

ELEKTROMEKANİK GERGİ DENETİM SİSTEMİNİN DGM KULLANARAK İYİLEŞTİRİLMESİ

Gürsel ŞEFKAT*

Özet: Kağıt üretimi, kumaş, folyo ve plastik film gibi sürekli malzemelerin üretimi esnasında gerginliğin kontrol edilmesi gerekir. Şerit halindeki malzemelerin, rulolar arasında transfer edilerek kaliteli bir işlemin gerçekleştirilmesi, gergi kuvvetinin kontrolüne dayanır. Gergi kuvveti belli değerlerde tutulmadığı takdirde başlıca iki problemle karşılaşılır. **i)** Gergi kuvvetinin artarak, şeridin kopma mukavemetini aşması durumunda oluşacak ve üretimi kesecek olan kopma, **ii)** Gergi kuvvetinin azalması ile üretim hattındaki gevşemeden dolayı oluşacak aksaklıklar ve kalite düşüklüğü. Bu çalışmada, mekanik ve elektromekanik gergi denetim sisteminin matematiksel modelleri kurulmuş ve sistemi tanımlayan denklemlerden Darbe Genişlik Modülasyonu (DGM) uygulanmadan ve uygulayarak benzetim sonuçları elde edilip karşılaştırılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Gergi denetimi, oynar rulo, elektromekanik fren, DGM.

The Improvement of an Electromechanical Tension Control System by Using the PWM

Abstract: The web tension should be controlled tightly for the quality of products and productivity of the web process line. A moving web under insufficient tension cannot track properly and may wrinkle the web, while excess tension may result in web deformation or even a web break. This paper describes the mathematical modeling and control of the mechanic and electromechanical tension control systems. The two systems will be analyzed, considering the dynamic response. According to mechanic system, electromechanical tension control system is both simple structure and more sensitive. Furthermore, it can be ensured a sensitive control by a simple control algorithm due to it is making possible to perform pulse with modulation (PWM) signal. Dynamic analyses of the systems were carried out using MATLAB/Simulink software. Simulation results showing the system performance such as control signal, magnetic and tension force and angle displacement of the dancer were presented and compared for different tension values.

Key Words: Tension control, dancer roll, electromechanical brake, PWM.

1. GİRİŞ

Şerit malzeme; kağıt, film, tekstil ürünü gibi oldukça uzun, izafi olarak ince ve esnek malzemeleri tanımlar (Dwivedula ve ark, 2006). Rulo halinde sarılarak endüstriyel süreçlere giren şerit malzemelerin, yapılacak işlemler esnasında düzgün olarak açılıp sarılabilmesi, yapılan işlemin kalitesi bakımından önem taşımaktadır. Bunun sağlanabilmesi için malzemelerin, açılma esnasında gerginliğinin belli bir değerde olması gerekir. Bu gergi kuvveti belli değerlerde tutulmadığı takdirde başlıca iki problemle karşılaşılır. **i)** Üretimi kesecek olan kopma, şeritteki gergi kuvvetinin şeridin kopma mukavemetini aşması halinde ortaya çıkacaktır. **ii)** Gergi kuvvetinin çok düşük değerlerde olması, şeritte gevşemelere dolayısıyla da üretim hattında önemli aksamalara neden olacaktır (Şefkat, 1993).

Gerginliğin kontrolü için bugüne kadar çeşitli sistemlerle çözüm aranmıştır (Ebler ve ark 1993, Liu ve Davision 2003, Yan ve Huang 2004). Bu sistemler gergiyi doğrudan ölçen veya dolaylı olarak ölçen sistemler olarak tasarlanabilir. Bugünkü teknoloji ile her iki yöntemle de gerginliği ölçmek mümkündür. Ölçülen gergi değeri, besleme veya çekme bobinini tahrik eden elektrik motorunun hızını ayarlayan geribesleme işareti olarak tasarlanabileceği gibi sadece çekme bobininin sabit devirli bir motorla tahrik edildiği sistemlerde, besleme bobini üzerine bir frenleme etkisi oluşturacak geribesleme işareti olarak da tasarlanır.

* Uludağ Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, 16059, Görükle, Bursa.

$$r_s(t) = r_s(0) + \frac{s}{2\pi} \theta_s(t) \quad (2)$$

bağıntısı ile hesaplanır. Burada $r_s(0)=r_i$ sarma bobininin ilk yarıçapıdır. Şeritte oluşan gergi kuvveti, sünek malzemeler için Hooke kanunundan;

$$\sigma = E\varepsilon \Rightarrow \frac{F}{A} = E \frac{\Delta l}{l} \Rightarrow F = \frac{EA}{l} \Delta l$$

burada, $\frac{EA}{l}=k$ malzemenin sabit rijitliği olarak alınırsa;

$$F_g = k(x_s - x_b) \quad (3)$$

şeklinde yazılabilir. Elastikiyet denkleminin her iki tarafını zamana göre türetirsek;

$$\frac{dF_g}{dt} = k(v_s - v_b) \quad (4)$$

burada $x_s, \dot{x}_s = v_s$ ve $x_b, \dot{x}_b = v_b$ sırasıyla sarılan ve boşalan silindirlere çekme miktarı ve çekme hızlarıdır gergi kuvvetinin zamana göre değişimini veren ifadeyi elde ederiz. Diğer taraftan boşalan rulonun miline gelen döndürme etkileri dikkate alınarak (Şekil 1) Euler denkleminde;

$$F_g r_b(t) - F_f r_f = J_b(r_b) \ddot{\theta}_b + B_b \dot{\theta}_b \quad (5)$$

Burada $F_g r_b$ germe momentini, $F_f r_f$ frenleme momentini, J_b eylemsizliğini ve B_b ise ihmal edilebilecek iç sürtünmeleri temsil etmektedir. Bunun yanında açılma hızı ile çizgisel hız arasındaki bağıntıdan;

$$\dot{\theta}_b = \frac{V_b}{r_b}, \quad \dot{\theta}_s = \frac{V_s}{r_s} \quad (6)$$

bilinmektedir. (5) nolu denklemden F_f mekanik frenin teğetsel kuvvetini, $\ddot{\theta}_b$ ise boşalan rulonun açılma ivmesini temsil etmektedir. Sürtünme katsayısı μ_s , normal kuvvet F_N ise fren pabucundaki frenleme kuvveti;

$$F_f = \mu_s F_N \quad (7)$$

biçiminde elde edilir. Burada F_N , Şekil 1'de görüldüğü gibi frenleme kuvvetini oluşturan normal kuvveti temsil etmektedir. Manivelaya ait mekanik bağıntıdan normal kuvvet;

$$F_N a - e b = 0 \quad (8)$$

bulunur. Burada e , gergi denetim sisteminde karşılaşılan hata olup;

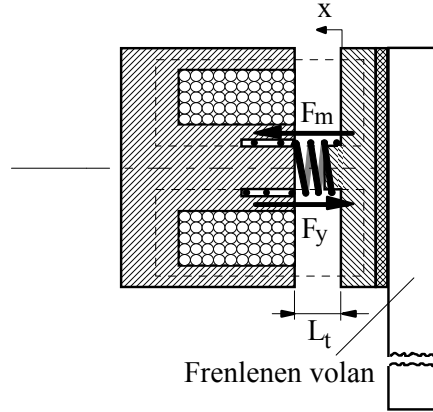
$$e = W - 2F_g \quad (9)$$

şeklinde tanımlanır. (5) nolu ifade de geçen ve boşalan rulonun yarıçapına bağlı olarak değişen eylemsizlik momenti;

$$J_b(r_b) = J_{b_0} + 0.5 \rho L \pi (r_b^4 - r_i^4) \quad (10)$$

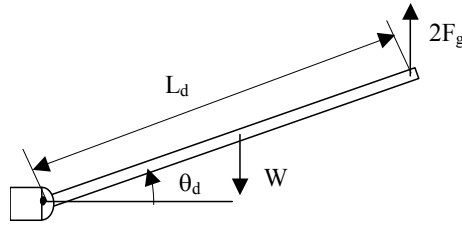
ifadesi ile hesaplanır. Burada r_i boşalan rulonun iç çapını, L boşalan rulonun enini, ρ ise malzemenin yoğunluğunu temsil etmektedir. Verilen matematik modele uygun olan kapalı döngü mekanik gergi denetim sistemi blok diyagramı Şekil 2'deki gibi oluşturulur.

$$F_m = \frac{\mu AN^2 i^2}{2(L_t - x)^2} \quad (12)$$



Şekil 4:
Elektromanyetik frenin serbest cisim diyagramı

Yukarıdaki ifade; μ havanın geçirgenliğini, A mıknatıs çekirdek kesit alanını, N mıknatıs sarım sayısını, i uygulanan akımı, L_t toplam hava aralığını, x fren pabucunu temsil eden diskin hareket miktarını göstermektedir. Görüldüğü gibi mıknatıs kuvveti F_m , akım i ve disk yer değiştirmesi x 'e bağlıdır. Manyetik kuvveti hesaplamak için, hazırlanan bir Simulink modeli (Şefkat, G. 2000) kullanılmıştır.



Şekil 5:
Oynar rulo

Mıknatıs devresine dolayısıyla elektromekanik frene uygulanan gerilim, oynar rulonun konumunun, potansiyometre (Şekil 3.) ile geri beslenmesinden;

$$e = e_g - e_\varphi \quad (13)$$

hesaplanır. Burada e_g , oynar rulonun arzu edilen konumuna karşılık potansiyometreden okunan gerilim değeridir. e_φ ise oynar rulonun herhangi bir andaki konumuna karşılık geri beslenen çıkış gerilimidir. Newton'un hareket denkleminde oynar rulonun açısal konumu (Şekil 5);

$$2F_g L_d \cos(\theta_d) - W \frac{L_d}{2} \cos(\theta_d) = J_d \ddot{\theta}_d + B_d \dot{\theta}_d \quad (14)$$

$$\ddot{\theta}_d = \frac{1}{J_d} \left(2F_g L_d \cos(\theta_d) - \frac{W L_d}{2} \cos(\theta_d) - B_d \dot{\theta}_d \right) \quad (15)$$

elde edilir. Bu açısal konuma göre, açısal potansiyometreden elde edilen gerilim değeri, $e_\varphi = K\theta_d$ şeklinde elde edilir.

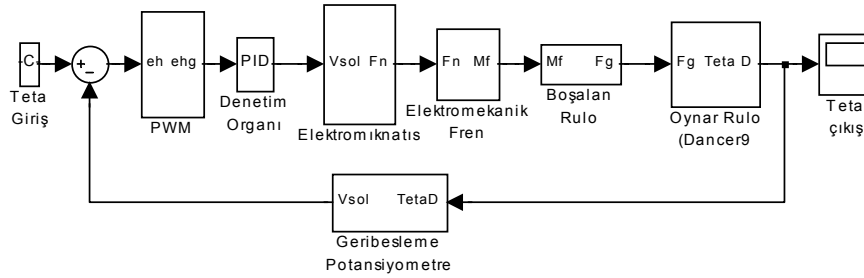
Sarılan rulo sabit devirli bir motorla tahrik edilmekte ve bu sebeple sabit açısal hızla dönmektedir. Sarılan şerit malzemenin artmasıyla çizgisel hız V_s ; $\omega_s = 2\pi n/60$ ve $\int \omega_s dt = \theta_s$ olduğundan ve (2) nolu ifadeden sarılan rulo yarıçapı elde edilir;

$$V_s = \omega_s r_s \quad (16)$$

biçiminde hesaplanır. Hata işaretine orantılı olarak elektromekanik frenin mıknatıs devresi bir mıknatıs kuvvet sağlar (Şefkat G.,2000). Bu mıknatıs kuvveti, yay kuvvetine karşılık olduğundan frenleme momentini azaltarak sistemin gerginliğini denetler. Böylece basit bir mekanik manivela yerine, çok daha hassas ve hızlı olan elektromekanik gergi denetimi sağlanmış olur. Tüm bu ifadeler kullanılarak gerginin zamana göre değişiminin ifadesi (Şefkat G., 1996)

$$\frac{d^2 F_g}{dt^2} = \frac{kr_b}{I} \left[\left(\frac{sr_i \omega_s^2}{2\pi} + \frac{s^2 \omega_s^3}{4\pi^2} t \right) \frac{I r_s}{r_b^3} + \frac{s \omega_s^2}{2\pi} + \frac{I}{r_b} + \mu_s r_f (F_y - F_m) \right] - F_g r_b - \left[\left(\frac{sr_i \omega_s}{2\pi k} + \frac{s^2 \omega_s^2}{4\pi^2 k} t + \frac{s \omega_s r_s}{2\pi k} \right) \frac{1}{r_b^3} \frac{dF_g}{dt} \right] + \frac{s}{2\pi k^2} \frac{I}{r_b^3} \left(\frac{dF_g}{dt} \right)^2 \quad (17)$$

elde edilir. Bu ifadenin çözümü MATLAB diferansiyel denklem çözüm komutu kullanılarak elde edilmiştir. Darbe genişlik modülasyonu (DGM, PWM) kullanıldığı elektromekanik gergi denetim sisteminin blok şeması Şekil 2’de verilen mekanik sistemden farklı olarak şöyle elde edilir.

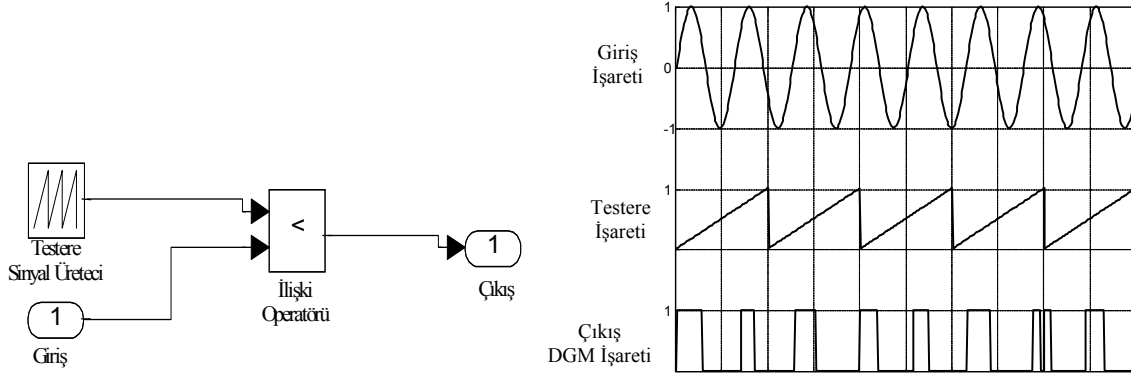


Şekil 6:
Elektromekanik gergi denetim sistemi blok diyagramı

Şemada görülen PWM (Pulse With Modulation) bloğu, darbe genişlik modülasyonunu-DGM-sinyali uygulandığını göstermektedir. Elektromekanik frenin, hata sinyalinin büyük değerleri için aç-kapa biçiminde çalışmasını engeller. DGM olmaksızın yapılan çalışmada, mıknatıs kuvvetinin yay kuvvetini yendiği durumlarda, frenleme diskinin teması kesildiğinden, frenleme momentinin tamamen ortadan kalktığı ve aç-kapa biçimiyle çalıştığı görülmüştür. Bu durumda gergi kuvveti belirli sınırlar arasında sürekli salınım yapmakta ve şerit malzemenin yorulmasına ve sistemin gürültülü çalışmasına neden olmaktadır (Şekil 12). Sistemin elektromekanik olması DGM sinyali uygulamayı mümkün kılmakta ve basit bir denetim algoritması uygulayarak hassas bir denetim sağlanabilmektedir.

DGM tekniğinin esası, testere dişi olarak bilinen işaret ile kontrol edilecek işaretin (hata işareti) mukayese edilmesi işlemidir. Bu iki farklı işareten elde edilecek olan yeni işaret doluluk ve boşluklara sahip bir darbeler dizisi olarak ortaya çıkmaktadır. Bu darbelerin doluluk ve boşlukları, kontrol edilecek işaretin testere dişi işaretinden büyük ya da küçük olmasına bağlıdır. Kontrol işareti testere dişi işaretinden büyük ise doluluk, küçük ise boşluk olarak sonuçlandırılacaktır. Bu darbelerdeki doluluk, uygulanan gerilim miktarının süresini belirtmektedir.

DGM'nin Simulink modelini oluşturmak için, Simulink içinde bulunan kütüphaneden bir adet testere sinyali üretici, bir adet giriş, bir adet ilişki operatörü ve bir adet çıkış elamanı kullanılmıştır. Girişten itibaren DGM algoritmasına uygun şekilde bağlanan bu elemanlarla oluşturulan DGM üreticinin Simulink modeli Şekil 7’de verilmiştir.

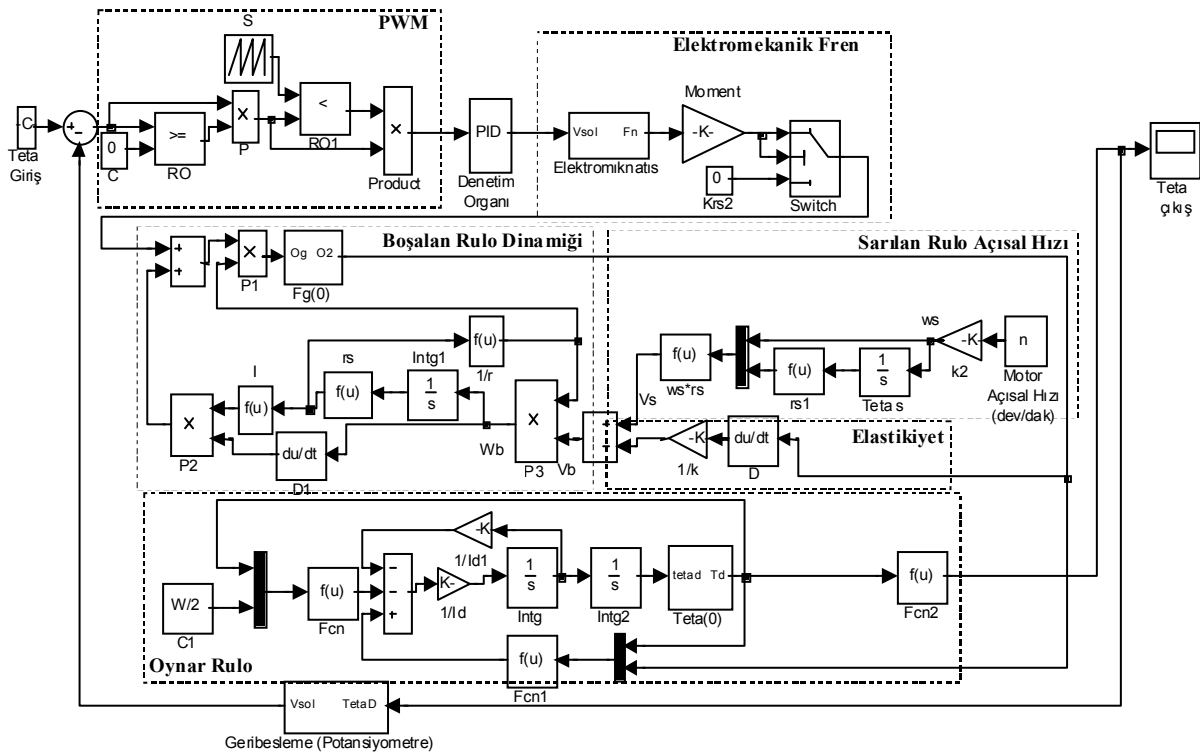


Şekil 7:
DGM üreticinin Simulink modeli ve örnek giriş-çıkış sinyalleri

4. ELEKTROMEKANİK GERGİ DENETİM SİSTEMİ SIMULINK MODELİ

Şekil 8’de verilen denetim sisteminin doğrusal olmayan ifadeleri içeren modeli Simulink kullanılarak hazırlanmıştır.

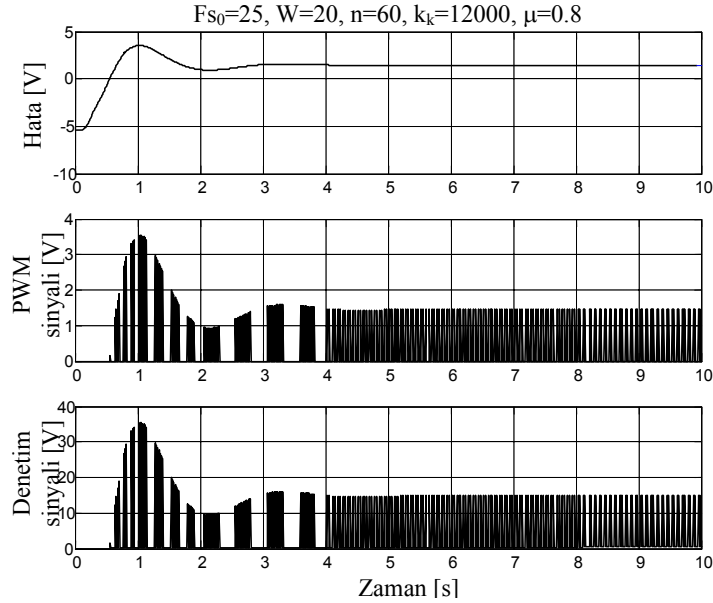
Elektromekanik gergi denetim sistemi Simulink modeli; Oynar Rulo kısmı (15) nolu ifade, elastikiyet kısmı (4) nolu ifade, sarılan rulo açısai hızı kısmı (1 ve 16) nolu ifadeler, boşalan rulo dinamiği kısmı (2 ve 5) nolu ifadeler, elektromekanik (Şefkat, G. 2000) fren kısmı (7-12) nolu ifadeler ve PWM kısmı için Şekil 7’deki Simulink modeli kullanılarak oluşturuldu. Denetim organı olarak MATLAB-Simulink alet kutusundaki standart PID ikonu kullanıldı.



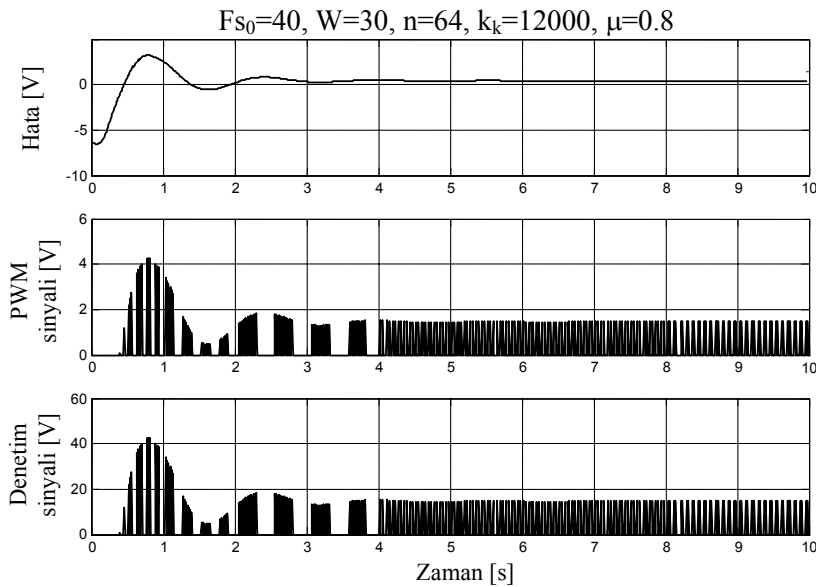
Şekil 8:
Gergi denetim sisteminin Simulink modeli

5. BENZETİM SONUÇLARI

Bahsedilen ifadelerden de görüldüğü gibi şerit malzemede oluşan gergi kuvveti; yay ön gergi kuvveti, oynar rulo ağırlığı, şerit malzeme elastikiyeti, sarma motoru hızı gibi belirli parametrelere bağlı olarak değişmektedir. Bu parametrelerden yay ön gergi kuvveti ve oynar rulo ağırlığı hariç diğerleri sabit tutularak şerit malzemede oluşacak gergi kuvvetinin zamana göre değişimi elde edilmiştir. Bununla birlikte hazırlanan Simulink model kullanılarak elde edilen benzetim sonuçlarından hata sinyali, PWM sinyali ve denetim sinyalinin zamana göre değişimleri Şekil 9'da, elektromıknatıs kısmı ile ilgili mıknatıs kuvveti, akım ve disk konumunun zamana göre değişimleri Şekil 10'da, fren ve oynar rulo ile ilgili net kuvvet, frenleme momenti, oynar rulo açısı değişimleri gibi çeşitli çıktılarının zamana göre değişimleri Şekil 11'de sunulmuştur.

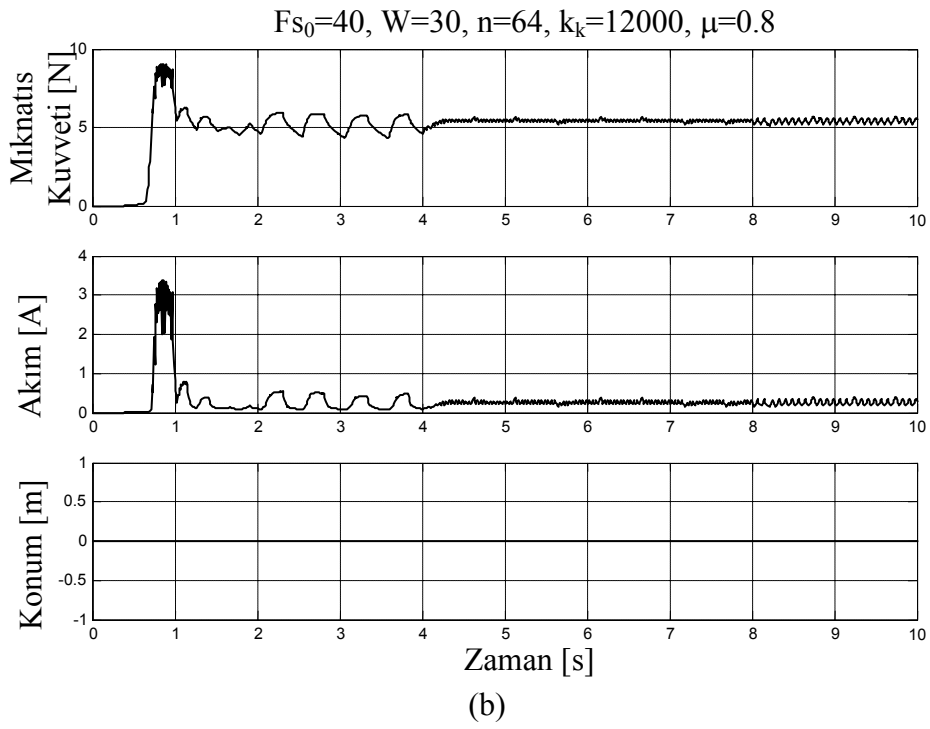
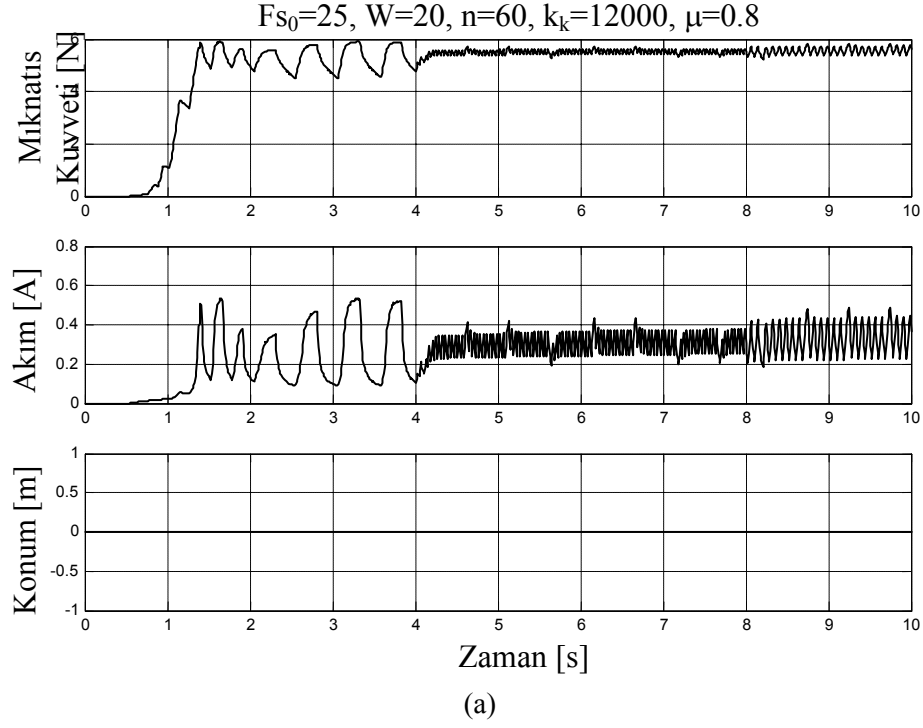


(a)

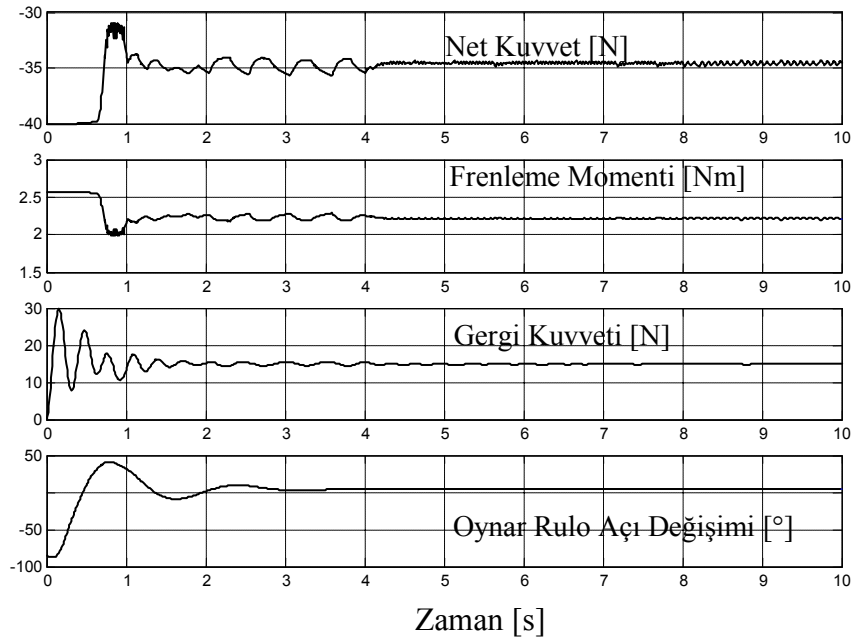
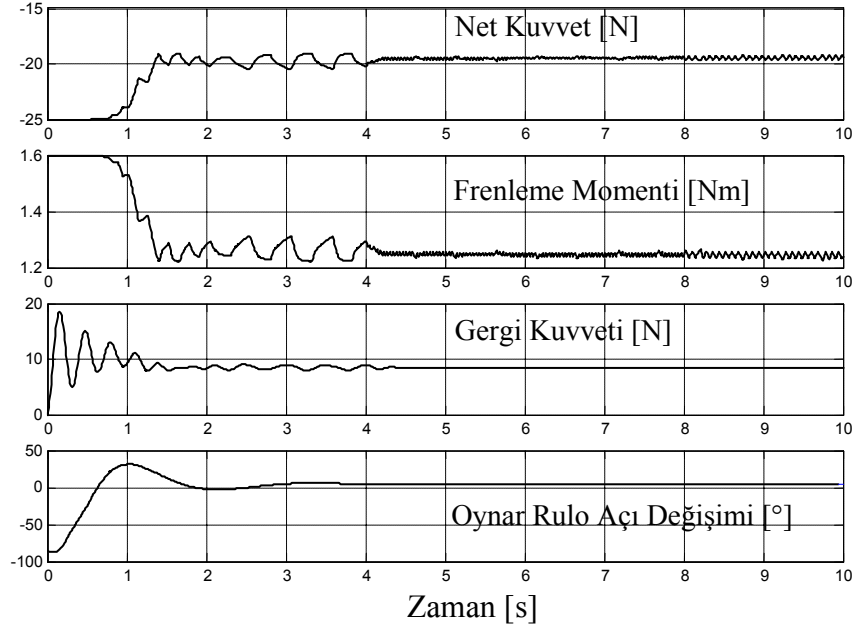


(b)

Şekil 9:
Elektromekanik gergi denetim sisteminde (a) $F_g=10$ N ve (b) $F_g=15$ N için hata, PWM ve denetim sinyali değişimi



Şekil 10:
Elektromekanik gergi denetim sisteminde (a) $F_g=10$ N ve (b) $F_g=15$ N için mıknatis kuvveti,
akım ve disk konum değişimi



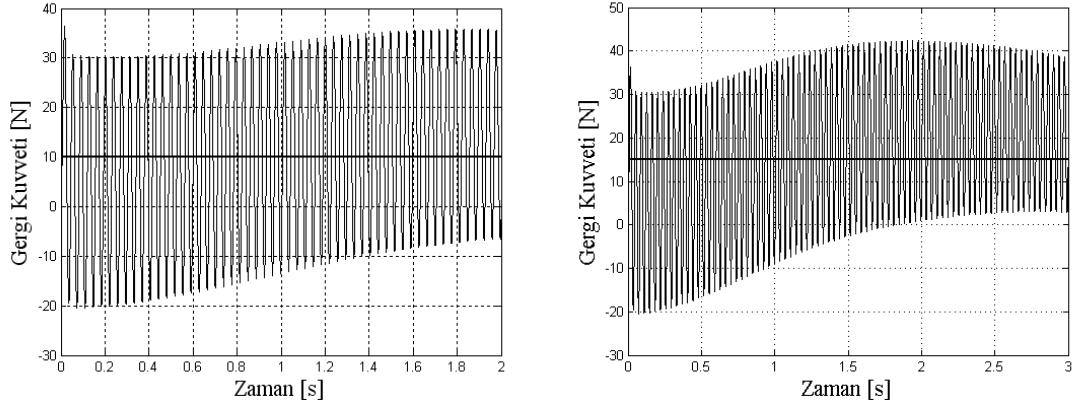
Şekil 11:

Elektromekanik gergi denetim sisteminde (a) $F_g=10$ N ve (b) $F_g=15$ N için net kuvvet, frenleme momenti, gergi kuvveti ve oynar rulo açısı değişimi

6. SONUÇLAR

Bu çalışmada klasik mekanik gergi denetim sistemine alternatif olarak düşünülen elektromekanik frenli bir gergi denetim sistemi önerilmiş ve DGM tekniği kullanarak ve kullanılmayarak analiz edilmiştir.

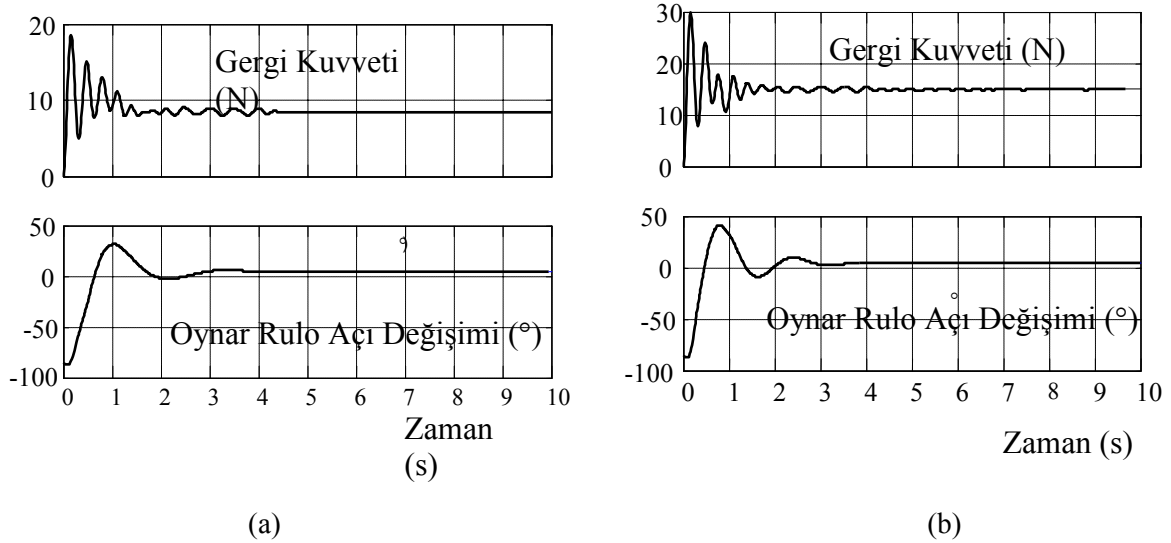
Her iki sistemin de matematiksel modeli kurularak elektromekanik gergi denetim sistemi için sayısal çözümler elde edilmiştir. DGM tekniğinin kullanılmadığı gergi denetim sisteminin sayısal çözümleri önceki çalışmada (Şefkat G ve ark. 1996) elde edilen (17) numaralı ifadeye dayandırılarak MATLAB kodları ile yazılmış bir program kullanılarak elde edilmiş ve Şekil 12’de sunulmuştur.



Şekil 12:
DGM tekniğinin kullanılmadığı elektromekanik gergi denetim sisteminde gergi kuvveti (a) $F_g=10\text{ N}$ ve (b) $F_g=15\text{ N}$ için net

Şekil 12'den de görüldüğü gibi elektromekanik fren hataya bağlı olarak tamamen boşalıp tamamen baskı konumuna gelerek sistemi aç-kapa şeklinde bir davranışa itmiştir. Bu da sistemin çok hassas bir denetim sağlamasını bozmuştur. Ayrıca fren balatasını boş konumdan baskı konumuna geçerken çıkardığı gürültüde sistemin farklı bir teknikle sürülmesine yani DGM tekniğine itmiştir.

Şekil 11'den gergi kuvvetinin zaman göre değişimini Şekil 13'de tekrar ele alırsak;



Şekil 13:
DGM tekniğinin uygulandığı elektromekanik gergi denetim sisteminde gergi kuvveti ve oynar rulo açısı değişimi (a) $F_g=10\text{ N}$ ve (b) $F_g=15\text{ N}$ için net

Şekil 13'den görüldüğü gibi DGM tekniğinin kullanılması sistemin dinamik davranışını iyileştirmiştir. Gerekli olan fren kuvveti elektromekanik frene sürülen akımın değiştirilmesiyle, fren kuvvetinin değeri kuvvetlendirme-zayıflatma yapılarak frenin yüzeyden ayrılması engellenmiş dolayısıyla elektromekanik fren gecikmeleri sisteme etkimemiştir. Bu durumda gergi kuvveti titreşimli sönümlü bir dinamik davranış sergilemiştir.

Ele alınan elektromekanik fren sisteminin kuramsal olarak gergi denetim sistemlerinde kullanılabilceği ortaya konulmuştur. Yüksek frenleme kuvveti gerektiğinde aynı fren elemanından bir çap boyunca karşılıklı iki hatta dört adet bir arada kullanılabilir. Elektriksel kumandalı bu sistemin kapalı döngü bir gergi denetim sisteminde kolaylıkla kullanacağı aşıkardır.

KAYNAKLAR

1. Akçalı, D.A., Küçükgil, M., (1995) Bir Mekanik Gerji Kontrol Sisteminin Esnek Malzemeler İçin İnceleme ve Tasarımı, II. Endüstriyel Otomasyon Semineri, 159-169, İstanbul
2. Ebler N.A., Arnason R., Michaelis G and D'sa N., 1993 Tension Control: Dancer Rolls or Load Cell, IEEE Transaction on Industry Application, Vol.29, No.4., 727-739
3. Liu W. and Davison E. J., (2003), Servomechanism Controller Design of Web Handling Systems, IEEE Transaction on Control Systems Technology, Vol.11, No.4, 555-564
4. Lynch A.F., Bortoff S.A, Röbenack K, (2004), Nonlinear tension observers for web machines, Automatica, Vol: 40, Pg. 1517-1524.
5. Özdemir, B.A., (1995) Gerji Kontrol Sistemi Tasarımı ve İmalatı, L. T., Uludağ Üniversitesi,
6. R.V..Dwivedula, Y. Zhu, R.P. Prabhakart, (2006) Characteristics of active and passive dancer: A comparative study, Control Engineering Practice, Vol:14, 409-423
7. Roter, H.C., (1941) *Electromagnetic Device*, John Wiley,.
8. Şefkat, G., (1993) Bir Elektromekaniksel Sistemin Tasarımı ve Analizi, Y.L. Tezi, Uludağ Üniversitesi..
9. Şefkat, G, Yüksel İ., Şengirgin M., (1996) Elektromekanik Gerji Denetim Sistemi, TOK96, İstanbul, s:83-92.
10. Tension Control System, (1987) *Warner Electric Brakes & Clutch Company*,.
11. Yan M.T., and Huang P.H., (2004), Accuracy improvement of wire-EDM by real-time wire tension control, Machine Tools and Manufacture, Vol. 44, Pg. 807-814
12. Yüksel, I., Şefkat, G., "Elektromekaniksel Fren Tasarımı ve Uygulaması", III. Elektromekanik Sempozyumu, sayfa 328-335, Aralık, 1993, Bursa.

Makale 28.03.2008 tarihinde alınmış, 01.04.2009 tarihinde düzeltilmiş, 03.04.2009 tarihinde kabul edilmiştir. İletişim Yazarı: G. Şefkat (sefkat@uludag.edu.tr).