

YAVAŞ HAREKET EDEN HİDROLİK TAHRİK SİSTEMLERİNİN DAVRANIŞLARININ DARBE GENİŞLİK MODÜLASYONU KULLANILARAK DİTER YÖNTEMİYLE İYİLEŞTİRİLMESİNİN DENEYSEL ARAŞTIRMASI

Bülent E. PLATİN
Salam M. HARB
Yücel ERCAN

ÖZET

Birbirine göre hareketli mekanik parçalar arasında kötü yağlama koşullarında oluşan kuru sürtünme etkisi ve akışkan sıkıştırılabilirliğinin özellikle yavaş hareket eden hidrolik tahrik sistemlerinin dinamik davranışına etkilerinin incelenmesi ve iyileştirilmesini araştırmak üzere bir deney düzeneği tasarlanmıştır, imal edilmiş ve bir dizi kontrollü deneyler gerçekleştirilmiştir. Bu deneylerde, kuru sürtünme kuvveti ile akışkan sıkıştırılabilirliğinin bileşik etkileri ile oluşan “yapış-kay” türü titreşimlerin özellikleri incelenmiştir. Oluşan yapış-kay titreşimlerini ortadan kaldırmak ya da azaltmak amacı ile, kumanda sinyallerine diter eklenmiş ve sistem davranışını iyileştirmek için kullanılması gereken diterin kritik genlik değerleri bulunmuştur.

GİRİŞ

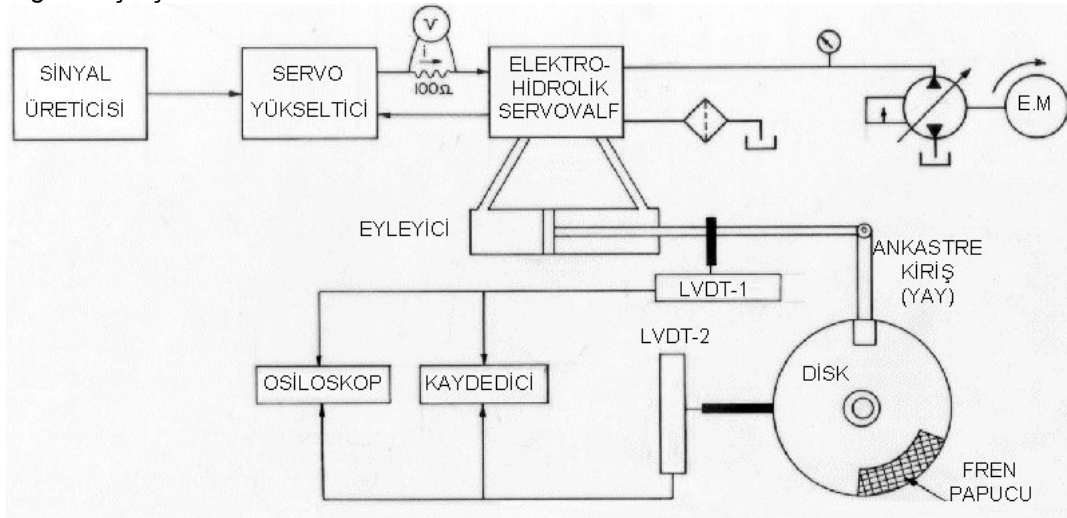
Akışkan gücü ile çalışan hidrolik sistemlerinin diğer tahrik sistemlerine üstünlük sağlayan iki temel özelliği vardır. Bunlardan birincisi, oldukça büyük akışkan kuvvetlerini enerji kaynağından çok uzakta bir konumda yüksek güç/kütle oranlarında sağlayabilmeleridir. Diğer özellik ise, eyleyicilerdeki konum kontrolünün oldukça hassas ve kolay yapılabilmesidir. Bu ikinci özelliğin önemli olduğu uygulamalarda, eğer hidrolik sistem çok büyük kuru sürtünme kuvvetine sahip bir yükü çok yavaş hareket ettirmek durumunda ise, “yapış-kay” diye adlandırılan hareketin ciddi bir sorun olarak ortaya çıktığı çok uzun süredir bilinmektedir [1-2]. Hidrolik yağ olarak kullanılan akışkanın sıkıştırılabilirliği ve kuru sürtünmenin karma bir etkisi olarak ortaya çıkan yapış-kay hareketinde, düşük sabit bir hızda hareket etmesi istenen yük, hareket eden “kayma” ve hareket etmeyen “yapışma” evreleri arasında gidip gelen sıçramalı ve kesikli bir hareket yapar. Konumlama hassasiyetini bozarak sistem performansını düşüren yapış-kay hareketinin, birbirine göre hareketli ve normal bir kuvvet etkisi ile birbirine bastırılmakta olan yüzeylerin aşınmasını da arttırdığı gösterilmiştir [3].

Yapış-kay hareketinin ortadan kaldırılmasına yönelik öneri önlemlerin önemli bir kısmı, yüzeyler arasındaki yağlama koşullarının çeşitli yöntemlerle iyileştirilmesini öngörmektedir [1-5]. Ancak, bu yöntemler, uygulamada gerek teknolojik olarak gerekse maliyet açısından ciddi sıkıntılar doğurmaktadır. Diğer taraftan, konum kontrol sistemlerindeki kuru sürtünme etkisini azaltarak sistem performansını iyileştirmek amacıyla küçük genlik ve yüksek frekanslı diter sinyallerinin kumanda sinyallerine eklenerek kullanımı çok eskiden beri bilinmektedir [6-8]. Bu tekniğin, valf denetimli hidrolik sistemlerin valf operasyonlarındaki mekanik boşluk, hidrolik kilitleme, akışkan içindeki filtre edilememiş yabancı parçacıklar, histeriz, eşik, sıfırlama kayması kaynaklı etkileri ortadan kaldırmak için de kullanıldığı yine eskiden beri bilinmektedir [9-11]. Ancak, bu tekniğin hidrolik bir sistemle sürülen kuru sürtünmeli bir yükte oluşan yapış-kay hareketinin giderilmesinde kullanımı üzerine pek eğilinmemiştir.

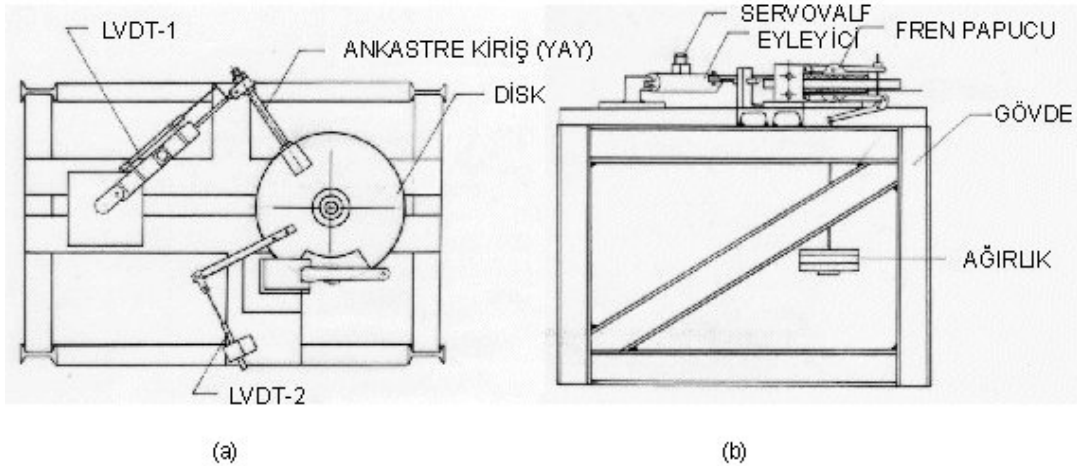
Bu çalışmada [12], kuru sürtünme direnci fazla olan yükleri yavaş hızlarda hareket ettiren hidrolik sistemlerin konumlama hassasiyetlerini iyileştirmek amacı ile kullanılacak diterin sistem performansına olan etkisinin deneysel olarak incelenmesi amaçlanmıştır. Bir deney düzeneğinin tasarımı ve imalatı yapılmış, sonra da bu deney düzeneği kullanılarak bir dizi kontrollü deneyler gerçekleştirilmiştir. Yürütülen deneyler sonucunda, yapış-kay hareketinin olduğu koşullarda bu hareketin ortadan kaldırılarak yük hareketini düzgülendirmek için uygulanacak diter sinyalinin özellikleri saptanmıştır.

DENEY DÜZENEĞİ

Oluşturulan deney düzeneğinin blok diyagramı Şekil 1'de, mekanik bağlantı düzenlemesinin üstten ve yandan görünüşü Şekil 2'de verilmektedir.



Şekil 1. Deney Düzeneğinin Blok Diyagramı



Şekil 2. Deney Düzeneğinin Üst (a) ve Yan (b) Görünüşleri

Deney düzeneğinin mekanik kısımlarının işlevi, kuru sürtünme ve kütlelen oluşan bir yükün elastik bir bağlantı üzerinden hidrolik bir piston tarafından sürülmesi şeklinde tanımlanabilir. Merkezinden iki rulman ile yataklanmış olan çelik diskin dönme eksenine göre kütle eylemsizlik momenti $0,412 \text{ kg.m}^2$ dir. Kuru sürtünme etkisi kamyonlarda kullanılan, astbest yüzeyli, çift pabuçlu bir fren mekanizması ile sağlanmaktadır. Yapılan ön deneylerle, disk ve fren pabuçları arasındaki statik sürtünme katsayısı $0,44 (\pm 0,01)$, kinematik sürtünme katsayısı $0,28 (\pm 0,04)$ olarak bulunmuştur. Frenleme yüzeylerine

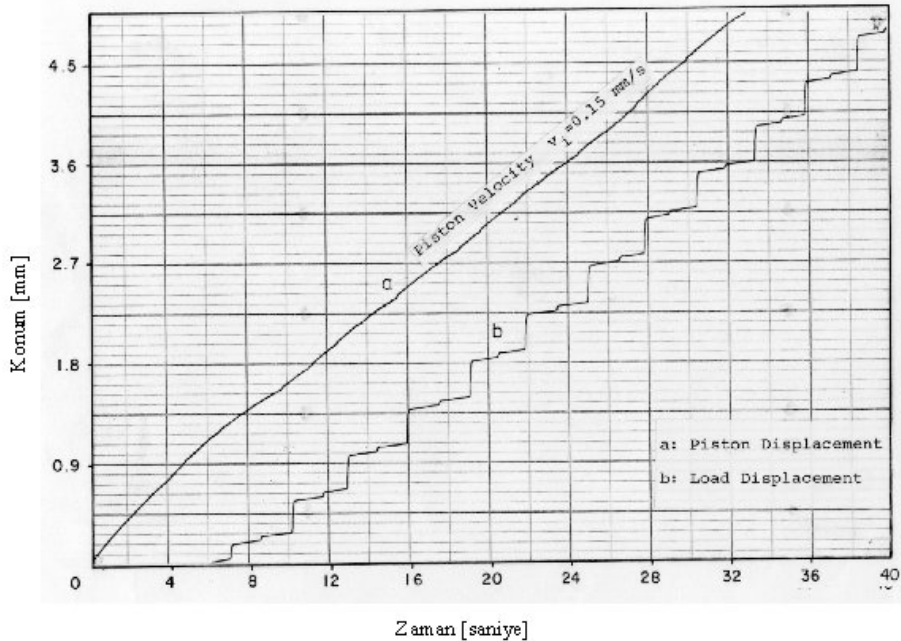
etkiyen normal kuvvet, kalibreli ağırlıklarla 0-2000 N arasında kontrollu olarak uygulanabilmektedir. Gerek kullanılan hidrolik yağın sıkıştırılabilirliği gerekse hidrolik eyleyici ile yük arasındaki iletim elemanlarının esnekliğinden kaynaklanan toplam sürücü esnekliğini kontrollu olarak değiştirebilmek için, çelik diske radyal yönde ankastre bağlanmış bir kiriş yay elemandan yararlanılmıştır. Üç değişik çapta imal edilen bu eleman yardımı ile deneyler sırasında toplam sistemin doğal frekansı $f_n = 16, 43$ ve 54 Hz'e ayarlanmıştır.

Deney düzeneğinin hidrolik kısımlarının işlevi, hidrolik güç kaynağından gelen basınçlı yağı bir elektro-hidrolik servovalf aracılığı ile eyleyiciye istenilen koşullarda göndererek mekanik sistemi sürmektir. Hidrolik güç kaynağı bir Brook Crompton Parkinson D180L elektrik motorunun tahrik ettiği bir Volvo V30A hidrolik pompası ile filtre ve tank gibi standart elemanlardan oluşmaktadır. Hidrolik eyleyici olarak, silindiri test düzeneği kasasına, pistonu ise konsol kiriş yay elemanının ucuna döner eklemlerle bağlanan bir çift etkili Moog 55L3 kullanılmıştır. Bu eyleyiciye gönderilen hidrolik yağın debi kontrolü çift kademeli dört yollu bir Moog 971C elektro-hidrolik servovalf ile sağlanmıştır.

Deney düzeneğinin ölçme ve kontrol kısımlarının temel işlevi, elektro-hidrolik servovalfe uygun sinyaller göndererek eyleyici pistonunun öngörülen bir hareketi yapmasını sağlamak ve bunun sonucunda diskte oluşan hareketi izleyebilmektir. Servovalfe gönderilen kumanda sinyalleri bir Moog 82-300DC servo yükseltici/denetleyici aracılığı ile üretilmiştir. Bu yükselticiye, doğru akım ve sıfır ayarı bir Riken Denshi SVG-23 voltage üreticisinden, ana kumanda sinyali ise derbe genişlik modülasyonlu olarak bir Feedback TWG200 test dalgası üreticiden sağlanmıştır. Eyleyici pistonunun konumu bir Schaevitz 2000 DCDT, diskin çevresel konumu ise bir Schaevitz 500 DCDT doğrusal değişken fark dönüştürücüsü (LVDT) ile ölçülmüştür.

DENEYLER VE SONUÇLAR

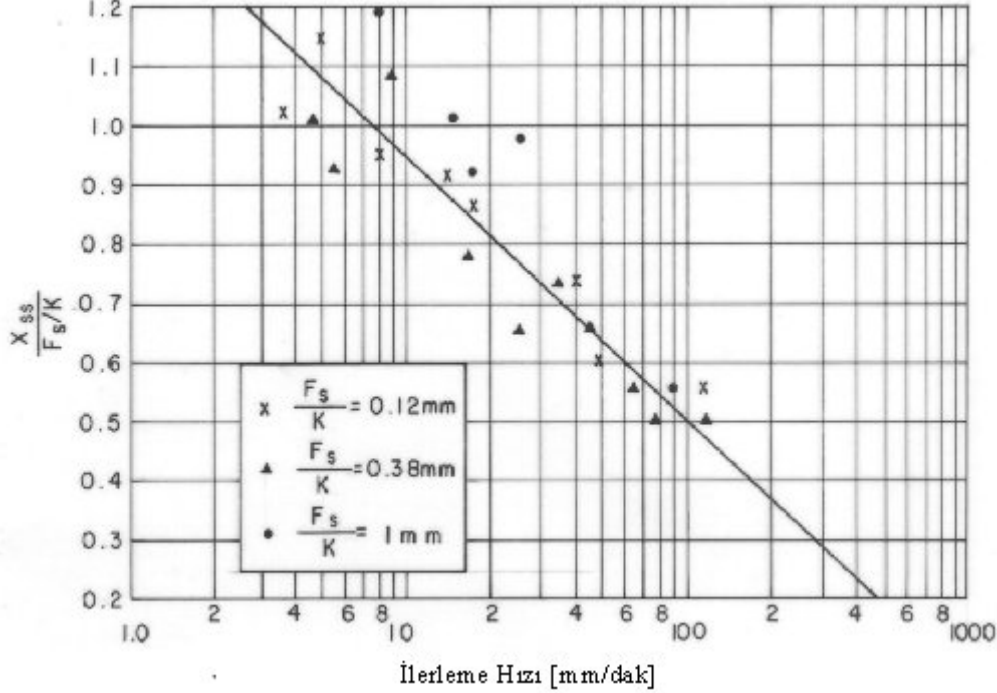
Bu çalışmada biri dither sinyali kullanılmadan diğeri ise dither sinyali kullanılarak iki grup deney yapılmıştır. İlk grup deneylerde, kuru sürtünme kuvveti (F_s : statik, F_k : kinematik), sürücü direngeliği (k) ve piston hızının (v) diskin yapış-kay hareketine etkisi araştırılmıştır. Eyleyici pistonunun ve diskin çevresel konum değişimlerine bir örnek $v = 0,15$ mm/s'lik bir piston hızı için Şekil 3'te verilmiştir.



Şekil 3. Piston ve Disk Konumlarının Tipik Değişimleri
($F_s = 550$ N, $f_n = 54$ Hz, $v = 0,15$ mm/s)

İki eğri arasındaki yatay kayma aynı anda çalışmakta olan kaydedici kalemlerinin birbirlerinin hareketlerine engel olmaması için özellikle verilmiştir. Piston konumu eğrisinin (eğimi ilerleme hızı olan) oldukça doğrusal bir görünümü varken, disk konumu eğrisi uzun zaman aralığında aynı ilerleme hızı ancak kısa zaman aralıklarında kesikli ve kendini tekrarlayan periyodik bir görünüme sahiptir. Yatay bölgeler yapışma, sıçramalı düşey bölgeler kayma hareketlerine karşın gelmektedir.

Birinci grup deneyler 4 kuru sürtünme kuvveti ($F_s = 180 \text{ N}, 350 \text{ N}, 550 \text{ N}, 700 \text{ N}$), 3 doğal frekans ($f_n = 16 \text{ Hz}, 43 \text{ Hz}, 54 \text{ Hz}$) ve $v = 2 - 200 \text{ mm/dak}$ arasındaki çeşitli ilerleme hızları için tekrarlanmıştır. Kaymalar sırasında oluşan sıçrama miktarlarının (X_{ss}) boyutsuzlaştırılmış değerlerinin ilerleme hızı ile değişimi Şekil 4'te verilmiştir.



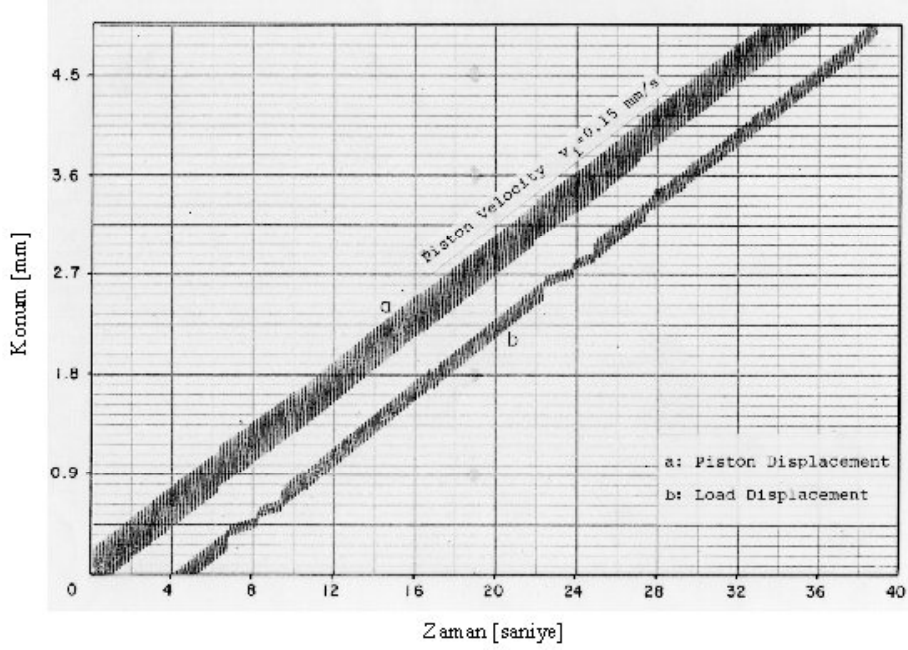
Şekil 4. Yapış-Kay Hareketindeki Boyutsuz Sıçramanın İlerleme Hızı İle Değişimi

Veri noktaları negatif eğimli bir doğrusal karakter göstermektedir. En küçük kareler yöntemi ile veri kümesine uydurulan doğrunun deklemi (v 'nin birimi mm/dak olacak şekilde) aşağıda verilmiştir.

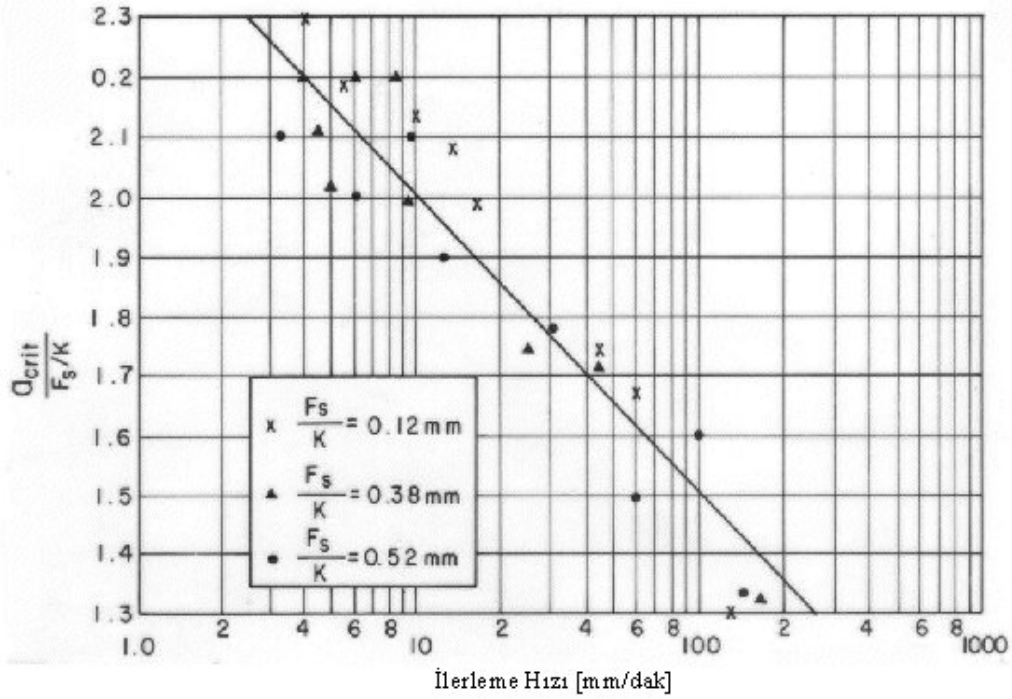
$$\frac{X_{ss}}{F_s / k} = - 0,45 \log(v) + 1,4 \quad (1)$$

Birinci grup deneyler ile aynı yöntemsel yaklaşım ile yapılan ikinci grup deneylerde, sabit servovalf kontrol sinyali üzerine eyleyiciye istenen bir frekans ve genlikte diler sinyali vermek için gerekli derbe genişlik modülasyonlu bir kontrol sinyali kullanılmıştır. Deneyler sırasında diler sinyalinin genlik ve frekansı değiştirilerek disk konumunun sıçramasız (yapış-kay hareketi olmayan) davranışı elde edilmeğe çalışılmıştır. Eyleyici pistonunun hareketine tepeden tepeye genliği $a_d = 0,36 \text{ mm}$ frekansı $f_d = 6.5 \text{ Hz}$ diler bindirilmiş durumda pistonun ve diskin çevresel konumunun yapış-kaysız değişimlerine bir örnek $v = 0,15 \text{ mm/s}$ 'lik bir piston hızı için Şekil 5'te verilmiştir. Pistonda oluşturulan dilerin diskin hareketinde aynı frekansta ancak daha düşük bir genlikte ortaya çıktığını görmekteyiz. Bu özellik yürütülen tüm deneylerde değişik genlik oranları (% 30 - % 90) ile gözlemlenmiştir. Disk hareketindeki diler genliğinin pistondaki diler genliğine oranının uygulanan diler frekansı arttıkça düşmekte olduğu çalışmanın ayrıntıları burada verilmeyen bir başka kısmında gösterilmiştir [12].

İkinci grupta yapılan deneylerde elde edilen ve yapış kay hareketinin gözlenmediği en küçük tepeden tepeye diler genliklerinin (a_{crit}) boyutsuzlaştırılmış değerlerinin ilerleme hızı ile değişimi Şekil 6'da verilmiştir. Veri noktaları negatif eğimli bir doğrusal karakter göstermektedir. En küçük kareler yöntemi ile veri kümesine uydurulan doğrunun deklemi (v 'nin birimi mm/dak olacak şekilde) aşağıda verilmiştir.



Şekil 5. Diter Uygulandığında Piston ve Disk Konumlarının Tipik Değişimleri ($F_s = 180 \text{ N}$, $f_n = 43 \text{ Hz}$, $v = 0,15 \text{ mm/s}$, $a_d = 0,36 \text{ mm}$, $f_d = 6,5 \text{ Hz}$)



Şekil 6. Yapış-Kay Olmaması İçin Uygulanması Gerekli En Düşük Tepeden Tepeye Diter Genliğinin İlerleme Hızı İle Değişimi

$$\frac{a_{\text{crit}}}{F_s / k} = -0,5 \log(v) + 2,5 \quad (2)$$

Şekil 4'teki X_{ss} değişimi ile Şekil 6'daki a_{crit} değişimlerinin, dolayısı ile (1) ve (2) numaralı ifadelerin şartıcı benzerliklerinden yola çıkılarak, a_{crit} ile X_{ss} arasında

$$\frac{a_{crit}}{F_s / k} = 1,1 \frac{X_{ss}}{F_s / k} + 0,94 \quad \text{ya da} \quad a_{crit} = 1,1 X_{ss} + 0,94 (F_s / k) \quad (3)$$

şeklinde bir bağıntı yazılabilir. (3) numaralı bağıntının en çarpıcı özelliği, yapış-kay hareketindeki sıçrama miktarından yola çıkarak uygulanması gerekli olan en küçük diter genliği konusunda pratik bir değer verebilmesidir. Yine bu bağıntı, artan statik kuru sürtünme kuvvetleri ve/veya artan sürücü elemanları elastikiyeti için, aynı X_{ss} değerlerinde daha büyük a_{crit} değerlerinin kullanılmasını öngörmektedir.

SONUÇ

Büyük kuru sürtünme direnci gösteren yükleri yavaş hızlarda hareket ettiren hidrolik sistemlerin konumlama hassasiyetlerini iyileştirmek amacı ile kullanılacak diterin sistem performansına olan etkisi deneysel olarak incelenmiştir. Bu amaçla, bir deney düzeneğinin tasarımı ve imalatı yapılmış; bu deney düzeneği kullanılarak bir dizi kontrollü deneyler gerçekleştirilmiştir. Yürütülen deneyler sonucunda, yapış-kay hareketinin olduğu koşullarda bu hareketin ortadan kaldırılarak yük hareketini düzgülendirmek için uygulanacak diter sinyalinin özelliklerini yapış-kay hareketinde oluşan sıçramalarla ilintili pratikte kullanılabilecek bir bağıntı elde edilmiştir.

KAYNAKÇA

- [1] BELL, R., BURDEKIN, M., "Study of Stick-Slip Motion of Machine Tool Feed Drives", 543-560, Proc. of Inst. Mech. Eng., 184 pt 1, 1969-70.
- [2] BELL, R., BURDEKIN, M., "Plain Slideways", 1075-1096, Proc. of Inst. Mech. Eng., 184 pt 1, 1969-70.
- [3] KOZAN, M., "Design and Construction of a Test Rig for Investigation of Frictional Characteristics of Machine Tool Slideways", Yüksek Lisans Tezi, ODTÜ Makina Mühendisliği Bölümü, Ankara, 1981.
- [4] HUNT, J.B., "Research Note: Reduction in Relaxation Oscillation (Stick-Slip) Amplitudes", J. Mech. Eng. Sci., 42-44, 19, 1977.
- [5] COCKERHAM, G., COLE, M., "Stick-Slip Stability by Transfer Lubrication", Proc. of Inst. Mech. Eng., 259-268, 192, 1978.
- [6] MACCOLL, L.A., "Fundamental Theory of Servomechanisms", D. Van Nostrand Co., Inc., 1945.
- [7] ELGERD, O., "A Study of Asynchronously Excited Oscillations in Nonlinear Control Systems", IRE Trans. Automatic Control, 178-192, AC-5, 1960.
- [8] ELGERD, O., "Continuous Control by High Frequency Signal Injection", Instrumentation and Control Systems, 87-91, 37, 1964.
- [9] BLACKBURN, J., REETHOF, G., SHEARER, J., "Fluid Power Control", MIT Technology Press, 1960.
- [10] CARRINGTON, J.E., MARTIN, H.R., "Threshold Problems in Electrohydraulic Servomotors", Proc. of Inst. Mech. Eng., 881-893, 180 pt 1, 1965-66.
- [11] MERRITT, H.E., "Hydraulic Control Systems", Wiley, 1966.
- [12] HARB, S.M., "Experimental Investigation of the Performance Improvement of Slowly Moving Fluid Power Drives via Dither Produced by Pulse Width Modulation", Yüksek Lisans Tezi, ODTÜ Makina Mühendisliği Bölümü, Ankara, 1985.

ÖZGEÇMİŞ

Bülent E. PLATİN

1947 yılında İstanbul'da doğdu. İstanbul Teknik Üniversitesi Makina Fakültesinden 1969 yılında "Makina Yüksek Mühendisi", A.B.D. Massachusetts Institute of Technology Makina Mühendisliği Bölümünden 1972 yılında "Yüksek Lisans", 1978 yılında da "Doktora" derecelerini aldı. 1969-1970 yıllarında TÜBİTAK Tatbiki Matematik Ünitesinde "Araştırmacı" olarak çalıştı, halen çalışmakta olduğu Orta Doğu Teknik Üniversitesi Makina Mühendisliği Bölümüne 1978 yılında "Öğretim Görevlisi" olarak katıldı, 1979 yılında "Yardımcı Profesör", 1984 yılında "Doçent" ve 1991 yılında da "Profesör" ünvanı aldı. 1988-1990 yıllarında Fulbright burslusu olarak bulunduğu A.B.D.'de University of Connecticut ve Hartford Graduate Center adlı kuruluşlarda "Misafir Doçent" ünvanı ile görev yaptı. Çalışmaları sistem dinamiği, kontrol, sistem modellemesi, simulasyonu ve tanılması, görüntü analizi alanlarında yoğunlaşmıştır.

Salam M. HARB

1960 yılında Lübnan'ın Saida kentinde doğdu. Orta Doğu Teknik Üniversitesi Makina Mühendisliği Bölümünden 1983 yılında "Lisans", 1985 yılında da "Yüksek Lisans" derecelerini aldı.

Yücel ERCAN

1943 yılında Konya'da doğdu. A.B.D. Massachusetts Institute of Technology Makina Mühendisliği Bölümünden 1966 yılında "Lisans", 1968 yılında "Yüksek Lisans" ve 1971 yılında "Doktora" derecelerini aldı. 1976 yılında "Doçent", 1982 yılında "Profesör" oldu. 1979-1981 yılları arasında Alexander von Humboldt Vakfı bursuyla Almanya'da araştırmalar yaptı. 1982-1992 arasında Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dekanlığı yaptı. Halen Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Makina Mühendisliği Bölümünde görev yapmaktadır. Çalışmaları sistem dinamiği, akışkan gücü kontrolü, modelleme, simülasyon alanlarında yoğunlaşmıştır. Çalışmaları arasında "Akışkan Gücü Kontrolü Teorisi" isimli bir kitabı da bulunmaktadır.