

İKİ KADEMELİ ELEKTROHİDROLİK BİR HIZLI ANAHTARLAMA VALFİNİN KARAKTERİSTİKLERİNİN İNCELENMESİ

*Mesut ŞENGİRGİN**
İbrahim YÜKSEL

Özet: Bu çalışmada, pilot kademesi hızlı anahtarlama valfi olan iki kademeli elektrohidrolik valfin tasarımı ve karakteristikleri teorik ve deneysel olarak incelenmektedir. Hareketli elemanı disk biçiminde tasarlanan valfin pilot kademesi, cevap hızı yüksek çift bobinli bir solenoidtir. Açma-kapama şeklinde çalışan bu solenoidler ile giriş işareti ile çıkış işareti arasında oransal denetim sağlamak için Darbe Genişlik Modülasyon (DGM) tekniğinden yararlanılmıştır. Valflerin çalıştırılmasında kullanılan DGM sinyalinin alt ve üst sınırlarının belirlenmesinde kullanılan ölçütler ayrıntılı bir şekilde tartışılmıştır. Bu ölçütlerin en önemlilerinden birisinin anahtarlama elemanının çalışma frekansı olduğu ortaya konulmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Hızlı anahtarlama valfi, elektrohidrolik valf, darbe genişlik modülasyon, benzetim.

Investigation Of The Characteristics Of A Two Stage Electrohydraulic Fast Switching Valve

Abstract: In this study, the design and the characteristics of a two stage electrohydraulic valve which its pilot stage is a fast switching valve are theoretically and experimentally investigated. The designed valve is a solenoid with double coils and has got a disc type of armature. The fast switching valve works as an on-off element and a Pulse Width Modulation (PWM) technique is used for obtaining a proportional relation between the input signal the output signal. The criteria used in the determination of the lower and upper limits of PWM signals are discussed in detail. It is found that frequency of the switching element is one of the most important criteria.

Key Words: Fast switching valve, electrohydraulic valve, Pulse Width Modulation, simulation.

1. GİRİŞ

Disk valfler, düşük maliyetli denetim sistemlerinde kullanılmak üzere geliştirilmiş elektriksel olarak çalışan anahtarlama veya oransal aygıtlardır. Bu konuda gerçekleştirilen ilk çalışmalarda (Goldstein ve Richardson, 1968), (Ikebe ve Nakada, 1973), (Yüksel, 1981) tek ve çift diskli valflerin tasarımı, statik ve dinamik karakteristikleri ayrıntılı bir şekilde incelenmiştir. Daha sonraki yıllarda disk valfler üzerinde çeşitli çalışmalar yürütülmüş (Usman, 1984), (Lau, 1987), (Sun vd..., 1992), (Parker ve Sun, 1995), (Şengirgin vd..., 2000) halen de yürütülmektedir. Bu çalışmalar sonucu elde edilen ilerlemeler disk valflerin yapıca çok basit, sıkı toleranslı yüzeyler içermeyen birkaç kritik boyuta sahip düşük maliyetli aygıtlar olduğunu ortaya koymuştur. Ayrıca yüksek cevap hızı ve çalışma güvenilirliği gibi üstünlüklere de sahiptirler. Uygun bir modifikasyon işlemi ile hem sıvı ve hem de gaz akışkanlarda, yağlayıcı ve yağlayıcı olmayan ve aşındırıcı ortamlarda da kullanılabilme olanaklarına sahiptirler. En önemli dezavantajları ise klasik denetim teknikleri ile oransal biçimde çalıştırılmaları zordur.

Geleneksel piyasa malı solenoid valflerin cevap hızları 50-100 ms arasında değişmektedir ki bu sistem performansını düşürür. Son yıllarda normal solenoid valflerin yanında çok hızlı çalışan anahtarlama valfleri de geliştirilmiş olup disk valflerde bunlardan birisidir. Disk valflerin anahtarlama hızları çalışma ortamı, çalışma basıncı ve geçirdiği akışkan miktarına göre 2 ms ile 15 ms arasında değişmektedir. Yeni geliştirilen elektronik sürme teknikleri ile bu hızların daha da artması beklenmektedir.

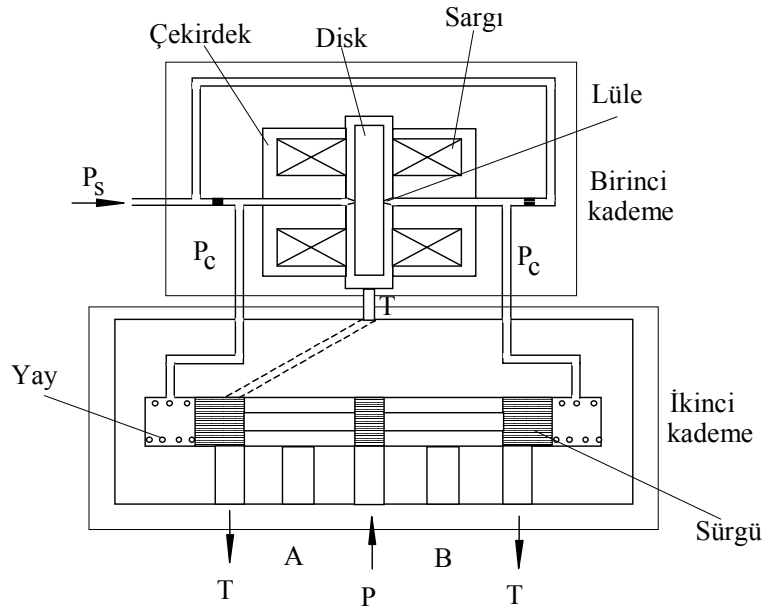
Bu çalışmada, hidrolik konum denetim sisteminde kullanılabilen pilot kademesi çift bobinli disk valfin genel yapısı, karakteristikleri ve bu valflerin DGM tekniği ile sürülmesi ele alınmıştır.

* Uludağ Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi 16059 Görükle/Bursa

2. HIZLI ANAHTARLAMA ELEMANLI İKİ KADEMELİ VALFİN TEMEL ÖZELLİKLERİ

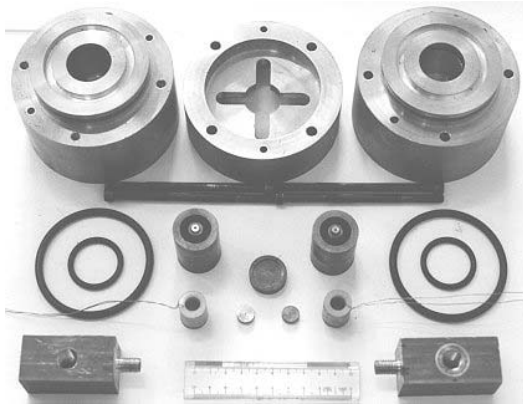
Hızlı anahtarlama valfi, iki kademeli bir valfin birinci (pilot) kademesini oluşturmaktadır. Temel elemanlar olarak, mıknatıs devresi, disk ve lüle elemanını sayabiliriz. Bu valfte disk yüzer durumdadır ve boşta konumda pilot akışkan tanka bağlanmaktadır.

Birinci kademedeki bulunan bobinlerden biri uyarıldığında (enerjilendiğinde), oluşan mıknatıs kuvveti diski kendine doğru çeker. Diskin yaklaşma miktarına ve akışkan karakteristiklerine bağlı olarak, lüle arkasında bir denetim basıncı oluşur. Bu denetim basıncı, ikinci kademedeki sürgülü valfin sürgü elemanını hareket ettirerek, kullanıcıya gidecek olan basınçlı akışkanın yönünü denetlemektedir. Şekil 1’de birinci kademesi hızlı anahtarlama elemanı olan iki kademeli valf şematik olarak görülmektedir. Şekil 2’de hızlı anahtarlama elemanı valfin pilot kademesinin parçaları ve Şekil 3’te valfin montaj hali görülmektedir.



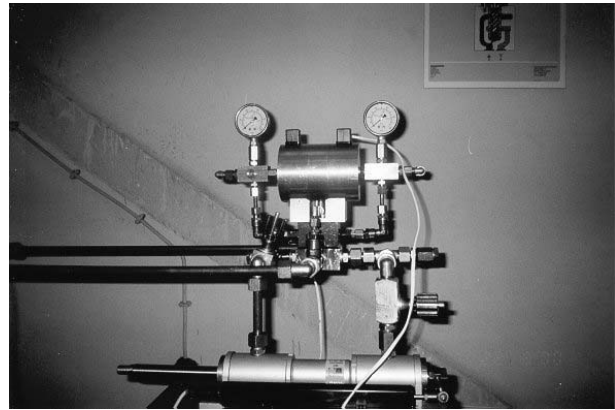
Şekil 1.

Pilot kademesi hızlı anahtarlama elemanı olan iki kademeli valf modeli (Şengirgin, 2000)



Şekil 2.

Hızlı anahtarlama elemanı valfin parçaları



Şekil 3.

Hızlı anahtarlama elemanı valf, silindir ve konum algılayıcısı ile montajı

3. HIZLI ANAHTARLAMA ELEMANLI İKİ KADEMELİ VALFİN DİNAMİK KARAKTERİSTİKLERİ VE ANAHTARLAMA ÖZELLİKLERİ

Hızlı anahtarlama elemanlı valfte, iki bobin için ayrı ayrı elektromıknatis denklemleri oluşturmak gerekmektedir. Bu bobinleri çekici (enerjilenen) ve tutucu (enerjiden kesilen) bobin olarak isimlendirmek mümkündür. Buna göre çekici bobinin elektrik devresi için

$$Ri_{\zeta}(t) + L_{\zeta} \frac{di_{\zeta}(t)}{dt} + i_{\zeta} \frac{dL_{\zeta}}{dx} \frac{dx(t)}{dt} = V_{\zeta}(t) \quad (1)$$

tutucu bobinin elektrik devresi için

$$Ri_t(t) + L_t \frac{di_t(t)}{dt} - i_t \frac{dL_t}{dx} \frac{dx(t)}{dt} = 0 \quad (2)$$

yazmak mümkündür. Bobinlerde oluşacak manyetik kuvvetler ise çekici bobin için,

$$f_{m_{\zeta}}(t) = \frac{\mu_0 A_c N^2 i_{\zeta}^2(t)}{4(x_g - x(t))^2} \quad (3)$$

tutucu bobin için,

$$f_{m_t}(t) = \frac{\mu_0 A_c N^2 i_t^2(t)}{4(x_h + x(t))^2} \quad (4)$$

şeklinde yazılır. Çekici diskin indüktansı için

$$L_{\zeta} = \frac{\mu_0 A_c N^2}{2(x_g - x)} \quad (5)$$

tutucu bobinin indüktansı için

$$L_t = \frac{\mu_0 A_c N^2}{2(x_h + x)} \quad (6)$$

yazılır. Diskin hareket denklemi için ise,

$$f_m(t) = f_{m_{\zeta}}(t) - f_{m_t}(t) = m_d \frac{d^2 x(t)}{dt^2} + b \frac{dx(t)}{dt} + f_a(t) \quad (7)$$

yazılabilir (Yüksel, 1981). Burada, f_a akışkan kuvvetleri olup, statik halde disk yüzer konumda olduğu için dengededir diyebiliriz.

Diskin hareketinde; anahtarlama başlangıcı ve anahtarlamanın sona erme anı olmak üzere iki kritik durum söz konusudur. Sargıya uygulanan akım ile başlatılan anahtarlama işleminde akımın ansal olarak yükselmesi beklenemez. Hareket başlangıcında; çekim kuvveti akışkan basınç kuvvetlerini yeninceye kadar $dx/dt=0$ olacağından, (2) nolu denkleme göre sargıdaki akım L/R oranının ortaya koyduğu zaman gecikmesine bağlı olarak artış gösterecektir. Hareket anında ise; $dx/dt \neq 0$ olacağından indüktans da disk hareketine bağlı olarak değişecektir.

Hareketin son aşamasında disk ile sargı arasındaki mesafe çok kısa kaldığından radyal yönde etki eden akışkan sürtünme kuvvetlerinin artması beklenir. Fakat diğer taraftan da bu aşamada mıknatis kuvvetleri de en yüksek seviyeye çıkmış olacağından anahtarlama işleme hızla tamamlanmış olacaktır.

Özellikle sistem basıncının yüksek olduğu durumlarda anahtarlama zamanının büyük bir kısmını bekleme zamanı teşkil etmektedir. Buna karşılık diskin hareket zamanı çok kısa sürmektedir. Bekleme zamanını veya ölü zaman süresini kısa tutmak suretiyle diskin anahtarlama hızının artırılabilceği aşikârdır.

Sargıya uygulanan akımın kesilmesi ile diskin, akışkan kuvvetlerinin etkisi altında geri hareketinde ise akım yine ansal olarak sıfır olamayacağından bu kez de basınç kuvveti kalıcı mıknatis kuvvetini yenene kadar bir bekleme süresi oluşacaktır. Başlangıçtaki akım değeri ne kadar düşük olursa akımın sıfırlanması için geçen zaman o oranda kısa olacağından bekleme süresi de o oranda kısa sürmüş olacaktır.

$$T_v \leq t_d \leq 1/f_c - T_v \text{ veya } T_c = 1/f_c \geq 2T_v \quad (8)$$

Buna göre, T_c modülasyon sinyali periyodunun, T_v valf anahtarlama zamanının en az iki katı veya diğer bir deyişle de modülasyon frekansının valf anahtarlama frekansının en az yarısı olması gerektiği ortaya çıkar.

DGM de herhangi bir t_d darbe süresinin, T_c modülasyon periyoduna oranı; modülasyon oranı ($M_o=t_d/T_c$) olarak tanımlanır. Modülasyon frekansının alt sınırının belirlenmesinde anahtarlama elemanı tarafından üretilen salınımlı çıkış işaretinin denetlenen sistem tarafından filtre edip edilmediğine bakılır. Ikebe (1973) tarafından yapılan bir çalışmada modülasyon frekansının giriş veya sistem frekansına oranı 7'den büyük olması kaydı ile modülasyon sinyalinin düşük genlikli yüksek frekans bileşenlerinin denetlenen doğrusal sistem tarafından tamamen süzölebileceği gösterilmiştir. Hafif salınımlı hareketlere müsaade edilmek kaydı ile bu oranın 4-5 değerlerine kadar indirilebileceği gösterilmiştir. Böylece daha düşük modülasyon frekansı ile daha yavaş anahtarlama valflerin oransal çalışması sağlanmaya çalışılmıştır.

5. MEKATRONİK YAKLAŞIM

Bir elektrohidrolik disk valfte, disk ile beraber valfi oluşturan birçok bileşen mevcuttur. Bu bileşenleri dört ana grupta toplamak mümkündür. Bunlar, elektronik kontrol elemanları, elektromanyetik kuvvet motoru (elektromıknatıs), akışkan pilot kademesi ve akışkan güç kademesidir. Bu bileşenlerden oluşan disk valfte mekatronik yaklaşım, düşük maliyet, kompakt boyut ve dinamik karakteristik açısından optimum bir tasarım oluşturmaktır. Bunun ile ilgili çevrim Şekil 5'te verilmiştir.

Elektromanyetik devrenin en önemli elemanlarından biri olan disk, akışkan-plaka kuvvetlendiricisindeki mekanik hareketi sağlar.

Manyetik, akışkan ve mekanik karakteristikler gibi çeşitli parametrelerin bazı etkileşimleri, komple valf tasarımının karmaşık etkileşimlerini belirtmek için gösterilmektedir.

İlk olarak, disk üzerindeki çıkıntı ve sargı yüzeyi arasındaki mesafe tutma aralığını kontrol eder. Bu aralık maksimum elektromanyetik çekme kuvvetini tanımlar ve dolayısıyla artık mıknatıslanmayı kontrol eder. Tutma aralığı ve değişken disk yerdeğiştirmesi elektromanyetik çekme kuvvetini değiştirir ve tüm disk alanı boyunca radyal yağ akışı için akışkan film kalınlığı sağlar.

İkinci olarak, disk çapı elektromanyetik kuvvet ve üretilen akışkan kuvvetini etkiler. İdeal olarak, büyük bir disk manyetik kuvveti maksimum yapmak için gereklidir. Ancak küçük disk çapı doğrusal olmayan akışkan reaksiyon kuvvetlerini minimum yapar.

6. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA

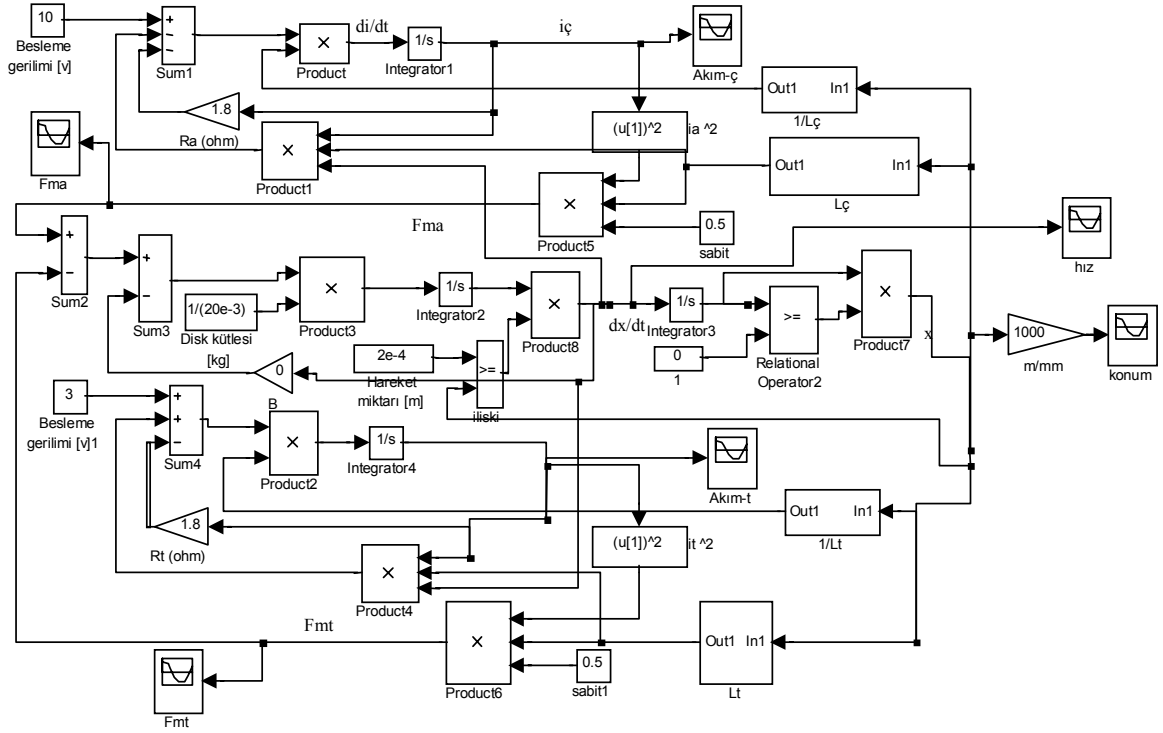
6.1. Bilgisayar Çözüm Sonuçları

Hızlı anahtarlama elemanlı valf için hazırlanacak Simulink modeli için, (1)-(7) nolu ifadelerden yararlanılacaktır. Hazırlanan model ile uygulanacak uyarı gerilimine göre, çekici bobinde oluşan akım değişimleri ve diskin konum değişimleri elde edilecektir.

Modeli oluşturmak için Simulink kütüphanesinden, tek bobinli disk valfte olduğu gibi herbir denklem için elemanlar seçilir ve verilen ifadeye uygun şekilde bağlantılar gerçekleştirilir. Hızlı anahtarlama elemanlı valfin modeli, çekici bobin ve tutucu bobin olmak üzere iki kısımdan oluşmaktadır.

Çekici bobinin voltaj eşitliğini veren (1) nolu ifade için, bir adet toplama noktası, iki adet çarpma elemanı, bir adet integral alıcı eleman, direnç elemanını temsil edecek bir kazanç, bir adet fonksiyon elemanı Simulink kütüphanesinden seçilir ve verilen ifadeye uygun şekilde bağlantılar gerçekleştirilir.

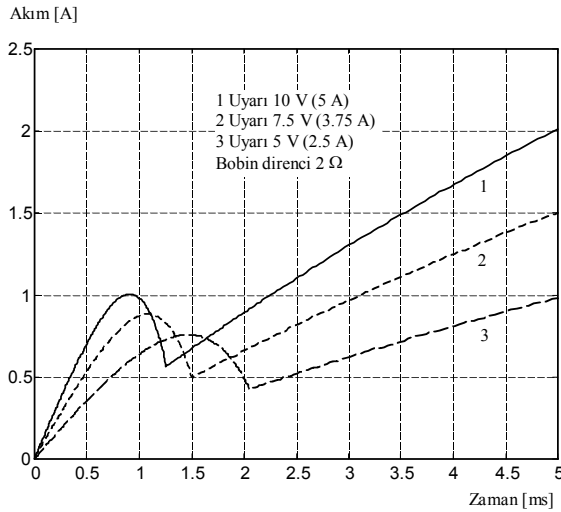
Manyetik kuvvetin hesaplanmasında kullanılan bobin indüktansı ve indüktansın disk hareket miktarına göre değişimi (dL/dx) ifadeleri "Mask" adı verilen bir yöntem ile hazırlanmıştır. Bu yöntemde, denklemler parametrik olarak hazırlanır. Mask Editör yardımı ile denklem içinde yer alan parametreler tanımlanır. Oluşturulan mask eleman üzerine imleç getirilir ve kliklenir. Denklem içinde yer alan parametrelerin değerleri açılan pencere içindeki yerlerine yazılır ve pencere kapatılır. Böylece parametreler için değer atama işlemi gerçekleştirilmiş olur. Parametrelerin değerlerindeki değişiklikler için program üzerinde değişiklik yapmadan gerçekleştirilir. Bu da programa bir esneklik getirmektedir. Şekil 6'da hızlı anahtarlama elemanlı valf için hazırlanan Simulink modeli verilmiştir.



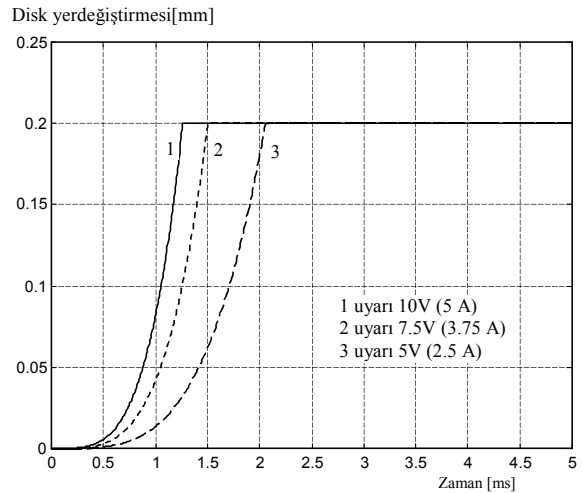
Şekil 6.
Hızlı anahtarlama elemanlı valfin Simulink şeması

Şekil 7 ve Şekil 8’de çekici bobin için çeşitli uyarı gerilimlerine karşılık akım değişimi ve disk yerdeğiştirmesi Simulink çözüm sonuçları görölmektedir. DGM frekansının üst sınır, disk hareketinin tamamlandığı zamana karşılık gelen frekans değeridir. Disk, hareketini yaklaşık olarak 2 ms’de tamamlamaktadır. Buna göre DGM frekansı maksimum 250 Hz olacaktır.

6.2. Statik Sonuçlar



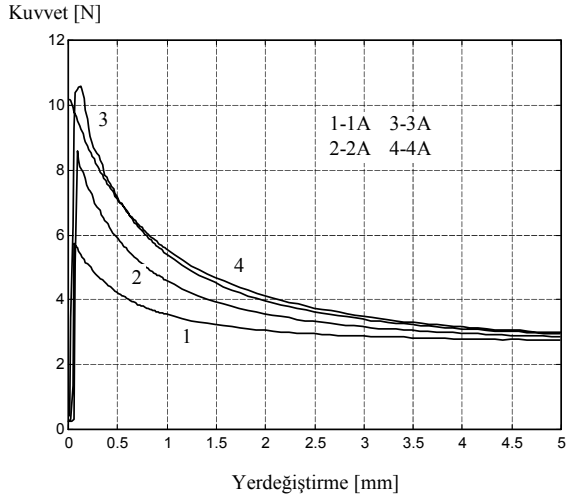
Şekil 7.
Hızlı anahtarlama elemanlı valfte çekici bobin akım değışimi



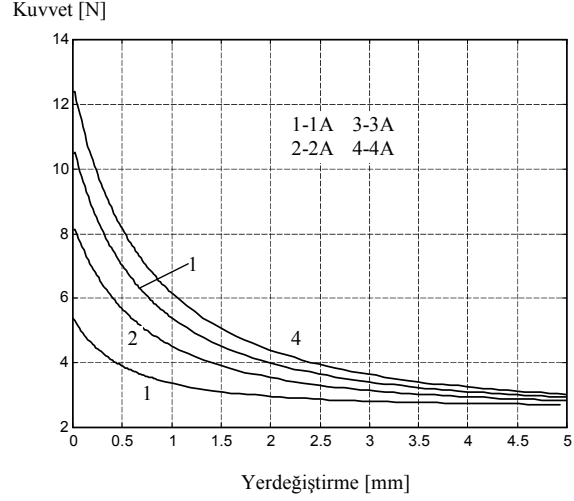
Şekil 8.
Hızlı anahtarlama elemanlı valfte disk yerdeğiştirmesi

Hızlı anahtarlama elemanlı üzerine çalışmalar, kuvvet-yerdeğiştirme, yük basıncı-debi karakteristiği ve çeşitli DGM sinyalinde doluluk-boşluk oranına göre debi karakteristiği olmak üzere üç kısımdan oluşmaktadır.

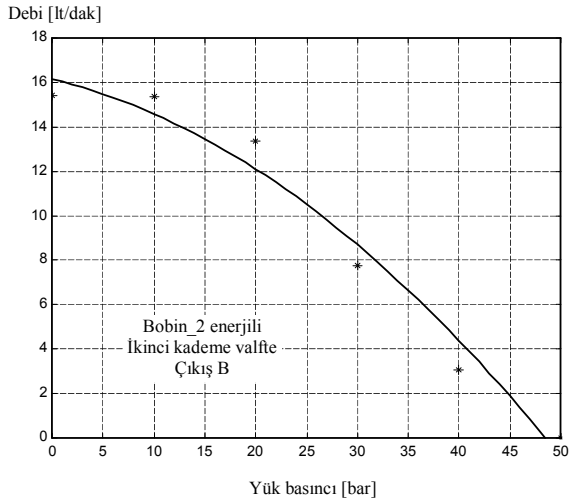
İmalatı gerçekleştirilen bobinlerin kuvvet-yerdeğiştirme karakteristiklerini deneysel olarak elde etmek için 4301 model İnstron Mukavemet Test Cihazı kullanılmıştır. 4301 model İnstron Mukavemet Test Cihazı; sabit uzama prensibine göre çalışmakta olup, elektromıknatısın gövdesi sabit çeneye, hareketli kısmı yani disk hareketli çeneye bağlanarak aradaki mesafe (hava aralığı) yaklaşık 0 mm'den 5 mm'ye kadar artırılarak, hava aralığı mesafesine karşılık mıknatıs kuvveti eğrileri alınmıştır.



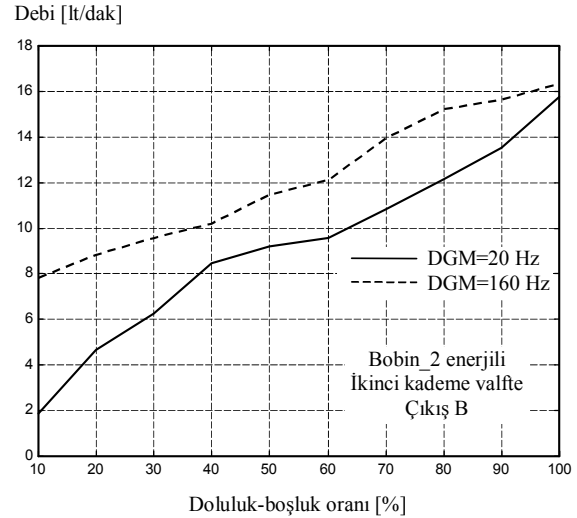
Şekil 9.
Hızlı anahtarlama elemanlı valfin
kuvvet-yerdeğiştirme grafiği (bobin_1)



Şekil 10.
Hızlı anahtarlama elemanlı valfin
kuvvet-yerdeğiştirme grafiği (bobin_2)



Şekil 11.
Hızlı anahtarlama elemanlı valfin yük
basıncı-debi karakteristiği



Şekil 12.
Çeşitli frekanslarda doluluk-boşluk
oranı-debi karakteristiği

Şekil 9 ve Şekil 10'da çift bobinli disk valfin her bir bobini için elde edilen kuvvet yerdeğiştirme grafikleri verilmiştir.

Valfin yük basıncı-debi karakteristiği 2.0 A akım değerinde ve 50 bar sistem basıncında gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlar Şekil 11'de verilmiştir.

Statik karakteristiklerin üçüncü aşaması olan DGM sinyalinin doluluk-boşluk oranlarına göre debi karakteristiğini belirlemek için, DGM sinyalinin frekanslarının belirlenmesi gerekmektedir. Yapılan hesaplamalar sonucu, 20 Hz ve 160 Hz olarak belirlenmiştir. Belirlenen bu frekans değerlerine göre elde edilen sonuçlar Şekil 12'de verilmiştir.

7. SONUÇ

Diskli solenoid valf aç-kapa çalışan bir solenoid valftir. Aç-kapa çalışan solenoid valfin bobinin uçlarına uygulanan dc akım belli bir değeri almadığı sürece, valf akışa müsaade etmez. Bu akım değeri aşıldıktan sonra valf tamamen açılır ve akışkan geçişine müsaade edilir. Aç-kapa çalışan bir solenoid valf için akışkan miktarının ara değerleri yoktur, giriş işareti ile orantılı bir akışkan debisi elde edilemez.

Böyle bir solenoid valften, DGM tekniği uygulanarak, çıkış işaretinin zaman ortalamasının giriş işareti ile orantılı olması sağlamaktadır. Şekil 17’de gösterildiği gibi çıkış işareti debi ile darbelerin doluluk boşluk oranı arasında bir doğrusallık olduğu görülmektedir. Bu doğrusallık, darbelerin frekansları ile bir miktar değişkenlik gösterse de genel itibari ile doğrusallık elde edilmiştir.

Disk valfin dinamik karakteristiklerinin bilgisayar çözümlerine baktığımızda, akım eğrisinde meydana gelen ilk çukurlukta, diskin hareketini tamamladığı ve bu noktada sabit kaldığı ve hızının sıfır olduğu görülmektedir. Disk hareketinin tamamlandığı noktadaki bu zaman DGM frekansı için önemli bir kriter olmaktadır.

8. KAYNAKLAR

1. GOLDSTEIN, S.R. ve H.H. RICHARDSON. (1968) A Differential Pulse-Length-Modulated Pneumatic Servo Utilizing Floating Flapper Disk Switching Valves, *Transaction of the ASME Journal of Basic Engineering*, 427- 437.
2. IKEBE, Y. ve T. NAKADA. (1973) 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.
3. LAU, K.S. (1987) *Position controlled disc valve*._Doktora_tezi, University of Surrey.
4. PARKER, G.A. ve SUN, Y.B. (1995) A Mechanronic approach to compact fluid disc valve design, *Proc. Instn. Mechn. Engrs.*, Vol. 209, sayfa 115-125
5. SUN, Y. ve G. A. PARKER. (1992) Steady-State Theoretical Model of An Electrohydraulic Single-Disk Pilot Valve, *Transaction of the ASME Journal of Dynamic Systems, Measurement and Control*, Vol.114, 293-298.
6. ŞENGİRGİN, M. (2000) *Elektrohidrolik Disk Valflerin Geliştirilmesi ve Bunların Çeşitli Sinyal İşleme Teknikleri Yolu İle Denetlenmesinin Araştırılması*, Doktora Tezi, U.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Bursa.
7. ŞENGİRGİN, M., İ. YÜKSEL ve G. ŞEFKAT. (2000) Mekatronik Yaklaşım İle Elektrohidrolik Disk Valflerin Tasarımı ve DGM Tekniği İle Sürülmesinin İncelenmesi. 9. *Uluslararası Makine Tasarım ve İmalat Kongresi, UMTİK2000*, 367-376, Ankara.
8. USMAN, A. (1984) *Development of an electro-hydraulic floating double-disc valve*,_Doktora_tezi, University of Surrey.
9. YÜKSEL, İ. (1981) *An Investigation of Electro-hydraulic Floating Disc Switching Valves*, Doktora tezi, University of Surrey.