



ELEKTROPNÖMATİK BİR SİSTEMDE KONUM DENETİMİNİN ARASTIRILMASI

Elif ERZAN TOPÇU
İbrahim YÜKSEL

ÖZET

Bu çalışmada, aç-kapa denetim ve darbe genişlik modülasyon (DGM) tekniği ile bilgisayar denetimli bir elektro pnömatik sistemin konum denetimi deneysel olarak araştırılmıştır. Deneysel çalışmalar, fakültemiz Otomatik Kontrol laboratuvarında bulunan 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, iki adet 3/2 aç- kapa solenoid valfe ve iki adet basınç algılayıcısına sahiptir. Ayrıca geri besleme elemanı olarak 400 mm stroka sahip magneto restriktif temassız konum algılayıcısı kullanılmıştır. Deneysel verilerin toplanmasında ve sistemin bilgisayarlı denetiminde DSP tipi veri toplama ve denetim kartı kullanılmıştır.

Elde edilen sonuçlardan DGM tekniğinin konum denetimi üzerindeki etkisi değerlendirilmiştir.

GİRİŞ

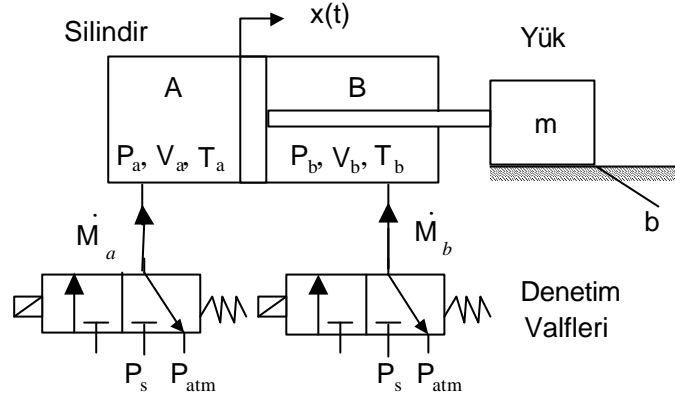
Pnömatik sistemler öncelikli olarak hareketlerin nispeten hızlı, elde edilen kuvvetlerin küçük ve çalışma şartlarının temiz ve emniyetli olması gereken yerlerde tercih edilmektedir. Uygulama alanları otomasyon sistemleri, maden ve inşaat sektörü, otomotiv sanayii, tekstil sektörü, makine ve takım tezgahları, gemi pnömatigi vb. biçiminde sıralanabilir. Bu sistemlerin bir elektrik sinyali yardımı ile uzaktan kumandali çalışmasını sağlayan temel elemanlar elektro pnömatik valflerdir. Elektro pnömatik valfler, elektriksel aygıtlar ile pnömatik sistemler arasında bir arayüz elemanı görevini görmektedirler. Bu arayüz elemanı ile birlikte geribeslemeli konum denetim sistemi gerçekleştirilebilir. Konum denetim sisteminde ise amaç mümkün olan en yüksek cevap hızı ile en düşük veya sıfır konum hatası sağlamaktır. Ayrıca sistemin kararlı çalışmasını sağlamak da esastir.

Elektro pnömatik valfler genelde aç-kapa tipi solenoid ve oransal servo valfler biçiminde sınıflandırılabilir. Servo valfler hassas bir oransal denetim sağlamakla beraber yapıları karmaşık ve maliyetleri de çok yüksektir. Bu nedenle endüstrinin tüm alanlarında yaygın olarak kullanılmamaktadırlar. Daha basit yapıda ve o oranda düşük maliyetli solenoid valfler genelde aç-kapa etkisi ile çalışır. Dolayısıyla bu valflerden, aç-kapa etkisi altında çok hassas bir konum denetimi sağlaması beklenemez. Bu valfleri diğer bir çalıştırma şekli ise darbe genişlik modülasyon (DGM) tekniğidir.

Darbe Genişlik Modülasyon (DGM) tekniği genelde doğrusal olmayan bir anahtarlama elemanı çıkışından doğrusal bağlantılar etmek için kullanılan bir yöntemdir. Sabit bir frekansta darbe doluluk/ boşluk oranına bağlı olarak anahtarlama elemanı çıkışından zaman ortalaması oransal bir çıkış sinyali elde edilir. Bu teknik elektrohidrolik sistemlerde [1,2,3,4,5,6,7,8] ve elektro pnömatik sistemlerde [9,10,11,12,13, 14, 15] aç- kapa biçiminde çalışan solenoid valfleri doğrusal sürmek için de kullanılmakta olup servovalflere göre daha basit yapıda ve düşük maliyetli aç-kapa tipi solenoid valflerden oransal bir denetim sağlanmasını mümkün kılmaktadır.

Bu çalışmada, aç-kapa denetim ve darbe genişlik modülasyon (DGM) tekniği ile bilgisayar denetimli bir elektro-pnömatik sistemin konum denetimi incelenmektedir. Bu asamada çalışmalar daha çok deneysel olarak yürütülmüştür.

PNÖMATİK SİSTEMİN MATEMATİK MODELİ



Sekil 1. Pnömatik silindir- valf sistemi

Yüke maruz valf denetimli bir pnömatik silindir sisteminin matematik modeli, valf debi denklemleri, silindir debi denklemleri ve yük denklemlerinden oluşmaktadır. Sekil 1' de çalışmada kullanılan sistemin denklemlerine esas olan sema ve simgeler gösterilmiştir. Burada amaç detaylı bir matematik analiz olmayıp, basitçe sistemin dinamik davranışına esas olan parametrelerin etkilerini göstermektir.

Valf Denklemleri

Valfler yolu ile silindirin A ve B taraflarına sağlanan kütleli debi ifadeleri Sekil 1' e göre aşağıda olduğu gibi ifade edilebilir [16]

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

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

Burada C_m kütleli akis parametresini, C_q boşaltım katsayısını, T_a ve T_b silindirin A ve B taraftaki sıcaklıkları, A_a ve A_b silindirin A ve B taraflarındaki alanları, P_s besleme basıncını, P_a ve P_b silindirin A ve B taraflarındaki basınçları ve P_{atm} atmosfer basıncını temsil etmektedir.

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 katılmıstır.

Silindire giren kütleli debi;

$$\dot{M}_a = \frac{1}{RT_a} \left(P_a \frac{dV_a}{dt} + \frac{V_a}{\gamma} \frac{dP_a}{dt} \right) \quad (3)$$

Silindirden çıkan kütleli debi:

$$-\dot{M}_b = \frac{1}{RT_b} \left(P_b \frac{dV_b}{dt} + \frac{V_b}{\gamma} \frac{dP_b}{dt} \right) \quad (4)$$

Yük Dinamigi

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 γ : özgül ısılara oranı, R: Gaz sabiti, 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 ile ifade edilebilir. P_a ve P_b basınçları mutlak basınçları ifade etmektedir. Karşı yük olarak hareketli kütlelerin eylemsizlik kuvveti, yapışkanlık sürtünmesi ve coulomb sürtünmesi göz önünde bulundurulmuştur.

DARBE GENİSLİK MODÜLASYON TEKNİĞİ (DGM)

Elektronik devrelerde daha çok transistörlerin sürülmesinde [17,18] kullanılan DGM tekniği, elektro-pnömatik ve elektrohidrolik sistemlerde aç-kapa tipi solenoid valflerin sürülmesinde kullanılmaktadır.

DGM tekniği ile oransal servovalflere göre daha basit yapıda ve düşük maliyetli aç- kapa tipi solenoid valflerden oransal bir denetim sağlamak mümkündür.

Aç-kapa etkisi ile çalışan valflerden doğrusal bağlantılar elde edebilmenin ön koşulları valfin açma-kapama anlarındaki dinamik davranış eğrilerinin simetrik olması, valfin her açma- kapama işleminden sonra kalıcı durum haline ulaşabilmesidir. Valfin her açma- kapama işleminden sonra kalıcı durum haline ulaşması şartı valfin doğrusal olarak çalışabileceği modülasyon veya taşıyıcı frekans (f_c) değerini belirler. Bu ifadenin aşağıdaki biçimde formüle edilebilir [3, 6].

$$T_v \leq t_d \leq \frac{1}{f_c} - T_v \text{ veya } f_c \leq \frac{f_v}{2} \quad (6)$$

Darbe Genişlik Modülasyon tekniğinde herhangi bir t_d darbe süresinin T_c modülasyon periyoduna oranı modülasyon oranı olarak tanımlanır.

$$\frac{t_d}{T_c} = M_o \quad (7)$$

Minimum darbe periyodunun $2T_v$ olması koşulundan, valfin oransal çalışabileceği modülasyon aralığı, valfin anahtarlama zamanı ve modülasyon periyoduna bağlı olarak;

$$M_{ov} = \left(1 - \frac{2T_v}{T_c} \right) \quad (8)$$

şeklinde ifade edilebilir. Bu ifadeden 0.1' lik bir T_v/T_c oranına karşılık %80' lik bir oranti bandı elde edilebileceği görülür. Buna göre; iyi bir oranti bandı elde edilebilmesi için modülasyon frekansının valf anahtarlama frekansının $1/10'$ u mertebelerinde olması gerekir. Bu oran büyüdükçe oranti bandı bozulmaktadır.

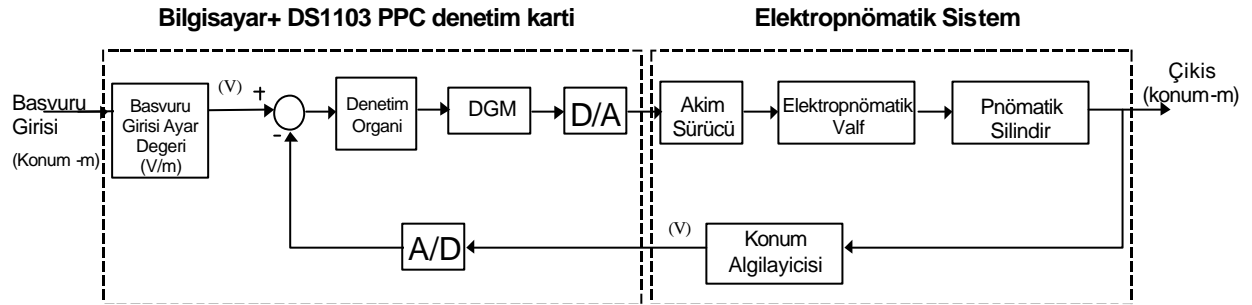
Modülasyon frekansının alt sinirinin belirlenmesi için anahtarlama elemanı tarafından üretilen salınımlı çıkış işaretinin denetlenen sistem tarafından filtre edilip edilmediğine bakılır. Modülasyon frekansının giriş veya sistem frekansına oranının

$$\frac{f_c}{f_s} > 7 \quad (9)$$

olması durumunda modülasyon sinyalinin düşük genlikli yüksek frekans bileşenlerinin denetlenen doğrusal sistem tarafından süzölebileceği gösterilmiştir. Hafif salınımlı hareketlere müsaade etmek kaydıyla bu oran 4- 5 değerlerine kadar indirilebilir. Böylece daha düşük modülasyon frekansı ile daha yavaş anahtarlama valflerinin oransal çalışması sağlanabilir.

SİSTEM TANIMI

Sekil 2' de bilgisayar denetimli elektropnömatik konum denetim sisteminin blok seması verilmistir. Sistem gerekli yazılım programları ile birlikte denetim kartı içeren bir PC bilgisayar ve elektropnömatik valf silindir sistemi olmak üzere iki alt sistemden oluşmaktadır.



Sekil 2. Geribeslemeli elektropnömatik konum denetim sistemi

Elektropnömatik sistem, bir çift etkili asimetrik silindir, iki adet aç-kapa solenoid valf, bir adet oransal regülatör, iki adet basınç algılayıcısı, bir adet manometre, bir adet mikrofiltre, bir adet filtre+regülatör, bir adet açma- kapama valfi ve bağlantı elemanlarından oluşmaktadır. Sekil 3 de tüm sistem sematik olarak gösterilmiştir. Ayrıca sistemin kapalı döngü konum denetiminde geri besleme elemanı olarak 400 mm stroka sahip magneto restriktif temassız konum algılayıcısı kullanılmaktadır.

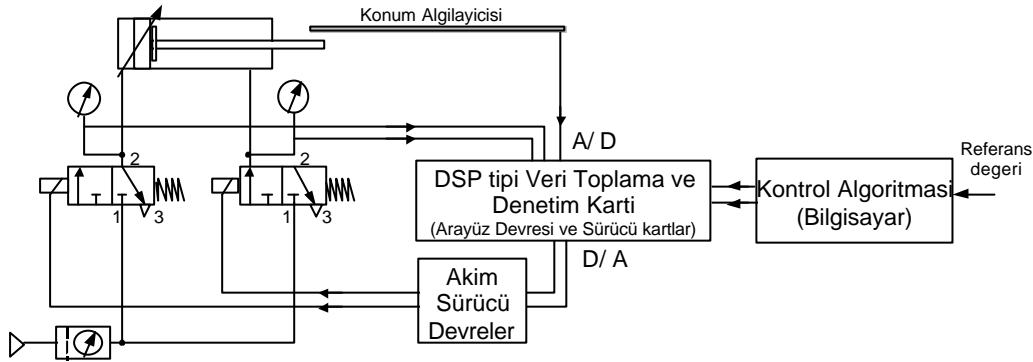
Bilgisayar sistemi bir PC bilgisayar, denetim kartı ve ilgili yazılım paketlerini içermektedir. PC bilgisayar, Pentium III, 1 GHZ işlemci ile birlikte 17" renkli monitör, 512 MB RAM ve 40 GB hard diske sahiptir. Denetim kartı DSP tipi denetim kartı olup denetim prototip ihtiyaçlarını karşılayabilen birden fazla giriş ve çıkış modülüne sahip tek kartlı bir sistemdir. Bu kart bir tek denetim kartı ile gerçek zamanlı denetim sistemlerinin oluşturulmasına imkan vermektedir. DSP tipi denetim kartının temel elemanları Power PC604e/400 MHz işlemci, giriş- çıkış ilaveli DSP TM320F240/ 20 MHz alt birimidir. Ayrıca dört adet 16-bit çoğullayıcı D/A birimi, dört kanal 12-bit A/ D birimi, sekiz kanal 12-bit A/D birimi, sekiz kanal 14-bit D/A birimi, altı kanal sayısal girişli artırımsal enkoder arayüzü, dört kanal 8bit sayısal I/O hattı ve iki adet genel amaçlı zamanlayıcı da içermektedir.

Denetim kartının programlanmasında ise MathWorks' ün [19] MATLAB/ Simulink/ Real- Time Workshop ve dSPACE' in [20] Real- time Interface (RTI) ve ControlDesk yazılımları kullanılmıştır. Kullanılan programın akis seması Sekil 4 de verilmistir. Yazılım programları herhangi bir ön hazırlığa gerek kalmadan doğrudan Simulink programını kullanarak gerçek ortamda denetleyici tasarlamayı mümkün kılan esnek bir yapıya sahiptir. Tasarım işlemi Simulink ortamında hazırlanan bir ön model tarafından otomatik olarak blok semalar yardımıyla gerçekleştirilir ve gerçek zamanda hesaplanır.

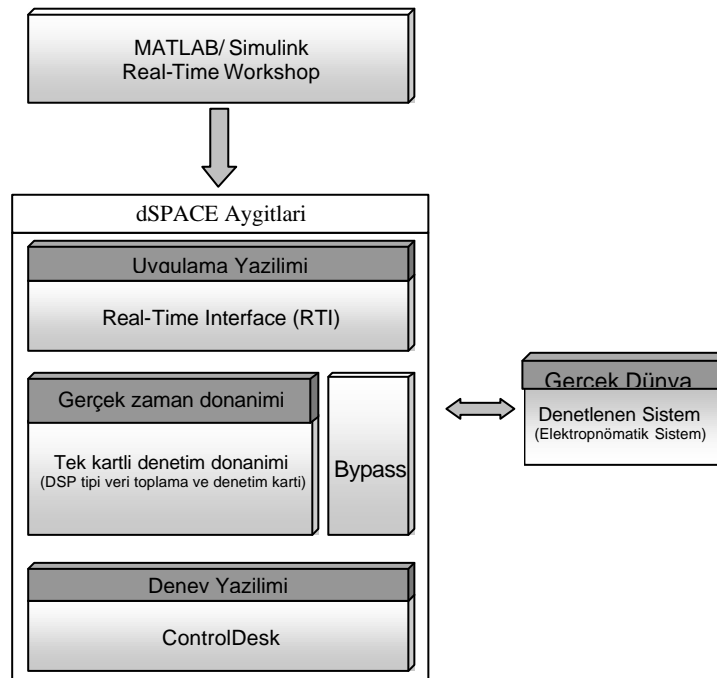
Modelleme araçları MATLAB/ Simulink/ Real- Time Workshop yazılımlarıdır ve bu yazılımlar ön modelin temelini oluşturmaktadırlar. MATLAB programı sayısal hesaplama, analiz ve görüntüleme işlemleri için bir taban oluştururken Simulink yazılımı da kullanımı çok kolay olan blok semalar yardımıyla modelleme ve PC tabanlı benzetim işlemi için bir ortam sunmaktadır. Simulink ile bütünleştirilmiş Real- Time Workshop yazılımı blok semalardan C kodlarını üretmek için kullanılan bir yazılımdır. Bu C kodları donanımın gerçek zamanlı arayüz işlemleri için temel teşkil etmektedir.

Deneylerin yapılmasında ve verilerin gerçek zamanda toplanmasında kullanılan, dSPACE' in sunduğu Real- Time Interface (RTI) ve ControlDesk isimli iki yazılım programından yararlanılmıştır. Real- Time Interface (RTI) herhangi bir programlamaya gerek kalmadan Simulink modellerini gerçek zamanlı donanım üzerinde çalıştırmak için kullanılan bir gerçekleştirme yazılımıdır.

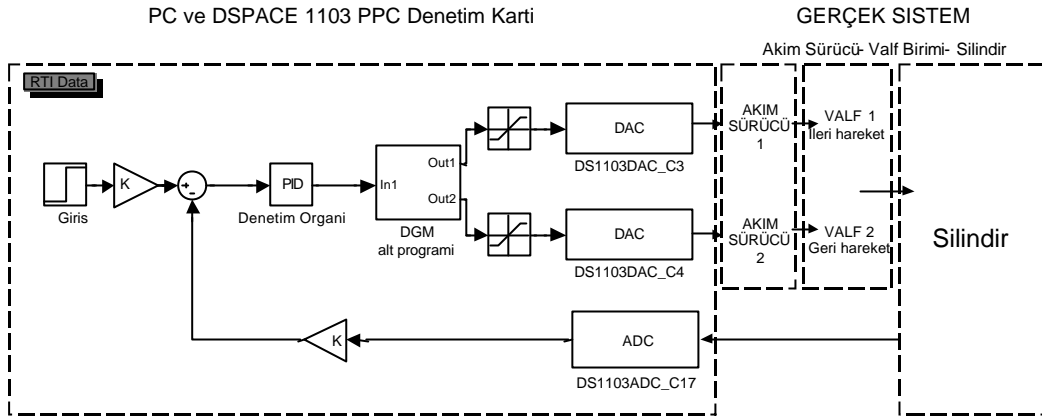
Şekil 5 de RTI ile bütünleştirilmiş Simulink programında modellenen denetim yordamı (algoritması) modeli ve denetlenen sistem gösterilmiştir. Denetim yordamı modeli Simulink programında sürük& bırak yöntemiyle oluşturulabilmektedir. Bu modelde, basvuru giriş sinyali, karşılaştırıcı, denetim yordamı ve grafik blokları Simulink yazılımının bir parçasıyken, DAC ve ADC blokları dSPACE ünitesinin elemanlarıdır. Elektropnömatik sistem gerçek ortam olarak kullanılmaktadır.



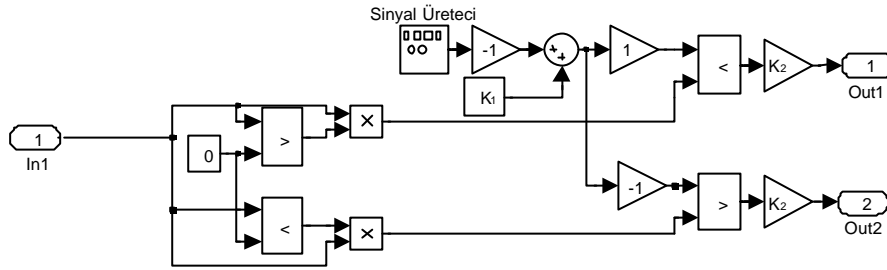
Şekil 3. Elektropnömatik sistemin sematik gösterimi



Şekil 4. Bilgisayarlı denetim sisteminin modüler yapısı



Sekil 5. Denetim sisteminin MATLAB/ Simulink modeli



Sekil 6. DGM Simulink altprogramı

Deneylerde kullanılan darbe genişlik modülasyon (DGM) sinyali modülü Simulink ortamında hazırlanmış olup Sekil 6 da verildiği gibidir. Sekilden de görüldüğü gibi bu sinyal ileri ve geri hareketi denetleyen valfleri ayrı ayrı sürebilecek biçimde hazırlanmıştır.

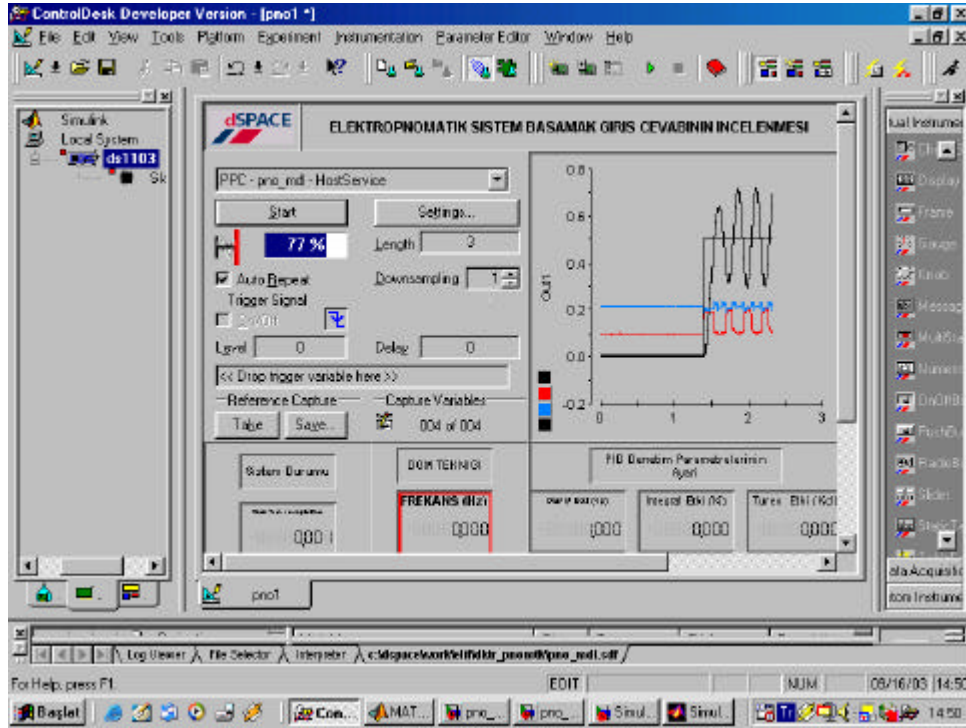
Model tamamlandıktan sonra denetim sisteminin kullanıcı grafik arayüzü olan görsel aygıt paneli Sekil 7 de gösterildiği gibi ControlDesk yazılım paketi yardımı ile oluşturulur. Grafik kullanıcı arayüzü olup ControlDesk olarak adlandırılmaktadır. Bu programın kullanımı oldukça esnek ve kolaydır. Bu ControlDesk paneli üzerinde denetim kartıyla iletişim kurabileceğimiz program sürükle- bırak yöntemiyle kolaylıkla yüklenebilir, sistemin gerçek zamanlı davranışı gözlenebilir ve denetim parametrelerinin ayarı yapılabilir.

AKIM SÜRÜCÜ TASARIMI

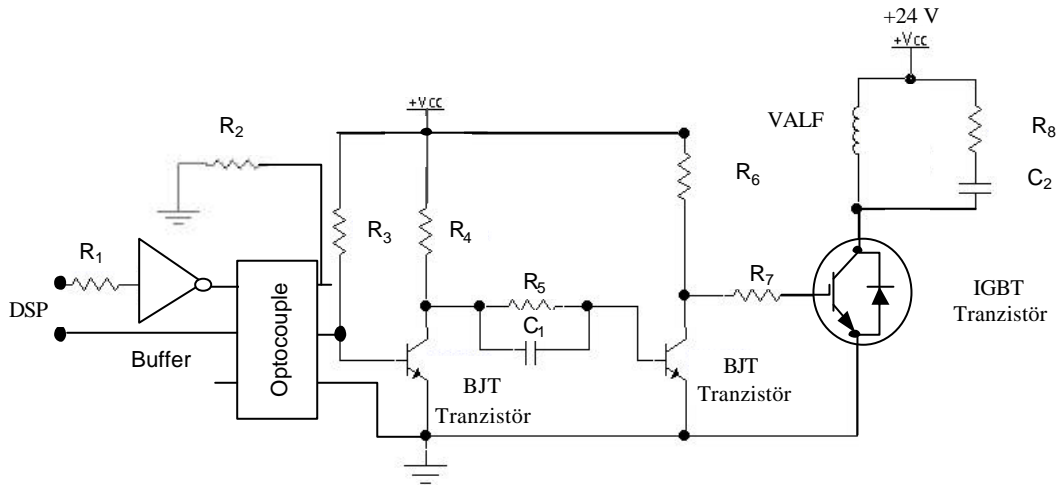
Elektriksel kısmının temel elemanı bir bobin olan elektropnömatik valf denetim kartından (DSP kartı) çıkan düşük güçlü gerilim sinyali ile doğrudan sürülemez. Bunun için gerilim sinyalini akıma dönüştüren bir elektronik akım sürücü devreye gerek vardır. Bu çalışmada kullanılmak üzere Sekil 8 de verilen devre tasarlanmıştır ve kurulmuştur.

Devrenin temel elemanı transistör olup bu da ya BJT, yada MOSFET veya IGBT tipinde olabilir. Darbe genişlik modülasyon tekniği ile sürmek için uygun olan MOSFET veya IGBT tipi transistör olmakla birlikte bu çalışmada çok yüksek akımlarda yalıtılmış IGBT tipi transistör seçimi uygun bulunmuştur.

Sekil 3 den görüldüğü gibi akım sürücü devrede IGBT tipi transistöre ilaveten optakaput ve tampon (buffer) gibi ilave elemanlar yer almaktadır. Bunlar DSP kartını bobinde oluşan ani akım değişimlerine karşı yalıtır ve korur. BJT tipi transistörler ise IGBT tipi transistörü sürmek için kullanılmıştır.



Sekil 7. Deney düzeneginin grafik kullanıcı arayüzü



Sekil 8. Akım sürücü devre

DENEYLER VE SONUÇLAR

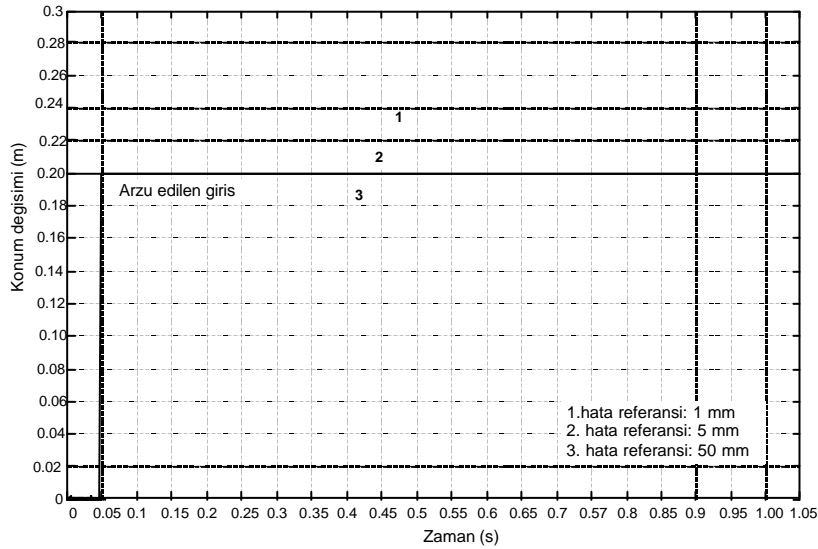
Bir elektropnömatik konum denetim sisteminde pratik olarak DGM tekniğinin konum hassasiyeti üzerindeki etkilerini belirlemek üzere, blok seması Sekil 1 ve sematik gösterimi Sekil 2 de verilen sistem üzerinde çeşitli deneyler yürütülmüştür. Silindir sisteminde, piston ve piston çubuğu kütlesi ile sürtünme kuvvetlerinin etkisi dışında herhangi bir karşı yük yer almamıştır. Hareketli silindir pistonu ve çubuğunun toplam kütlesi ise yaklaşık 3.3 Kg olarak hesaplanmıştır.

Karsilastirma amaci ile aç-kapa denetim yapisi temel alinmis ve bununla ilgili deneysel sonuçlar Sekil 9a da verilmistir. Burada anahtarlama elemani hata fark araligi en büyük degerden en küçük degere dogru degistirmis ve çesitli fark araligi durumlarına karsilik gelen basamak cevaplari elde edilmistir. Sekil 9a teki grafiklerden görüldüğü gibi baslangıçta belli sabit bir kalici durum hatasi veren sistem kazanç artisina bagli olarak sürekli salinimli hale gelmektedir. Bu da aç-kapa denetiminin temel özelligidir.

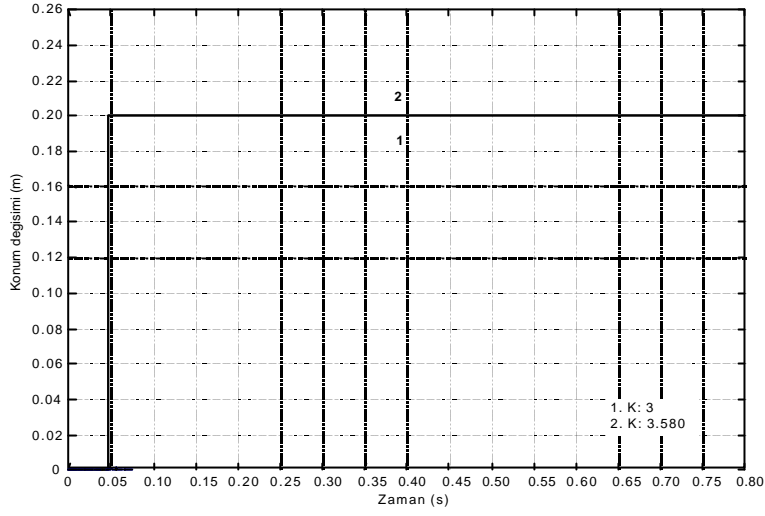
Sekil 9b, 9c ve 9d da üç farklı DGM frekansında elde edilen basamak cevabi grafikleri gösterilmistir. Burada anahtarlama veya aç-kapa elemani olan valfin cevap hizinin altında ve üstünde olmak üzere 5 Hz, 10 Hz ve 100 Hz degerlerinde üç farklı DGM frekansi test edilmistir. Bu testlerde oranti tipi denetleyici kullanilmis ve denetleyici kazanci yavas yavas artirilerek sistemi en az veya sifir hata ile cevap saglayan kazanç degeri tespit edilmeye çalışılmistir. Deneyselerde kullanılan valflerin cevap hizlari 20 Hz olarak verilmistir. Buradan DGM tekniginde belirtilen kriterlere en uygun DGM frekansinin 10 Hz civarında oldugu söylenebilir. Deneysel sonuçlardan 5 Hz ve 10 Hz de iyi bir dogrusallik elde edilmis ve kalici durum hatasi hemen hemen sifira indirilebilmistir. Buna karsilik 100 Hz gibi yüksek frekanslarda kalici durum hatasini tam olarak sifirlamak mümkün olamamistir. DGM teknigi uygulamalarda periyodik sinyal girişinden dolayi piston konumunda belirgin bir sarsak hareket gözlenmemistir. Gerçekte, özellikle 10 Hz lik DGM frekansında bu frekans sistem kapali döngü cevap frekansinin yaklasik 7 katından fazladir ki bu da teori ile uyumlu bir durumdur.

Deneysel sonuçlar sistemin cevap hizi açısından karsilastirildiginda aç-kapa denetim ile DGM teknigi uygulaması arasında kayda deger bir fark görülmemektedir. Burada cevap hizi olarak sistem cevabının nihai degere ilk defa ulastigi noktadaki zaman esas alınmistir. Sekillerden görüldüğü gibi sistem cevabında ölü zaman gecikmesi önemli bir yer tutmaktadır. Ölü zaman gecikmesinin de önemli bir kismini da pistonu etki eden sürtünme kuvvetlerinden ve bir kısmı da valfin gecikmesinden kaynaklandigi söylenebilir. DGM teknigi ölü zaman gecikmesini çok az da olsa azaltmaktadır. Bunun da DGM tekniginin geribesleme üzerinde belli bir dogrusallik saglamasından kaynaklandigi iddia edilebilir.

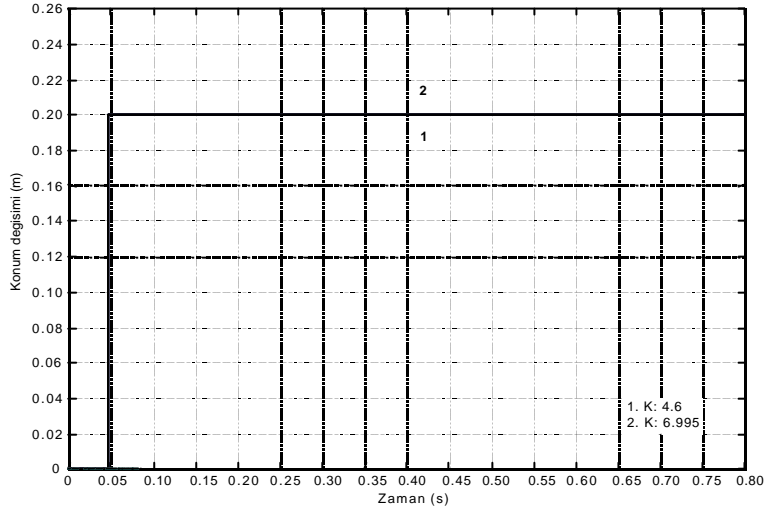
DGM tekniginde kazanç degeri belli bir degerin üzerinde artirilacak olursa (takriben $K_p=9$ civari) sistem sürekli salinimli hale ve hatta kararsizliga dogru gitme eğilimi göstermektedir. Buradan kapali döngü sistemin integral elemani içeren ikinci dereceden bir dinamik davranis yapısında oldugu söylenebilir. Özellikle belli bir kazanç degerinde kalici durum konum hatasının sifirlanabilmesi integral elemani içerdigini gösterir.



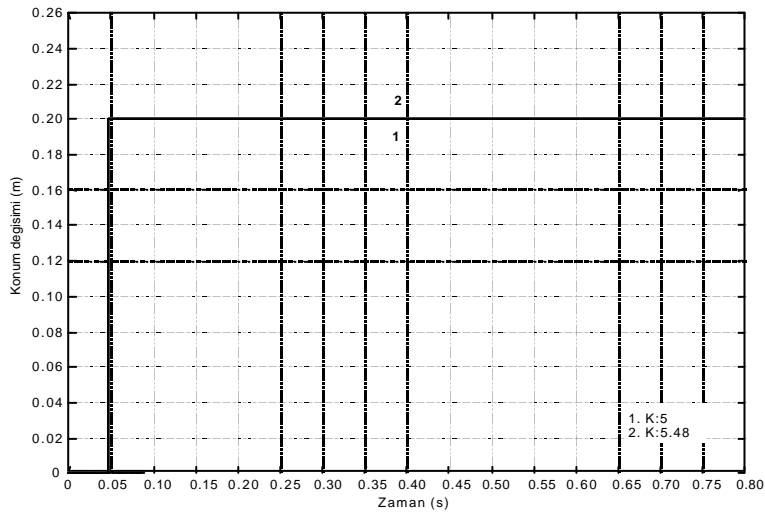
(a). Aç- kapa denetim



(b). f_c : 5 Hz



(c). f_c : 10 Hz



(d). f_c : 100 Hz

Şekil 9. Elektropnömatik sistemin aç- kapa denetim ve DGM tekniği birim basamak cevapları



SONUÇ

Bu çalışmada, aç-kapa denetim ve DGM tekniği ile bilgisayar denetimli bir elektro pnömatik sistemin konum denetimi deneysel olarak araştırılmıştır. Deneysel sonuçlara göre basit aç-kapa tipi solenoid valflere DGM tekniği uygulamak suretiyle yeterli bir konum hassasiyeti sağlanabileceği tespit edilmiştir. DGM tekniği uygulamasında sistemden yüksek bir dinamik performans sağlanması için öncelikle valflerin cevap hızının yüksek olması gerekir. Bu da en iyi biçimde hızlı anahtarlama valfleri ile sağlanabilir. Bu bildiri bu konuda yapılacak olan çalışmaların bir başlangıç aşamasını kapsamakta olup ilerideki çalışmalar çerçevesinde tasarım aşaması tamamlanmış olan hızlı bir anahtarlama valfi ile devam edilecektir. Yeni geliştirilecek olan valf ile birlikte çeşitli denetim yordamları uygulanarak bir pnömatik denetim sisteminde konum hassasiyetini artırma yolları ve bunlara etki eden parametreler araştırılacaktır.

KAYNAKLAR

- [1] MURTAUGH, S. A., "An Introduction to the Time- Modulated Acceleration Switching Electrohydraulic Servomechanism", Journal of Basic Engineering, Transactions of ASME, 263-268 p., 1959.
- [2] TSAI, S. C., P. R. UKRAINETZ, "Response Characteristics of a Pulse- Width – Modulated Electrohydraulic Servo", Journal of Basic Engineering, Transactions of ASME, 204- 214 p. 1970.
- [3] IKEBE, Y., T. NAKADA, "On A Piezoelectric Flapper Type Servovalve Operated by a Pulse- Width- Modulated Signal", Fourteenth Joint Automatic Control Conference of the American Automatic Control Council, 945- 953 p. Columbus, Ohio, 20- 22 June 1973.
- [4] MUTO, T., H. YAMADA, Y. SUEMATSU, "Digital Control of Hydraulic Actuator System Operated by Differential Pulse Width Modulation", JSME International Journal, Series III, Vol. 33, No. 4, 641-648 p., 1990.
- [5] SUEMATSU, Y., H. YAMADA, T. TSUKAMOTO, T. MUTO, "Digital Control of Electrohydraulic Servo System Operated by Differential Pulse Width Modulation", JSME International Journal, Series C, Vol. 36, No. 1, 61- 68 p., 1993.
- [6] YÜKSEL, İ., M. SENGİRGİN, H.İ. ÖNBAS, "Elektrohidrolik Valflerin DGM Tekniği İle Sürülmesinin Teorik ve Deneysel Arastırılması", Otomatik Kontrol Bilimsel Toplantısı, TOK'94, s. 325-338. 6- 7 Nisan 1994. İstanbul.
- [7] SENGİRGİN, M., İ. YÜKSEL, G. SEFKAT, H.İ. ÖNBAS, "DGM Tekniği İle Servovalf Kumandalı Hidrolik Sistemlerde Mikrodenetleyicili Konum Kontrolü", TOK'96 Otomatik Kontrol Ulusal Toplantısı, 28- 29 Mart 1996, İstanbul.
- [8] KELES, O., Y. ERCAN, "Theoretical and Experimental Investigation of a Pulse- Width Modulated Digital Hydraulic Position Control System", Control Engineering Practice, Vol. 10, p. 645-645.2002.
- [9] NORITSUGU, 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.
- [10] 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.
- [11] ROYSTON, T., R. SINGH, "Development of a Pulse Width Modulated Pneumatic Rotary Valve for Actuator Position Control", Journal of Dynamic Systems, Measurement, and Control. Vol. 115, 495- 505 p., 1993.
- [12] SHIH, M., M MA., "Position Control of a Pneumatic Cylinder Using Fuzzy PWM Control Method", Mechatronics, Vol. 8, Issue 3, 241-253 p., 1998.
- [13] BELFORTE, G., G. MATTIAZZO, S. MAURO, "Fast Response Pneumatic Servosystems With Digital Valves", Fluid power, Fifth JFPS International Symposium, 715- 720 p., Japan, 2002.
- [14] SHIH, M., M. MA., "Position Control of a Pneumatic Rodless Cylinder Using Sliding Mode M- D- PWM Control the High Speed Solenoid Valves", JSME International Journal, Vol. 41, No. 2, p.236- 241., 1998.



- [15] CIHAN, S., "Pnömatik Konum Kontrolü", Yüksek Lisans Tezi, I.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul. 1999.
- [16] McCLOY, D., H: R. MARTIN, "Control of Fluid Power: Analysis and Design". Ellis Horwood Limited. 1980.
- [17] TAFT, C. K., E. V. SLATE," Pulsewidth Modulated DC Control: A Parameter Variation Study with Current Loop Analysis", IEEE Transactions on Industrial Electronics and Control Instrumentation", 218- 226 p., 1979.
- [18] KWON, B., B. MIN, "A Fully Software- Controlled PWM Rectifier with Current Link", IEEE Transactions on Industrial Electronics, Vol. 40, No. 3, 355- 363 p., 1993.
- [19] The MathWorks, Inc., "Real- Time Workshop for use with Simulink, User's Guide". Natick., Massachusetts. 1999.
- [20] dSPACE GmbH, "ControlDesk: Experiment Guide". Version 2.1. Paderborn, Germany. 2001.

ÖZGEÇMİSLER

Elif ERZAN TOPÇU

1978 yılında Bursa' da doğdu. Uludağ Üniversitesi Mühendislik- Mimarlık Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü' nden 1998 yılında "Lisans", 2000 yılında "Yüksek Lisans" derecelerini aldı. 2000 yılında "Doktora" eğitimine başlamıştır. 1998 yılından beri Uludağ Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü' nde "Arastırma Görevlisi" olarak çalışmaktadır. Çalışmaları elektromekanik sistemler, sistem dinamiği, otomatik kontrol ve modelleme alanlarında yoğunlaşmıştır.

İbrahim YÜKSEL

1951 yılında İzmit' te doğdu. 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.