

PULS GENİŞLİĞİ MODÜLASYONU İLE HİDROLİK ORANSAL BİR SİSTEMİN SÜRÜLMESİ

Hasan Basri ULAŞ¹, Eşref ÇINAR², Musa BİLGİN³

ÖZET

Bu çalışmada, puls genişliği modülasyonu ile elektro-hidrolik oransal bir sistemin açık çevrim davranışları laboratuvar ortamında deneysel olarak incelenmiştir. Çalışmanın ilk aşamasında sistemin matematiksel modeli teorik olarak çıkarılmıştır. Daha sonra çalışmanın diğer aşamasında sistemin tamamını ifade edebilmesi açısından Matlab[®] Simulink[®] ortamında Matlab System Identification Toolbox kullanılarak matematiksel model oluşturulmuştur. Pistonun konum bilgisi LVDT ile Simulink'e aktarılmıştır. Ayrıca buradan, pistonun hız bilgisine de ulaşılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Puls genişliği modülasyonu, oransal valf, hidrolik konum kontrolü.

HYDRAULIC PROPORTIONAL SYSTEM MOVING WITH THE PWM

ABSTRACT

In this study, the open loop behaviours of a pulse-width modulated electro-hydraulic proportional system is investigated experimentally in a laboratory environment. In the first part of the study, mathematical model of the system is calculated theoretically. The other phase of the study, Matlab[®] Simulink[®] environment complete system to express the mathematical model has been developed using Matlab System Identification Toolbox. The piston position information is transferred to Simulink with LVDT. Also here, the information the piston velocity has been reached.

Keywords: Pulse-width modulation, proportional valve, hydraulic position control.

Giriş

Hidrolik oransal valfler, günümüzde hassas konumlandırma sistemlerinde geniş bir yelpazede kullanılmaktadır (Muraru ve arkadaşı, 2002; Koçer, Canal ve Güler, 2000; Swider, Wszolek ve Carvalho, 2005). Birçok deneysel ve sayısal araştırmacılar bu valflerin ulaşılabilirliğini artırmak, üretim maliyetlerinin düşürmek ve performanslarını artırmak amacıyla bu alanda çalışmaktadır. Bu valflerin hassasiyetlerini ve yanıt sürelerini artırmak amacı ile son yıllarda farklı iç profil dizaynları ve elektronik sürücüler geliştirilmiştir.

İlk yaklaşım olarak kompanzasyon profillerinin eklenmesiyle veya olukların açılması ile iç akış alanında önemli özellikler tespit edilmiş dolayısıyla da spoolun üzerine gelen kuvvetler azaltılmıştır (Amirante, Catalano ve Moscatelli, 2007). İkinci yaklaşım ise bu çalışmanın da amacı olarak son yıllarda daha hızlı ve daha hassas kontrol stratejilerinin geliştirilmesine dayanır (Sampson ve arkadaşları, 2004). Bu iki yaklaşımı karşı karşıya getirilmek yerine beraber kullanımı daha akıllıca olacaktır (Amirante, Innone ve Catalano, 2008). Özellikle ikinci yaklaşım sayesinde servo valflere göre çok daha ucuz olan solenoid ve oransal valfler ile servo sistemler oluşturulabilmektedir.

Bu çalışmada kullanılacak olan PWM tekniği de kontrol tekniklerinden bir tanesidir. PWM tekniği özellikle hidrolik düzeneklerdeki tutuk hareket olayını önemli ölçüde yenmektedir.

Amirante ve arkadaşları, 2008 yılındaki çalışmalarında oransal yön kontrol valflerine PWM uygulayarak oransal valflerin tepki hızını test etmişlerdir. Keleş ve arkadaşı 2004 yılındaki çalışmalarında servovalf, piston ve yükten oluşan sistemlerine PWM tekniği uygulamışlardır. Çalışmalarında puls genişliği modülasyonlu basamak, rampa ve sinüsoidal referans girişler açık ve kapalı çevrim sistemlerinin cevaplarını bulmuşlardır.

Heon ve arkadaşı, 2002 yılındaki çalışmalarında hidrolik 3 yollu açık/kapalı bir solenoid valfin PWM sinyali ile basınç kontrolü üzerine bir çalışma yapmışlardır. Çalışmada bilgisayara bağlı basınç kontrolcüsü, PWM sinyalleri üretebilen DAC kartı (i80c196), açık/kapalı solenoid valf ve basınç sensörü kullanmışlardır.

¹ Yrd. Doç. Dr., Gazi Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, bulas@gazi.edu.tr

² Mekanik Analiz Mühendisi, Robutel Elektronik, esrefcinartr@yahoo.com

³ Öğretim Görevlisi, Erzincan Üniversitesi, Meslek Yüksekokulu, mbilgin@erzincan.edu.tr

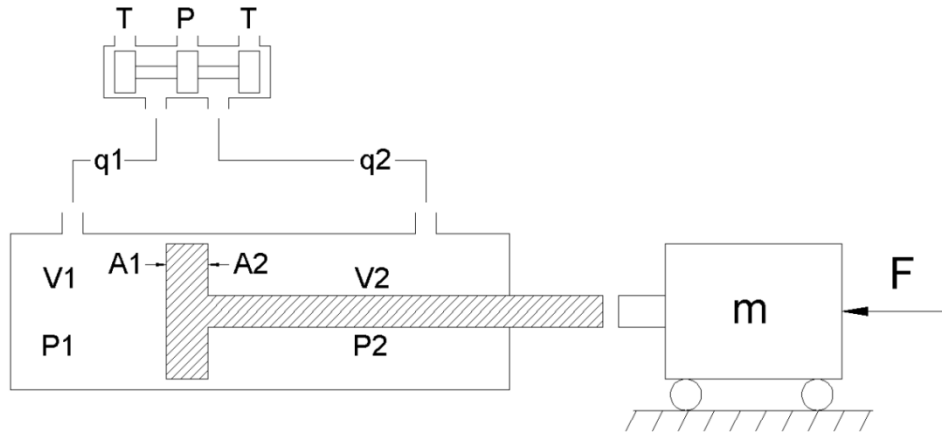
Rahman ve arkadaşları, 1996 yılında ki çalışmalarında küçük bir pistonunu, etrafında manyetik alan oluşturarak kontrol etmişlerdir. Burada ki selenoid nüve PWM tekniği ile kontrol edilmiştir.

Teorik Esaslar Ve Matematiksel Model

Sistemimizi matematiksel olarak modelleme yapabilmemiz için dinamik sistem adı altında ele alacağız. Dinamik sistemi tanımlamak gerekirse, sistemin özelliklerini belirleyen unsurlar zamana göre değişiyorsa bu tür sistemlere dinamik sistemler denir (Ercan, 2003).

Kontrol sistemleri klasik ve modern olmak üzere ikiye ayrılır. Klasik kontrolde Laplace trans formları kullanılarak tek-giriş-tek çıkış sistemler çözümlenir. Modern kontrol de ise durum değişkenleri ve zaman tanım bölgesi ile çok giriş-çok çıkış sistemler çözümlenir. Modern kontrol sistemlerinde durum değişkenlerini tanımlamak gerekirse; bir dinamik sistemin herhangi bir t_0 anındaki durumu tam olarak belirleyen bağımsız ve minimum sayıdaki değişkenlere denir (Ercan, 2003).

Bu çalışmada teorik esaslar ele alındığında sistemin, valf dinamiği ve yük dinamiği olmak üzere iki ana bölümden oluşan modeli vardır. Valf modeli, valf sürücüsünün elektromekanik dinamiğini ve valf sürgüsü konumu ile istek sinyali arasındaki bağıntıyı içermektedir (Ercan, 1995). Sistemin yük dinamiği ise yük, piston-silindir arasındaki viskoz sürtünme ve sürgü konumu ile yük konumu arasındaki dinamik bağıntıdan oluşturulmuştur. Bu modeller teorik esaslar ve valf katalog değerleri ele alınarak çıkartılması oldukça zordur. Ancak çalışmanın deneysel aşamasında bu dinamik bağıntılar sistemi tamamıyla ifade edemeyeceğinden dolayı kullanılmayacaktır. Bundan dolayı sistemin tamamını ifade eden transfer fonksiyonu istek sinyaline karşılık gelen çıkış sinyalleri ele alınıp Matlab System Identification Toolbox kullanılarak matematiksel model oluşturulacaktır. Bu şekilde yapılacak uygulamada valfin elektriksel ve mekanik dinamiği (sürgü dinamiği) bütünüyle kapsanmış olacaktır.



Şekil1. Hidrolik Sistemin Fiziksel Modeli

Valf dinamiği

Valftaki sızıntılar ihmal edildiğinde silindirin 1. ve 2. bölmelerine giden debiyi karakterize eden denklemler aşağıdaki gibi ifade edilebilir.

$$q_1 = \begin{cases} u \geq 0 \text{ için,} & k_1 u \sqrt{P - P_1} \\ u < 0 \text{ için,} & k_2 u \sqrt{P_1 - T} \end{cases} \quad q_2 = \begin{cases} u \geq 0 \text{ için,} & -k_3 u \sqrt{P_2 - T} \\ u < 0 \text{ için,} & -k_4 u \sqrt{P - P_2} \end{cases}$$

k_1, k_2, k_3 ve k_4 valf orifis sabitleridir.

Doğrusallaştırılmış valf dinamiği aşağıdaki gibidir;

$$Q_L = K_q x_v - K_c P_L$$

$$K_q = k_v c_d \omega \sqrt{\frac{1}{\rho} \sqrt{P_s - \text{sgn}(x_v) P_L}}$$

$$P_L = P_1 - P_2$$

Giriş akımına karşılık valf makarasının pozisyon dinamiğinin transfer fonksiyonu;

$$\frac{Y(s)}{I(s)} = \frac{K_q \omega_n^2}{s^2 + 2\zeta \omega_n s + \omega_n^2}$$

Piston Dinamiği

Newton'un ikinci hareket kanuna göre pistonun hareketi aşağıdaki denklemle ifade edilir.

$$m\ddot{x} = P_1A_1 - P_2A_2 - f_v\dot{x} - F$$

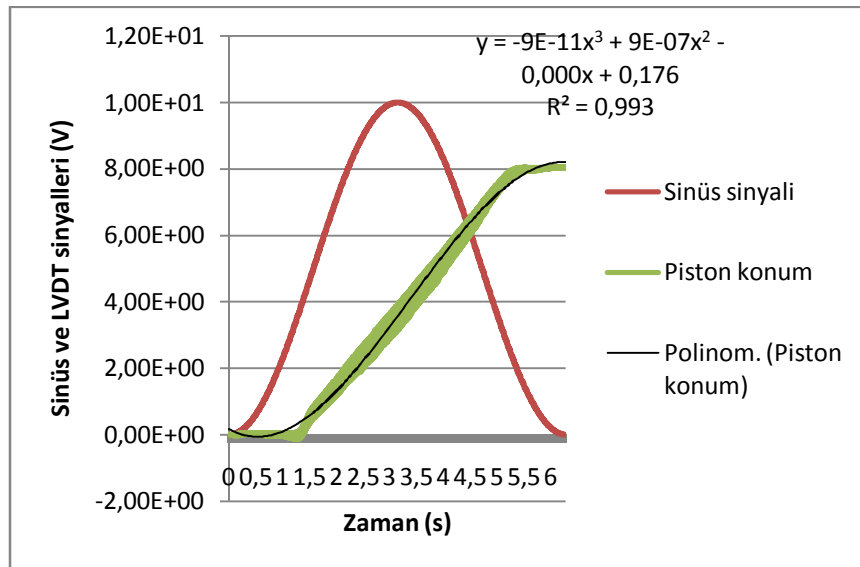
Buradan transfer fonksiyonu, giriş olarak oransal valfe uygulanan voltaj ve çıkış olarak da pistonun pozisyonu ele aldığımızda aşağıdaki gibi olur.

$$\frac{Y(s)}{R(s)} = \frac{K_q\omega_n^2}{As^3 + 2\zeta\omega_nAs^2 + A\omega_n^2s + K_q\omega_n^2K_{tk}}$$

Deneysel Çalışmalar

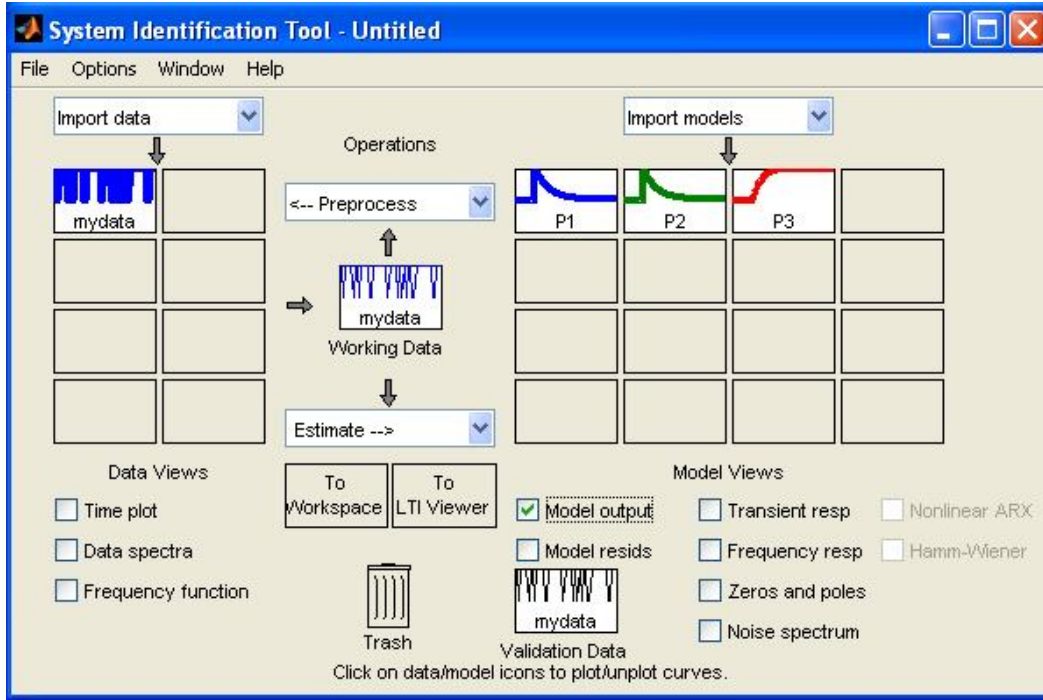
Valfin elektriksel ve mekanik dinamiğinin modellenmesi için valf bobin endüktans ve direnç değerlerinin, sürgü kütlesi ve içinde bulunduğu ortamın viskoz sürtünme katsayısının sayısal olarak belirlenmesi gereklidir. Bu değerlerin teorik olarak hesaplanması oldukça güç ve sistemi tanılama açısından zayıf kalacaktır. Sistem üzerinde sistemin referans isteklere tepkisi kaydedilip girdi ve çıktı uygun bir ortamda işlenerek sistemi temsil eden bir transfer fonksiyonu çıkarılması en doğru süreç olacaktır.

Sistemin parametrik matematiksel modelinin elde edilmesine karşın, parametrelerin gerçek değerleri bilinmemektedir ve piston yüzey alanı, sıkıştırılabilirlik ve yük hassasiyeti gibi parametrelerin ölçülmesi zorluk teşkil etmektedir. Bu yüzden daha önceden söylendiği gibi MATLAB System Identification Toolbox kullanılarak sistem tanılması yoluna gidilmiştir. Bunun için istek sinyali olarak, genliği 5V, frekansı 1 rad/sec olan sinüs sinyali kullanılmıştır. Ayrıca, pistonun iki yüzeyinin alanlarının farklı olduğundan her iki yön için ayrı transfer fonksiyonları elde edilmiştir. İleri yönde, sistem ön değerli bir sinüs sinyali ile tahrik edilerek hiçbir zaman negatif bir değer almaması sağlanmıştır, diğer yön içinse bunun tersi geçerlidir. Böylece sinüs sinyali 0-10V arasında dalgalanmıştır. İstek sinyali ve buna karşılık gelen çıktı sinyali Şekil 2'de gösterilmektedir.



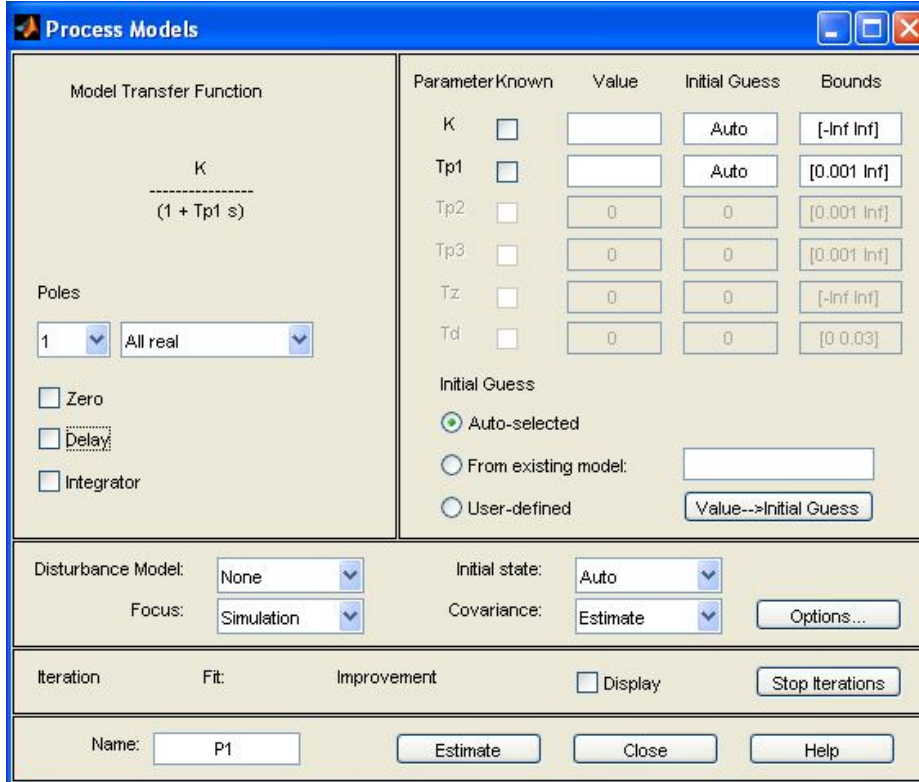
Şekil 2. Sistemin sinüs dalgasına cevabı

Tanılama çalışması için MATLAB yazılımının System Identification Toolbox modülü içinde bulunan ident ara yüzü kullanılmıştır. Şekil 3'de görülen Ident ara yüzünde soldaki bloklar tanılamada kullanılacak olan girdi verileri için, sağdaki bloklar ise oluşturulacak modeller için ayrılmıştır. Model oluşturma, "Working Data" hanesinde bulunan veri kullanılarak yapılır. "Validation Data" hanesi ise, oluşturulan modelin tepkisinin gerçek sistemin tepkisini ne derecede yansıttığı değerlendirilirken kullanılacak olan gerçek sistem verisini gösterir.

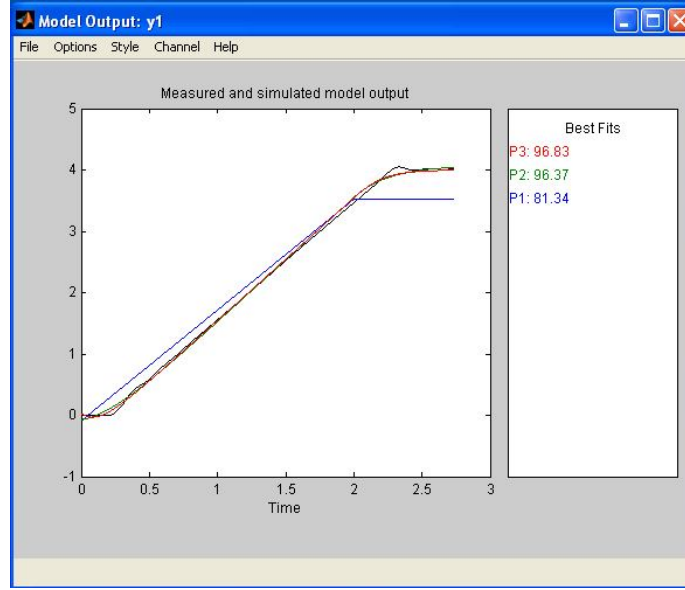


Şekil 3. System Identification Tool

İstek sinyali ve sürgü konumu bilgileri tanılama için Ident programına yüklenmiştir. Bu çalışmada sistemin bir transfer fonksiyonuyla ifade edilmesi amaçlandığı için programın Şekil 4 de gösterilen seçenekleri arasında "Process Model" seçilmiştir. Bu yöntem, verilen istek ve tepkiye paydası birinci ya da ikinci derece, payı da sıfırcı ya da birinci derece olan, isteğe göre tip sıfır ya da tip bir transfer fonksiyonu uydurmaktadır.



Şekil 4. Transfer fonksiyonu çıkarım modeli



Şekil 5. Sistemin kare dalgaya olan cevabı ve transfer fonksiyonu yakınsaması

Sekil 5'de verilmiş test verisi grafiğinden ikinci ve üçüncü kademe valf dinamiğinin birinci dereceden daha yüksek dereceli bir sistem karakteristiğine sahip olduğu anlaşılmaktadır. Analizin basitliği ve elde edilen transfer fonksiyonunun anlaşılabilirliği ve kullanılabilirliği açısından sistemin baskın kutuplarını içeren birinci derece bir transfer fonksiyonu kullanmak uygun olacaktır. Analizden elde edilen sonuçlar doğrultusunda transfer fonksiyonu elde edilmiştir.

$$\frac{Y(s)}{X(s)} = \frac{0,7837}{s^2 + 3,853s + 1,011 \times 10^{-5}}$$

Bu fonksiyon Şekilde görüldüğü gibi sistemi %92,51 doğruluğunda tanımlamaktadır. Bu kapalı döngü transfer fonksiyonundan açık döngü transfer fonksiyonu çok basitçe teorik olarak hesaplanabilmektedir.

Burada,

U(s) : İstek sinyali,

Y(s) : Piston konumu,

C(s) : LVDT transfer fonksiyonu,

T(s) : Sistem kapalı döngü transfer fonksiyonu,

G(s) : Sistem açık döngü transfer fonksiyonu,

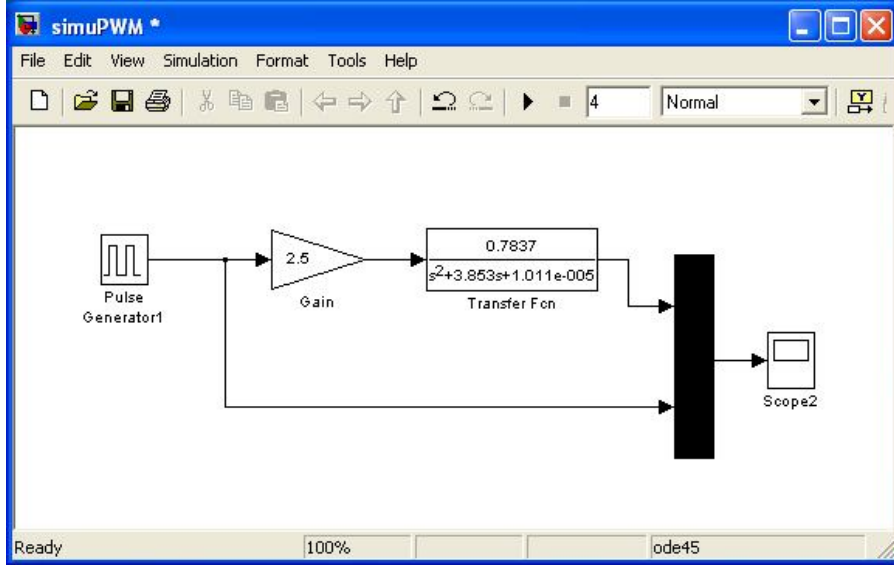
olarak tanımlanmıştır.

$$G(s) = \frac{T(s)}{C(s) - C(s)T(s)}$$

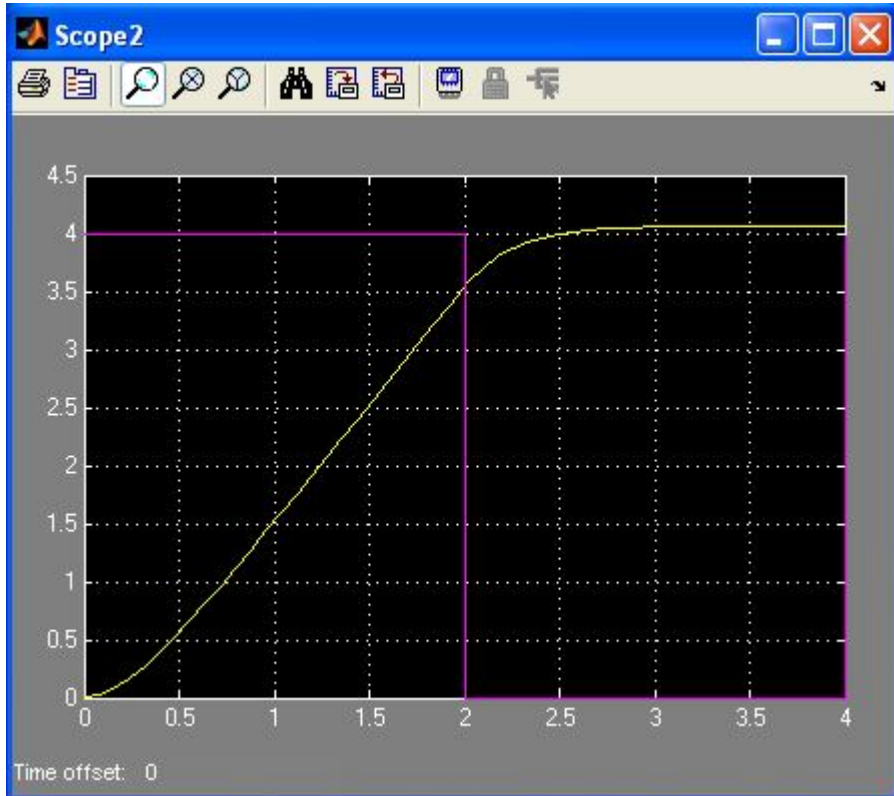
$$G(s) = \frac{\frac{0,7837}{s^2 + 3,853s + 1,011 \times 10^{-5}}}{1 - \frac{0,7837}{s^2 + 3,853s + 1,011 \times 10^{-5}}}$$

$$G(s) = \frac{0,7837}{s^2 + 3,853s - 0,78368989}$$

Yukarıdaki transfer fonksiyonu Matlab/Simulink ortamında kullanılarak sistemin cevabı PC ortamında simule edilmiştir. Simulink' te oluşturulmuş olan blok şema Şekil 6'da gösterilmektedir. İstek sinyali ve pistonun konumu ise Şekil 7'de gösterilmektedir.

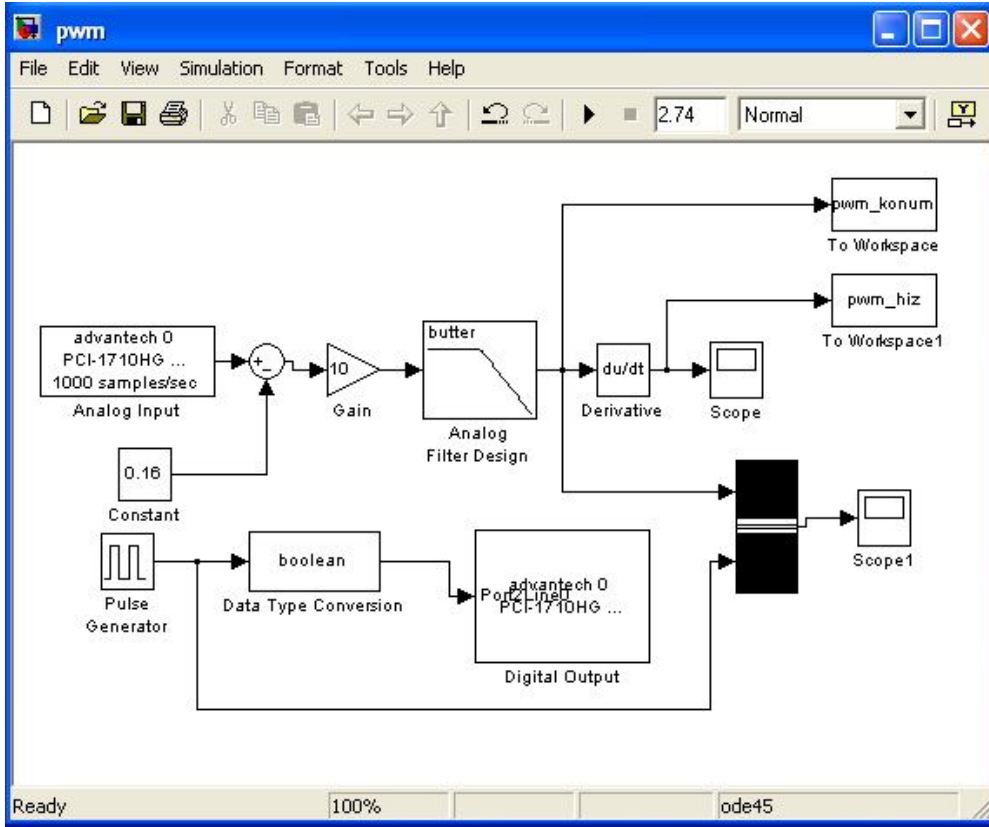


Şekil 6. Matlab/Simulink ortamı

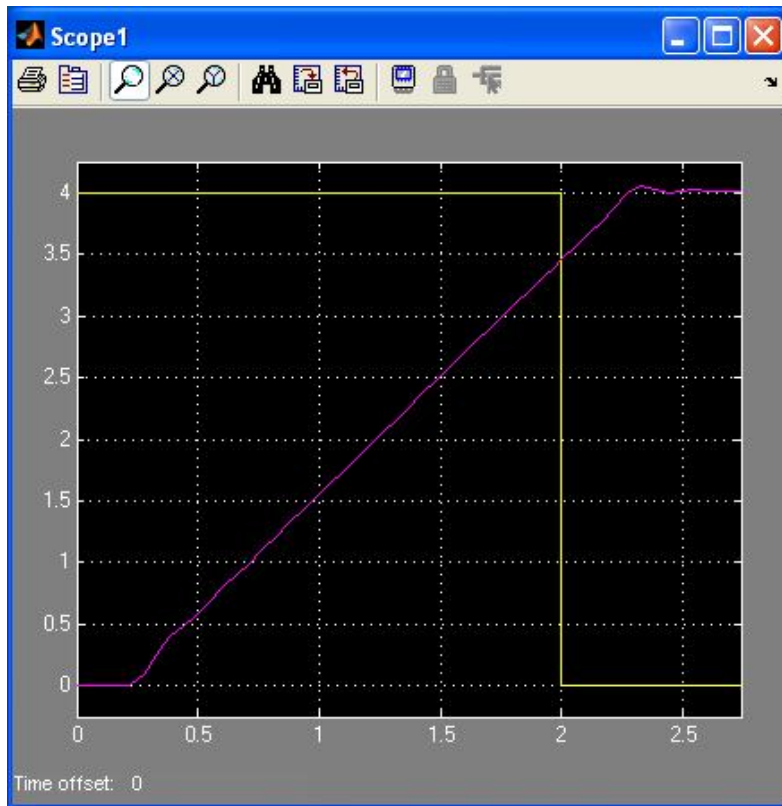


Şekil 7. Matlab/Simulink kare dalga ve sistem cevabı

Daha sonra aynı sinyal gerçek zamanda pistona uygulanmıştır. Simulink'te oluşturulmuş olan blok şema Şekil 8'de gösterilmektedir. İstek sinyali ve pistonun konumu ise Şekil 9'da gösterilmektedir.



Şekil 8. Matlab/Simulink ortamı (gerçek zamanlı piston hareketini sağlayan bloklar)



Şekil 9. Matlab/Simulink gerçek zamanlı kare dalga ve sistem cevabı

Sonuç

Bu çalışmada, puls genişliği modülasyonu tekniği oransal bir valfe başarılı bir şekilde uygulanmış ve istenilen hassasiyette konumlandırılmıştır. İlk etapta valfin ve sistemin ayrı ayrı matematiksel modelleri teorik olarak çıkartılmıştır. Sistemin tamamını temsil etmesi açısından Matlab System Identification Toolbox kullanılarak transfer fonksiyonu çıkartılmıştır. Transfer fonksiyonu çıkartılırken sinüs dalgası ve kare dalgaları ayrı ayrı uygulanmıştır. Bu aşamada PWM uygunluğu açısından kare dalgadan çıkan sonuçlar kullanılmış ve buradan açık döngü transfer fonksiyonu elde edilmiştir. Elde edilen transfer fonksiyonu ile PWM sinyaline karşı sistem cevabı simülasyonu yapılmıştır. Deneylerin gerçek zamanlı aşamasında 0,25 Hz PWM dalgası kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlar karşılaştırılmış ve bu karşılaştırmalara göre her iki sonucundan birbirine çok yakın sonuçlar elde edildiği görülmüştür.

Semboller

Pb: Besleme basıncı [N/m²]
Pt: Tank basıncı [N/m²]
P1: Silindirin I. tarafındaki basınç [N/m²]
P2: Silindirin II. tarafındaki basınç [N/m²]
q1, q2: Debiler [m³/s]
A1: Giristeki akıma dik kesit alanı [m²]
A2: Çıkıstaki akıma dik kesit alanı [m²]
V1: Silindirin I. tarafındaki hacim [m³]
V2: Silindirin II. tarafındaki hacim [m³]
m: Kütle [kg]
F: Kuvvet [N]
K_q: Valfin iki bölüm arasındaki akış kazancı
k_v: Valf kazancı
c_d: Boşaltma katsayısı
ξ: Valf sönümleme oranı
ω: Orifisin sürgü boyunca genişliği
P_L: Basınç farkı [N/m²]
x_v: Makaranın yer değişimi
K_c: Valfin iki bölüm arasındaki basınç kazancı
w_n: Valf doğal frekansı
f_v: Viskoz sönüm katsayısı [Ns/m]
Q_L: Yük akış oranı

Kaynakça

- Amirante, R., Innone, A., Catalano L.A.(2008). Boosted PWM open loop control of hydraulic proportional valves. *Energy Conversion and Management*, 49, 2225–2236.
- Amirante R, Catalano LA, Moscatelli PG. (2007). Evaluation of flow forces on direct (single stage) proportional valve by means of computational fluid dynamic analysis. *Energy Convers Manage*, 48, 942–53.
- Ercan Y. (1995). *Akışkan Gücü Kontrolü Teorisi*. Ankara: Gazi Üniversitesi Yayınları.
- Ercan, Y. (2003). *Mühendislik Sistemlerinin Modellenmesi ve Dinamiği*. İstanbul: Literatür Yayınevi.
- Heon, S. J., Hyoung, E. K.(2002). Experimental Based Analysis of the Pressure Control Characteristics of an Oil Hydraulic Three-Way On/Off Solenoid Valve Controlled by PWM Signal. *Journal of Dynamic Systems, Measurement, and Control*, 124, 196-205.
- Keleş, Ö., Ercan, Y.(2004). Puls Genişliği Modülasyonlu Elektrohidrolik Bir Servo Sisteminin Deneysel İncelenmesi. *Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der.*, 19(1), 107-117.
- Koçer, S., Canal, M. R., Güler, İ. (2000). Design of low-cost general purpose microcontroller based neuromuscular stimulator. *J. Med. Syst.*, 24(2).
- Muraru, V., Muraru, C. (2002). Theoretical and experimental research of the proportional solenoids for electrohydraulic control systems. *In: 2nd international FPNI PhD symposium on fluid power*.
- Rahman, F. M., Cheung, N. C., Lim, K. W.(1996). Position Estimation In Solenoid Actuators. *Ieee Transactions On Industry Applications*, 32(3), 552-559.

- Sampson, E., Habibi, S., Burton, R., Chinniah, Y.(2004). Effect of controller in reducing steady-state error due to flow and force disturbances in the electrohydraulic actuator system. *Int. J. Fluid Power*, 5(2).
- Swider, J., Wszolek, G., Carvalho, W. (2005). Programmable controller designed for electro-pneumatic systems. *J. Mater. Process Technol*, 164–165,1459–65.