

KUVVET GERİBESLEMELİ BİR TEST DÜZENEĞİNİN TASARIMI, ANALİZİ VE SİSTEM ELEMANLARININ SEÇİMİ

Mesut ŞENGİRGİN
İbrahim YÜKSEL

ÖZET

Bu bildiri, elektrohidrolik valf denetimli bir kuvvet geribeslemeli test düzeneğinin tasarımı, analizi ve sistem elemanlarının seçimi üzerine yapılan bir çalışma sunulmaktadır.

Yapılacak test ile ilgili karakteristikler (uygulanacak kuvvet veya moment, frekans ve tekrar sayısı) otomobil üreticisi firmalara göre farklılıklar göstermekle beraber genel çalışma prensibi açısından sistem aynıdır.

İlk adımda test ile ilgili karakteristikler tanımlanmış ve hidrolik devre elemanlarının seçimi yapılmıştır. İkinci adımda, elektronik donanım ile ilgili özellikler belirlenmiş ve kuvvet algılayıcısı seçimi yapılmıştır. Üçüncü adımda, elektrohidrolik denetim sisteminin matematik modeli oluşturulmuş ve MATLAB-Simulink programı yardımı ile çözümler elde edilmiştir.

1. GİRİŞ

“Kuvvet ve hareketlerin bir akışkan tarafından iletimi ve denetimi” şeklinde genel olarak ifade edilebilen hidrolik güç iletimi, endüstride değişken seviyelerdeki büyük güçlerin kullanıldığı ve hassas denetimin gerektiği alanlarda yaygın olarak kullanılmaktadır.

Basma ve kesme presleri, plastik enjeksiyon makineleri, robotlar, uzay araçları, uçaklar ve takım tezgahları hidrolik güç iletiminin endüstrideki çeşitli kullanım alanlarında bazılarıdır. Bu alanlardaki hidrolik sistemlerin çoğunluğunu, elektrik denetim elemanlarının kullanıldığı elektrohidrolik denetim sistemleri oluşturmaktadır. Elektrohidrolik denetim sistemlerinde konum, hız, ivme, kuvvet ve basınç gibi büyüklüklerin denetimi, akışın yönünü veya hem yönünü hem de debisini değiştirebilen elektrohidrolik valflerin kullanılması ile sağlanmaktadır.

Hidrolik güç iletim sistemleri, özellikle büyük güçlerin değişken hızlarda iletilmesi gereken durumlarda mekanik veya elektrik sistemlere göre daha çok tercih edilmektedir. Bunda, hidrolik sistemlerin büyük güçleri iletmeye özellikleri yanında çok yüksek güç yoğunluğuna sahip olmaları rol oynamaktadır.

Hidrolik sistemler üzerindeki çalışmalar çeşitli araştırmacılar tarafından sürdürülmektedir. Bu çalışmalar, hidrolik sistemlerin modellenmesi ve denetimi [1,2,3,4,5], hidrolik sistem elemanlarının geliştirilmesi ve karakteristiklerinin çıkarılması [6] şeklinde olmaktadır. Hidrolik sistemlerin modellenmesi üzerine yapılan çalışmalar çoğunlukla konum denetim çalışmalarıdır [7]. Kuvvet geribeslemeli sistemler [8] üzerine çalışmalar sınırlı sayıdadır.

2. TEST DÜZENİĞİNİN TANIMI

Egzost ömür testi, egzost borularının susturucu gövdesine giriş ve çıkış noktalarındaki kaynaklarının yorulma testidir. Test için karakteristik değerler, kaynak noktasına uygulanacak olan moment (kuvvet), frekans ve tekrar sayısıdır.

Kaynak noktasına uygulanacak moment, otomobil üreticisi firmalara göre değişmekle beraber 200-350 Nm civarındadır.

Bu momentin kaynak noktasında oluşmasını sağlayacak kuvvetin uygulama noktası ile kaynak noktası arasındaki mesafenin bilinmesi gerekmektedir. Kuvvetin uygulama noktası, susturucunun şase bağlantılarına veya boru kıvrımlarına göre değişmektedir. Kuvvet kolu mesafesi aynı zamanda uygulanacak kuvvetin belirlenmesi açısından önemlidir. Kuvvet kolu mesafesi ne kadar uzun olursa uygulanacak kuvvet o kadar azalacaktır. Kuvvet kolu, Firma1 için 51-152 mm arasında, Firma2 için 500 olarak belirtilmektedir.

Diğer bir karakteristik ise uygulanacak harmonik kuvvetin frekansıdır. Taşıt tekniğinde yoldan gelebilecek uyarılar dikkate alındığında bu değer maksimum 10 Hz'dir. Fakat bu değer otomobil üreticilerinin isteğine bağlı olarak değişim göstermektedir. Frekans, Firma1 için 1.67-6.67 Hz, Firma2 için 10 Hz ve Firma3 için 20 Hz'dir.

Ömür süresi ise, belirlenen moment veya kuvvet ile belirlenen frekansta yapacağı tekrar sayısıdır. Bu tekrar sayısı Firma1 için 100 000 iken, Firma2 için 500 000 ve Firma3 için ise 300 000 olmaktadır.

Test sisteminin elemanları seçilirken en büyük kuvvet ve en büyük frekans dikkate alınmalıdır. Buna göre bu sistem için kuvvet 5000 N ve frekans 20 Hz olarak alınmıştır.

3. DEVRE ELEMANLARININ SEÇİMİ

Sistemi, hidrolik sistem elemanları ve denetim sistemi elemanları olmak üzere 2 ana gruba ayırabiliriz. Hidrolik devre elemanları, güç ünitesi, yön denetim valfi ve silindirdir. Denetim sistemi elemanları ise denetim organı ve kuvvet algılayıcısıdır.

3.1. Güç Ünitesi

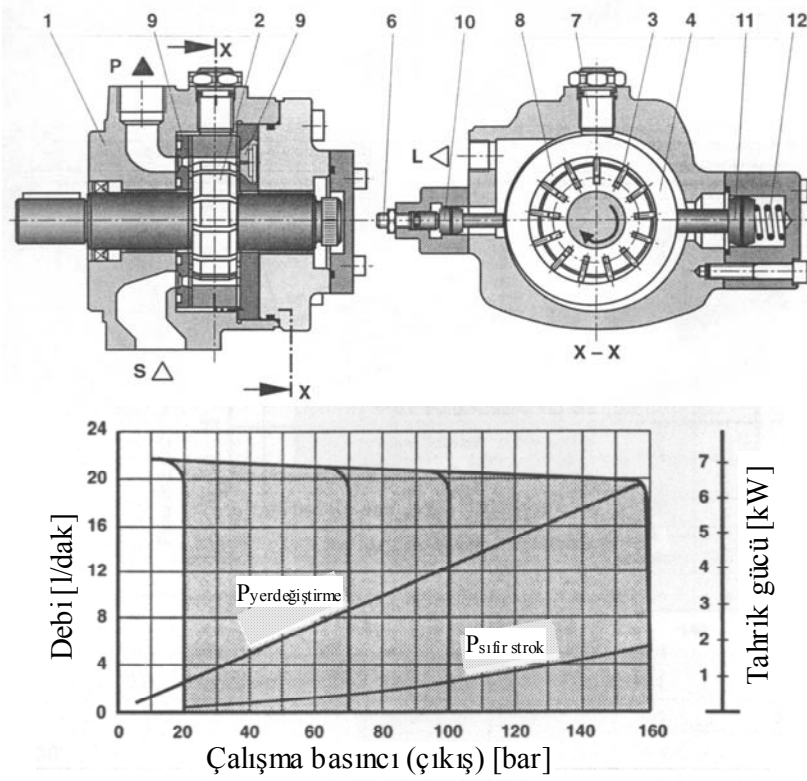
Güç ünitesi, sistem ihtiyaçlarına cevap verebilecek elemanlardan seçilmiştir. Hidrolik pompa değişken debili olup maksimum 21 l/dak debi sağlamaktadır. Bu pompa 5.5 kW lık bir elektrik motoru ile tahrik edilmektedir.

Bunların dışında, emiş, dönüş ve servo valf kullanıldığı için basma hattı filtreleri kirlilik ve basınç göstergeleri, seviye şalteri gibi yardımcı elemanlar da bulunmaktadır. Ayrıca sürekli çalışacak olan bu sistem için bir sulu soğutucu ilave edilmiştir. Tank içindeki yağın sıcaklığını sabit tutacak bir termostatik vana bulunmaktadır. Bu vana soğutucu akışkan miktarını ayarlamaktadır.

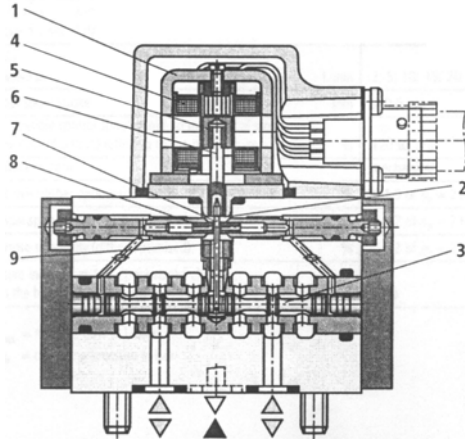
Şekil 1'de kullanılan pompa kesiti ve karakteristik eğrileri verilmiştir.

3.2. Yön Denetim Valfi

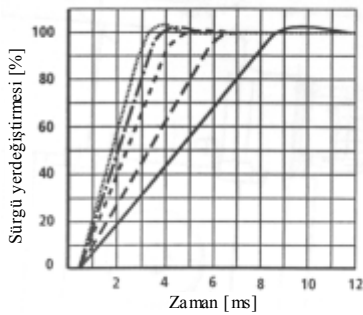
Yön denetim valfinin seçiminde iki önemli kriter vardır. Bunlar geçireceği debi miktarı ve cevap hızıdır. Özellikle valf cevap frekansı, sistem çalışma frekansından daha büyük olmalıdır. Sistem çalışma frekansı maksimum 20 Hz olduğuna göre valf bu çalışma frekansında daha büyük seçilmelidir.



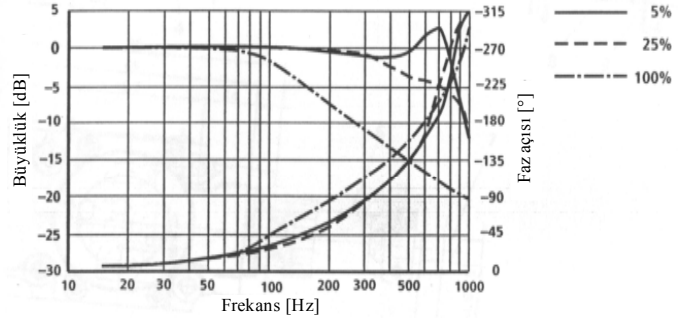
Şekil 1. Değişen debili pompa ve karakteristik eğrisi



315 bar çalışma basıncında geçici durum davranışı



315 bar çalışma basıncında frekans cevabı



Şekil 2. Servo valf ve karakteristik eğrileri

Sistem, kuvvet geribeslemeli bir servo mekanizma olduğu için kullanılacak valf, servo valf olarak seçilmiştir. Servo valfler, çok hassas bir oransal denetim yapabilen ve yüksek cevap hızlarına sahip valflerdir.

Seçilen servo valf kesiti ve karakteristik eğrileri Şekil 2'de verilmiştir. Eğrilerden görüleceği üzere 20 Hz'lik sistem cevabını çok büyük faz gecikmesi olmadan sağlayabilmektedir. Geçici durum davranışından da sistem cevap hızının yaklaşık 4 ms (70 bar ve %63'lük zaman sabiti) olduğu görülmektedir. Bu valfin sürücüsü valf ile entegredir.

3.3. Kullanıcı (Silindir)

Bir doğrusal hareket söz konusu olduğu için kullanıcı olarak silindir seçilmiştir. Silindir seçiminde en önemli kriter silindir yer değiştirmesi ve uygulanacak kuvvettir. Silindir yerdeğiştirmesi kullanılacak olan silindirin yapısal özelliklerini, kuvvet ise silindir boyutunu belirlemektedir.

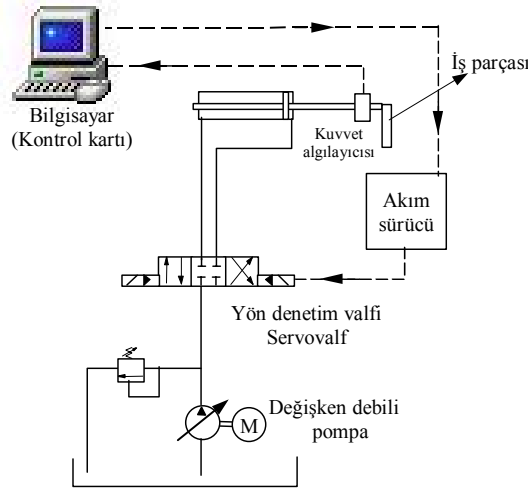
Silindirdeki yer değiştirme miktarı 5 mm'den daha az ise çok tekrarlı bir sistemde silindir içinde hareket eden akışkan miktarı az olacağından yağ çok ısınacaktır. Bu ısınma silindir keçelerinde bir deformasyon meydana getirecektir. Bu deformasyon silindirin yağ kaçırmasına sebep olacak ve kontrol sağlanamayacaktır. Bunun için özel bir keçe sistemi gerekecektir.

Yer değiştirme miktarı mm'nin kesri veya mikrometre seviyesinde ise bu özel keçeli silindir de yetmeyecektir. Bunun yerine özel imalat düşük sürtünmeli ve yüksek hızlı bir servo silindir kullanılmalıdır.

3.4. Denetim Organı Donanımı

Denetim organı donanımını, denetim elemanı ve algılama elemanı olarak ikiye ayırmak mümkündür. Denetim elemanı, bir bilgisayar içine yerleştirilmiş veri toplama kartı, sinyal üretici ve elde edilen sonuçların değerlendirildiği bir programdan oluşmaktadır.

Yazılım, sinyal üreticiden test sinyali seçilebilecek, test sinyali frekansı ve genliği değiştirilebilecek, kırılma anında, kırılma öncesi birkaç çevrim ile kırılma anındaki görüntü çıktı alınabilecek şekilde hazırlanacaktır.



Şekil 3. Test düzeneği tesisat şeması

Algılayıcı olarak, kuvvet algılayıcısı ve kuvvetlendiricisi kullanılmıştır. Her iki yöne (bası ve çekiye) çalışabilen bir yapıda olup maksimum 5000 N kuvvet ölçebilecek kapasiteye sahiptir. Kuvvetlendiriciden elde edilecek gerilim ise maksimum kuvvette 10 V olacaktır.

Ölçme frekansı ile çalışma frekansı aynı ise yeterli doğrulukta ölçme yapmak mümkün değildir. Bu nedenle kuvvetlendirici frekansı (örnekleme frekansı) sistem frekansından 5-10 kat fazla olacak şekilde seçilmelidir.

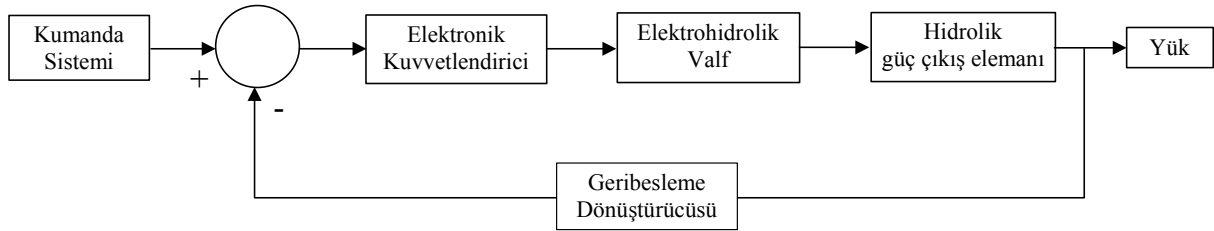
Yukarıda belirtilen özelliklere göre oluşturulan elektrohidrolik sistemin çalışma şeması Şekil 3'te verilmiştir.

4. SİSTEMİN MATEMATİK MODELİ

4.1. Elektrohidrolik Denetim Sistemleri

Bir denetim sisteminin oluşturulması için pek çok yol bulunmaktadır. Denetim sistemlerinin tasarımı ve elemanlarının seçiminde, sistemin amacı, hassasiyeti ve cevap hızı temel etkenleri oluşturmaktadır. Elektrohidrolik denetim sistemleri konum, hız, ivme, kuvvet, moment ve basınç denetimi gerektiren yerlerde kullanılan duyarlı ve sağlıklı bir denetim sağlayan sistemlerdir.

Elektrohidrolik denetim sistemleri çalışma biçimlerine göre, sürekli (analog) denetim sistemleri ve sayısal (digital) denetim sistemleri olarak sınıflandırmak mümkündür. Genel bir elektrohidrolik denetim sistemi şeması Şekil 4'te gösterilmektedir. Burada her bir denetim biçimi kendi elektrohidrolik valfine ve geribesleme dönüştürücüsüne sahiptir.



Şekil 4. Elektrohidrolik denetim sistemi şeması

4.2. Valf Denetimli Sistemin Matematik Modeli

Dört yollu üç konumlu bir sürgülü valfte yük debisi denklemi

$$Q_L = C_d w x_v \sqrt{\frac{1}{\rho} (P_s - P_L)} \quad (1)$$

şeklinde yazılır. Burada w çıkış akış gradyanıdır. Bu yük debisi silindirde bir hareket meydana getirecektir ve yüke (kütle ve yay yükleri) karşı bir iş yapacaktır. Buna göre silindire giren akışkan debisi için,

$$Q_L = A \frac{dx_p}{dt} + \frac{V_t}{4\beta} \frac{dP_L}{dt} \quad (2)$$

yazılır. Burada yağın sıkışabilirliği dikkate alınıp, sızıntılar ihmal edilmiştir. Silindirin yüke karşı oluşturduğu kuvvet dengesi için,

$$A_{\dot{v}} = A P_L = m_p \frac{d^2 x_p}{dt^2} + K_y x_p \quad (3)$$

elde edilir. Burada viskoz sürtünme ihmal edilmiş olup, hareket eden kütle m_p olarak alınmıştır. Valf transfer fonksiyonu,

$$\frac{X_v(s)}{M(s)} = \frac{K_v}{T_v s + 1} \quad (4)$$

şeklinde verilebilir. Burada K_v valf kazancı, T_v valf zaman sabitidir. Denetim organı transfer fonksiyonu, PID denetim olarak alındığında,

$$G_d(s) = \frac{M(s)}{E(s)} = K_p + \frac{1}{T_i s} + T_d s \quad (5)$$

biçimine yazılabilir.

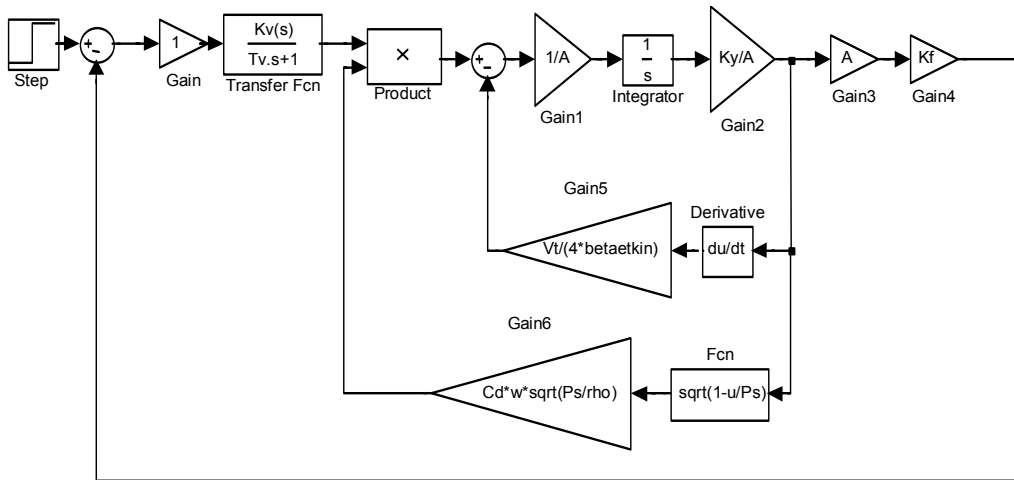
5. BİLGİSAYAR ÇÖZÜMLERİ

Sistemin bilgisayar çözümü MATLAB-Simulink programı ile gerçekleştirilmiştir. Şekil 5'te (1)-(5) nolu denklemlere uygun olarak hazırlanan Simulink modeli verilmiştir. Çözümler basamak giriş ve sinüzoidal girişler olarak elde edilmiştir.

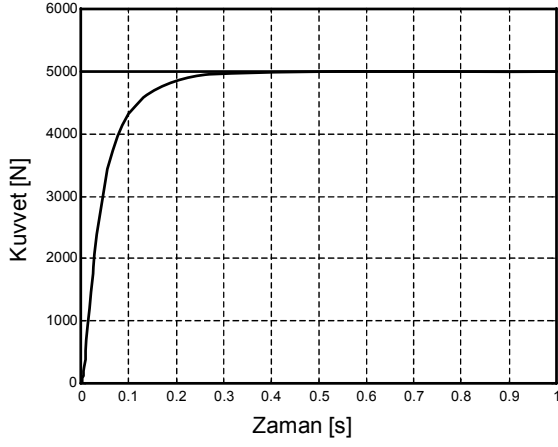
Şekil 5'te verilen Simulink modelinin çözümünden elde edilen sonuçlar Şekil 6, Şekil 7, Şekil 8 ve Şekil 9'da verilmiştir.

Şekil 6'da verilen basamak giriş cevap eğrisinden sistemin cevap hızının yaklaşık 0.05 s (20 Hz) civarında olduğu gözlemlenmektedir.

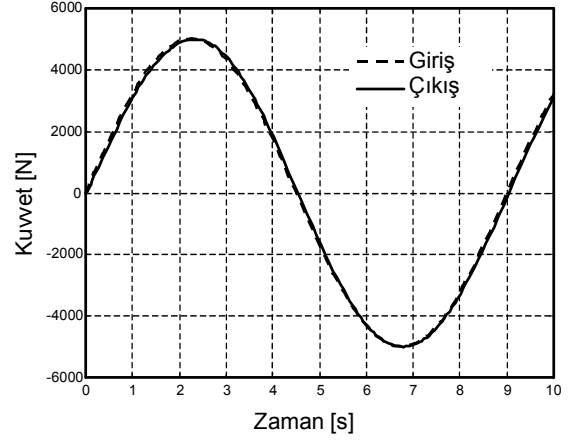
Şekil 7'de verilen sinüs giriş cevap eğrisinden, çıkışın sistemin girişini çok büyük bir faz farkı olmadan takip ettiği görülmektedir.



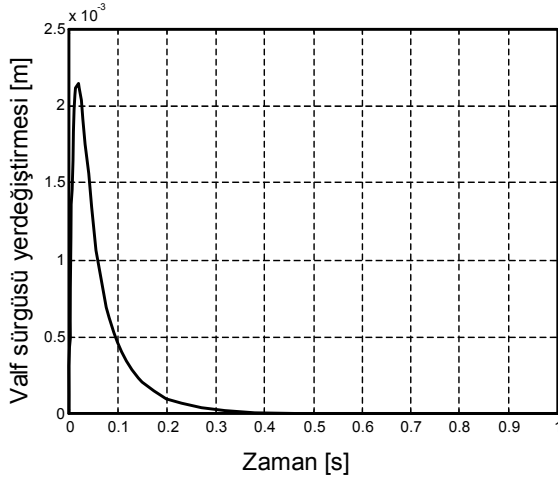
Şekil 5. Kuvvet geribeslemeli denetim sisteminin Simulink modeli



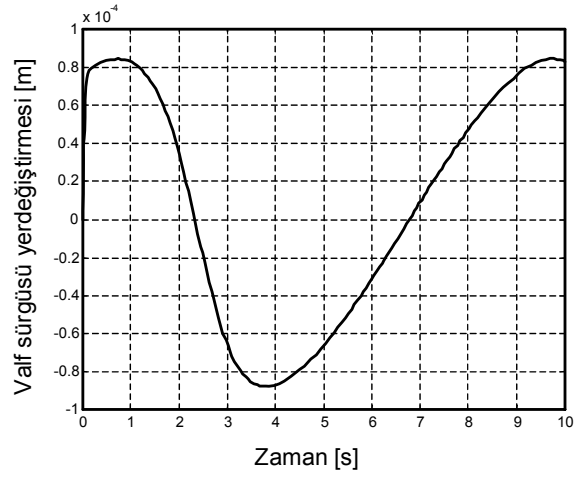
Şekil 6. Basamak giriş cevabı



Şekil 7. Sinüs giriş cevabı



Şekil 8. Valf sürgüsü yerdeğiştirmesi (basamak giriş)



Şekil 9. Valf sürgüsü yerdeğiştirmesi (sinüs giriş)

SONUÇ

Otomobil üreticisi firmaların talepleri doğrultusunda, otomobil susturucusu ömür testi için bir düzenek tasarımı yapılmıştır.

Verilen özellikleri sağlayacak hidrolik devre elemanlarının seçimi yapılırken çalışma şartları da dikkate alınmıştır. Güç ünitesi ve yön denetim valfi bütün test koşullarında kullanılırken, silindir farklı tiplerde seçilmiştir.

Bilgisayar çözümlerinden elde edilen sonuçlar, kurulan modelin doğruluğunu ortaya koymaktadır.

KAYNAKLAR

- [1] EDGE, K.A. and FIGUEREDO, K.R.A., An Adaptively Controlled Electrohydraulic Servomechanism Part 1: Adaptive Controller Design. Proc. Instn. Mech.Engirs., Vol 201. No.B3, 174-180, 1987.
- [2] EDGE, K.A. and FIGUEREDO, K.R.A., An Adaptively Controlled Electrohydraulic Servomechanism Part 2: Implementation. Proc. Instn. Mech.Engirs., Vol 201. No.B3, 181-189, 1987.
- [3] SHICHANG, Z., XINGMIN, C. and YUWAN, C., Optimal Control of Speed Conversion of A Valve Controlled Cylinder System. Transaction of the ASME Journal of Dynamic Systems, Measurement and Control, Vol.113, 691-695, 1991.
- [4] HUANG, S. and CHEN, S., Optimal Control and Analysis of Hydraulic Machine Tool Servo System. Int. J.Mech. Tools Manufact., Vol.32, No.3, 361-377, 1992.
- [5] WANG, Y. and HUANG, C., The Simplest Identification Model of An Asymmetric Hydraulic System. JSME International Journal, Series C, Vol.39, No.4, 738-745, 1996.
- [6] TSAI, S.T., AKERS, A. and LIN, S. J., Modeling and Dynamic Evaluation of A Two- Stage Two-Spool Servovalve Used for Pressure Control. Transaction of the ASME Journal of Dynamic Systems, Measurement and Control, Vol.113,709-713, 1991.
- [7] MARTIN D.J. and BURROWS, C.R., The Dynamic Characteristics of An Electrohydraulic Servovalve. Transaction of the ASME Journal of Dynamic Systems, Measurement and Control, 395-406, 1976.
- [8] NIKSEFAT, N., and SEPEHRI, N., Design and experimental evaluation of robust force controller for an electro-hydraulic actuator via quantitative feedback theory, Control Engineering Practice, 8, pp.1335-1345, 2000.
- [9] MERRITT, H. E., Hydraulic Control Systems. John Wiley & Sons. Inc., 118-125, 1967.

ÖZGEÇMİŞLER

Mesut ŞENGİRİN

1967 yılında Mustafakemalpaşa-BURSA'da doğdu. Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü'nden 1989 yılında "Lisans", Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü'nden 1992 yılında "Yüksek Lisans" ve 2000 yılında "Doktora" derecelerini aldı. Uludağ Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü'nde 1989-1997 yılları arasında Araştırma Görevlisi olarak çalıştı. 1997 yılından buyana halen aynı üniversitede Öğretim Görevlisi olarak görev yapmaktadır. Çalışmaları sistem dinamiği, hidrolik ve pnömatik sistemlerin modellenmesi ve kontrolü, sistem modelleme ve simulasyonu alanlarında yoğunlaşmaktadır.

İbrahim YÜKSEL

1951 İzmit doğumlu olup 1975 yılında Sakarya Devlet Mühendislik-Mimarlık Akademisi Makine Mühendisliği Bölümünden mezun oldu. 1978 yılında University of Surrey, Guildford, İNGİLTERE'de M.Sc. (Yüksek Lisans) ve. 1981 yılında yine aynı Üniversitede Ph.D (Doktora) çalışmalarını tamamladı. 1982 tarihinde Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi'nde Yardımcı Doçent olarak göreve başlamıştır. 1986 yılında Doçent ve 1993 yılında Profesör unvanını almıştır. Öğretim üyesi görevine ilaveten yaklaşık 9 yıl Dekan Yardımcısı ve 16 Ekim 1997-16 Ekim 2000 tarihleri arasında Dekan olarak da görev yapmıştır. Çalışma konuları elektrohidrolik sistemler, elektrohidrolik valflerin geliştirilmesi, otomatik kontrol, otomasyon sistemleri, sistem dinamiği, modelleme ve simulasyondur. 'Otomatik Kontrol' ve 'MATLAB ile Mühendislik Sistemlerinin Analizi ve Çözümü' isimli iki adet basılı ders kitabı mevcuttur. Evli ve bir kız babasıdır.