

ELEKTROHİDROLİK VALFLERİN GENEL KARAKTERİSTİKLERİNİN İNCELENMESİ VE KARŞILAŞTIRILMASI

İbrahim YÜKSEL*

ÖZET

Elektrohidrolik devreler hidroliğin ve elektroniğin üstünlüklerini bir araya getiren denetim sistemleridir. Bu sistemlerde, hidrolik sistemler ile elektriksel sistemleri birleştiren temel eleman ise elektrohidrolik valflerdir. Elektrohidrolik valfler ortaya çıkışlarından bu yana servovalfler ve solenoid valfler olmak üzere iki kolda gelişme göstermektedir. Bu konuda çalışmalar günümüzde de devam etmektedir.

Bu çalışmada servovalflerin ve solenoid valflerin genel özellikleri ayrı ayrı ele alınarak günümüzde ulaştıkları gelişme durumları incelenmiş ve birbirlerine göre karşılaştırması yapılmıştır. Ayrıca özel türden valflere de yer verilmiştir.

ABSTRACT

An Investigation and Comparison of General Characteristics of Electrohydraulic Valves

Electrohydraulic circuits are the control systems which comprise the advantages of hydraulics and electronics. In this systems the main eleman is an electrohyraulic valve which combine the electrical and hydraulic systems. Since

* Doç. Dr.; U. Ü., Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Bursa.

they had been innovated, they have shown developments mainly in two branches; as servovalves and solenoid valves. Investigations in the development of electrohydraulic valves are still carried on.

In this work, the general characteristics of servovalves and solenoids are investigated, their development stages are taken in the consideration and they are compared. Also the special types of electrohydraulic valves are considered.

1. GİRİŞ

Hidrolik devreler özellikle yüksek güç yoğunluğu gerektiren hemen hemen tüm otomatik makinelerde kullanılmaktadır. Uygulama alanları olarak; bilgisayar denetimli sayısal takım tezgahları (CNC), uçaklar, gezici iş makineleri, presler, enjeksiyon makineleri, v.b. sayılabilir. Bu makinelerin bir elektrik sinyali vasıtasıyla uzaktan kumandalı çalışmasını sağlayan temel eleman elektrohidrolik valftir. Elektrohidrolik valf elektriksel aygıtlar ile hidrolik sistemler arasında ara yüz elemanıdır. Elektrohidrolik valfler ise genel olarak; servovalfler ve solenoid valfler olmak üzere iki ana gruba ayrılır.

Tarihsel gelişim içinde servovalflerin elektriksel kumandasında; elektrikli servomotorlar, magnetostriktif aygıtlar, piezoelektriksel kristaller¹, oransal solenoidler, AC tork motorlar, hareketli sargı aygıtları (hopörlerdeki ses büyütme aygıtına benzer şekilde) kullanılmış ise de günümüzde servovalflerin elektriksel kumandasında en yaygın olarak kullanılan elektromekaniksel aygıt kalıcı mıknatıslı tork motorudur. Tork motorları girişlerine uygulanan akım değişimine orantılı bir dönme hareketi (tork motoru) veya öteleme hareketi (kuvvet motoru) sağlayan elektromekaniksel aygıtlardır.

1950'lerden bu yana geliştirilen² ve günümüzde en mükemmel gelişme aşamasına gelmiş bulunan tork motorlu servovalfler oldukça karmaşık bir yapıya sahip olup çok hassas denetim gerektiren sistemlerde kullanılmaktadırlar. Genellikle çift kademeli olan bu valflerin birinci ve ikinci kademesi arasında oldukça karmaşık yapıda bir geri besleme mekanizması yer alır, ve ayrıca çoğunlukla sürgülü valf biçiminde olan ikinci kademesi de çok dar toleranslı imalat işlemi gerektirir. Bütün bu özellikler bir taraftan valfin en yüksek tamlıkta bir denetim elemanı olmasını sağlarken diğer taraftan da maliyetini aşırı derecede yükseltmektedir. Bu nedenlerle bu valflerin daha çok hassas ve güvenilir bir denetim gerektiren uçaklarda, uzay taşıtlarında, bilgisayar denetimli takım tezgahlarında ve özel test makinelerinde kullanılmaları ekonomik ve uygun olmaktadır. Servovalfler üzerinde yapılan geliştirme çalışmaları^{3,4,5} günümüzde devam etmekte olup bu çalışmalar daha çok valfin maliyetini düşüren değişiklikler şeklinde olmaktadır. Bunların dışında; yön denetim, basınç ayar ve akış ayar valflerini tek bir blok içinde toplayan servovalfler üzerinde bazı çalışmalar⁶ yapılmaktadır.

Elektrohidrolik devrelerde servovalflerin dışında kullanılan valfler; yapıcı daha basit, dinamik performansları servovalflerdeni daha düşük, fakat buna karşılık daha düşük maliyetli olup kabaca solenoid veya elektromıknatıssal valfler olarak bilinirler. Bunlarda, temelde servovalflerde olduğu gibi elektriksel sinyali akışkan sinyaline dönüştüren elektro akışkan valflerindendir. En önemli farkı; mıknatıs akı devrelerinde genellikle kalıcı mıknatıs yerine geçici mıknatıs (elektromıknatıs) devresi kullanılmasıdır.

Geleneksel anlamda solenoid valfler basit bir açma-kapa elemanı olarak belli bir elektriksel giriş sinyali değeriinde tamamen açık veya tamamen kapalı durumda çalışırlar. Diğer bir değişle bunlarda elektriksel giriş sinyali ile akışkan çıkış sinyali arasında doğrusal bir bağıntı yoktur. Yapıları oldukça hantal, statik ve dinamik performansları oldukça düşüktür. Bu nedenle hassas denetim gerektiren elektrohidrolik devrelerde kullanılamazlar.

Son senelerde servovalflere göre daha ucuz fakat geleneksel solenoidlere göre daha yüksek performansa sahip valfler üzerinde çalışmalar sürdürülmüş ve bunun sonucu olarak; oransal solenoidler ve yüksek açma-kapama hıza sahip özel anahtarlama valfleri geliştirilmiştir.

1970'li yılların ortalarından beri oransal solenoidler üzerinde pekçok çalışmalar^{7.8.9.10.11.12} yapılagelmekte ve bu çalışmalara dayanarak çeşitli firmalar tarafından oransal basınç ayar, debi ayar ve yön denetim valfleri imal edilmektedir. Oransal solenoidler ile oluşturulan yön denetim valfleri genellikle sürgülü valf türündendir. Basınç düşürme, basınç ayar ve debi ayar valfleri ise hem oturma elemanlı hem de sürgülü valf türünde olmaktadır. Oransal valfler üzerinde çeşitli geliştirme çalışmaları^{13.14} günümüzde de devam etmektedir.

Servovalflerin performanslarının yüksek olmasına karşılık maliyetlerinin de o oranda yüksek olması ve diğer taraftan oransal valflerin de özel uygulama alanlarında yeterli performansı gösterememesi bazı özel amaçlı valfler üzerinde araştırmalar yapılmasına ve özel türde minyatür valfler ortaya çıkmasına neden olmuştur. Bunlardan bir grubu hızlı çalışan aç-kapa tipi anahtarlama valfleri diğeri de özellikle yer sorunu olan uygulamalarda kullanıma yönelik minyatür valflerdir.

Elektrohidrolik valfleri zayıf bir elektriksel giriş sinyali yardımı ile sürmek için özel elektronik devreler kullanılmakta ve devreler elektrohidrolik sistemlerin tamamlayıcı parçaları olarak ele alınmaktadır. Analog elemanlardan meydana gelebilen bu devreler günümüzde elektronik teknolojisinde ortaya çıkan gelişmelere paralel olarak sayısal (digital) elemanlardan oluşturulabilmektedir. Bu devreler ayrıca sistemin doğrudan bilgisayarlı denetimini de olanaklı kılarlar.

Bu çalışmada elektrohidrolik valflerin yapısal özellikleri, temel çalışma ilkeleri, statik ve dinamik karakteristikleri ayrı ayrı ele alınmış farklı türden valflerin karşılaştırması yapılmıştır. Ayrıca valflerin sürülmesinde kullanılan elektronik devreler hakkında genel bilgiler verilmiştir.

2. SERVOVALFLER VE GENEL KARAKTERİSTİKLERİ

Çok büyük bir bölümü çift kademeli olan servovalflerin birinci kademeleri ya çoğunlukla çift lüleli plaka valf şeklinde ya da bazen jet-boru valfi şeklindedir. Buna karşılık ikinci kademeleri çoğunlukla sürgülü valf biçimindedir. Gerek plaka-lüle ve gerekse jet-boru valfinin elektromekaniksel hareketi bir tork motoru yardımı ile sağlanmaktadır.

Tork motoru; bir kalıcı mıknatıs ve bir de elektromıknatıs (armature) devresinden meydana gelmiş elektromekaniksel bir çeviricidir. Sargı uçlarına uygulanan akım sinyali sonucu meydana gelen mıknatıs akısının mıknatıs kuvvetine dönüşmesi ve bu kuvvetin de mekaniksel harekete dönüşmesi sağlar.

Tork motoru çıkışında elde edilen mekaniksel hareket ya doğrudan bir valfin hareketli elemanını (genellikle sürgü elemanı) hareket ettirmek ya armatür ucunun uzantısı veya ona dikey olarak yerleştirilmiş bir plakayı ya da yine armatüre dikey olarak yerleştirilmiş bir jet borusunu hareket ettirmek için kullanılır. Akışkan kuvvetlerinin meydana getirdiği sınırlamalar dolayısıyla böyle bir valfin tek kademede sağlayabileceği akışkan debisi çok sınırlı kalmakta ve ayrıca bu tür valflerde kararsızlık sorunları da ortaya çıkmaktadır.

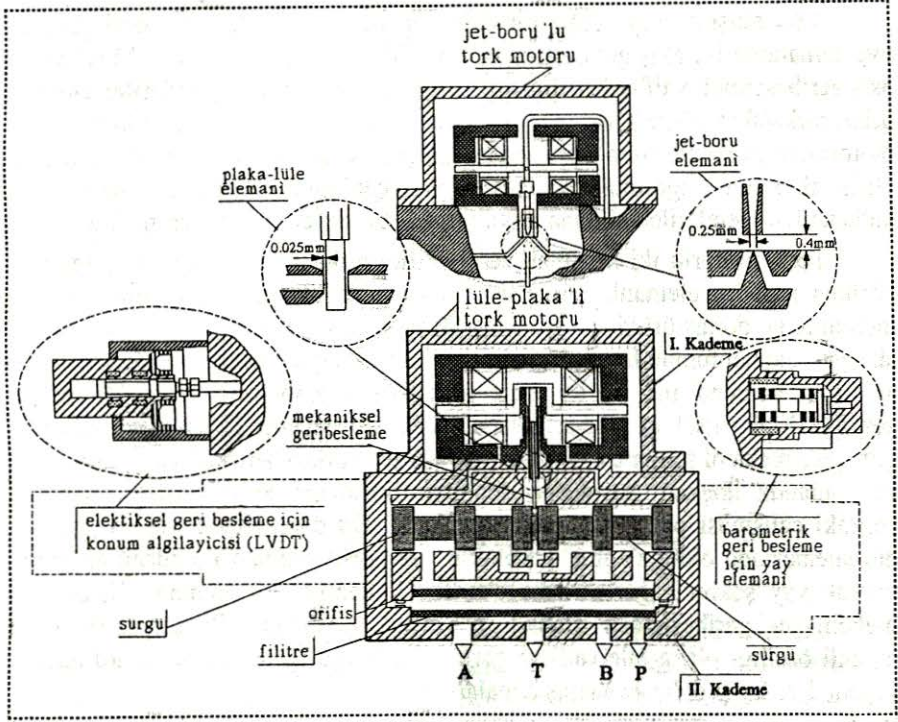
Her ne kadar armatür ve ona bağlı plaka jet-borunun hareketi giriş işareti ile oransal olarak değişmekte ise de plaka üzerine etki eden akışkan kuvvetleri ve diğer kuvvetlerden dolayı bu oransallık çok dar sınırlar içinde kalmakta ve valfte kararsızlık sorunları ortaya çıkmaktadır. Bu nedenle oransallık sınırını artırarak daha kararlı çalışmasını sağlamak üzere valfin birinci kademesi ile ikinci kademesi arasına bir geri besleme mekanizması yerleştirmek gerekmiştir. Geribesleme mekanizması ya sürgü konumunun izlenmesi şeklinde ya da servovalfin denetlediği yük basıncını veya yük akışındaki değişimleri düzenleyecek şekilde olabilmektedir¹⁵.

Konumun doğrudan geribeslenmesi halinde lüleler valf sürgüsü üzerinde yer alır. Bu durumda tork motoru uzantısı olan plaka sürgü konumunu bire bir izler ve bu nedenle bu tür geribeslemeye bazen hidrolik izleyici de denmektedir.

Geribeslemenin bir diğer yolu da plaka ile sürgü arasına mekaniksel bir bağlantı yerleştirmektir. Bu düzenleme kuvvet geribeslemesi veya mekaniksel geribesleme olarak bilinir. Tarihsel gelişme içinde bu türün tek plakalı normal spiral yay geribeslemeli türüne de rastlamak² mümkünse de günümüzde plaka ile sürgü arasında yaprak yay şeklinde bir geribesleme mekanizması kullanılmaktadır (şekil 1).

Birinci kademe ile ikinci kademe arasındaki mekaniksel bağlantıyı ortadan kaldıran ve görece daha basit bir yapıya sahip servovalf türü de barometrik geribeslemeli veya yay merkezlemeli servovalftir. Bu düzenlemede valf sürgüsünün iki tarafına birer adet yay yerleştirilmiş olup mekaniksel geri besleme bağlantısı ortadan kaldırılmıştır. Bu valf türünde, birinci kademede

oluşan basınç farkının sağladığı kuvvetler ikinci kademedeki yay kuvvetleri ile dengelenerek oransal bir denetim sağlanır. Statik ve dinamik performansları mekaniksel geribeslemelere göre oldukça düşüktür.



Şekil: 1. Bir servovalfin anatomisi

Özellikle son senelerde ortaya çıkan geribesleme türü de elektriksel geribeslemedir. Bu düzenlemede sürgünün konumu bir indüktif konum algılayıcısı (LVDT) tarafından adım adım izlenmekte ve dolayısı ile bu şekilde çok hassas bir denetim sağlamak mümkün olmaktadır. Bu düzenleme ile mekaniksel elemanlarda ortaya çıkan laçkalık, sürtünme kuvvetlerinden etkilenme, zamanla ortaya çıkan aşınma etkisi en aza indirilmiş olmaktadır. Şekil 1 de çeşitli geribesleme bağlantıları ile birlikte mekaniksel geribeslemeli bir servovalf örneği gösterilmiştir.

Servovalflerin birinci ve ikinci kademeleri arasında yer alan geribesleme bağlantısına ek olarak, özel bazı uygulamalarda valfin kumanda ettiği yük basıncı veya yük akışı arasında da bir geribesleme bağıntısı kullanılmaktadır¹⁶; Yük basıncı geribeslemesinde, yükün sabit basınç altında hareketi sağlanmaya çalışılır. Bu tür valfte yük akış yolları ile sürgü ve birinci kademe arasında özel akış yolları yer alır ve sürgü konumu ve dolayısı ile de valf açıklığı yük basıncı ile birinci kademenin sağladığı basınç kuvvetleri arasında dengelenir. Yük basıncı

geri beslemesini basınç algılayıcıları yardımı ile elektriksel olarak da sağlamak mümkündür. Böylece elektriksel sistemlerin sağladığı avantajlardan da yararlanılmış olunur.

Yük akışının veya diğer bir değiş ile yük hızının denetlenmesi gereken uygulamalarda ise akış geribeslemeli servovalfler kullanılmaktadır. Mekaniksel akış geribeslemeli valflerde kullanıcıya (silindir veya motor) gönderilen akışkan debisi mekaniksel algılayıcılar yardımı ile kuvvete dönüştürülür ve bu kuvvet tork motorunda giriş akımının meydana getirdiği kuvvet ile dengelenmeye çalışılır. Giriş akımının öngördüğü bir değerde gerçekleşen dengelenme sonucunda kullanıcılara gönderilen akışkan miktarı sabit bir değerde denetlenmiş olur.

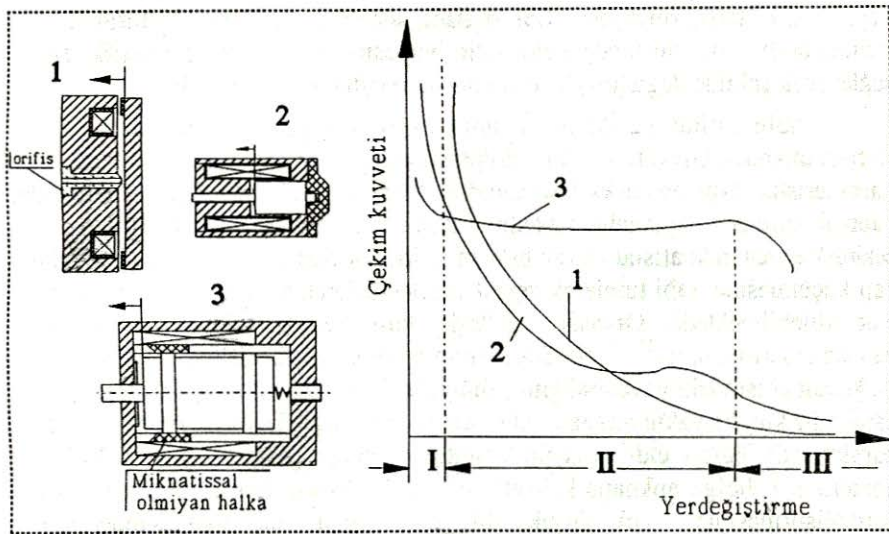
Tork motorlu iki kademeli servovalflerin diğer bir biçimi de şekil 1'de görülen jet-boru elemanlı valflerdir. Bu valflere; akışkan basıncının jet momentumuna dönüştürüldüğü jet-boru ilkesinden yararlanır. Bu düzenlemede akış jeti, momentumun basınç veya akış şeklinde geri kazanıldığı iki delik (alıcı) arasında yönlendirilir ve bu işlem genellikle tork motoru tarafından yerine getirilir. Elektriksel giriş işareti, daha önceki düzenlemede (plaka-lüle) olduğu gibi önce mekaniksel harekete, daha sonrada jet-boruda akışkan momentumuna ve oradanda akışkan basıncına dönüştürülmektedir ki valfin bu aşamadan sonraki çalışması plaka-lüle valfin aynısıdır. Bu düzenlemede de, plaka-lüle düzenlemesinde olduğu gibi genellikle jet-boru elemanı ile sürgü arasında yaprak yay şeklinde geribesleme elemanı kullanılır. Bu elemanın işlevi ise mekaniksel geribeslemeli plaka-lüle valfteki ile aynıdır. Bu tür valflerin en önemli özelliği plaka-lüle valflere göre daha gevşek tolerans gerektirdiğinden kirleticilere karşı daha az hassas olmalarıdır.

3. SOLENOİD VEYA ELEKTROMİKNATISSAL VALFLER VE KARAKTERİSTİKLERİ

Bir solenoidin genel yapısı çekirdek (armatür) olarak bilinen hareketli kutup ve içinde sargı devresi bulunan hareketsiz kutuptan ibarettir. Çekirdek ve kutup ferromiknatissal malzemeden mamül olup sargı uçlarına uygulanan elektrik akımının oluşturduğu mıknas kuvveti çekirdeği kutupa doğru harekete zorlar. Solenoidler de tork motorlarında olduğu gibi elektriksel işareti mekaniksel işarete dönüştüren aygıtlardır. Bu mekaniksel hareket ile herhagi bir valfin hareketli elemanına kolaylıkla komanda edilebilir. Solenoidler kabaca i). AC solenoidleri ve ü). DC solenoidleri olmak üzere iki ana gruba ayrılırlar. AC solenoidlerin otomatik kontrol döngüsü içinde kullanım olanakları pek fazla olmadığından burada ayrıca ele alınmayacaktır.

Elektromiknatissaların en önemli karakteristiği kuvvet-yerdeğiştirme arasındaki bağıntılardır. Bu bağıntılardan¹⁷ mıknas devresinin çeşitli kısımlarına ait mıknas geçirgenlik (permeance) denklemlerini yazmak suretiyle çeşitli

eğriler (kuvvet-yerdeğiştirme) elde edilir. Bu eğriler malzemenin mıknatıssal doyma özelliklerine ve mıknatıs devresinin boyutlarına bağlı olarak şekil 2'dekine benzer karakteristik özellikler gösterir.



Şekil: 2. Solenoidlerin karakteristik eğrileri

Fiziksel açıdan yaklaşık aynı boyutlarda üç farklı yapıda solenoid için verilen bu eğrilerin incelemesinden aşağıdaki sonuçları çıkarabiliriz. 1 nolu eğri mıknatıs yolu kısa disk elemanlı (Şekil: 2) solenoid için verilmiştir. Bu yapının en önemli karakteristiği çok küçük çekirdek yerdeğiştirmelerinde çok yüksek çekim kuvveti fakat buna karşılık yerdeğiştirmenin artmasına bağlı olarak çekim kuvvetinde çok ani düşme şeklindedir. Bu nedenle bu tür solenoidler oturma elemanlı hızlı anahtarlama valfleri için uygun¹⁸ olmaktadır. Bilindiği gibi oturma elemanlı valflerde; oturma yüzeyi oturma elemanı arasındaki çevresel alana bağlı olarak çok küçük yerdeğiştirmelerde çok yüksek akışkan debisi elde etmek mümkündür. Bu tür solenoid ile sürülen oturma elemanlı bir valfte kısa mesafelerdeki yüksek çekim kuvvetinden yararlanarak çok yüksek cevap hızları elde etmek mümkündür. Buna karşılık kuvvet-yerdeğiştirme eğrisi doğrusal olmayan bu tür solenoidler ile oransal bir valf oluşturmak oldukça güçtür.

Geleneksel solenoidleri temsil eden 2 nolu eğrinin karakteristik yapısı 1 nolu eğrinin karakteristik yapısına çok yakındır. Farkı, küçük yerdeğiştirmelerde daha düşük kuvvetler ve buna karşılık büyük yerdeğiştirmelerde de görece daha fazla kuvvet sağlamasıdır. Diğer bir deyişle eğrinin eğimi daha yavaş değişmektedir. Gerçekte, 2 nolu eğriyi temsil eden solenoidin boyunu biraz daha kısa, buna karşılık çapını daha da büyük tutarak 1 nolu eğrinin karakteristik yapısına erişmek mümkün olacaktır. Fakat bu tür solenoidler daha çok makaslama elemanı derlen sürgülü valflerin sürülmesinde kullanıldıklarından

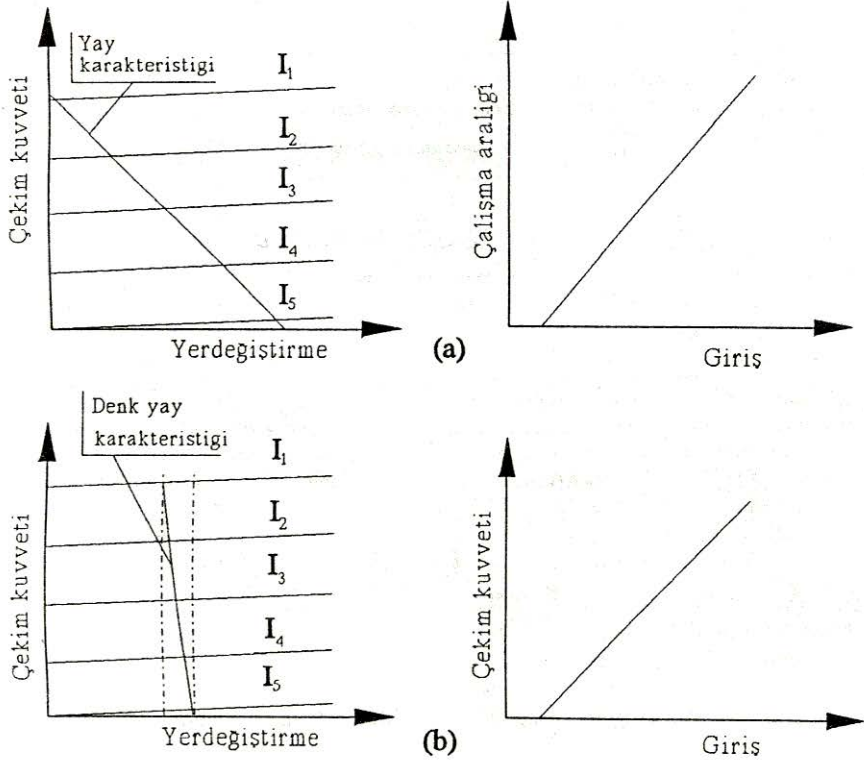
bu tür yapısal değişiklik pek fazla arzu edilmez. Çünkü makaslama elemanlı valflerde oturma elemanlı valflere göre aynı debiyi sağlamak için daha fazla yerdeğiştirme hareketine ihtiyaç vardır. Buna karşılık bu tür solenoidlerde bilya veya konik tapa veya disk tipi oturma elemanlı valfleri oluşturmak için kullanılabilir. Bu durumda solenoidin yapasını 1 nolu karakteristik eğriyi sağlayacak şekilde değiştirmek cevap hızı açısından uygun olabilir.

3 nolu eğrinin karakteristik yapısı ise ilk iki eğriden tamamen farklıdır. Burada mıknatıs kuvveti belli bir yerdeğiştirme aralığında sabit kalmaktadır. Bu karakteristik yapı geleneksel solenoidin fiziksel yapısında bazı değişikler yapmak suretiyle sağlanabilmektedir. Literatürde¹⁷ basamaklı silindirik yüzeyle çekirdek içeren mıknatıslar olarak bilinen, çekirdek elemanının bir ucu basamaklı çap küçülmesine tabi tutularak veya konikleştirilerek benzer karakteristik yapı elde edilebilmektedir. Oransal valflerde kullanılacak solenoidler üzerinde yapılan araştırmalarda^{11,12} çekirdek kısmının boyunu biraz daha büyük, çekirdek ile kovan arasındaki hava aralığını daha yüksek seçmek ve kovan içine, genelde hareketsiz kutuba yakın mıknatıssal olmayan bir bilezik koymak suretiyle 3 nolu karakteristik eğriyi elde etmenin mümkün olacağı gösterilmiştir. Şekil 2'de gösterilen I. bölge mıknatıs kuvvetlerinin çok yüksek, buna karşılık çekirdek yerdeğiştirmesinin çok düşük olduğu bölgedir. Bu alan içinde kalıcı mıknatıslanma etkisi çok yüksek olduğundan bu bölge çalışma sınırları dışında tutulur. III. bölgede ise hareketli kutup (çekirdek) sabit kutuptan çok fazla uzaklaştığından çekim kuvvetleri en aza inmiştir. Bu durumda çekirdek içi en uygun çalışma alanı II. bölge içinde olmaktadır. Bu bölgede kalıcı mıknatıslanma etkileri en aza indirilmiş ve çekirdeğin hareketi için yeterli çekim kuvvetleri sağlanmıştır.

Şekil 2'de görülen eğriler belli bir solenoid türü için belli bir giriş akımına karşılık gelen eğrilerdir. Aynı solenoid türü (örneğin 3 no) için farklı akımlar uygulanacak olursa şekil 3'deki eğri aileleri elde edilir. Çeşitli yerdeğiştirmeler için belli bir giriş akımına karşılık belli bir kuvveti gösteren noktalar bir doğru ile birleştirilecek olursa Şekil 3a'da kuvvet geribeslemesi için verilen, giriş işareti ile yerdeğiştirmeler arasındaki doğrusal bağıntı elde edilir. Benzer biçimde elektriksel konum geribeslemesi için de giriş işareti ile mıknatıs kuvveti arasında da Şekil 3b'de görülen doğrusal bağıntı elde edilebilir. Oransal solenoidlerin genel karakteristik yapısını bu eğriler belirlemektedir. Doğrusal bağıntıların yanında, bu eğrilerden görülen diğer bir önemli özellik belli bir minimum giriş işaretine karşılık herhangi bir çıkış işareti sağlanmamasıdır. Bu durum tork motorunun aksine, solenoidin ilk hareketi için minimum bir giriş enerjisi gerektirdiğini gösterir.

Oransal valfler kuvvet denetimli ve konum denetimli olmak üzere iki şekilde çalıştırılırlar. Kuvvet denetimli yön denetim valflerinde barometrik geribeslemeli servovalflerdekine benzer yay elemanları kullanılır. Burada basınç kuvvetleri ile yay kuvvetleri birbirini dengelemeye çalışırken diğer taraftan

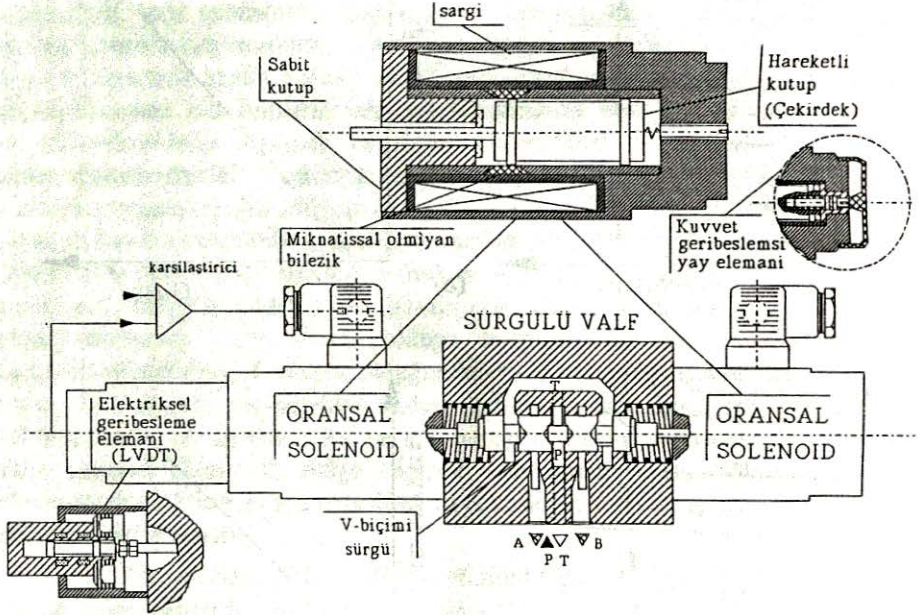
sargı için elektronik devre tarafından akım geribeslemesi uygulanır. Solenoid valfler servovalflerin aksine tek kademede sürgülü valflerin sürgüsünü sürececek güce sahiptirler. Bu nedenle bu valfler ile tek kademede 250-300 lt/dak. mertebelerinde akışkan debilerine çıkmak mümkündür. Burada tek kademe denince elektro-mıknatıssal aygıtın tek bir çevrimle akışkan sinyaline dönüştürülmesi anlaşılmalıdır.



Şekil: 3. Bir oransal solenoidin kuvvet ve konum geribesleme karakteristikleri

Oransal akış karakteristiklerini sağlamak üzere oransal valflerde kullanılan valf sürgüsü üzerinde bazı yapısal değişiklikler yapılmıştır. Bu değişiklikler, Şekil 4'de görüldüğü gibi daha çok sürgü pistoncukları üzerinde V-biçimi veya U-biçimi çentikler açmak suretiyle yapılır. Oransal solenoidlerin sürgü pistoncukları, servovalflerden farklı olarak pozitif geçmelidir. Yani pistoncuklar ile bunlara karşılık gelen akışkan delikleri arasında artı yönde bir fazlalık vardır. Buna karşılık servovalfler genellikle sıfır geçmeli yani pistoncuklarla bunlara karşılık gelen delikler bire bir çakışacak şekilde yapılır. Bu durum servovalflerin imalatında çok sıkı toleranslar getirmekte ve maliyeti artıran bir durum olarak karşımıza çıkmaktadır. Konum geribeslemeli oransal

valflerde, elektriksel geribeslemeli servovalflerde olduğu gibi valf sürgüsünün konumunu izlemek üzere indüktif (LVDT) bir konum algılayıcısı kullanılır. Bu türlerde oransallığı ve kararlılığı sağlamak daha kolay olduğundan bunlar kuvvet geribeslemelilere göre daha hassas denetim sağlar. Temel çalışma ilkesi elektriksel geribeslemeli servovalflerle aynıdır. Elektriksel basınç duyargası kullanmak sureti ile basınç geribeslemeli oransal basınç ayar ve basınç düşürme valfleri oluşturmak mümkün olup imalatları gerçekleştirilmektedir.



Şekil: 4. Bir oransal solenoid valfin anatomisi

Oransal solenoidlerin ilk uygulamaları daha çok basınç emniyet veya basınç sınırlama valfi, basınç ayar veya basınç denetim valfi ve debi veya akış denetim valfi şeklinde olmuştur. Daha çok mekaniksel denetimli bu valflerin geleneksel solenoidler ile oransal denetimi oldukça zordur. Her ne kadar servo valf türü basınç denetim valfi mevcut ise de bunlar oldukça pahalı elemanlardır. Bu açıdan oransal solenoid valfler bu tür uygulamalarda servovalflere yakın performans sağlamışlardır.

3.1. Servovalfler İle Oransal Valflerin Karşılaştırması

Servovalfler ile oransal valfleri özetle aşağıdaki şekilde karşılaştırabiliriz.

SERVOVALFLER	ORANSAL VALFLER
1. Yapıları oldukça karmaşık ve maliyetleri yüksek.	1. Yapıları görece daha basit ve maliyetleri bu oranda düşük (Servovalflere göre yaklaşık % 30 daha ucuz).
2. Elektriksel güç tüketimleri çok düşük. 5mA ila 200 mA çıkış akımına karşılık 0.05-0.1 watt arasında değişir.	2. Elektriksel güç sarfiyatları görece daha yüksek. 500mA ile 3000mA giriş akımlarına karşılık 1-10 wat arasında değişir.
3. Dinamik performansları çok yüksek. Frekans bandı; tipik olarak 100-150 Hz. dir.	3. Dinamik performansları görece daha düşük. Frekans bandı; tipik olarak 5-25 Hz arasında değişmekle beraber 40 Hz kadar çıkan özel tipleri vardır.
4. Tek kademede sağlayabildikleri debi çok düşük ve tek kademeli olarak kullanışlı değildirler.	4. Tek kademede yeteri kadar debi sağlayabilirler. Tipik olarak 10-30 lt/dak. arasında değişmekle beraber 200 lt/dak. ya kadar çıkmak mümkündür.
5. İmalatlarında çok sıkı toleranslar gerektirirler ve nedenle yağdaki kirleticilere karşı çok hassastırlar.	5. İmalatlarında görece daha az toleranslar yeterli olmaktadır ve kirleticilere karşı daha az hassastırlar.
6. Mekaniksel geribesleme bağlantıları oldukça karmaşık. Fakat bazı türlerinde elektriksel konum duyurgalarından (LVDT) ve elektronik devrelerden yararlanarak daha basit geribesleme bağlantıları kullanılmak mümkündür.	6. Oransal solenoidler ya kuvvet denetimli ya da elektriksel konum denetimli olup geribesleme bağlantıları daha basittir. Elektriksel geribesleme servovalflerde olduğu gibi olup bu tür oransal valflerle servovalflere yakın denetim hassasiyeti sağlanabilir.
7. Elektronik sürücü devreleri oldukça basit ve aynı devre ile değişik valfleri sürmek mümkün.	7. Elektronik sürücü devreleri daha karmaşık olup ramp sinyal üretici gibi özel sinyal üreteçleri gerektirirler. Ayrıca bir elektronik devre ile yalnızca aynı tür valf sürülebilmektedir.

4. HIZLI ANAHTARLAMA VALFLERİ VE MİNYATÜR VALFLER

Anahtarlama valfleri genellikle oturma elemanı tipinde aç-kapa valflerdir. Hidrolik sistemlerde anahtarlama valfi üzerinde yapılan ilk çalışmalar¹⁹ bilya elemanlı valf üzerinde gerçekleştirilmiştir. Daha sonraki çalışmalarda²⁰ bu valf sayısal denetimli uçuş sistemlerinde uygulanmış ve elektriksel kumandasında tork motoru kullanılmıştır. 1.5 ms gibi çok yüksek cevap hızlarına sahip bu valflerin imalatına geçilmiş olup oransal kumandalarında darbe genişlik modülasyon (PWM) tekniklerinden yararlanılmaktadır. Serbest yüzer diskli

hızlı bir anahtarlama valfi üzerinde yapılan çalışmada¹⁸ tek kademede 3-5 ms cevap hızlarına ve 4.5 l/dak. (100 bar,disk valf) akışkan debilerine erişilebileceği gösterilmiştir. Aç-kapa türü olan bu valfin oransal çalışmasını gerçeklemek amacı ile darbe genişlik modülasyon (PWM) ve mikroişlemci sinyal işleme tekniklerinden yararlanılmıştır²¹. Bir başka çalışmada²² da aynı valf türünün yarı aktif araç süspansiyon sistemlerinde uygulanabilirliği araştırılmıştır. Son olarak yürütülen bir çalışmada²³ ise tek diskli valfin oransal sürülmesinin teorik incelenmesi ele alınmıştır.

Yakın zamanda yürütülen bir çalışmada²⁴ bir hidrolik silindirin sürülmesinde her biri 2/2'lik solenoidli 4 adet valf ile 4 yollu yön denetim valfi oluşturulmuştur. Aç-kapa türü olan bu solenoid valflerin çok özel sinyal işleme teknikleri ve mikroişlemci yardımı ile oransal olarak çalıştırılması gerçekleştirilmiştir.

Son senelerde geliştirilen ve servovalflere alternatif olarak sunulan bir diğer valf türü de tek kademeli, 4 yollu, en küçüğü 28 gr ağırlığında, 45 mm boyunda, 12.5 mm çapında minyatür bir valftir. Valfin miknatıssal devresi bir kalıcı bir de elektromknatıstan ibaret olup basınçlı akışkanı kullanıcıya yönlendirmek için esneyebilir hareketli bir jet-boru benzeri eleman kullanılmaktadır. Çok küçük boyutlara sahip hiç bir sürtünme yüzeyi içermeyen valfin dinamik başarımı aşikâr olarak çok yüksektir. En küçük boyutlusu üzerinde yapılan deneysel çalışmalarda²⁵ frekans cevabı 700 Hz mertebelerinde bulunmuştur. Çalışma basıncı 35 bar ile 200 bar arasında değişen bu valfler tek kademede 1.5-9 lt/dak. debi sağlayabilmektedirler. Elektriksel güç tüketimleri 7-8 watt olup uyarı akımları 0.7 A civarındadır.

Servovalflere bir alternatif olarak sunulan bu valflerde herhangi bir sürtünme yüzeyi bulunmadığından servovalflerde olduğu gibi titreştirme (dither) sinyaline ihtiyaç olmadığı iddia edilmektedir. Ayrıca çok sıkı toleranslar gerektirmediğinden yağdaki kirleticilere karşı daha az hassas olduğu görülmektedir.

Bu tür minyatür valfler, aşikâr olarak servo ve diğer valflerin ağırlık, boyut sınırlamaları dolayısıyla kullanılmadığı uygulamalarda uygun olmaktadır. Ayrıca maliyet açısından da servovalflere rakip olarak ortaya çıkmaktadırlar. En önemli uygulama alanı olarakta robotlar ve özellikle de robot elleri olarak görülmektedir. Tek kademede herhangi bir geribesleme mekanizması içermeyen bu valflerin normal hidrolik silindirlerde doğrudan kullanımı pek uygun görülmemektedir. Bu nedenle bu valflerle geribeslemeli olarak çalışacak özel hidrolik ve pnömatik silindirler geliştirilmiştir. Minyatür valflerin herhangi bir boru bağlantısı gerektirmeden üzerine doğrudan yerleştirilebildiği bu silindirlerde aşikâr olarak çok küçük boyutlardadır. Tipik olarak; boyları 50-140 mm., çapları 15-25 mm., strokları 25-75 mm ve sağladıkları kuvvet 350-1350 N arasında değişmektedir. Valf ile silindir arasına yerleştirilen özel bir kuvvet algılayıcısı yardımı ile tüm sistemin geribeslemeli oransal denetimini

sağlanmaktadır. Geribesleme elemanı olarak konum algılayıcısı kullanma olanağı da vardır. Ayrıca bu valfle kullanılabilen minyatür dönel motorlar da geliştirilmiştir. Yine burada da geribesleme elemanı olarak konum algılayıcısı (RVDT) veya kuvvet algılayıcısı kullanma imkanı mevcuttur.

5. ELEKTROHİDROLİK VALFLERİN ELEKTRONİK DENETİMİ

Elektrohidrolik valflerin zayıf bir elektrik sinyali ile sürülmesi elektronik devreler yardımı ile yerine getirilir. Gerek servovalfleri ve gerekse solenoid valfleri sürmek için kullanılan elektronik devreler; bir sinyal üretim ve işleme katı ve bir de akım sürme katından meydana gelir. Sinyal işleme katı valf türlerine ve kullanım amacına bağlı olarak çok farklılıklar göstermekle beraber akım sürme katı tüm valfler için benzerdir.

Akım sürme devresi girişine uygulanan zayıf akımlı (1-5 mA) gerilim sinyaline karşılık valf sargısı üzerinden giriş sinyaline orantılı kuvvetlendirilmiş bir akım sinyali (servovalflerde 10-500 mA, solenoidlerde 200-3000 mA mertebelerinde) sürer. Akım sürme devresinde yer alan akım geribeslemesi yolu ile giriş gerilimi ile çıkış akımı arasında doğrusal bir bağıntı sağlanır. Akım geribeslemesi ayrıca özellikle sıcaklığa bağlı olarak sargı direncinde meydana gelen değişimlere rağmen akımın sabit bir değerde denetlenmesini de sağlar. Basit bir akım sürme devresi bir işlemsel kuvvetlendirici ile bir veya daha fazla tranzistörden meydana gelir.

Akım sürme devresinin girişinde yer alan sinyal üretim ve işleme devresi valf türlerine göre; titreştirme (dither) sinyal üretici, ramp sinyal üretici, basamak sinyal üretici, çift kademeli sinyal üretici gibi devrelerden bir veya bir kaçını içerebilir. Elektriksel (LVDT) geribeslemeli valflerde ayrıca osilatör ve demodülatör gibi sinyal işleme devreleri de yer alır. Çok çeşitli valflerin sürülmesinde kullanılan bu devrelerin özellikleri ve analizi ayrıca ele alınacaktır.

Bütün bunların yanında günümüzde her türlü valfe uyarlanabilen ve her türlü geribesleme sinyali ile uyumlu CPU, RAM, EPROM, EEPROM gibi sayısal programlama modülleri içeren valf sürücü devreleri de geliştirilmektedir. Modüller biçimde²⁶ olan bu devreler yardımı ile elektrohidrolik sistemler ile bilgisayar sistemleri arasında doğrudan bağlantı kurulabilmektedir.

6. SONUÇ

Genelde servovalfler ile oransal solenoidlerin incelenip karşılaştırıldığı bu çalışmada çok hassas denetim ve yüksek dinamik başarımlı (performans) gerektiren hidrolik denetim sistemlerinde servovalflerin uzun zaman yerini

koruyabileceği fakat buna karşılık çok yüksek dinamik başarımlar gerektirmeyen uygulamalarda ise oransal valflerin kolaylıkla kullanılabilmesi gösterilmiştir.

Diğer taraftan endüstriyel alanda kullanılan bu iki tür valflerin yanında özel uygulama alanlarında kullanılacak valf türlerine de gerek vardır ve bu konudaki çalışmalar gün geçtikçe devam edecektir. Elektrohidrolik valflerin basitleştirilmesi ve buna bağlı olarak maliyetlerinin düşmesi, elektronik ve mikroişlemci sinyal işleme alanında ortaya çıkan gelişmelere bağlı görülmektedir. Bu alan ortaya çıkan gelişmeler elektro hidrolik valflerdeki gelişmeyi etkileyecek ve zamanla daha basit yapıda valflerin ortaya çıkmasını olanaklı kılacaktır.

KAYNAKLAR

1. Y. IKEBE and T. NAKADA: *On a piezo-elektric flapper type servovalve operated by pulse-width-modulated signal*, IEEE JACC, pp. 945-953, 1973.
2. R.H. MASKREY and W.J. THAYER: *A brief history of electrohydraulic servomechanism*, Trans. ASME, Vol. 100 pp. 110-116, 1978.
3. W.R. ANDERSON: *Pressure and flow servovalves-A unique approach*, Proceeding of the 44th Conference on Fluid Power, Vol. 38, pp. 199-206, 1984.
4. S.J. LIN and A. AKERS: *Dynamic analysis of a flapper - nozzle valve*, ASME Journal of Dynamic Systems, Measurement and Control, Vol. 113, pp. 163-167, 1991.
5. C.R. BURROWS, C. MU and J. DARLING: *A daynamic analysis of a nozzle-flapper valve with integral squeeze film damper*, Transaction of ASME, Vol. 113, pp. 702-708, 1991.
6. S.T. TSAI, A. AKERS and S.J. LIN: *Modeling and dynamic evaluation of a two-stage two-spool servovalve used for pressure control*, ASME Journal of Dynamic Systems, Measurement and Control, Vol. 113, pp. 709-713, 1991.
7. H. RATIACZAK: *Proportionalmagnete für Hyrdoventile*, Fluid Vol. 6, pp. 30-31, 1974.
8. V.J. HEISER: *Proportionalventile mit lagegeregeltem magnetsteilglied*, Bosch Tech. Brichte 6, pp. 34-43, 1997.
9. A.S. QURESHI: *Proportional solenoids: Design analysis and application to mobile hydrualic valves*, Proceedings of the 33rd National Conference on Fluid Power, Chicago, Vol. 31, pp. 197-206, 1977.
10. L.C. HARMS: *Electro-hydraulic proportional flow control valves*, Proceodings of the 33rd National Conference on Fluid Power, Chigago, Vol. 31, pp. 193-196, 1977.

11. Y.H. LU: *Statisches und dynamisches Verhalten von proportionalmagneten*, o+p ölhydraulik und pneumatik, Nr. 5, pp. 403-407, 1981.
12. C.O. LEE and C.S. SONG: *Untersuchungen an einem proportionalmagneten*, o+p ölhydraulik und pneumatik, Nr. 6, pp. 497-499, 1981.
13. H. RICHL: *Trends bei der Entwicklung von hydraulikventilmagneten*, o+p ölhydraulik und pneumatik, Nr. 8, pp. 613-619, 1991.
14. AUTORENKOLLEKTIV: *Verbesserung der dynamischen Eigenschaften von Porportionalmagneten*, o+p ölhydraulic und pneumatik, Nr. 7, pp. 445-453, 1992.
15. H.E. MERRITT: *Hydraulic Control Systems*, John Wiley & Sons, Inc., 1967.
16. M. GUILLON: *Hydraulic Servo Systems - Analysis and Design*, Butterworths, London, 1968.
17. H.C. ROTER: *Electro-magnetic Devices*, John Wiley, 1941.
18. İ. YÜKSEL: *An investigation of electro-hydraulic floating disc switching valves*, PhD Thesis, University of Surrey, 1981.
19. K.H. POST: *Study of electro-hydraulic control valves with fluidic ball elements*, Institut für Flugführung, Braunschweig, Report DLR-FB 73-75, 1974.
20. G. MANSFELD: *Fast switching ball valves as digital control elements for an electro-hydraulic servo actuator*, 6th International Fluid Power Symposium, Cambridge, BHRA paper G1, 1981.
21. A. USMAN: *Development of an electro-hydraulic floating double-disc valve*, PhD Thesis, University of Surrey, 1984.
22. K.S. LAU: *Position controlled disc valve*, PhD Thesis, University of Surrey, 1987.
23. Y. SUN and G.A. PARKER: *Steady-state theoretical model of an electro-hydraulic single disk pilot valve*, Trans ASME, Journal of Dynamic Systems, Measurement and Control, Vol. 114, pp. 293-298, 1992.
24. G. WENNMACHER: *Elektrohydraulischer positionierantrieb mit schnellschaltventilen und digitaler regelung*, o+p ölhydraulik und pneumatik, Nr. 2, pp. 85-90, 1992.
25. S. FRASER, S. JACOBSEN, D. POTTER and C. DAVIS: *Miniature High Performance Servovalves*, International Fluid Power Exposition and Technical Conference, Chicago (Submitted), pp. 1-6, 1992.
26. W. GÜTH: *Digitaler Positionerregler für hydraulische antriebe*, o+p ölhydraulik und pneumatik, Nr. 5, pp. 400-403, 1991.