



ELEKTROPNÖMATİK SİSTEMLER İÇİN TASARLANAN HIZLI ANAHTARLAMA VALFİ İLE KONUM DENETİMİNİN ARAŞTIRILMASI

Elif ERZAN TOPÇU
İbrahim YÜKSEL

ÖZET

Bu çalışmada piyasada bulunan valflere alternatif olarak geliştirilen elektro pnömatik hızlı anahtarlama valfinin kullanıldığı pnömatik sistemin konum denetimi deneysel olarak araştırılmıştır. Tasarlanan valf; 460 lt/dak nominal debili, doğrudan kumandalı, aç-kapa, iki yollu iki konumlu (2/2) bir valf olup mıknatıs devresi düz yüzlü disk tipi mıknatıs yapısındadır. Deneysel çalışmalar, fakültemiz Otomatik Kontrol laboratuvarında kurulan elektro pnömatik sistem üzerinde yürütülmektedir. Sistem, pnömatik güç birimine bağlı şartlandırıcı ünitesine, 400 mm stroka ve 40 mm piston çapına sahip çift etkili bir pnömatik silindire sahiptir. Ayrıca geri besleme elemanı olarak 400 mm stroka sahip magneto restriktif temassız konum algılayıcısı kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlardan geliştirilen valflerin konum denetimi üzerindeki etkisi değerlendirilmiştir

ABSTRACT

In this study, position control of a pneumatic control system used a fast switching valve which was developed as an alternative to market valves was experimentally investigated. The proposed valve was designed as a single stage solenoid operated, on-off, two way-two position (2/2), spring return with a disc element and provides 460 lt/min ($10 \cdot 10^{-3}$ kg/s) flow rate at standard air conditions.

Experimental tests were carried out on an electro-pneumatic system established in the Automatic Control Laboratory of Mechanical Engineering Department in University of Uludağ. The electro-pneumatic system consists of a double acting pneumatic cylinder with 400 mm of stroke and 40 mm of piston diameter and a magneto-restrictive contactless position sensor as a feedback element. The effect of the valve on the position control was evaluated from the results obtained during the experimental tests.

1. GİRİŞ

Endüstride yaygın olarak kullanılan pnömatik güç iletim sistemleri kuvvet ve hareketi basınçlı hava yardımıyla iletir. Pnömatik güç iletim sistemleri endüstriyel otomasyon alanında önemli bir yer tutmakta ve orta büyüklükteki güç taleplerini karşılamada hidrolik güç iletim sistemlerine göre maliyet açısından bir avantaj oluşturmaktadırlar. Otomasyon sistemleri, robotlar, bükme-çekme-haddeleme gibi şekil verme işlemleri, boyama, montaj makineleri, beton ve asfalt döşemelerinin sıkıştırma ve dövme işlemleri ile makine, kimya, gıda, tekstil endüstrisi pnömatik sistemlerin yaygın olarak kullanıldığı alanlardır.



Kapalı döngü çalışan pnömatik bir denetim sistemi temel olarak denetleyici, sürücü devre, elektro-pnömatik valf, silindir ve geri besleme elemanından oluşmaktadır. Geri besleme döngüsü içinde yer alan elektro-pnömatik valfler bir elektrik sinyali yardımı ile pnömatik silindir sisteminin elektriksel kumandalı olarak çalışmasını sağlayan temel elemanlardır. Elektro-pnömatik valfler elektriksel aygıtlarla pnömatik sistemler arasında bir arayüz elemanı görevi görmektedirler. Pnömatik sistemin iyi bir dinamik performans sağlaması için valfin hem yüksek cevap hızına hem de iyi bir giriş-çıkış oransallığına sahip olması istenir. Bu şekilde bir çalışma ile sistemden istenen konumlama hassasiyeti sağlanabilir. Elektro-pnömatik valfler genelde servo, oransal, aç-kapa ve hızlı anahtarlama valfleri biçiminde sınıflandırılabilirler. Servo valfler hassas bir oransal denetim sağlamakla beraber yapılarının karmaşık ve maliyetlerinin çok yüksek olması sebebiyle endüstride kullanımı pek yaygın değildir. Endüstriyel alanda basitliği ve ucuzluğu açısından daha çok solenoidle çalışan aç-kapa tipi elektro-pnömatik valfler tercih edilmekle beraber bu valflerin çok hassas denetim gerektiren yerlerde kullanılması zordur. Günümüzde geleneksel solenoidlere göre daha yüksek performanslı, servo valflere göre daha ucuz ve basit yapıları valflerin geliştirilmesi ile ilgili çalışmalar devam etmektedir. Bu çalışmalar da daha çok oransal solenoidler ve yüksek açma-kapama hızına sahip hızlı anahtarlama valfleri üzerindedir.

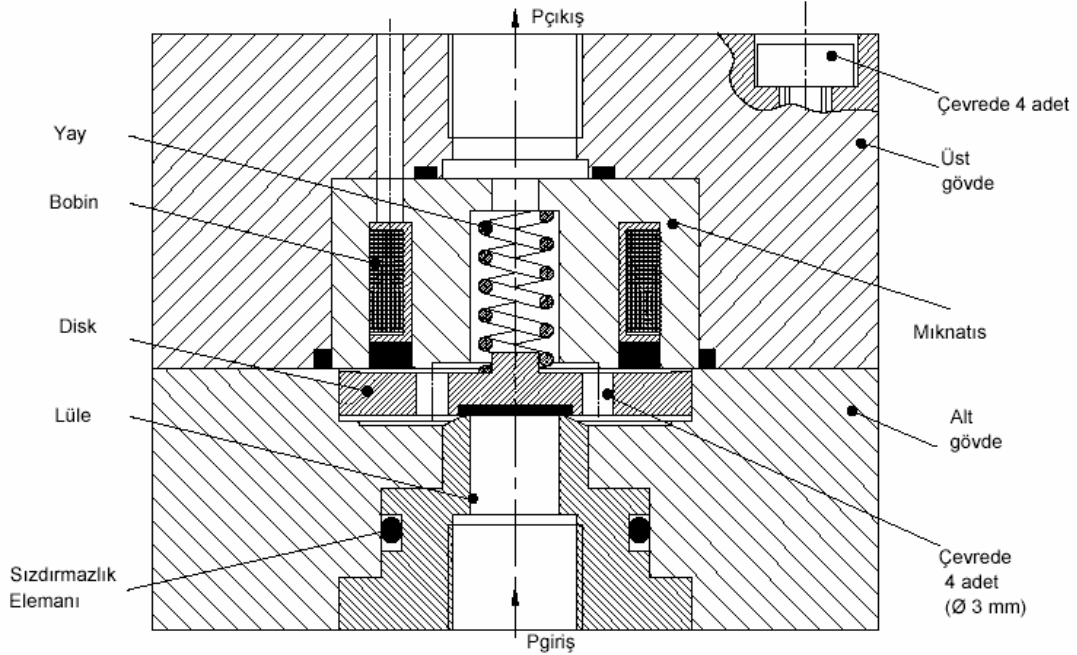
Hızlı anahtarlama valfleri klasik aç-kapa valfleri ile servo valfler arasında yer alan alternatif bir valf türüdür ve sürekli bir gelişim göstermektedir. Temelde aç-kapa biçiminde çalışan bu valflerin yapıları basit ve aynı zamanda maliyetleri düşüktür. Hızlı anahtarlama valfleri genellikle oturma elemanı tipindedirler. Bu tür valflerin oturma yüzeyi ile oturma elemanı arasındaki çok küçük yer değiştirmelerde yüksek etkin akış alanı ve buna bağlı olarak yüksek akışkan debisi sağlamak mümkündür. Ayrıca bu tür valfler ile küçük açma mesafelerinde yüksek cevap hızları da sağlanır. Hızlı anahtarlama valflerinin darbe genişlik modülasyonu (DGM) tekniği gibi yöntemlerle sürülmesiyle zaman oransal bağıntılar elde edilmesi mümkündür.

Günümüzde valfler üzerine yapılan çalışmaların bir kısmı yeni valf yapılarının geliştirilmesine diğer bir kısmı da valflerin oransal çalıştırılmaları için yeni tekniklerin geliştirilmesine yöneliktir [1,2,3,6,8,10,12,13]. Bununla beraber pnömatik sistemlerin konum denetiminin yapılmasına yönelik çalışmalar da sürdürülmektedir [4,5,7,9,11].

Bu çalışmada Uludağ Üniversitesi, Makine Mühendisliği Bölümü'nde yapılmış olan doktora çalışması kapsamında geliştirilen elektro-pnömatik hızlı anahtarlama valfinin pnömatik konum denetim sisteminde kullanılabilirliği incelenmiştir. Çalışmada ilk olarak geliştirilen prototip valf ve deney düzeneği hakkında bilgi verilmiştir. Daha sonra bilgisayar denetimli pnömatik sistemin konum denetimi deneysel olarak araştırılmıştır. Çalışma sonuç kısmı ile tamamlanmıştır.

2. ELEKTROPNÖMATİK HIZLI ANAHTARLAMA VALFİNİN YAPISI

Valf $7 \cdot 10^5$ N/m² besleme basıncı ve $1 \cdot 10^5$ N/m² basınç düşümünde 460 lt/dak'lık nominal debi verecek şekilde boyutlandırılmıştır. Valf oturma elemanlı, aç-kapa tipi, doğrudan kumandalı, 2/2 ve yay geri dönüşlü, normalde kapalı olup düz yüzü disk tipi miknatıs devresine sahiptir. Şekil 1'den de görüldüğü gibi tasarlanan valf bir adet miknatıs devresi ve bobini, bir adet yay ve disk biçiminde bir oturma elemanından oluşmaktadır. Valfin elektriksel kumandasını sağlamak için disk tipi elektromiknatıs devresi kullanılmıştır. Burada disk hem elektromiknatıs devresinin bir parçası hem de akışkan akışını denetleyen oturma elemanıdır. Şekil 1'deki şematik gösterimden de görüleceği gibi elektro-pnömatik valfin yapısı oldukça basit, montajı ve imalatı kolaydır. Dolayısıyla imalatı sırasında düşük toleranslı bir işlem gerektirmeyeceği söylenebilir.



Şekil 1. Elektropnömatik valfin kesit resmi

Disk üzerine etki eden yay ön gergi kuvveti akış geçiş yolu üzerinde yer alan lüleyi kapatarak valfi kapalı konumda tutar. Bu şekilde tasarlanan valfin 4 adeti ile, Şekil 2' de görülen bir pnömatik silindir sisteminin konum denetimi gerçekleştirilebilir. Burada tüm valfler kapalı olduğunda silindir pistonu istenen konumda tutulmuş olacaktır. 1 ve 3 nolu valfler açık olduğunda piston ileri hareket, 2 ve 4 nolu valfler açık olduğunda da piston geri hareket yapar. Valflerin oransal sürülmesinde DGM tekniğinden yararlanılmıştır [1,2,3].

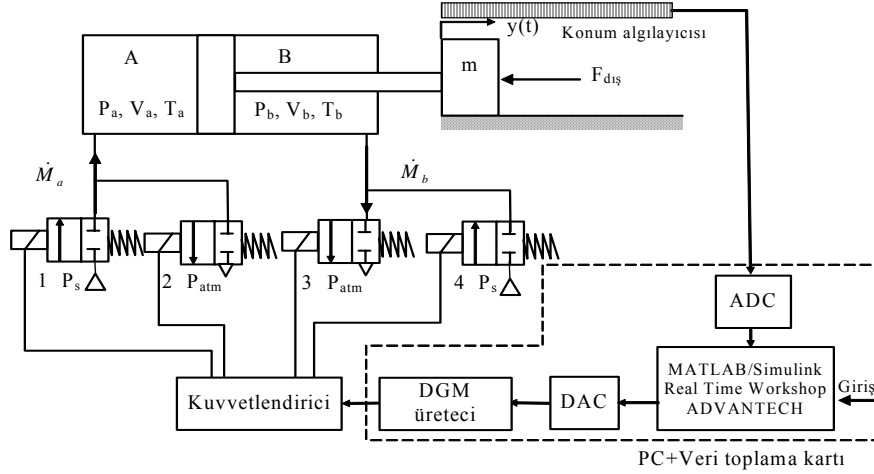
3. ELEKTROPNÖMATİK DENEY DÜZENEGİ

Bu çalışmada yer alan deneyler doktora tez çalışması çerçevesinde Uludağ Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü Otomatik Kontrol Laboratuvarı'nda kurulan deney düzeneklerinde yürütülmüştür. Deney düzeneği Şekil 2'de görüldüğü gibi temel olarak prototip valfler, sürücü devreler, silindir, konum algılayıcısı ve denetim biriminden oluşmaktadır. Sistemde kullanılan çift etkili pnömatik silindir 400 mm stroka ve 40 mm piston çapına sahiptir. Elektropnömatik valf olarak tasarlanıp prototipi imal edilen valfler kullanılmıştır. Ayrıca geri besleme elemanı olarak 400 mm stroka sahip magneto restriktif temassız konum algılayıcısından yararlanılmıştır.

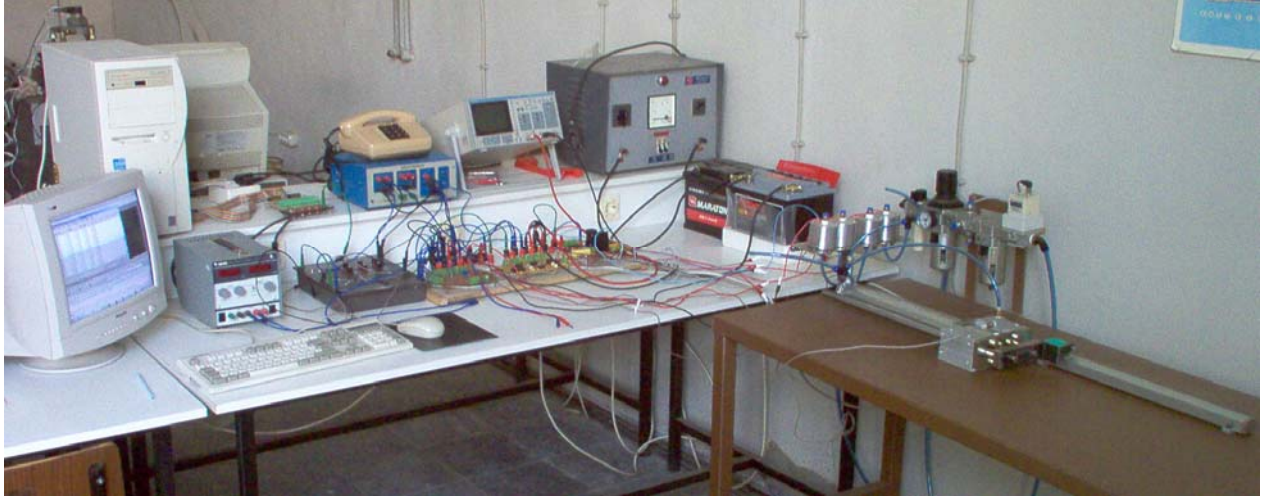
Denetim elemanlarını bilgisayar ünitesi, veri toplama kartı ile konum algılayıcısı oluşturmaktadır. Denetim birimi ile elektropnömatik sistem arasında arayüz görevi yapan elemanları ise A/D, D/A çeviriciler ve sürücü devreler oluşturmaktadır. Elektriksel kısmının temel elemanı bir bobin olan elektropnömatik valf denetim kartından çıkan düşük güçlü gerilim sinyali ile doğrudan sürülemeyeceği için gerilim sinyalini akıma dönüştüren bir elektronik akım sürücü devre tasarlanarak kurulmuştur [1]. Valfleri oransal sürmek için kullanılan Darbe Genişlik Modülasyon sinyalinin üretilmesinde ise MATLAB/Simulink programı kullanılmıştır.

Deneyel çalışmalarda gerek veri toplama gerekse gerçek zamanda denetim yordamlarının oluşturulmasında içinde veri toplama kartı ve ilgili yazılım programlarının bulunduğu bir PC bilgisayar sistemi kullanılmıştır. PC bilgisayar Pentium II-400 MHz işlemci ile birlikte 15 inç renkli monitör, 128 MB RAM ve 10 GB hard disk ve Windows 2000 işletim sistemine sahiptir. Veri toplama kartı olarak Advantech PCL-818H kartı kullanılmıştır. Veri toplama kartının programlanmasında ise MathWorks' ün

(1999) MATLAB/Simulink/Real-Time Workshop yazılımları kullanılmıştır. MATLAB programı sayısal hesaplama, analiz ve görüntüleme işlemleri için bir taban oluştururken Simulink yazılımı da kullanımı çok kolay olan blok şemalar yardımıyla modelleme ve PC tabanlı benzetim işlemi için bir ortam sunmaktadır. Simulink ile bütünleştirilmiş Real-Time Workshop yazılımı blok şemalardan C kodlarını üretmek için kullanılan bir yazılımdır. Bu C kodları donanımın gerçek zamanlı arayüz işlemleri için temel teşkil etmektedir. Denei düzeneğinin genel görünüşü Şekil 3' de gösterildiği gibidir.



Şekil 2. Elektropnömatik konum denetim sistemi



Şekil 3. Elektropnömatik konum denetim sistemi denei düzeneğinin genel görünüşü

4. ELEKTROPNÖMATİK VALF-SİLİNDİR SİSTEMİNİN MATEMATİKSEL MODELİ

Yüke maruz valf denetimli bir pnömatik silindir sisteminin matematiksel modeli, valf debi denklemleri, silindir debi denklemleri ve yük denklemlerinden oluşmaktadır. Şekil 2' de çalışmada kullanılan sistemin denklemlerine esas olan şema ve simgeler gösterilmiştir. Burada amaç detaylı bir matematiksel analiz olmayıp, basitçe sistemin dinamik davranışına esas olan parametrelerin etkilerini göstermektir.



4.1. Valf Denklemleri

Valfler yolu ile silindirin A ve B taraflarına sağlanan kütleli debi ifadeleri Şekil 2' ye göre aşağıda olduğu gibi ifade edilebilir [14].

$$\dot{M}_a = C_{qa} C_{ma} a_a P_s / \sqrt{T_s} \quad C_{ma} = f(P_a / P_s) \quad (1)$$

$$\dot{M}_b = -C_{qb} C_{mb} a_b P_b / \sqrt{T_b} \quad C_{mb} = f(P_{atm} / P_b) \quad (2)$$

Burada C_m kütleli akış parametresini, C_q boşaltım katsayısını, T_a ve T_b silindirin A ve B tarafındaki sıcaklıkları, a_a ve a_b valflerin alanlarını, P_s besleme basıncını, P_a ve P_b silindirin A ve B taraflarındaki basınçları ve P_{atm} atmosfer basıncını temsil etmektedir.

4.2. Silindir Denklemleri

Enerji korunumu ve süreklilik yasalarından hareket ederek silindire giren ve silindirden çıkan kütleli debi ifadelerini veren denklemler aşağıda olduğu gibi verilebilir. Bu ifadelerde havanın sıkışabilirliği hesaba katılmıştır.

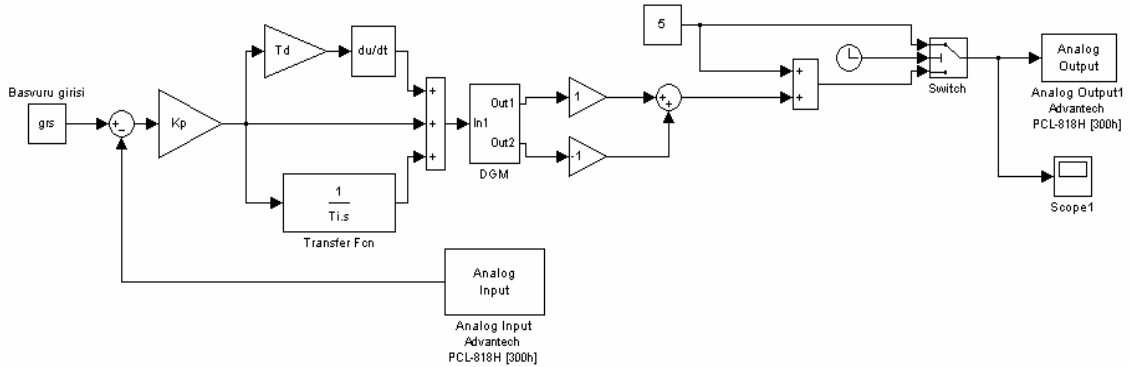
Silindire giren ve çıkan kütleli debi sırasıyla ;

$$\dot{M}_a = \frac{1}{RT_a} \left(P_a \frac{dV_a}{dt} + \frac{V_a}{\gamma} \frac{dP_a}{dt} \right) \quad -\dot{M}_b = \frac{1}{RT_b} \left(P_b \frac{dV_b}{dt} + \frac{V_b}{\gamma} \frac{dP_b}{dt} \right) \quad (3)$$

olarak elde edilir. (3) numaralı denklem silindir içindeki basınç değişimine göre tekrar düzenlenirse

$$\dot{P}_a = \frac{\gamma}{V_a} (M_a RT_a - P_a \dot{V}_a) \quad (4)$$

elde edilir. Burada γ : özgül ısılar oranı, R: Gaz sabitidir.



Şekil 4. PID ve DGM denetimli konum denetim sistemi gerçek zaman Simulink modeli

4.3. Yük Dinamiği

Silindirin yüke karşı oluşturduğu kuvvet

$$P_a A_a - P_b A_b - P_{atm} (A_a - A_b) = m \frac{d^2 x}{dt^2} + b \frac{dx}{dt} + f_{sürtünme} \quad (5)$$

ifadesi ile tanımlanabilir. Burada V_a ve V_b sırasıyla A ve B odalarının hacimleri olarak tanımlanır. A_a ve A_b sırasıyla piston ve piston kolu tarafındaki alanlardır. m : Hareket eden toplam kütle, b : viskoz sönüm katsayısı, $f_{sürtünme}$: sürtünme kuvveti olarak ifade edilebilir. P_a ve P_b basınçları mutlak basınçları ifade etmektedir.



5. GERÇEK ZAMANLI MATLAB/SIMULINK MODELİ

Şekil 4'de DGM denetimli prototip valflerin yer aldığı elektro pnömatik konum denetim sisteminde kullanılan PID denetimin gerçek zaman Simulink modeli verilmiştir (DGM ayrıntı bkz [1,4]). PID denetim sinyali valfleri süren DGM sinyali üreticine giriş olarak verilir. Gerçek sistem ile bağlantı Analog Input ve Output blokları vasıtasıyla veri toplama kartı üzerinden sağlanmaktadır. Böylece gerçek sistem ile bilgisayar ortamı arasında sinyal alışverişi yapılmaktadır [1].

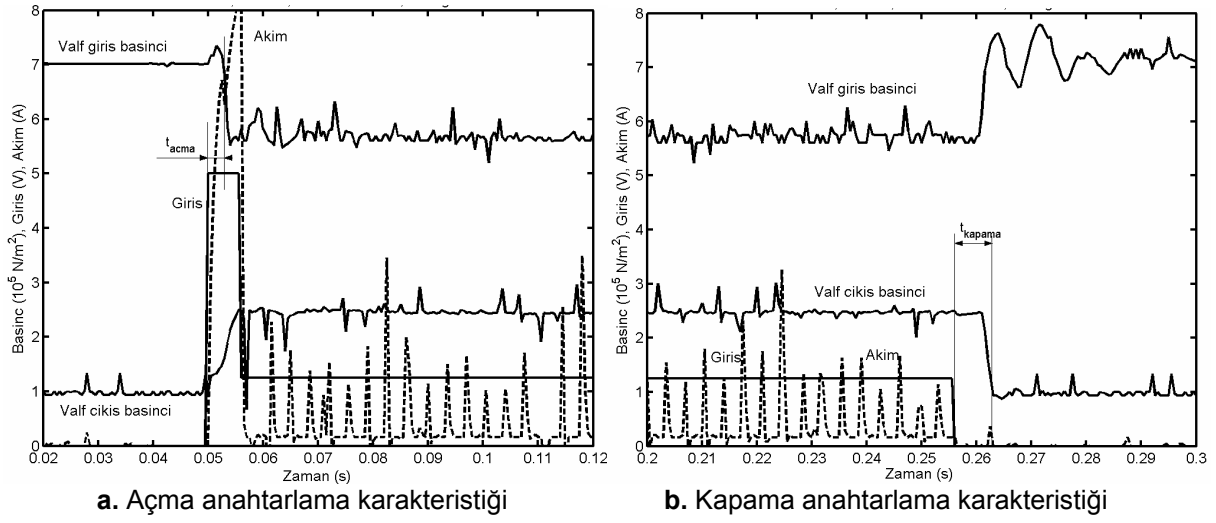
6. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

DGM sinyali ile denetlenen valflerin elektro pnömatik konum denetim sistemi üzerinde uygulanabilirliğini test etmek için Şekil 2' de gösterilen sistem kullanılmıştır. Silindir sisteminde, piston ve piston çubuğu kütlesi ile sürtünme kuvvetlerinin etkisi dışında herhangi bir karşı yük yer almamıştır. Yapılan çalışmada silindir pistonunun orta konuma mümkün olan en kısa zamanda ve en düşük kalıcı durum hatası ile konumlandırılması hedeflenmiştir.

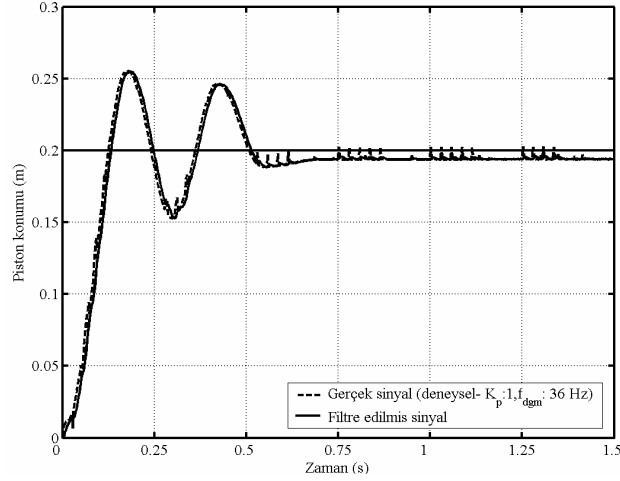
Şekil 5' de imalatı yapılan prototip valfin $7 \cdot 10^5 \text{ N/m}^2$ besleme basıncı altında elde edilen açma-kapama anahtarlama karakteristik eğrileri gösterilmiştir. Şekilden de görüldüğü gibi valfin anahtarlama karakteristikleri akım ve valfin giriş-çıkış basıncı değişim eğrileri ile ifade edilebilmektedir. Bu karakteristik eğrilerden valfin $7 \cdot 10^5 \text{ N/m}^2$ basınç altındaki cevap süresinin 3 ms olduğu görülür. Valfin kapama süresi ise yaklaşık 6.5 ms' dir. Bu değerlere göre valfin toplam cevap süresi yaklaşık 9.5 ms civarındadır.

Dört adet prototip valfin kullanıldığı pnömatik sistemin konum denetiminde P ve PI denetim yordamları uygulanarak sistemin basamak giriş cevabı incelenmiştir. PI denetim yordamının deneysel ayarında Zeigler ve Nichols' un sürekli salınım yöntemi kullanılarak maksimum oransal kontrol maksimum kazancı (K_{pmax}) ve salınım periyodu (P_u) değerleri bulunmuştur. Bu değerlere göre Zeigler ve Nichols' un önerdiği amprik formüllerden K_p , T_i değerleri hesaplanarak sisteme P, PI denetim parametreleri ayarlanmıştır.

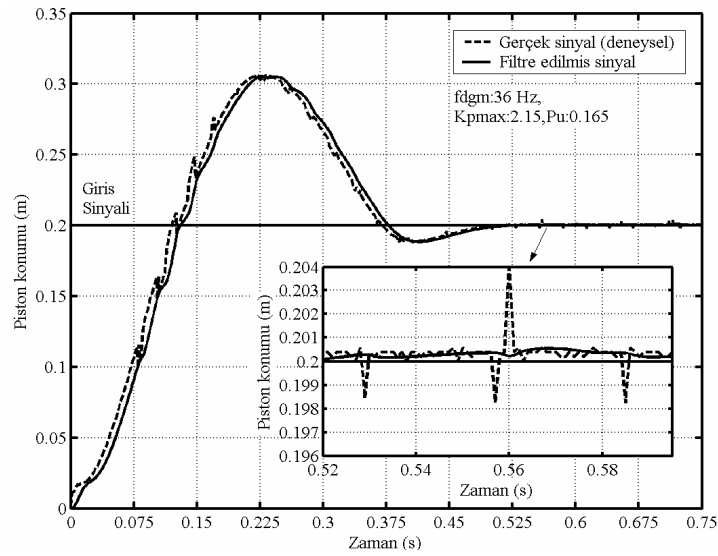
Şekil 6 ve 7' de sırasıyla sistemin P ve PI etki denetiminin basamak giriş cevabı sonuçları verilmiştir. Bu deneylerde valfler 36 Hz frekansında DGM sinyali ile sürülmüş ve pistonun başlangıç noktasından orta konuma hareketinin basamak cevabı kaydedilmiştir. Şekil 6' dan da görüldüğü gibi sistemde PI denetimi ile oldukça yüksek bir konumlama hassasiyeti elde edilebilmektedir. Piston %56 aşma yaparak % 0.3 sapma ile referans değerine ulaşmıştır. Sistemin cevap hızı olarak pistonun nihai değere ilk defa ulaştığı zaman esas alınmıştır. Buna göre sistemin cevap süresi 0.12 s, oturma zamanı ise 0.48 s olarak ölçülmüştür. Şekilden görüldüğü gibi sistem cevabında yaklaşık 20 ms' lik ölü zaman gecikmesi söz konusu olmaktadır. Ölü zaman gecikmesinin önemli bir kısmının pistonu etkilenen sürtünme kuvvetlerinden ve bir kısmının da valfin gecikmesinden kaynaklandığı söylenebilir.



Şekil 5. Prototip valfin anahtarlama karakteristikleri



Şekil 6. P denetleyicili sistemin basamak giriş cevabı



Şekil 7. PI denetleyicili sistemin basamak giriş cevabı



SONUÇLAR

Bu çalışmada Uludağ Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü'nde tamamlanan doktora çalışması çerçevesinde geliştirilen basit yapıda, tek kademede yüksek debi sağlayan ve yüksek cevap hızına sahip elektro pnömatik bir valfin pnömatik konum denetim sisteminde uygulanabilirliği araştırılmıştır.

Tasarlanan ve 4 adet prototipi imal edilen valf 460 lt/dak nominal debili, doğrudan kumandalı, iki yollu iki konumlu (2/2), aç-kapa çalışan, disk tipi mıknatıs devresine sahip elektro pnömatik bir valftir. Valfin $7 \cdot 10^5 \text{ N/m}^2$ besleme basıncında açma cevap süresi atmosfer basıncındaki çalışma ortamına göre daha kısa olup yaklaşık 3 ms' dir. Buna karşılık kapama cevap süresi ise yaklaşık 6.5 ms dir. Bununla beraber açma-kapama anahtarlama süresi 10 ms (100 Hz) civarında kalmaktadır. Valf sahip olduğu bu özelliklerden dolayı kendi kategorisi içinde (debi) hızlı anahtarlama valfi olarak nitelendirilebilmektedir. Yapılan çalışmada valfleri sürmek için DGM tekniğinden yararlanılmıştır. Basit bir yapıda imalat kolaylığına sahip valfin 4 adeti ile pnömatik bir silindirin konum denetiminin gerçekleştirilebilirliği gösterilmiştir. Yapılan deneysel çalışmalarda silindirin orta konumu referans değer olarak verilmiştir. PI denetim yordamında titreşim yöntemine göre yapılan deneysel parametre ayarları ile hassas bir konum denetimi sağlanırken maksimum açma miktarı yüksek çıkmıştır.

Bu konudaki çalışmalar devam etmekte olup gelecek çalışmalarda sistemin yüklü durumda konum geri beslemesi yanında basınç geri beslemesi ve diğer farklı (kayan kipli denetim vb.) denetim teknikleri de uygulanabilirliğinin incelenmesi ele alınacaktır.

KAYNAKLAR

- [1] TOPÇU, E.E. "Elektro pnömatik Bir Sistem İçin Valf Tasarımı ve Denetim Tekniklerinin Araştırılması". Doktora Tezi. Uludağ Üniversitesi. Fen Bilimleri Enstitüsü. s 107. Bursa. 2005.
- [2] TOPÇU, E.E., İ. YÜKSEL. "Alternatif Bir Elektro pnömatik Valf Tasarımı ve Karakteristiklerinin Araştırılması". Mühendis ve Makine Dergisi. 46(542):19-28. 2005.
- [3] TOPÇU, E.E., İ. YÜKSEL. "Elektro pnömatik Hızlı Anahtarlama Valfi Tasarımı ve DGM Tekniği ile Sürülmesinin Araştırılması". TOK'05. Türkiye Otomatik Kontrol Bilimsel Toplantısı. s. 401-408. İstanbul. 2005.
- [4] TOPÇU E.E., İ. YÜKSEL." Elektro pnömatik Bir Sistemin Konum Denetiminin Araştırılması", III. Hidrolik Pnömatik Kongresi (HPKON2003), sf. 439-449. İzmir .4- 7 Aralık 2003.
- [5] NORİTSUGU, T., "Development of PWM Mode Electropneumatic Servomechanism, Part: II: Position Control of a Pneumatic Cylinder", Journal of Fluid Control, Vol. 17, No. 2, 7- 31 p., 1987.
- [6] YE, N., S. SCAVARDA, M. BETEMPS, A. JUTARD,. "Models of a Pneumatic PWM Solenoid Valve for Engineering Applications". Journal of Dynamic Systems, Measurement, and Control. Vol. 114. 680- 688 p., 1992.
- [7] SHIH, M., M MA., "Position Control of a Pneumatic Cylinder Using Fuzzy PWM Control Method", Mechatronics, Vol. 8, Issue 3, 241-253 p.1998.
- [8] BELFORTE, G., G. MATTIAZZO, S. MAURO, "Fast Response Pneumatic Servosystems With Digital Valves", Fluid power, Fifth JFPS International Symposium, 715- 720 p. Japan. 2002.
- [9] CİHAN, S., "Pnömatik Konum Kontrolü", Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul. 1999.
- [10] ŞENGİRGİN, M. "Elektrohidrolik Disk Valflerin Geliştirilmesi ve Bunların Çeşitli Sinyal İşleme Teknikleri Yolu ile Denetlenmesinin İncelenmesi". Doktora tezi U.Ü. FBE. Bursa. 2000.
- [11] VARSEVELD R.B., G.M. BONE. "Accurate position control of a pneumatic actuator using On/Off solenoid valves. IEEE/ASME Transactions on Mechatronics". 2, 195-204. 1997.
- [12] BELFORTE, G., S. MAURO, G. MATTIAZZO. A Method for Increasing the Dynamic Performance of Pneumatic Servosystems with Digital Valves. Mechatronics. 14: 1105-1120. 2004.
- [13] AHN, K., S. YOKOTA. "Intelligent Switching Control of Pneumatic Actuator Using On/Off Solenoid Valves". Mechatronics, 15: 683-702. 2005.
- [14] McCLOY, D., H.R. MARTIN, "Control of Fluid Power: Analysis and Design". Ellis Horwood Limited. 1980.



- [15] The MathWorks, Inc., "Real-Time Workshop for use with Simulink, User's Guide". Natick., Massachusetts. 1999.
- [16] ANONİM. PC-LabCard PCL 818H Data Acquisition Card User's Manual. Taiwan. 132 p.1993.
- [17] ZEIGLER,J.G., N. B. NICHOLS, Optimum Settings for Automatic Controllers, ASME Trans, 1942, pp. 759-768.

ÖZGEÇMİŞLER

Elif ERZAN TOPÇU

1978 yılı Bursa doğumludur. 1998 yılında Uludağ Üniversitesi Mühendislik- Mimarlık Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü' nden birincilikle mezun oldu. 2000 yılında Uludağ Üniversitesi Makine Mühendisliği ABD Konstrüksiyon ve İmalat Bilim Dalı' nda yüksek lisans öğrenimini, 2005 yılında Makine Teorisi ve Dinamiği Bilim Dalı' nda doktora öğrenimini tamamladı. 1998 yılından beri Uludağ Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü'nde Araştırma görevlisi olarak çalışmaktadır. Elektropnömatik, elektrohidrolik, elektromekanik, otomatik kontrol ve mekatronik alanlarında çalışmalar yapmaktadır. Çeşitli konularda yayınlanmış ulusal ve uluslararası çalışmaları bulunmaktadır.

İbrahim YÜKSEL

1951 yılı İzmit doğumludur. Doktorasını İngiltere' de University of Surrey' de tamamladı. 1982 yılından bu yana Uludağ Üniversitesi Mühendislik- Mimarlık Fakültesi, Makine, Tekstil, Endüstri ve Elektronik Mühendisliği Bölümlerinde Otomatik Kontrol ve Sistem Dinamiği, Hidrolik ve Pnömatik Güç İletimi konularında Lisans ve Lisansüstü seviyelerinde çeşitli dersler ve araştırma çalışmaları yürütmektedir. Temmuz 1997-Ekim 2000 yılları arasında U.Ü. Mühendislik- Mimarlık Fakültesi Dekanlığı görevi yaptı. Ulusal ve uluslararası alanda yayınlanmış çeşitli makaleleri mevcut olup "Otomatik Kontrol- Sistem Dinamiği ve Denetim Sistemleri" ve "MATLAB ile Mühendislik Sistemlerinin Analizi ve Çözümü" isimli kitapları bulunmaktadır.