - 2012، 675 صفحة.
- 3- دارات التحكم المغلقة في أنظمة الهواء المضغوط. كتاب العملي - مستوى المبتدئ. د. محمود بني المرجة، م. وسيم النواصرة. فيستو للتعليم والتدريب، 2008، 209 صفحات.
- 4- الهيدروليك التناسبي - كتاب النظري. د. محمود بني المرجة، م. نذير العلي، فيستو للتعليم والتدريب، 2010، 126 صفحة.
- 5- التوضيح السيرفو هوائي - كتاب العملي. ابيرهاردت ه. ج.، شولز د. فيستو للتعليم والتدريب، دينكندورف، 2001، 289 صفحة.

References:

- 1- Servo pneumatic Systems, Workbook. Dr.Eng. Mahmoud Bani Marjeh, Eng. Manal Saudi, FESTO-Didactic.2009, 180p.
- 2- Automatic Control and Production Automation, Dr.Eng. Mahmoud Bani Marjeh. Damascus University, 2012, 675p.
- 3- Closed Loop Systems In Pneumatic Systems. Workbook. Dr.Eng. Mahmoud Bani Marjeh, Eng. Waseem Nawasrah. FESTO-Didactic.2008, 209p.
- 4- Proportional Hydraulics- Theoretical book. Dr. Eng.Mahmoud Bani Marjeh, Eng. Nazeer Ali, FESTO Didactic, 2010, 126p.
- 5-Servo-Pneumatic Posioning - Workbook.Eberhardt H.J, Scholz D. Festo Didactic GmbH & Co., Denkendorf, 2001,289p.