

ÜÇ FAZLI BİR ASENKRON MOTORDA MANYETİK SÜSPANSİYONLU YATAK UYGULAMASI

Osman GÜRDAL*, Yusuf ÖNER**

*Gazi Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi, Elektrik Eğitimi Bölümü, Teknikokullar, Ankara

**Pamukkale Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği, Denizli

ÖZET

Manyetik süspansiyon ve levitasyonun halihazırdaki popüleritesi şüphesiz ki yüksek hızlı yer taşımacılığı tasarımlarının olabilirliğinden kaynaklanmaktadır. Manyetik süspansiyon ve levitasyonun üstünlüğü ve heyecan verici olmasına rağmen, sürtünmesiz yataklarda süspansiyon tekniklerinin uygulanmasında büyük sınırlamalar vardır. Bunlar, toleransın çok az olması, az güç sarfiyatı, küçük aralığı ve küçük ebatlıdır. Böylece, kontrollü DC elektromıknatıs şemaları, diğer itici levitasyon tekniklerinden daha fazla dikkati üzerinde toplamaktadır. Planlanan prototip sistemi bir stator, demir nüvesiz sincap kafesli bir rotor, rotor milinin süspansiyonu için elektromıknatıs gurubu ve foto-dönüştürücüler gurubunun geri besleme yaptığı kompanzasyon devrelerinden oluşmaktadır. Prototip sistemi bir laboratuvar gösteri aygıtı olarak amaçlandığından mekanik rulmanla ulaşılan 1500 dev/dak'lık hızlara ulaşılmaya çalışılmamıştır. Manyetik süspansiyonlu yatak sistemi, üniversite eğitim programlarında elektrik eğitiminde örneğin, elektromanyetik tasarım, kararsız bir kontrol sisteminin PD kontrollü kompanzasyonu ve güç yükseltici tasarımı gibi prensiplerde çok etkili görsel bir gösteri sağlamaktadır. Sistem 350 dev/dak'lık hızlarda mekanik ve manyetik yataklar arasında iyi bir karşılaştırma özelliğine sahiptir. Manyetik yatak ile motorun boş çalışma güç kayıplarında % 15'lik bir azalma göstermektedir. Motorun gürültüsü de düşük bir seviyeye inmiştir.

Anahtar Kelimeler : Manyetik yatak, Süspansiyon

DESIGN AND APPLICATION OF MAGNETIC BEARING SUSPENSION SYSTEM IN A THREE PHASE INDUCTION MOTOR

ABSTRACT

The current popularity of suspension and levitation stems no doubt the possibilities in high-speed ground transportation schemes. Although these are both challenging and exciting, there is considerable scope for application of suspension techniques to achieving frictionless bearing. The requirement in this case is often for close tolerances, low power consumption, small airgaps and ingeneral, compactness. Thus, magnetic suspension using DC electromagnets schemes have received more attention than the other techniques of repulsion levitation. Proposed prototype system consists of a conventional stator and its rotor without iron core, set of electromagnets for suspension of rotor shaft and set of compensation circuits feedbacked by optical-transducers. Prototyped system is aimed as a laboratory demonstration tool so there is no challenging to exceed the speeds of 1500 rev/min that is the speed of motor with mechanical bearings. Magnetic bearing suspension system provides a high impact visual demonstration of many principles in undergraduate educational programs in electrical education, e.g., electromagnetic design, PD controlled compensation of a unstable control system and power amplifier design. The system is capable of giving a good comparison between mechanical and magnetic bearing up to speeds 350 rev/min. Power losses without load show about 15% reduction with magnetic bearing. The noise of the motor is also decreased to a low level.

Key Words : Magnetic bearing, Suspension

1. GİRİŞ

Bir cisim boşlukta serbest olarak bırakıldığında yerçekiminin etkisinden dolayı çok kısa bir süre sonra yere düşer. Boşlukta serbest bırakılan bir cismin olduğu yerde kalabilmesi için, yerçekimi kuvvetine ters yönde bir kuvvet uygulanmalıdır. Eğer cisim ferromanyetik veya ferromanyetik bir malzeme içinde ise ters yöndeki kuvvet bir elektromıknatis ile sağlanabilir. Elektromıknatisin çekim kuvveti, cisim ile elektromıknatis arasındaki uzaklığın karesi ile ters orantılı olduğundan, cisim denge noktasından aşağıya konulursa düşecek ve yukarıya konulursa elektromıknatisa yapışacaktır. Bu durumda cismin düşmeden tutulabilmesi için denge noktasında olması gerekir. Bu denge noktası ise dış ve bozucu etkilerden etkileneneğinden sistemi kararsız kılar. Bunun için sistemi kararsız durumdan kurtarmak için cismin bulunduğu yeri algılayan geri-beslemeli bir kontrol ünitesinin yapılması gerekir. Elektromıknatisin çekim kuvveti içinden geçen akımın karesi ile orantılıdır. Kontrol sisteminde, cisim elektromıknatisa yaklaştığında akım azaltılarak çekim kuvveti azaltılır ve uzaklaştığında ise akım artırılarak çekim kuvveti artırılarak sistem kararlı hale getirilmiş olur.

Kontrollü DC elektromıknatisların kullanılması ile manyetik süspansiyon sistemi, manyetik yatak uygulamalarında artan bir şekilde kullanılmaktadır. Uygulama alanlarına, yüksek hızlı rotorlar, tehlikeli ortamlar ve giriş zorluğu olan kapalı pompalar örnek verilebilir. Her bir durum için yatakların güvenilirliği en önce istenilmektedir (Jayawant et al. 1995).

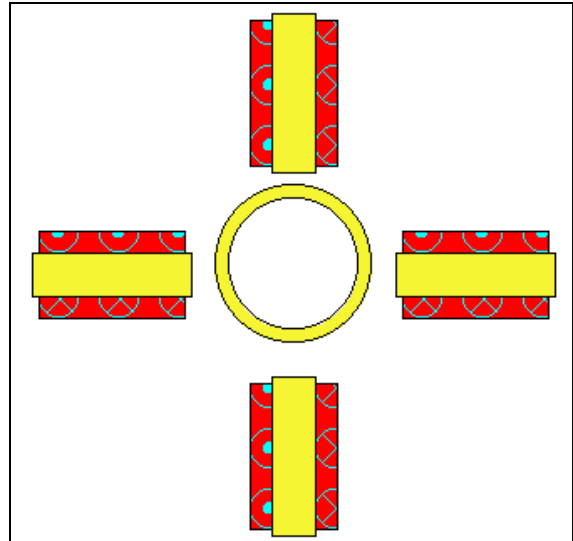
Bu çalışmada, 3 fazlı bir senkron motorun mekanik yatağından dolayı oluşan sürtünme kayıplarını ve yatak gürültüsünü en aza indirmek için, rotor manyetik yastıklı yataklar üzerine yerleştirilmiş ve yastıklama işlemini sağlayan elektro mekanik düzenek ise bir elektronik devre ile kontrol edilmiştir.

Manyetik yataklama üzerinde yapılan çalışmalar sensörlü ve sensörsüz kontrol olmak üzere iki kategoride incelenebilir. Sensörlü çalışmalarda, bu çalışmada da olduğu gibi bir DC elektromıknatis optik dönüştürücüler ve kompanzasyon devreleri ile kontrol edilmektedir. Sensörsüz çalışmalar da iki kategoride incelenebilir. Birincisinde, hava aralığındaki endüktansın değişiminin belirlenmesinde yüksek bir frekansın demodülasyonu kullanılır. İkinci sistemdeki kontrolör ise gözlemlene ve kontrol edilebilirlik tabanına dayanmaktadır (Vischer and Bleuler, 1993). Regüleli gerilim girişi olarak ve

elektromıknatis akımı sistemin çıkışı olarak kabul edilir ve böylece sistem hem kontrol edilebilir ve hem de gözlemlenerek lineer kontrolör tasarımı ile gerçekleştirilir.

Yakın tarihli yeni bir dönüştürücüsüz manyetik süspansiyon sisteminin üç önemli özelliği vardır. Birincisi, çalışma hava aralıklarında kuvvet-uzaklık karakteristiklerinin sistemin doğası gereği kararlı olması, dönüştürücülerin geri besleme ile çok kararsız karakteristikleri kararlı şekle dönüştürmesi ile sağlanır. İkincisinde sistemde esneklik ve sönüm birbirinden bağımsız olarak kontrol edilebilir. Üçüncüde kontrolör bir PID kontrol işlemi yaparak sistem düşük frekansta kuvvet bozulmalarında iyi bir dinamik tepki verir ve statik yüklerde pozisyon hatası vermez (Jayawant et al., 1995).

Bir laboratuvar gösteri aygıtı olarak tasarlanan manyetik süspansiyonlu yatak sistemi, Şekil 1'de görüldüğü gibi, dört kutup ayağını oluşturan elektromıknatis ve rotor milinden oluşmaktadır. Her elektromıknatisin akım kontrolü birbirinden bağımsız çalışan optik dönüştürücüler ve PD kontrolör devrelerinden oluşmaktadır (Wong 1986). Elektromıknatisin çalışma prensibi bundan sonraki kısımda verilecektir.

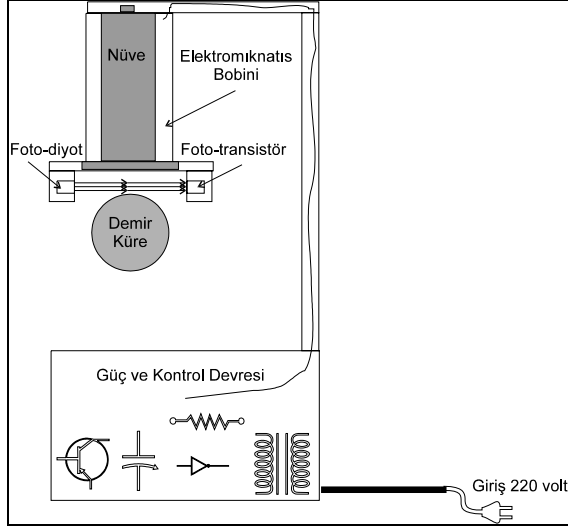


Şekil 1. Manyetik süspansiyonlu yatak sisteminin elektromıknatisleri ve rotor mili

2. MANYETİK SÜSPANSİYONUN PRENSİBİ

Kuvvet-uzaklık karakteristiklerinden dolayı, sabit mıknatislar veya elektromıknatislerin ferromanyetik nesnelere olan uzaklıklarının sabit tutulması değişmeyen bir konfigürasyonla başarılabilir.

(Jayawant et al. 1976). Elektromıknatısın kuvveti Şekil 2’de görüldüğü gibi bir geri-besleme sinyali ile kontrol edilebilir.



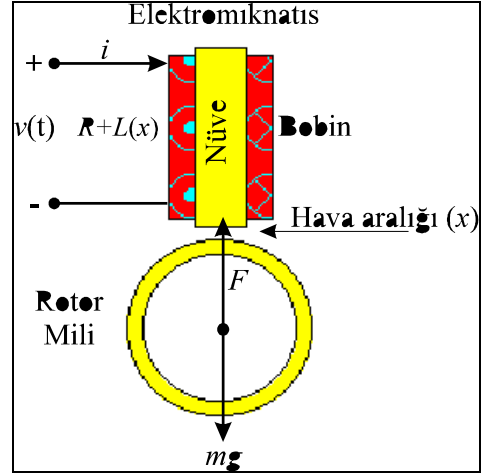
Şekil 2. Kontrollü DC elektromıknatıslı süspansiyon sistemi.

Bu düzenekteki pozisyon dönüştürücüsü optik elemanlardır ve kompanzasyon ise pozisyonun türevidir. Diğer pratik uygulamalarda ortamın durumuna göre dönüştürücüler, endüktif, manyetik ve kapasitif olabilir. Düzenlemenin başka bir özelliği ise elektromıknatısın ürettiği kuvvetin asılı duran nesnenin ağırlığına eşit olmasıdır. Bu sistemin rotorlar veya millere uygulanmasında, elektromıknatısların rotoru her yönden çekecek şekilde yerleştirilmesi ve akım yönlerinin ayarlanması gerekir.

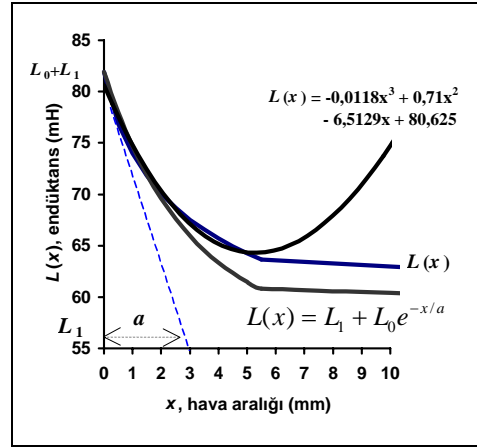
İki boyutlu radyal bir yataklama genel olarak dört elektromıknatıstan oluşur. Sallantı ve eksensel harekete karşı kararlılık sağlamak için ek bir radyal yataklama ve itici yataklama tam bir yataklama sistemi için gereklidir (Jayawant et al., 1995). Bu çalışmada sallantıya karşı ve eksensel bir yataklama tasarlanmamıştır.

2. 1. Üst Bobin Enerjili İken Sistemin Elektromanyetik Analizi

Elektromıknatıs, dört adet aynı değerli sarımdan oluştuğundan sadece bir sarımın analizinin yapılması yeterli olmaktadır. Gemini paket programı ile rotor milinin farklı uzaklıklarının simülasyonu sonucu, bobinin endüktansı $L(x)$, Şekil 3’de görüldüğü gibi rotor milinin pozisyonu ile değişir.

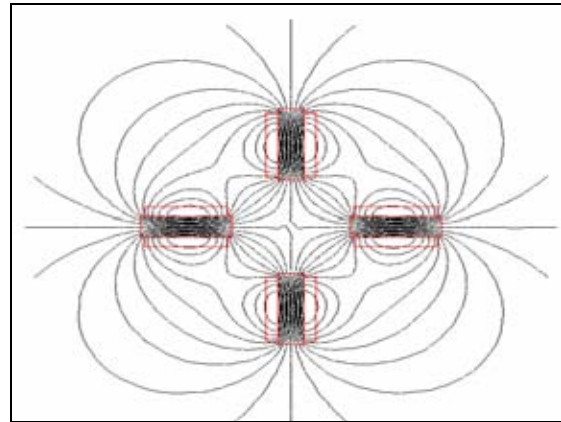


Şekil 3. (a) Üst bobin enerjili iken elektromıknatıs ve rotor miline etkiyen kuvvetler

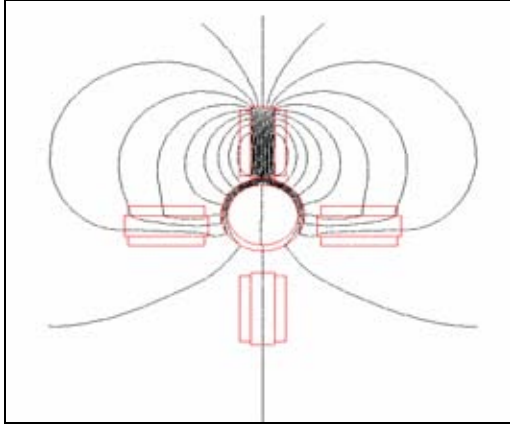


Şekil 3. (b) Endüktansın hava aralığı ile değişimi eğrisi.

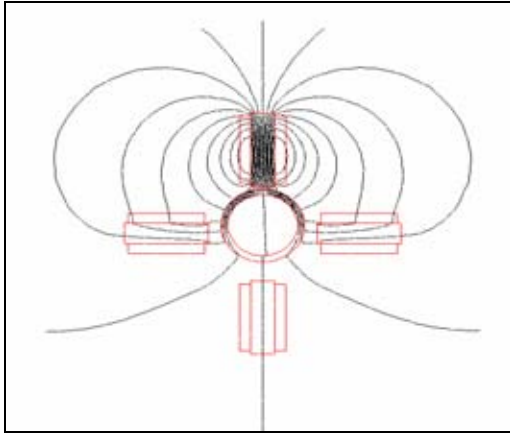
Manyetik akının değişik rotor pozisyonuna göre aldığı şekiller, Şekil 4’de görülmektedir.



Şekil 4. (a) $x = \infty$ mm (Rotor mili yok ve bütün sarımlar aynı akımla enerjili)



Şekil 4. (b) $x = 0$ mm (Rotor mili yapışık)



Şekil 4. (c) $x = 1,5$ mm (Manyetik akının x 'e bağlı şekilleri)

Endüktansın her iki uç durumdaki değişimi değişik matematiksel metodlarla tanımlanabilir. Şekil 3.b de Gemini paket programı ile simülasyon sonucunda bulunan endüktans değerleri $L(x)$, 3. dereceden (kübik) eğri uydurma formülüne göre endüktans değerleri:

$L(x) = -0,0118x^3 + 0,71x^2 - 6,5129x + 80,625$ ve üssel fonksiyonla ise endüktans değerleri $L(x) = 0,05694 + 0,0249698e^{-x/a}$ ile gösterilmiştir. Kübik biçim endüktans eğrisine daha çok uygunluk sağlamakla birlikte, matematiksel sadelik bakımından üssel fonksiyonun kullanılması yeterli doğruluk vermektedir. Buradaki önemli özellikler: L_1 rotor milinin olmadığı durumda bobin endüktansı ($x = \infty$), $L_0 + L_1$ rotor milinin elektromıknatıs nüvesine yapıştığı durumda bobin endüktansı $x = 0$ 'dır. Endüktansın x 'e bağlı değişimi,

$$L(x) = L_1 + L_0 e^{-x/a} \quad (1)$$

ile verilir ve formülde a uzunluk sabitidir. Sistemin manyetik ko-enerjisi, bobin akımı i ve x hava aralığının bir fonksiyonudur (Anon., 1995).

$$W'(i, x) = \frac{1}{2} L(x) i^2 \quad (2)$$

Rotor milinde etkiyen kuvvet,

$$f = \frac{\partial W'}{\partial x} = \frac{L_0}{2a} i^2 e^{-x/a} \quad (3)$$

olarak verilir. Statik denge pozisyonunda bu kuvvet yerçekimi ile tam olarak dengelenir. Denge pozisyonunda, $x = d$ ve $i = I$ olursa,

$$Mg = \frac{L_0}{2a} e^{-x/a} I^2 = \frac{N^2 L_d}{2a} I^2 \quad (4)$$

Formülde, N sarım sayısı, L_d , $x = d$ hava aralığında tek sipirin endüktansı ve $g = 9,81$ m/s² yerçekimi ivmesidir. 4'nolu formülün yeniden düzenlenmesi ile elde edilir. Formülde, diğer değişkenler sabit olduğundan, sadece a/L_d kararlı durum bobin akımına etki etmektedir.

$$I = \sqrt{\frac{2Mg a}{N^2 L_d}} \quad (5)$$

Gemini paket yazılımı ile bulunan endüktans değerleri ve rotorun ağırlığından, üst elektromıknatısın yaklaşık akımları Tablo 1'de görüldüğü gibidir. Örnek bir hesaplama aşağıda verilmiştir:

Tablo 1. Endüktansın Hava Aralığı ile Değişimi ve Yaklaşık Bobin Akımları

x (mm)	L (H)	a (mm)	I (A)
0,0	0,081916724	-	0,354033
0,5	0,076875719	2,217292605	0,365456
1,0	0,073980736	2,614615619	0,372538
1,5	0,071837347	2,901650284	0,378054
2,0	0,070063436	3,106586876	0,382810
2,5	0,068670853	3,306733478	0,386673
3,0	0,067524763	3,492824636	0,389940
3,5	0,066563806	3,668207624	0,392745
4,0	0,065699235	3,815532237	0,395321
4,5	0,064912089	3,938432747	0,397710
5,0	0,064254772	4,069292129	0,399739
5,5	0,063664083	4,18886105	0,401589
mil yok	0,056946869	-	0,424614
		$a_{ort} = 2,94$	

Rotor milinin elektromıknatıs nüvesine yapıştığı durumda L_0 bulunur:

$$0,081916724(0,056946869 + L_0 e^{-0/a})$$

$$L_0 = 0,0249698H$$

$L(x) = 0,05694 + 0,249698e^{-x/a}$ formülü ile önce ortalama a katsayısı bulunur ve buradan elektromıknatısın yaklaşık akımları hesaplanır.

$$M = 0,356 / 2 = 0,178 \text{ kg}, a = 0,00294 \text{ m},$$

$$g = 9,81 \text{ m/s}^2, N = 1556 \text{ sipir}$$

$$I_{0mm} = \sqrt{2 \times 0,178 \times 9,81 \times \frac{0,00294}{0,08191}} = 0,354033A$$

2. 2. Sistemin Dinamik Modellenmesi

Rotor mili üzerinde etkiyen kuvvet, (3) ile verilmiştir.

$$f(i, x) = -\frac{L_0}{2a} i^2 e^{-x/a} \quad (6)$$

$x = d$ ve $i = I$ denge pozisyonunda bir bozulma meydana geldiğinde,

$$x = d + x'$$

$$i = I + i'$$

$$f = f + f'$$

Taylor serileri açılımı ile,

$$f(i, x) = f(I, d) + \left. \frac{\partial f}{\partial x} \right|_{I,d} x' + \left. \frac{\partial f}{\partial x} \right|_{I,d} i' \quad (7)$$

(6) eşitliğinden,

$$f' = \frac{1}{2a^2} L_0 e^{-d/a} I^2 x' - \frac{I}{a} L_0 e^{-d/a} Li' \quad (8)$$

Mekanik kuvvet,

$$f^m = Mg + M \frac{d^2 x'}{dt^2} \quad (9)$$

dir. Denge pozisyonunda $Mg = f(I, d)$ (4) eşitliği ile verilir ve hareketin artımsal eşitliği,

$$M \frac{d^2 x'}{dt^2} - \frac{N^2 L_d I^2}{2a^2} x' + \frac{N^2 L_d I}{a} i' = 0 \quad (10)$$

olur. Laplace dönüşümü ile,

$$\frac{X(s)}{I(s)} = -\frac{\frac{N^2 L_d I}{a}}{Ms^2 - \frac{N^2 L_d I^2}{2a^2}} \quad (11)$$

bulunur. (5) eşitliği kullanılarak

$$\frac{X(s)}{I(s)} = -\frac{\frac{2g}{I}}{s^2 - \omega_n^2} \quad (12)$$

$$\omega_n = \sqrt{g/a} \quad (13)$$

elde edilir (Hurley and Wöfle, 1997). Bu bobin akımı ile rotor milinin pozisyonu arasındaki transfer fonksiyonudur. Rotor milinin pozisyonu optik olarak algılanır ve milin pozisyonu ile orantılı bir gerilim üretilir.

$$y' = G_s x' \quad (14)$$

GS sensörün kazancıdır (V/m). Bu gerilim elektromıknatıs kontrol eden TIP121 NPN darlington güç transistörünün bazına uygulanır.

$$i' = G_F v' s = G_F G_s x' = G x' \quad (15)$$

GF güç yükselticinin kazancıdır. i' nin (10)'nolu eşitlikte yerine konulması ile

$$M \frac{d^2 x'}{dt^2} + \frac{N^2 L_d I}{a} \left[G - \frac{I}{2a} \right] x' = 0 \quad (16)$$

elde edilir. Bu ikinci derece bir diferansiyel denklem olup karakteristik eşitlik,

$$X^2 + \omega_n'^2 = 0 \quad (17)$$

$$\omega_n' = \sqrt{\frac{N^2 L_d I}{Ma} \left[G - \frac{I}{2a} \right]} \quad (18)$$

olur. ω_n' , $\left[G - \frac{I}{2a} \right]$ birimine bağlı reel veya

komplekstir. $G > \frac{I}{2a}$ için ω_n' reel ve çözüm,

$$x'(t) = A \cos \omega_n' t + B \sin \omega_n' t \quad (19)$$

biçimindedir. A ve B başlangıç durumları ile belirlenir. $x'(t)$ saf sinüsoidaldir.

$x'(0) = X_0$ ve $\frac{dx'}{dt} = 0$ için $t = 0$ da çözüm

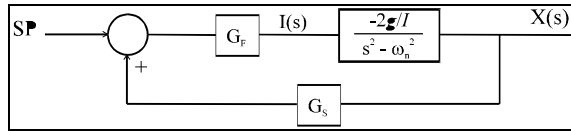
yapıldığında, $G < \frac{I}{2a}$ için ω'_n kompleks ve (16) eşitliğinin çözümü, büyüyen üssel fonksiyon olduğundan süspansiyon sistemine uygun olmamaktadır.

2. 3. Kontrol Sistemi

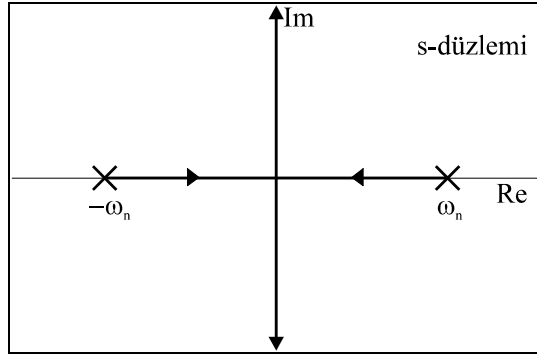
Doğal frekans, $\omega_n = \sqrt{g/a} = 57,76$ rad/s.

Sensör kazancı	$G_s = 30$ V/m
TIP121 transistör	$GF = 3$ A/V
Türev zamanı	$T_d = 20$ ms
Orantılı kazanç	$K_p = 3$

Kompanze edilmemiş kontrol sisteminin blok diyagramı ve buna ait root locus çizimi Şekil 5'de görülmektedir. İleri transfer fonksiyonundan bir sönüm terimi tanımlanabilir:



(a)



(b)

Şekil 5. (a) Kompanze edilmemiş sistemin blok diyagramı, (b) root locus çizimi

$$\frac{V_2}{V_1} = \frac{1}{a} \frac{\tau s + 1}{\tau s + 1} \quad (20)$$

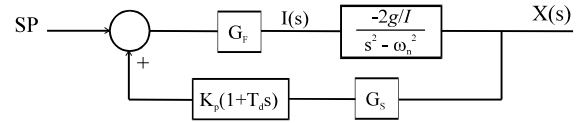
$a \gg 1$ için, sıfır ve kutup arasındaki transfer fonksiyonu yaklaşık olarak (21) eşitliği gibidir:

$$\frac{V_2}{V_1} = \frac{1}{\alpha} (\alpha \tau s + 1) \quad (21)$$

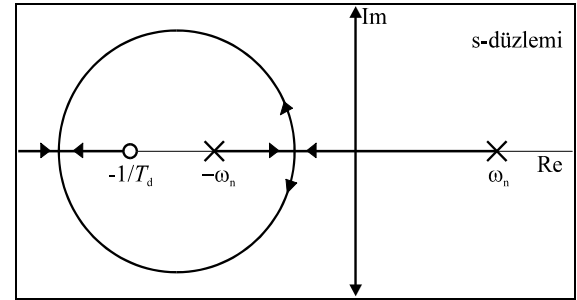
Bu PD kontrolün klasik bir biçimidir ve (22) eşitliği olarak yeniden yazılabilir :

$$\frac{V_2}{V_1} = K_p (1 + T_d s) \quad (22)$$

Kompanze edilmiş PD kontrol sisteminin blok diyagramı ve buna ait root locus çizimi Şekil 6'da görülmektedir. K_p 'nin değeri, sönüm oranı ve doğal frekansa uygun seçilebilir. Şayet $v_1(t)$ pozisyon sensörünün çıkışı ise $v_2(t)$ rotor milinin hızı ile orantılı bir bileşene sahiptir.



Şekil 6. (a) Kompanze edilmiş sistemin blok diyagramı



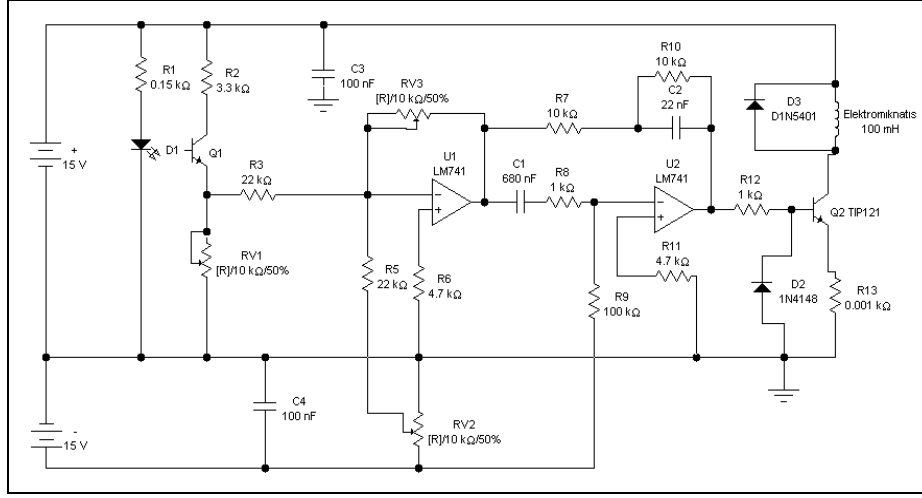
Şekil 6. (b) Root locus çizimi

2. 4. Kontrol Devresi

Şekil 7'de pratik bir kontrol devresi görülmektedir. Optik pozisyon dönüştürücüsü bir infrared diyot ve transistörden oluşmaktadır. Rotor milinin pozisyonu foto-transistör üzerine düşen ışığı kontrol ederek emiter akımını değiştirir ve böylece emiter yük direnci R_{V_1} 'de gerilim düşürür.

Pozisyon dönüştürücüsünün çıkışı R_{V_2} 'den ayarlanabilir pozisyon referans gerilimi ile karşılaştırılır, fark bir hata sinyalidir ve U_1 opampının çıkışında gözükür. Bu hata sinyali elektromıknatıs akımının kontrolünde kullanılır.

Sistemin kritik bir parçası U_2 opamp'ı üzerindeki kompensatör devresi olup hata sinyalini elektromıknatıs sürücü transistörüne ulaştırır. Bu kısım, tersleyen bir yükseltici ve fark alıcı kombinasyonudur. C_1 ve C_2 kondansatörleri olmaksızın elektromıknatıs akımı, rotor milinin uzaklığı ile orantılı olacaktır.



Şekil 7. Optik dönüştürücüler ile süspansiyon sistemi kontrol devresi

Çekim kuvveti akıma bağlı olduğundan, sistem bir yay hareketi meydana getirecekti; küçük yer değişimlerinde, kuvvet yer değişimi ile orantılı olacağından, rotor mili yay ucuna asılmış bir kütle gibi davranacaktı. Buradaki problem, elektromıknatıs bobininin endüktansının rotor milinin pozisyonu ve düzeltici elektromıknatıs akımı arasında bir faz kayması veya zaman gecikmesi meydana getirmesidir. Bu kayma sistemi kararsız hale getirir ve genliğin büyümesine meyilli herhangi bir osilasyon, elektromıknatısın rotor milinin kontrolünü kaybetmesine neden olur.

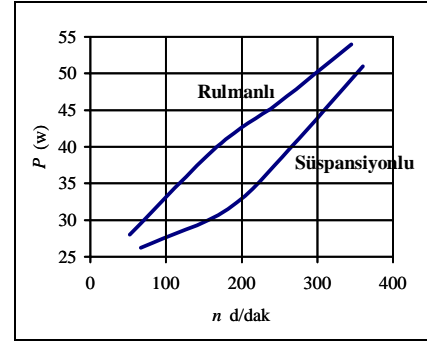
Rotor milindeki bu osilasyonu söndürmek için, C_1 kapasitörü ile yer değişiminin değişim oranına (hız) orantılı bir kontrol terimi ilave edilir. Bu türevsel terim endüktansın etkisine karşılık vererek elektromıknatıs akımında hareketin tersi yönünde, hızla orantılı bir değişim meydana getirir. Böylece hız azaltılır ve osilasyonun genliğinin azalması, rotor milinin hareketi duruncaya kadar devam eder.

C_2 kapasitörü, yüksek frekanslardaki kazancı sınırlayarak bu tip devrelerde oluşan yüksek frekanslı osilasyonu engeller. R_9 direnci elektromıknatıs sürücü transistörünün baz-emetör gerilimini kompanse eder

3. PROTOTİP SİSTEMLE YAPILAN DENEYLER

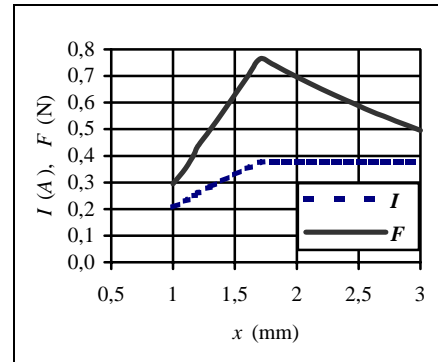
Prototip 350 dev/dak'lık hızlara kadar mekanik ve süspansiyonlu yataklar arasında iyi bir karşılaştırma özelliğine sahiptir. Manyetik yatakta boşta çalışma güç kayıplarında % 15'lik bir azalma

göstermektedir. Motorun gürültüsü de düşük bir seviyeye inmiştir. Her iki duruma ait eğriler Şekil 8'de görülmektedir.

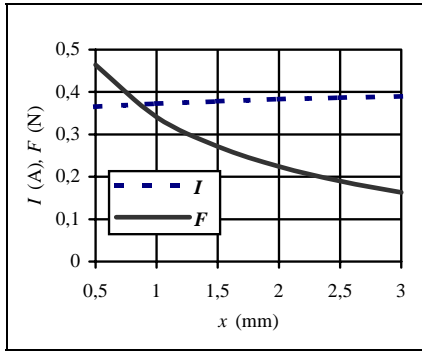


Şekil 8. Rulmanlı ve süspansiyonlu yatakta devir sayısı ve güç değişimi eğrileri

Kontrol devresi ile kontrol edilen elektromıknatıs akımının ve bu akımdan hesaplanan F çekim kuvvetinin x uzaklığına bağlı değişimi Şekil 9'da görülmektedir.



Şekil 9. Elektromıknatis akımı ve çekim kuvveti ile hava aralığı değişim karakteristiği - kapalı döngü
1,7 mm den sonra x uzaklığı arttığı halde akım aynı kalmakta ve dolayısıyla F kuvveti azalmaktadır. Sistemin mekanik yapısından dolayı kontrol sınırı maksimum 1,7 mm ile sınırlandırılmıştır. Bu sistem kapalı döngü olarak adlandırılmaktadır. Şekil 10'da Gemini paket programı ile yapılan simülasyon sonucu alınan kuvvet değerlerinin x hava aralığı ile değişimi görülmektedir. Açık döngü olarak adlandırılan bu grafikte henüz bir kontrol işlemi eklenmemiştir.



Şekil 10. Elektromıknatis akımı ve çekim kuvveti ile hava aralığı değişim karakteristiği – açık döngü

4. SONUÇ VE ÖNERİLER

Yüksek hızlı rotorlar, tehlikeli ortamlar ve giriş zorluğu olan kapalı pompalar gibi uygulama alanları olan manyetik süspansiyonlu yatak sisteminin bir prototipi yapılmıştır. 3 fazlı bir asenkron motorun mekanik yatağından dolayı oluşan sürtünme kayıplarını ve yatak gürültüsünü en aza indirmek için, rotor manyetik yastıklı yataklar üzerine yerleştirilmiş ve yastıklama işlemi sağlayan elektro mekanik düzenek ise algılama elemanları ile PD kompanzasyon devresin oluşan bir elektronik devre ile kontrol edilmiştir (Öner, 1998).

Elektromekanik düzenekteki elektromıknatisin manyetik devre analizleri Gemini paket yazılımı ile yapılmış ve endüktans ve enerji eşitliklerinden akım ve kuvvet hesaplamaları örnek olarak ayrıca verilmiştir.

Sistem 350 dev/dak'lık hızlarda mekanik ve manyetik yataklar arasında iyi bir karşılaştırma özelliğine sahiptir. Manyetik yatakta boşa çalışma güç kayıplarında % 15'lik bir azalma göstermektedir. Motorun gürültüsü de düşük bir seviyeye inmiştir.

Sistemde bulunan optik algılama elemanlarının dışkaynaklardan etkilenmesinden dolayı bunların

yerine, dönüştürücüsüz veya endüktans algılama metodları kullanılmalıdır. Prototip sistemde iki boyutlu radyal yataklama yapılmıştır. Sallantı ve eksenel harekete karşı kararlılık sağlamak için ek bir radyal yataklama ve itici yataklama tam bir yataklama sistemi için gerekmektedir. Süspansiyon sisteminin boyutlarının küçültülmesi de ayrıca gerekmektedir.

5. KAYNAKLAR

Anonymous, 1995. Gemini User Manual, Infolytica Corporation, Canada.

Jayawant, B. V. 1982. Electromagnetic Suspension And Levitation, IEE Proc., Vol. 129, No. 8.

Jayawant, B. V., Sinha, P. K. Wheeler, A. R. Whorlow, R. J. and Willsher, J. 1988. Electromagnetic and Levitation Techniques, Proc. R. Soc. A. 245-320.

Jayawant, B. V., Sinha, P. K., Wheeler, A. R. Whorlow, R. and Willsher, J. 1976. The Development of a 1 ton Magnetically Suspended Vehicle Using Controlled DC Electromagnets. Proc. IEE. 123 (9), 941-948.

Jayawant, B. V., Whorlow, R. J., Dawson, B. E. 1995. New Transducerless Magnetic Suspension System, IEE Proc-Scie. Meas. Technol., Vol. 142, No. 3, May.

Okada, Y., Matsuda, K., and Nagai, B., Sensorless Magnetic Levitation Control by Measuring, the Pwm Carrier Frequency Component, Proceedings of 3rd International Symposium on Magnetic Bearings, p. 176-183.

Öner, Y. 1998. Üç Fazlı Asenkron Motorda Manyetik Süspansiyonlu Yatak Tasarımı ve Uygulaması. Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniv., Fen Bil. Enst.

Vischer, D., and Bleuler, H. 1993. Self Sensing Active Magnetic Levitation, Transactions on Magnetic, IEEE (29), 1276-1281.

William G. H., Werner H. Wölfle, 1997. Electromagnetic Design of a Magnetic Suspension System, IEEE Transactions on Education, Vol. 40, No. 2. May

Wong, T. H. 1986. Design of a Magnetic Levitation Control System - An Undergraduate Project, IEEE Transactions on Education, Vol. E-29, No 4.