

FARKLI BİR ELEKTROMEKANİK SUPAP MEKANİZMASININ GERÇEK ZAMANLI DENETİMİ

*Zeliha KAMIŞ**
*İbrahim YÜKSEL**

Özet: İçten yanmalı motorlarda kullanılan elektromekanik supap mekanizmaları supap hareketini elektronik denetim birimine bağlı olarak denetleyen ve kam milini devre dışı bırakan yeni bir teknolojidir. Bu sistemde supap mknatıs devreleri yardımıyla açılıp kapanmakta ve bunun sonucunda egzoz ve emme supabının açılma ve kapanma zamanlaması motorun tüm çalışma koşullarına göre optimize edilebilmektedir. Bu çalışmada farklı yapıdaki bir elektromekanik supap mekanizmasının statik ve dinamik karakteristikleri MATLAB/Simulink ortamında elde edilmiştir. İmalatı gerçekleştirilen sistemin gerçek zamanlı çalışması irdelenmiş, sistem dSPACE denetim kartının takılı olduğu bir bilgisayar ile denetlenebilir duruma getirilmiş ve dinamik karakteristikleri deneysel olarak elde edilmiştir. Benzetim ve deney sonuçları karşılaştırıldığında elde edilen sonuçlar arasında iyi bir uyum olduğu görülmüştür.

Anahtar Sözcükler: Elektromekanik supap mekanizması, dinamik karakteristikler, gerçek zamanlı çalışma.

Real Time Control of a Different Type of Electromechanical Valve Actuator

Abstract: In the newly developed electromechanical valve actuators used in IC engines, valve movement is controlled by electronic control unit and the camshaft is abandoned. Opening and closing positions of the valve are controlled by magnetic circuits. Therefore, opening and closing time of the exhaust and inlet valves can be optimized according to all of operation conditions of the engine. In this study, static and dynamic characteristics of a different type of electromechanical valve actuator are obtained by MATLAB/Simulink environment. Real time operation of the manufactured system is investigated and the system is controlled by a computer with a dSPACE card. Dynamic characteristics of the system are obtained experimentally. When simulation and experimental results are compared, it is seen that there is a good agreement between them.

Key Words: Electromechanical valve actuator, dynamic characteristics, real time work.

1. GİRİŞ

Yakıt tüketimi ve kirletici oranlarının azaltılması yönünde giderek artan talepler kamsız supap mekanizması olarak adlandırılan alternatif bir supap mekanizması teknolojisine geçişe neden olmuştur. Kamsız supap mekanizması elektromekanik supap mekanizması olarak da adlandırılmakta olup kam mekanizması gibi mekanik bir bağlantıyı ortadan kaldırmaktadır. Böylelikle supapların açılma ve kapanma denetimi elektronik denetim biriminden yapılabilmektedir. Bunun sonucunda, emme ve egzoz supabının açılma ve kapanma zamanlaması her türlü motor çalışma şartlarına göre optimum olarak ayarlanabilir ve elektronik ateşleme zamanı ve yakıt püskürtmesi ile yanma değişkenlerinin optimize edilebilme olanağı ortaya çıkar.

Supap zamanlamasının elektronik denetimi ile motor performansı önemli oranda iyileştirilebilir. Elektromekanik supap mekanizması ile supap hareketi tüm çalışma şartlarında motorun devrinden bağımsız olarak denetlenir ve bunun sonucunda yakıt tüketimi ve kirletici oranları azaltılmış olur (Pischinger ve diğ., 2000). Ayrıca bu sistem ile yüksek tork ve güç çıkışı elde edildiği, motorun soğukta ilk çalışması ve ısınması, geçici durum ve rölanti çalışması için optimum yakıt tüketimi sağladığı ve pompalama kayıplarını en aza indirdiği öne sürülmektedir (FEV; Giglio ve diğ., 2002; Wang ve diğ., 2000).

Son yıllarda elektromekanik supap mekanizmaları üzerine çok yönlü çalışmalar yürütülmektedir. Yapılan çalışmaların bir kısmı sistemin tasarımı ve tasarım parametrelerinin incelenmesi ve statik ve dinamik karakteristiklerin araştırılması üzerinedir (Park ve diğ., 2001; 2003a; 2003b; Nitu ve diğ., 2005). Bu çalışmalarda genellikle E tipi olarak adlandırılan ve dikdörtgen prizması şeklinde olan mknatıs devreleri

* Uludağ Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü, Görükle BURSA

kullanılmıştır (Park ve diğ., 2001; 2003a; 2003b; Chang ve diğ., 2002; Nitu ve diğ., 2005; Clark ve diğ., 2005).

Elektromekanik supap mekanizması tasarımında silindirik mıknatıs devreleri ender olarak kullanılmıştır. Yapılan bir çalışmada elips kesit alanına sahip mıknatıs devresinden yararlanılmıştır (Chladny ve diğ., 2005). Disk ve piston tipi mıknatıs devrelerinin elektromekanik supap mekanizmalarında uygulanabilirliği yapılan çeşitli çalışmalarda ayrıntılı olarak araştırılmıştır (Kamış ve Yüksel, 2004a; 2005a; Kamış, 2005). Bu konu ile ilgili yapılan diğer çalışmalarda ise elektromekanik supap mekanizmalarında tasarım parametrelerinin (Kamış ve Yüksel, 2003; 2004b), giriş sinyali biçiminin (Kamış ve Yüksel, 2004c) ve yay enerjisinin (Kamış ve Yüksel, 2005b) etkisi incelenmiştir.

Elektromekanik supap mekanizmasının modellenmesi ve denetimi üzerine de çok çeşitli çalışmalar yapılmaktadır. Sistemin modellenmesinde sonlu elemanlar yöntemi (Park ve diğ., 2001; 2003a; 2003b; Nitu ve diğ., 2005) ve MATLAB/Simulink ortamı (Wang ve diğ., 2000; 2002; Xiang, 2002; Eyabi, 2003; Peterson, 2005) yaygın olarak kullanılmaktadır. Elektromekanik supap mekanizması doğrusal olmayan bir sistem olduğundan ve küçük hava aralıklarında kararsızlık problemi ortaya çıktığından düşük oturma hızlarını sağlamak için sistemin geri beslemeli olarak doğrusal olmayan bir denetleyici ile denetlenmesi gerekir (Stubbs 2000; Tai ve diğ., 2001; Wang ve diğ., 2002; Xiang, 2002; Eyabi, 2003; Peterson, 2005).

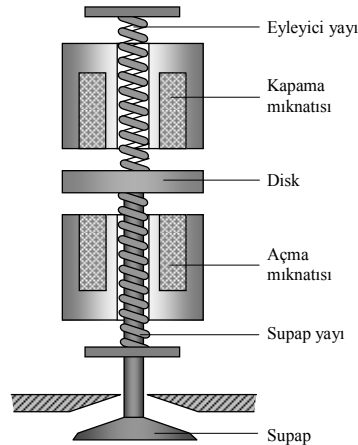
Bu çalışmada disk tipi mıknatıs devresi kullanılarak tasarlanan yeni tür bir elektromekanik supap mekanizmasının statik ve dinamik karakteristikleri incelenmiş ve sistemin imalatı gerçekleştirilmiştir. İmalatı ve montajı yapılan sistem bilgisayardan denetlenebilir duruma getirilmiş, sistemin dinamik karakteristikleri deneysel olarak elde edilmiştir. Benzetim ve deney sonuçları arasında iyi bir uyum olduğu görülmüştür.

2. ELEKTROMEKANİK SUPAP MEKANİZMASI

Elektromekanik supap mekanizmaları için biraz farklılık gösteren tasarım yapıları görülmekle beraber bugüne kadar yapılan çalışmalar sonucu ortaya çıkan ürünler temelde birbirine benzemektedir. Elektromekanik supap mekanizmalarında farklı türde mıknatıs devreleri kullanılarak farklı tasarımlar elde edilebilir. Bugüne kadar geliştirilen türler genelde E tipi olarak adlandırılan dikdörtgen prizması şeklindeki mıknatıs devrelerinin kullanımı ile gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmada ise diğer çalışmalardan farklı olarak silindirik disk tipi mıknatıs devresi kullanılmıştır.

Elektromekanik supap mekanizması (ESM) genel olarak; açma ve kapama olmak üzere iki adet mıknatıs devresi ve bobini, iki adet yay ve supap ile birlikte hareket eden disk biçiminde bir adet hareketli elemandan meydana gelir (Şekil 1). Bu çalışmada tasarımı yapılan elektromekanik supap mekanizmalarında hareketli eleman ve mıknatıs devresinin hareketli kısmı ferromıknatıs bir malzemeden yapılmış olup, hareketli eleman iki mıknatıs devresi arasında gidip gelme hareketi yaparak supabı açık veya kapalı konuma getirir ve tutar. Hareketli elemanın hareketi, yayların sağladığı potansiyel enerji ile mıknatıs enerjisi veya kuvvetine bağlıdır.

Elektronik denetim biriminden gönderilen denetim sinyaline göre bobinlerden biri iletme, diğeri kesime sokularak supap açılıp kapanır. Supap kapama mıknatıs devresi ile kapalı konuma, açma mıknatıs devresi ile açık konuma getirilir. Her iki mıknatıs devresine de akım uygulanmadığında hareketli eleman yaylar yardımıyla denge konumunda tutulur. Motor çalıştığı sürece mıknatıs devrelerinden biri iletimde diğeri kesimde yani supap ya açık yada kapalı konumdadır.



Şekil 1: Elektromekanik supap mekanizması

Elektromekanik supap mekanizmalarında büyük hareket mesafelerinde, mıknatıs kuvvetinin yetmediği durumlarda yay enerjisinden yararlanmak gerekir. Yay enerjisi ise supap kolu, yaylar, tutucular ve disk veya piston elemanından ibaret hareketli kütlelerin ivmelenmesini sağlamak ve yüksek cevap hızları elde etmek amacı ile kullanılır.

Elektromekanik supap mekanizması tasarımında yay kuvveti ve diğer karşı kuvvetleri yenebilecek bir mıknatıs devresinin tasarımı esastır. Bu çalışmada ele alınan sistemin tasarımında disk tipi silindirik mıknatıs devresi kullanılmıştır (Kamış, 2005). Bu yapıya bağlı olarak da küçük hava aralıklarında aşırı yüksek çekme kuvvetleri elde edilirken, hava aralığı artışı ile beraber çekme kuvvetleri aşırı bir düşüş gösterir (Şekil 7).

Mıknatıs devreleri, elektrik, mıknatıs ve mekanik alt sistemlerinin birleşiminden meydana gelen ve elektrik enerjisini mekanik enerjiye dönüştüren düzeneklerdir. Buna göre elektromekanik supap mekanizmasına ait temel eşitlikler aşağıda verildiği gibidir (Roters, 1941).

Elektrik

$$e = e_R + e_L = Ri + \frac{d(N\phi)}{dt} \quad (1)$$

$$\phi = BA = \frac{1}{N} \int (e - Ri) dt \quad (2)$$

Mıknatıs

$$NI = z \frac{B_h x_h}{\mu} + z \sum H_i l_i \quad (3)$$

$$F_m = \frac{z B_h^2 A}{2 \mu} \quad (4)$$

Mekanik

$$F_m = m \frac{d^2 x}{dt^2} + b \frac{dx}{dt} \pm F_{yay} + F_b \quad (5)$$

Burada; e: gerilim (V), R: bobin direnci (Ω), i: akım (A), N: sarım sayısı, ϕ : mıknatıs akısı (Wb), B: mıknatıs akısı yoğunluğu (Wb/m^2), A: etkin kesit alanı (m^2), z: hava aralığı sayısı (disk tipi mıknatıs devresi için 2), μ : havanın geçirgenliği ($4\pi \cdot 10^{-7}$ (H/m)), NI: magnetomotor kuvveti (N), x_h : hava aralığı mesafesi (m), H: mıknatıs alan şiddeti (A-sarım/m), l: mıknatıs akısı yolu (m), m: hareketli kütle (kg), b: sönüm katsayısı (N/(m/s)), F_m : mıknatıs çekim kuvveti (N), F_{yay} : yay kuvveti ve F_b : basınç kuvvetidir.

(1)-(5) eşitliklerinde kullanılan parametrelerin bir kısmı teorik bir kısmı ise deneysel olarak belirlenmiştir (Kamış, 2005). Sarım sayısı, N ve bobin direnci, R ölçülerek bulunmuştur. Etkin kesit alanı mıknatıs devresi geometrik boyutlarına bağlı olarak $A = \pi(r_1^2 - r_0^2)$ (r_1 : mıknatıs devresi iç kutup yarıçapı, r_0 : mıknatıs devresine yay için açılan delik yarıçapı) ifadesi ile hesaplanmıştır. Hareketli kütle disk kütlesi, supap kütlesi ve yay kütlelerine bağlı olarak belirlenmiştir. Her birinin kütlesi ölçülmüş ve yay kütlesinin 1/3'ü toplam kütle içinde yer almıştır ($m = m_{disk} + m_{supap} + 1/3 m_{yay}$). Bileşke yay sabiti ise yeterli cevap hızını

sağlayacak şekilde ($\omega_n = \sqrt{\frac{K}{m}}$, $T = \frac{2\pi}{\omega_n} = \frac{2\pi}{\sqrt{K/m}}$) 130 N/mm olarak hesaplanmış ve buna göre yaylar boyut-

landırılmıştır. İmal edilen yayların yay katsayıları ölçülerek gerçek yay katsayısı 134N/mm olarak belirlenmiştir. Böyle bir sistemde sönüm katsayısının tam kestiriminin zor olduğu aşıkardır. Burada sönüm katsayısı benzetim ve deney sonuçlarına bağlı olarak sistemin kritik sönüm oranında çalışmasını sağlayacak şekilde belirlenmiştir. Bu parametrelerin bazıları Tablo I'de verilmiştir.

Tablo I.
Elektromekanik supap mekanizması tasarım değerleri

R (ohm)	N	A (mm ²)	m (kg)	K (N/mm)
1.7	156	650	0.156	134

Yapılan çalışma prototip bazlı bir çalışmadır. Tasarlanan sistemin boyutlarının motora göre optimize edilmesi ve uygun imalat koşulları altında hassas olarak imal edilmesi ve motora adaptasyonunun sağlanması planlanmaktadır. Elektromekanik supap mekanizmalarının otomobillerde kullanılabilmesi 42 V teknolojisinin gerçekleşmesi ile mümkündür.

3. BOBİN AKIMININ ANAHTARLANMASI

Elektromekanik supap mekanizmalarında akım denetiminin yapılabilmesi için bobinlerdeki akım giriş sinyali ile orantılı olarak ayarlanabilmelidir. Bunun için oransal olarak çalışan bir akım sürücü devre kullanılabileceği gibi MOSFET yada IGBT türündeki aç-kapa çalışan anahtarlama elemanları Darbe Genişlik Modülasyon (DGM) tekniği ile sürülerek de akım modüle edilebilir. Böylelikle yüksek frekanslı DGM sinyali ile orantılı akım değişimi elde edilebilir. Bu çalışmada bobinlerdeki akım DGM tekniği ile modüle edilmiştir.

DGM tekniği yardımı ile sürülen anahtarlama elemanı (IGBT) girişine uygulanan darbe trenleri şeklindeki işarete karşılık bobinde bu işaretin zaman ortalamasıyla orantılı bir akım sinyali elde edilir (Şekil 2).

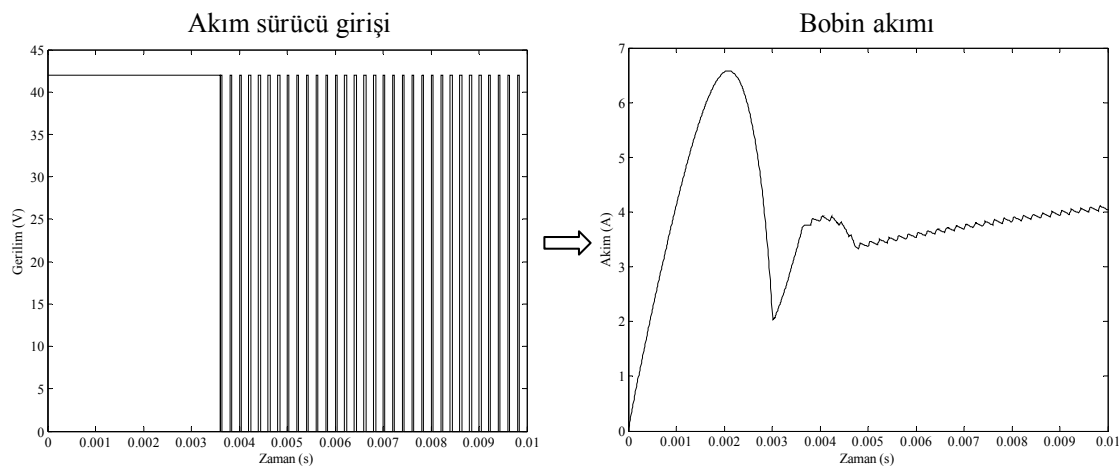
IGBT'nin cevap hızı çok yüksek olduğundan bobinden geçen akımın sürekli sinyal şeklinde olabilmesi için DGM sinyalinin darbe süresi ve taşıyıcı periyodu milisaniyenin kesri mertebelerinde olmalıdır.

Şekil 3'te elektromekanik supap mekanizmasının iki kademeli sinyal ile gerçek zamanda açık döngü çalışmasındaki işaret akışı gösterilmektedir. Buradan görüldüğü gibi bilgisayardan verilen giriş sinyali ve DGM üreticinde üretilen DGM sinyali ile bobinden geçen akım modüle edilmektedir.

4. ELEKTROMEKANİK SUPAP MEKANİZMASININ GERÇEK ZAMANLI ÇALIŞTIRILMASI

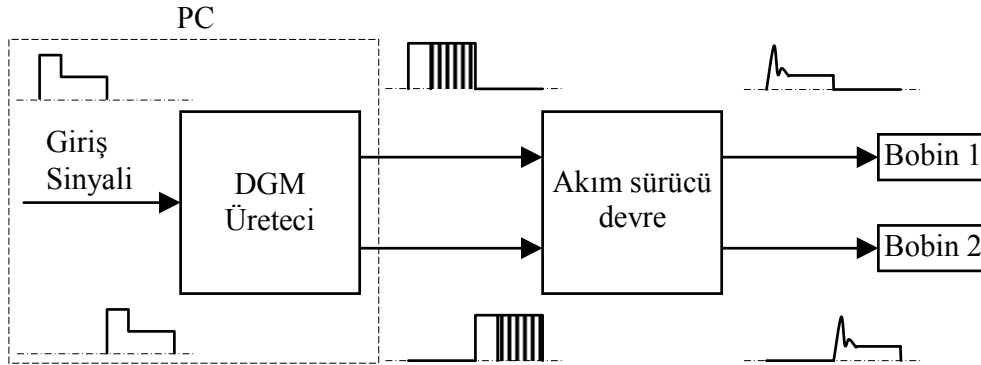
Elektromekanik supap mekanizmasının gerçek zamanlı çalışmasında içinde veri toplama ve denetim kartı ve ilgili yazılım programlarının bulunduğu bir PC bilgisayar sistemi kullanılmıştır. Sistemin gerçek zamanlı denetimi için kullanılacak bilgisayar donanımının ve dSPACE veri toplama ve denetim kartının özellikleri ile modelleme ve gerçek zamanlı kontrol işlemi için kullanılacak olan yazılımların özellikleri aşağıda belirtildiği gibidir.

Donanım: Bilgisayar birimi, Pentium III 1 GHz işlemci, 512 MB RAM, 40 GB Harddisk, 17" renkli monitörden oluşmaktadır. Denetim kartı dSPACE'in DS1103 PPC denetim kartıdır. Bu kartın ana elemanları 400 MHz frekansa sahip Power PC604e ve ilave I/O elemanlarına sahip slave DSP TM320F240 birimleridir. Ayrıca bu sistem dört adet 16-bit multiplexed D/A, dört kanal 12-bit basit tutuculu A/D, sekiz kanal 14-bit D/A, dört kanal 8-bit dijital I/O port, iki adet genel amaçlı zamanlayıcı ve 6 kanal dijital girişli artırimsal encoder arayüzü içermektedir.



Şekil 2:
Bobin akımının anahtarlanması (≈ 5 kHz, %20 doluluk oranı)

Yazılım: Sistemin modellenmesi ve gerçek zamanlı denetiminde kullanılan yazılımlar MathWorks ve Real Time Interface (RTI)'in **MATLAB/Simulink/Real Time Workshop** (The MathWorks, 1999) ve dSPACE'in **ControlDesk** (dSPACE GmbH, 2001) yazılımlarıdır. Bu yazılımlar dSPACE prototyper'ın oluşturulması için DS1103 denetim kartı tarafından kullanılırlar. Bu prototyper makine dilinde programlamaya gerek kalmadan Simulink programı ile gerçek zamanlı sistem üzerinde denetleyici tasarımı yapmaya izin verir.



Şekil 3:
İşaret akışı blok şeması

Modelleme için kullanılan ana yazılımlar MATLAB/Simulink/Real-Time Workshop'dur. MATLAB sayısal hesaplama, analiz ve görsellik için uygun tabanı oluştururken Simulink modelleme için interaktif bir taban oluşturur. Gerçek zamanda Simulink ortamında model oluşturma işlemi benzetim amacıyla model kurma işleminden çok farklı değildir. Burada normal Simulink blok kütüphanesine ilaveten veri toplama kartı ile gelen arayüz blokları yer alır.

Prototyper'ın deney yazılımı (experiment software) ControlDesk olarak tanımlanır. Bu yazılım ile gerçek zamanlı deneyler yürütülebilir, denetlenebilir ve izlenebilir. Ayrıca ControlDesk deney süresince parametrelerin çevrim içi olarak değiştirilebilmesi, verilerin toplanması ve kaydedilmesi için de uygun bir arayüzdür.

Sistemin gerçek zamanlı denetimini sağlayabilmek için öncelikle Simulink ortamında sistemin modellenmesi gereklidir. Şekil 4'te sistemin **Real-Time Interface** ile bütünleştirilen ve Simulink programı ile oluşturulan modeli gösterilmiştir. Buna göre giriş sinyali sisteme PWM birimi bloğu vasıtasıyla gönderilmektedir. Elektromekanik supap mekanizması bobinlerindeki akım değişimi de ADC birimi vasıtasıyla bilgisayara iletilmektedir.

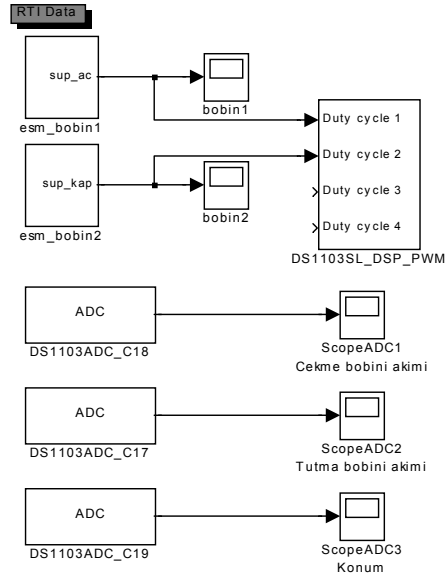
Model oluşturulduktan sonra denetim sisteminin görsel aygıt paneli oluşturulur. Bu panel Şekil 5'te gösterildiği gibidir. Bu panel grafiksel kullanıcı arayüz panelidir ve ControlDesk ortamında oluşturulur. Bu panel kullanıcının deneyi denetleyebilmesine ve verileri saklayabilmesine olanak verir.

5. DENEY DÜZENEGİ

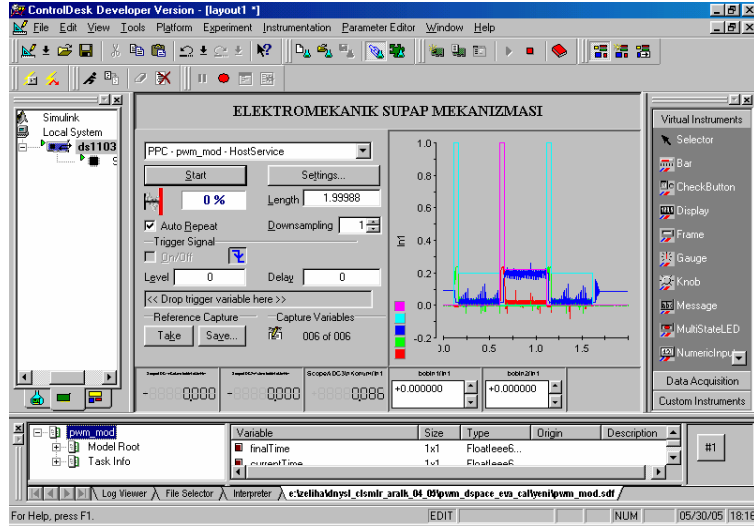
Elektromekanik supap mekanizmasının dinamik davranışının belirlenmesinde kullanılan deney düzeneği Şekil 6'da görüldüğü gibi güç kaynağı, sürücü devreler, veri toplama kartı (bilgisayar) ve elektromekanik supap mekanizmalarından oluşur. Sistemde güç kaynağı olarak seri bağlı dört adet akü kullanılarak 55 V'luk besleme gerilimi sağlanmıştır.

Tasarımı ve imalatı yapılan elektromekanik supap mekanizmasının çalıştırılması ve test edilmesi için ilave bazı donanımlar gereklidir. Bu donanımların bir kısmı mekanik bir kısmı da elektronik elemanlardan meydana gelmektedir.

Elektromekanik supap mekanizmasının yüksek akımlarla sürülmesinde kullanılan güç kuvvetlendiricisi olarak da bilinen iki adet akım sürücü devre ve iki adet konum algılayıcısı da bu çalışmanın bir parçası olarak tasarlanmış ve imalatı gerçekleştirilmiştir.



Şekil 4:
MATLAB/Simulink programında oluşturulan model



Şekil 5:
Deney düzeneğinin grafik kullanıcı arayüzü



Şekil 6:
Dinamik deney düzeneği

6. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA

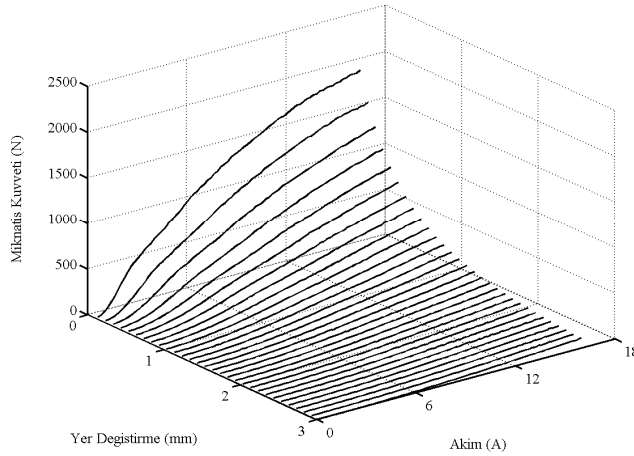
6.1. Benzetim Sonuçları

Hareketli eleman yer değiştirmelerine ve uyarı akımlarına karşılık gelen mıknatıs kuvvetlerinin tam değerlerinin bulunabilmesi için mıknatıssal sızıntıyı ve doymayı hesaba katan hava aralığındaki mıknatıs akısı yoğunluğu değerleriyle mıknatıssal çekirdek içindeki akı dağılımının elde edilmesi gerekir. Şekil 7’de akım ve yer değiştirme mesafesine bağlı olarak mıknatıs kuvveti değişimi verilmiştir. Bu şekilden görüldüğü gibi küçük yer değiştirmelerde ve büyük akımlarda çok yüksek mıknatıs çekim kuvveti elde edilirken yer değiştirmenin artması ve akımın azalması ile mıknatıs kuvveti çok hızlı düşmektedir. Bu şekil yardımı ile akım ve yer değiştirmenin mıknatıs kuvveti üzerindeki etkisi birlikte değerlendirilerek optimum çalışma şartları tespit edilebilir.

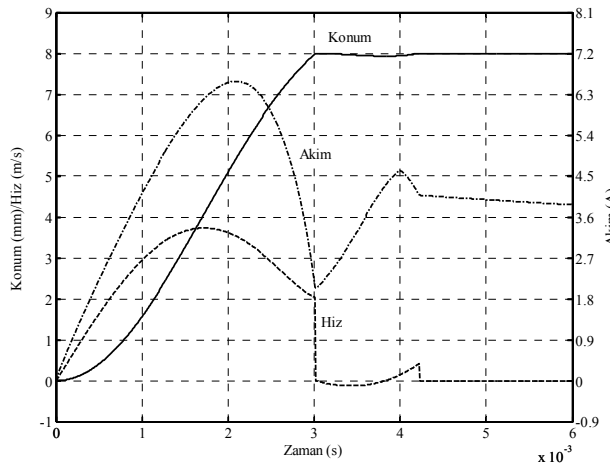
Elektromekanik supap mekanizmasının dinamik karakteristikleri elektrik, mıknatıs ve mekanik alt sistemlerine ait (1)-(5) nolu eşitliklerin kullanılmasıyla hazırlanan Simulink modeli ile elde edilmiştir.

Sistemin dinamik karakteristikleri mıknatıs devresine uygulanan belli bir giriş gerilimine bağlı olarak hareketli eleman konumunun, hızının ve akımın zamana göre değişimi ile belirlenmiştir.

Elektromekanik supap mekanizmasının dinamik benzetim sonuçları Şekil 8’de verilmiştir. Bu eğri-lerde tutma akımının geciktirici etkisi, silindir içi basıncı, bobinin ısınmasıyla oluşan direnç değişimi ve sürtünme etkisi göz ardı edilerek ideal şartlar için sistemin uygulanabilirliği araştırılmıştır.



Şekil 7:
Kuvvet – yer değiştirme – akım karakteristik eğrileri



Şekil 8:
Elektromekanik supap mekanizmasının dinamik davranış eğrileri

Tasarlanan sistemin benzetim sonuçları geleceğin otomobil teknolojisi göz önünde bulundurularak hareket süresince 42 V'luk giriş gerilimi uygulanmasıyla ve hareket tamamlandıktan sonra bu gerilim değerinin 5 V'a düşürülmesiyle elde edilmiştir. Benzetim sonuçları sistemde kullanılan yaylar göz önünde bulundurularak 134 N/mm'lik bileşke yay sabiti için elde edilmiştir.

Şekil 8'den görüldüğü gibi hareketli elemanın konum değişimi sürekli artış biçiminde olurken hız değişimi belli bir maksimumdan sonra yavaşlayarak azalmaktadır. Elde edilen benzetim sonuçları incelendiğinde supabın hareketini yaklaşık 3 ms'de 2.04 m/s'lik bir hızla çok küçük bir sıçrama hareketi yaparak tamamladığı görülür.

6.2. Deneysel Sonuçlar ve Teorik Sonuçların Doğrulanması

Elektromekanik supap mekanizması üzerinde yürütülen benzetim çalışmaları tamamlandıktan sonra sistemin prototip imalatı gerçekleştirilmiş ve dinamik karakteristikleri deneysel olarak elde edilmiştir.

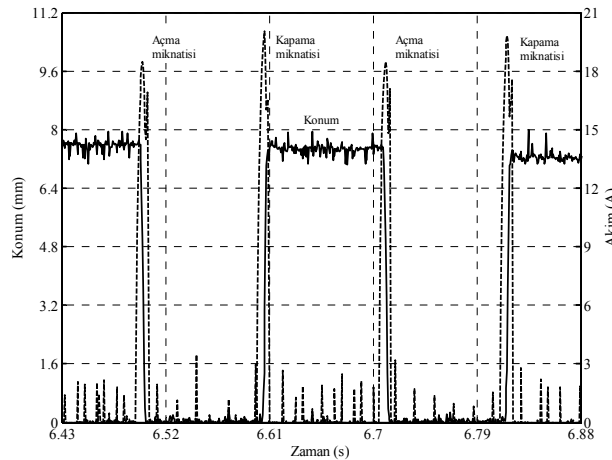
Şekil 9'da elektromekanik sistemin belli bir anahtarlama periyodunda elde edilen akım ve konum karakteristikleri gösterilmiştir. Şekilden görüldüğü gibi hareket tamamlandıktan sonra uyarı akımı maksimum değerini yaklaşık % 10'u mertebelerine düşürülmüştür. Bu akım değeri supabı açık/kapalı konumda tutmak için yeterli miktar olarak belirlenmiştir.

Bilgisayarda üretilen iki kademeli sinyal DGM sinyalinin doluluk oranını ayarlamak için kullanılmış ve DGM frekansı 8 kHz olarak ayarlanmıştır. Şekildeki akım değişim eğrisinde tutma akımı değerlerindeki saçaklanma akım sürücü devrenin DGM tekniği ile denetiminden ve akım algılama için uygulanan yöntemden kaynaklanmaktadır. Bu nedenle deneylerde tutma akımı değerleri statik ölçümlerle belirlenmiştir.

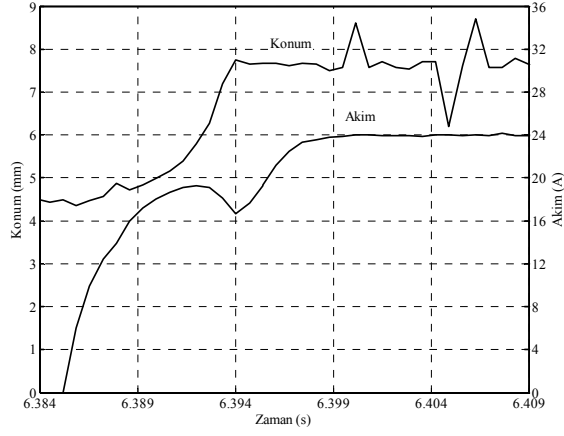
İmalatı gerçekleştirilen akım sürücü devrenin yapısı nedeniyle iletimden kesilen mıknatıs devresinde akım hızlı olarak sıfırlanamamış bu da sistemin çalışmasında ölü zaman gecikmesine neden olmuştur.

Şekil 10'da supabını ilk hareketinin dinamik davranış eğrileri verilmiştir. Bu işlemde mıknatıs devresinin diski orta konumda ve supap yarı açık durumdadır. Supabın ilk hareketinde yay enerjisi olmadığından hareketi başlatmak için gerekli kuvvet mıknatıs devresinden sağlanır. Gerekli mıknatıs kuvvetinin aynı zamanda karşı yay kuvvetini de yenmesi gerektiğinden hareket süresi normal çalışmadaki hareket süresinden uzundur. Şekil 10'dan görüldüğü gibi supabın ilk hareketindeki cevap süresi yaklaşık 7 ms olarak elde edilmiştir.

Şekil 11'de deneysel olarak elde edilen supabın normal çalışmasına karşılık gelen açma-kapama karakteristikleri gösterilmiştir. Şekil 11'de akım değişim eğrisi konum değişim eğrisi ile karşılaştırıldığında akımın minimum yaptığı noktada supabın hareketini tamamladığı görülür. Akım değişim eğrisi üzerinde toplam anahtarlama süresini tespit etmek mümkünse de sistemin hareket süresi ancak konum değişim eğrisi üzerinden tespit edilebilmektedir. Bu karakteristik eğrilerden gözlenebilen en önemli özellik toplam anahtarlama zamanı için bekleme zamanının (ölü zaman) yüksekliğidir. Bunun bir nedeninin sürtünme kuvvetleri ve diğer önemli bir nedeninin de kesime sokulan açma/kapama mıknatıs devresindeki elektriksel gecikme olduğu ileri sürülebilir. Elektriksel gecikmeye bağlı olarak kesime sokulan mıknatıs devresindeki kalıntı mıknatıslanma etkisi hareketi yavaşlatarak gecikmeye neden olmaktadır.

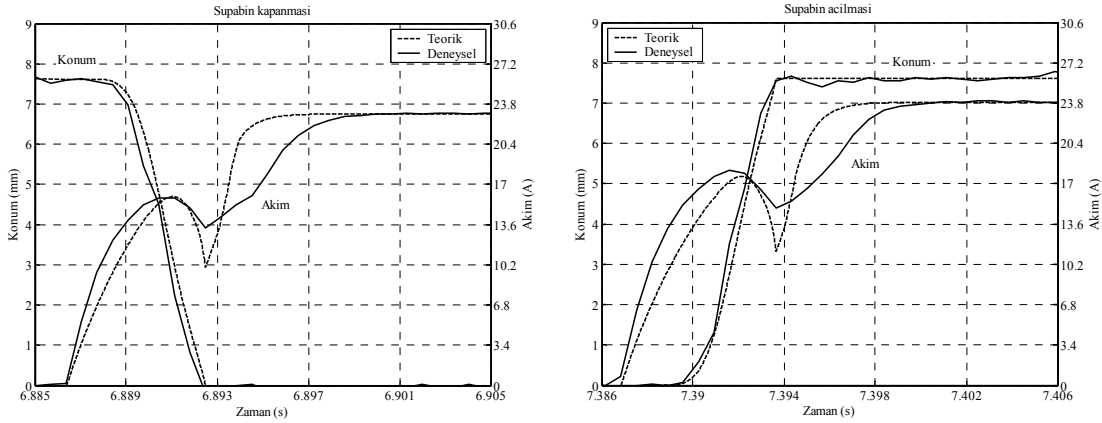


Şekil 9:
Açma ve kapama mıknatısındaki akım değişimleri



Şekil 10:
Elektromekanik supap mekanizmasının orta konumdan çekilmesi

Şekil 11'den görüldüğü gibi supabın açılması ve kapanması için toplam cevap süresi yaklaşık olarak 6-6.5 ms ve hareket süresi yaklaşık 4 ms'dir. Şekil 11'de elektromekanik supap mekanizması matematik modelinin geçerliliğini göstermek amacıyla benzetim sonuçları da deney sonuçları ile beraber verilmiştir. Benzetim sonuçlarından görüldüğü gibi sürtünme kuvvetleri, mıknatıs devresinin kesime sokulma anındaki tutma akımının geciktirici etkisi ve bobindeki ısınma nedeniyle ortaya çıkan direnç değişimi de dikkate alınmıştır. Benzetim sonuçları ile deneysel sonuçlar arasında hareket süresince iyi bir uyum sağlandığı görülmektedir.



Şekil 11:
Elektromekanik supap mekanizmasının dinamik karakteristikleri

Hareket tamamlandıktan sonra ise teorik ve deneysel konum eğrileri uyumlu olmasına karşın akım eğrilerinde bir miktar sapma ortaya çıkmaktadır. Bu sapmanın benzetim çalışmasında mıknatıs devresindeki sızıntı kayıplarının ve bobinin ısınması ve buna bağlı olarak direncin sıcaklığa bağlı değişiminin dikkate alınmamış olmasından kaynaklandığı söylenebilir. Bu durum hareket tamamlandıktan sonra meydana geldiği için sistemin dinamik davranışının analizinde ve anahtarlama zamanının tespitinde bir sorun oluşturmamaktadır. Bu nedenle hareket sonrasında modelin iyileştirilmesi için bir çalışmaya gerek duyulmamıştır.

7. SONUÇLAR

Bu çalışmada tasarımı ve imalatı gerçekleştirilen elektromekanik supap mekanizmasının karakteristikleri incelenmiştir. Sistemin statik ve dinamik karakteristikleri MATLAB/Simulink ortamında çözülmüştür. Sistemin gerçek zamanlı çalışmasında güç kaynağı olarak seri bağlı dört adet akü kullanılarak dinamik karakteristikler deneysel olarak da elde edilmiştir. Supabın hareket zamanı deneysel olarak 4 ms olarak ölçülmüş ve benzetim sonuçlarının deney sonuçları ile iyi bir uyum gösterdiği tespit edilmiştir. Ele alınan mıknatıs devresi modelinin gerek kuramsal gerekse deneysel olarak elektromekanik supap mekanizmalarında uygulanabilirliği ortaya konmuştur. Supabın oturma hızı azaltıldığında ve gerekli iyileşme ve düzenlemeler yapılarak teknolojik sorunlar aşıldığında otomobil motorlarında uygulanabilir yapıda olduğu öngörülebilmektedir.

Bu çalışma prototip bazlıdır ve konu ile ilgili araştırmalar devam etmektedir. Bundan sonraki aşamada sistemde ortaya çıkan yüksek oturma hızlarının geri beslemeli denetim yöntemi ile azaltılması ve daha ileri aşamada da sistemin içten yanmalı bir motora adapte edilerek deneylerin motor üzerinde yürütülmesi planlanmaktadır.

8. KAYNAKLAR

1. Chang W.S., Parlikar, T.A., Seman, M.D., Perreault, D.J., Kassakian, J.G. and Keim, T.A. (2002) A new electromagnetic valve actuator, *Power Electronics in Transportation*, 109-118.
2. Chladny R.R., Koch, C.R. and Lynch, A.F. (2005) Modeling automotive gas-exchange solenoid valve actuators, *IEEE Transactions on Magnetics*, 41 (3), 1155-1162.
3. Clark, R.E., Jewell, G.W., Forrest, S.J., Rens, J. and Maerky, C. (2005) Design features for enhancing the performance of electromagnetic valve actuation systems, *IEEE Transactions on Magnetics*, 41 (3), 1163-1168.
4. dSPACE GmbH (2001), *ControlDesk: Experiment Guide*, Version 2.1., Paderborn, Germany, 2001.
5. Eyabi, P.B. (2003) Modeling and sensorless control of solenoidal actuators, *PhD Thesis*, The Ohio State University, Columbus, USA.
6. Giglio, V., Iorio, B., Police, G. and Gaeta, A. (2002) Analysis of advantages and of problems of electromechanical valve actuators, *Variable Valve Actuation*, SAE 2002-01-1105.
7. http://www.fev.com/f_index.html (Electromechanical valve control)
8. Kamyř, Z. ve Yüksel, İ. (2003) Elektromekanik supap mekanizması tasarımı ve tasarıma etki eden parametrelerin araştırılması, *Mühendis ve Makine*, 44 (523), 14-27.
9. Kamyř, Z. ve Yüksel, İ. (2004a) Elektromekanik supap mekanizmaları için farklı tasarım yapılarının incelenmesi, *OTEKON'04*, Bursa, 359-368.
10. Kamyř, Z. ve Yüksel, İ. (2004b) Elektromekanik supap mekanizmalarında tasarım parametrelerinin incelenmesi, *U.. Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 9 (2), 45-58.
11. Kamyř, Z. ve Yüksel, İ. (2004c) An investigation of effect of applied electrical voltage on system dynamic behavior and energy consumption of an electromechanical valve actuator, *G. U. Journal of Science*, 17 (3), 161-177.
12. Kamyř, Z. ve Yüksel, İ. (2005a) Elektromekanik supap mekanizmalarının teorik ve deneysel olarak incelenmesi. *TOK'05*, İTÜ, İstanbul, 411-416.
13. Kamyř, Z. ve Yüksel, İ. (2005b) Yay enerjisinin elektromekanik supap mekanizmalarının performansına katkısı, *Mühendis ve Makine*, 46 (543), 39-50.
14. Kamyř, Z. (2005) Supaplar için elektromekanik eyleyici tasarımı ve denetiminin araştırılması, *Doktora Tezi*, Uludağ Üniversitesi, Bursa.
15. Nitu, C., Gramescu, B. and Nitu, S. (2005) Application of electromagnetic actuators to a variable distribution system for automobile engines, *Journal of Materials Processing Technology*, 161, 253-257.
16. Park, S.H., Lee, J., Yoo, J., Kim, D., Park, K. and Cho, Y. (2001) A developing process of newly developed electromagnetic valve actuator - effect of design and operating parameters, *SAE*, 02FFL-93.
17. Park, S.H., Lee, J., Yoo, J. and Kim, D. (2003a) A study on the design of electromagnetic valve actuator for VVT engine, *KSME International Journal*, 17, 357-369.
18. Park, S.H., Lee, J., Yoo, J., Kim, D. ve Park, K. (2003b) Effects of design and operating parameters on the static and dynamic performance of an electromagnetic valve actuator, *Journal of Automobile Engineering*, 217, 193-201.
19. Peterson, K.S. (2005) Control methodologies for fast & low impact electromagnetic actuators for engine valves, *PhD Thesis*, The University of Michigan, USA.
20. Pischinger, M., Salber, W., Staay, F.V.D., Baumgarten, H. ve Kemper, H. (2000) Benefits of the electromechanical valve train in vehicle operation, *Variable Valve Actuation*, 43-53.
21. Roters H.C. (1941) *Electromagnetic Devices*, John Wiley, USA.
22. Stubbs, A. (2000) Modeling and controller design of an electromagnetic engine valve, *M.Sc. Thesis*, University of Illinois, Urbana-Champaign.
23. Tai C., Stubbs A. and Tsao T.C. (2001) Modeling and controller design of an electromagnetic engine valve, *Proceedings of the American Control Conference*, Arlington, 2890-2894.
24. The MathWorks, Inc. (1999) Real- Time workshop for use with Simulink, *User's Guide*, Natick, Massachusetts.
25. Wang Y., Megli T. and Haghgooie, M. (2002) Modeling and control of electromechanical valve actuator, *Variable Valve Actuation*, SAE. 2002-01-1106.
26. Wang, Y., Stefanopoulou, A., Haghgooie, M., Kolmanovsky, I. and Hammoud, M. (2000) Modeling of an electromechanical valve actuator for a camless engine, *Proceedings AVEC, 5 th Int. Symposium on Advanced Vehicle Control*, 93.
27. Xiang, J.Y. (2002) Modeling and control of a linear electro-mechanical actuator (LEMA) for operating engine valves, *IEEE*, 1943-1948.