

MANYETİK YATAK SİSTEMLERİ ÜZERİNE BİR ARAŞTIRMA

Gürcan SAMTAŞ*, Abdulkadir GÜLLÜ**

*Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Maltepe/Ankara

**Gazi Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi, Makine Eğitimi Bölümü, Beşevler/Ankara

Geliş Tarihi : 09.11.2006

ÖZET

Manyetik yatak, mil ve eksenini etrafında boşlukta asılı kalarak serbest bir şekilde dönen bir yatak sistemidir. Hiçbir şekilde mekaniksel sürtünme ve yağlanmaya maruz kalmadıklarından dolayı, sessiz çalışma ve temizlik gibi birçok avantajlara sahiptirler. Yataklarda oluşan manyetik etkiler, sisteme eklenen stator tarafından sürekli olarak etki altına alınmakta ve bu sayede şaftın boşluk içerisinde merkezde tutulması ve radyal olarak havada asılı kalması sağlanmaktadır. Statorun mili manyetik olarak çekme ve itmesi ile meydana gelen elektromanyetik alanın düzenlenmesini ve döngüyü sağlayan elektronik servo devresi kapalı konumdayken bile mil normal durumda aksel olarak dengede tutulabilmektedir. Rotor ağırlıkları, 1-45400 gr. arasında olabilmektedir. 1985’de yapılan ilk manyetik yatak sadece gaz kompresörleri ve diğer kompresör türlerinde kullanılmaktaydı. Günümüzde ise tıp, ulaşım, makine takım endüstrisi, uzay sanayii, temizlik alanları vb. gibi birçok uygulama alanlarında kullanılmaktadır.

Anahtar Kelimeler : Manyetik yataklar, Manyetik alan, Yataklar, Manyetik, Yatak sistemleri.

AN INVESTIGATION OF MAGNETIC BEARING SYSTEMS

ABSTRACT

The magnetic bearing consists of levitating a shaft so that it is free to rotate about its axis. The magnetic bearing has the advantages of being very quiet work and very cleanliness because there is no mechanical friction or lubricants. The shaft has two permanent magnets attached to it. These two magnets determine a straight line rotation axis of the rotor shaft. The magnets are radially levitated and centered within a cavity by a passive permanent magnetic field in the adding stator housing assembly. The levitation and centering of the shaft axially is stabilized by a closed loop electronic servo circuit that regulates an electromagnetic field in the stator housing that pushes and pulls on the shaft magnets. The rotor weight can be between one gram and forty five thousand, four hundred grams. In 1985, the first magnetic bearing was developed that it had used to applications of gas turbines and other compressors. In these days, they can be used by many applications which are Medical, Transportation, Machine and Tools Industry, Aerospace, Vacuum and Clean room Environments... etc.

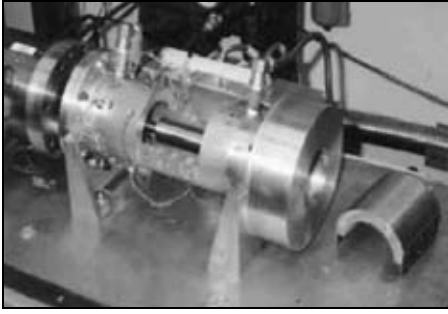
Key Words : Magnetic bearings, Magnetic field, Bearings, Magnetic, Bearing systems.

1. GİRİŞ

Manyetik yataklar, mili başka bir ana tahrik kaynağı tarafından çevrilmek üzere havada asılı tutarlar. Asılı kaldığı ve sürtünmesiz olduğundan devir potansiyeli baş döndürücüdür. Yataktaki mıknatıslar, (stator ve rotor) bir asenkron indüksiyon motoru gibi

çalışır. Manyetik yataklar son yıllarda döner makinelerde yüksek hızlar ve yükleri elde etmek, yağlayıcı ortam, titreşim ve gürültüyü elemek amacıyla tasarlanmıştır. Bu sistemler, mekanik, elektriksel ve elektronik devrelerin yapısından dolayı karmaşıklaştırılırlar (Pilat, 2004). Manyetik yataklar, endüstride pratik olarak kullanılmaktadır. Turbo meloküler alanlarda özellikle, yüksek vakum elde etmek amacıyla pompalarda kullanılmaktadır.

Diğer taraftan geleneksel bilyeli yataklara nazaran, manyetik yatakların gelişmiş özelliklerinden dolayı uzun ömür ve yüksek güvenilirliği nedeniyle uzay aracı bileşenleri için uygulamaları da mevcuttur. Şekil 1'de bir manyetik yatak örneği görülmektedir. Manyetik yatak, hareket mekanizması fiziksel etkilerden uzak kalacak şekilde tasarlanmıştır. Milin, havada asılı olarak herhangi bir sürtünme ve aşınmaya maruz kalmadan manyetik kuvvetlerle yatak içine alındığı bir yatak sistemi olarak tanımlanabilir (Coombs, 1997; Mukhopadhyay et al., 1999; Brunet, 1988).



Şekil 1. Manyetik yatak (Magnetic bearing).

Genellikle itici tipte pervaneye sahip manyetik yatak sistemi, yatağın durağan konumu ile pervane arasında itici güçler tarafından kalıcı mıknatıslar yardımıyla mili havaya yükseltir. Sistem, doğada kararsızdır. Kontrol edilmiş elektromıknatıs, istenen konumda pervaneyi tutmak için kullanılır. İtici manyetik yatak sistemi, elektromıknatısların küçük enerjiyi kullanmanın avantajlarına sahip olur. Hızlı motorlarda mekanik yatağa göre manyetik yatak karşılaştırıldığında manyetik yatak, yağlamanın olmayışı ve yüksek hızların elde edilmesi açısından oldukça kullanışlı ve uzun ömürlüdür (Mukhopadhyay et al., 2004).

Manyetik yatakları çeşitli özelliklerine göre değişik şekillerde sınıflandırmak mümkündür. Bu sınıflandırmalardan bir tanesi de yapısal özelliklerine göredir. Bunlar; pasif manyetik yatak ve aktif manyetik yatak olmak üzere ikiye ayrılır.

1. 1. Pasif Manyetik Yataklar

Birbirini etkileyen iki manyetik parçadan oluşur. Manyetik yatağı oluşturan parçalar kalıcı (permanent) mıknatıs olup sabit veya hareketli olabilirler. Pasif manyetik yatakları oluşturmada kullanılan mıknatısları çeşitli geometrik şekillerde yapmak mümkündür.

1. 2. Aktif Manyetik Yataklar

Rotoru hiçbir mekanik temas olmaksızın manyetik

olarak asan ve bu nedenle çok az bir kayba neden olan, yüksek devir hızlarına müsaade eden, yağlamaya ihtiyaç duymayan, az bir bakım gerektiren ve büyük bir güvenilirlik sağlayan, elektromıknatıslarla oluşturulmuş manyetik düzenlere aktif manyetik yatak denir. Aktif manyetik yataklarda stator sabit bir elektromıknatıstan ibarettir. Statorun yapısı tıpkı bir elektrik motorunun statorunu andırır (Sarı, 2006).

2. MANYETİK YATAK UNSURLARI VE MANYETİK ALANIN OLUŞMASI

2. 1. Manyetik Yatak Unsurları

2. 1. 1. Rotor

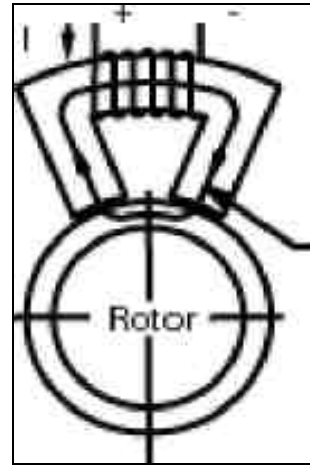
Manyetik bir alanın meydana getirilmesinde ferromanyetik bir rotora ihtiyaç duyulmaktadır. Rotor, küme halinde ince tabakalı bileziklerden oluşur (Şekil 2).



Şekil 2. Rotor.

2. 1. 2. Stator

Rotorun etrafında manyetik akımın iletildiği 4 adet mıknatıstan oluşur (Şekil 3).



Şekil 3. Stator ve manyetik akımın oluşması.

2. 1. 3. Bobinler

Her bir kutubun etrafına çevrilmişlerdir. Bu sebepten manyetik yatak içerisinde 4 çeyreğe bölünmüştür. Dikeye 45 derecelik bir açı yaparlar. Elektromanyetik kuvvetin oluşturulmasında kullanılmak üzere belli bir sarım sayısına sahiptirler.

2. 1. 4. Radyal Yataklar

Manyetik yatakta tipik bir kontrol sistemi, bir itici yatak ve iki radyal yataktan meydana gelmektedir (Şekil 4). Stator ve sisteminin monte edilmesi ile, milin üzerine ayarlanmış ferromanyetik rotorun oluşturduğu aerodinamik kuvvetler ortadan kaldırılabilmektedir (Albritton, 1995).



Şekil 4. Radyal yatak kontrolü ve tasarımı.

2. 1. 5. İtici Yataklar

Endüstriyel sistemlerde, aksenal ya da itici yatak iki adet statoru kapsamaktadır. Aralarından bir tanesi bir rotor diskidir. Statorlar tamamı çelikten yapılarak gene aynı malzemeden yapılan takozlarla desteklenirler. Bu statorlar ve radyal olukların aralarına takoz olarak yerleştirilmiş olan ince tabakalı elemanlar, yatağın tepkisin düzeltilmesi için kullanılmaktadır. İtici statorlar yüzeyleri bobinlerle doldurulmuş bir ya da iki dairesel oluklu mekanizmaya sahiptir (Şekil 5).



Şekil 5. İtici yatak kontrolü ve tasarımı.

2. 1. 6. Kontrol Sistemleri

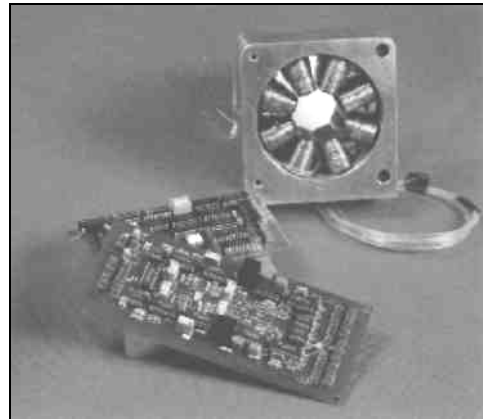
Manyetik yatağın kontrol edilmesi, mil pozisyonunun geri besleme bilgisi ve kontrol sisteminin müsaade ettiği miktar kadar olmaktadır. Sistemin güvenli olarak işlemine devam etmesi açısından güvenlik merkezi olarak adlandırılabilir (Trumper, 1990a). Kontrolün geri besleme bilgisi ile mil bir defa döndürür ve dengeye alınması sağlanır. Bu durum, milin durağan pozisyonda tutulması için gereklidir. İlk adlandırma, milin merkez pozisyonunu sağlamak amacıyla yapılır (Xia, 1995). Kontrol sistemleri genelde üç ana elemandan oluşmaktadır. Bunlar;

1-) Sensörler (Algılayıcılar)

Sensörler mil hakkındaki bilginin iletilmesinde – alınmasında ve elektrik voltajının uygun düzeyde tutulmasında kontrol görevi yapmaktadırlar. Normalde saftın hazır konuma geçmesi sensörlerin yardımı ile olmaktadır. İlk aşamada sensörler, etki sağlamak amacıyla voltajla yüklenirler. Bu yükleme sensörü sadece uyarmak içindir. Daha sonra belli aralıklarla bu işleme devam edilerek sensörlerden yatak hakkında bilgi alımı sağlanır. Sensörler milin aldığı pozisyon durumuna göre negatif ve pozitif voltaj üretimi yapmaktadırlar. Mesela, mil dönme hareketini gerçekleştirmeye başladığında merkezinden yukarı doğru bir kaçıklık yaparsa pozitif voltaj üretimi, aşağı doğru bir kaçıklık yaparsa negatif voltaj üretimi söz konusudur. Sonuçta mil her durumda denge konumunda tutulur (Hung, 1995a).

2-) Kontrolör

Sensörlerin bulunduğu konum itibari ile algılayıcılardan gelen voltaj sinyallerine cevap veren bir işlemcidir (Şekil 6). Bu tür bilgilere sahip işlemci amplifikatörlerin ihtiyacı oranında işlem yapar. Kontrolör kendi içerisinde üç gruba ayrılmaktadır.



Şekil 6. Kontrol ünitesi ve stator örneği.

a) A/D (Analog/Dijital) ve D/A (Dijital/Analog) Çeviricileri

Bu çeviriciler sistemden çıkan analog sinyallerini dijitalle çeviren (A/D) ve sisteme giren dijital sinyalleri de analoğa çeviren (D/A) kontrolör elemanlarıdır. Bunlar PWM devresiyle bir bütün halinde çalışırlar (Hung, 1995b).

b) Değiştirici (PWM)

Çeviricilerden çıkan sinyaller doğrultusunda, gerçek ve güncel olan sistem arasındaki hata PWM sinyali olarak tanımlanarak amplifikatöre gönderilir. Bu gönderilen bilgi genişliğine göre eğilim gösteren frekans değiştirici (PWM) bobinlere gönderilerek PWM dalgası oluşturulur.

c) Anti-Alizenik Filtreler

Anti-alizenik (anti-aliasing) filtreler ses çözümlemelerinde kullanılan süzgeç görevi gören filtrelerdir. Algılayıcılardan alınan ses gerilimi doğrudan anti-alizenik (örtüşme-önleme) filtrelerden geçirilerek bu sayede sinyallerde oluşan yüksek gerilimler atılır. Yüksek gerilimler ses dalgası oluşturmakta ve bu ses dalgası milin hatalı bir konumda durmasına sebebiyet verebilmektedir. Ek olarak kontroller, bu sinyali periyodik olarak ürettiği için, kontrolör içine yüksek frekans bilgilerinin bazısı düşük, hatalı frekans olarak alınabilmektedir.

3-) Amplifikatörler

Her yatak, bobinlerinin ve rotor boyunca herbir eksen pozisyonunun hatasız olarak sağlanması ve çekici kuvvetlerin meydana getirilmesi için birkaç amplifikatöre sahiptir. Temel olarak amplifikatörlerin voltaj anahtarları vardır. Bunların yüksek frekanslarda açılıp kapatılması ve komuta edilmesi kontrolör tarafından sağlanmaktadır (Hung, 1993). Şekil 7'de yatağın iç elemanları görülmektedir.



Şekil 7. Radyal, itici yatak, rotor ve stator.

2. 1. 7. Düşürücü (Düşük Geçiş Filtresi)

Düşürücünün kullanımı ile yüksek frekansın meydana getirebileceği zararlı etkilerin önüne geçilebilmektedir. Bu filtrelerdeki frekans değeri genel olarak sistemin kritik frekans değerinin üzerine ayarlanmıştır. Düşürücünün yüksek frekans esnasında karşıladığı yükselme ki, faz her ne kadar kontrol ünitesi tarafından isteksiz olarak azaltılma aşamasına girse de sistem otomatik olarak kendini durdurmaktadır. Sonuçta düşürücünün yeri kritik bir noktada tayin edilmelidir (Trumper,1990b; Trumper, 1991).

2. 1. 8. Sıfır Kutup Dengeleme Filtreleri

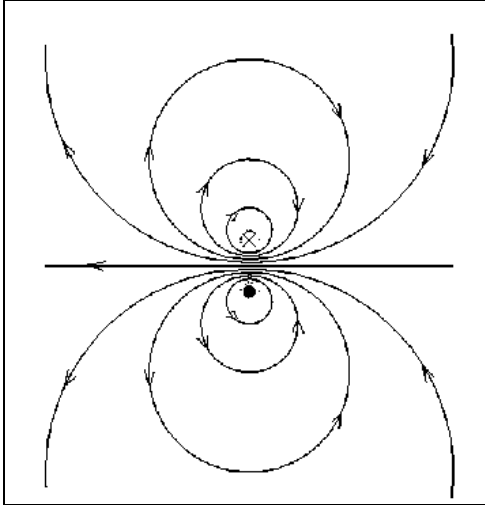
Sıfır kutup dengeleme filtreleri kontrolör üzerine eklenerek, frekansın yükselmesi esnasında gerekli uyarıcı önlemlerin alınması ve sistemin kendini kapatması (roll off) için gereklidir. Bunlar her 10 yılda bir olmak üzere faz değerleri 90°'ye düşürülmektedir (Williams and Trumper, 1993).

2. 1. 9. Çentik Filtreleri

Rotorun dengesinin sağlanması için eklenen ve rotorun üst kısmında kanal halinde çentik şekline almış oluklardır. Çentiğin ortasında düşük bir ilerleme söz konusudur. (Sistemi kontrol etme durumunda çentiklere doğru bir alternatif akım uygulanmaktadır). Bu durum milin yüksek konumuna ulaşmasını engellemek için kullanılır. Faz yükselmesinde çentik pozitifdir. Bu ise, uygun davranışın durdurulması için indirgenir. Milin dönüşünün durdurulması için doğrusal akım uygulanarak akımın çentiklere çarpması sağlanır. Bu uygulama, aynı dönen bir bisiklet tekerine çomak sokarak durdurmaya benzetebiliriz (Kim, 1998). Çentiğin merkezi ses çıkaran frekans üzerine ya da sadece altına konumlandırılmaktadır. Bu milin hareketi frekansın meydana getirdiği ses boyutu ile ya da yükselmenin azaltılması ile önlenmektedir.

2. 2.Yatak İçinde Manyetik Alanın Oluşması

Yatak içersinde bir adet bobine ait manyetik alanın oluşması Şekil 8'de gösterilmiştir. Burada meydana gelen manyetik alan birbirine zıt yöndedir (Trumper, 1993). Mil, yatak içersine ilk etapta yapılan testler sonucunda denge konumuna havada asılı olarak alınır. Burada bahsedilen testler uzun süren testlerdir. Testlerden sonra yatak içinde askıya alınan mil, bir dahaki revizyon dönemine (yaklaşık 4.4 yıl) kadar açılmamak üzere kapatılır.



Şekil 8. Yatakta oluşan manyetik alan.

3. DİĞER YATAKLARLA KARŞILAŞTIRILMASI ve UYGULAMA ALANLARI

3. 1. Manyetik Yatakların Avantajları

- 1 Manyetik yataklarda mil, yatak içerisinde bağımsız olarak havada asılı kalmaktadır. Bu nedenle dönme esnasında sadece hava ile temas vardır ve mekaniksel sürtünmeye maruz kalmaz (Nolan, 1996).
- 2 Manyetik yataklarda yağlama sistemlerinin olmayışı nedeniyle yağın ısınmasından meydana gelen yağ buharı bulunmamaktadır. Bu nedenle bulunduğu çevre ve yatağın kendisi için kirlilik oluşturmaz ve yatak bakım gerektirmez.
- 3 Manyetik yataklar çok yüksek hızlara kısa bir süre içerisinde ulaşabilirler. Yüksek hızlarda verimli olarak çalışırlar.
- 4 Yüksek rotor hızına sahiptirler. Mil yatağının boyutları çok büyük ölçülerde olduğu gibi, çok küçük ölçülerde de yapılabilir.
- 5 Sürtünmeden dolayı meydana gelen kayıplar normal konvansiyonel yataklara nazaran 5 ila 20 kat daha az olması sebebiyle maliyetleri oldukça azdır. Sensörlerinin her 10 yıl da bir bakımı yapılır (Knospe, 1996; Fittro, 1998; Bornstein, 1991; Holmes, 1989).
- 6 Üretilen yatak ağırlıkları, 1gr – 45400 gr arasında değişebilmektedir. Tasarlanan mil yatağı, (min. 75 psi (50 kPa)) yüksek kuvvetleri kaldırmaya uygundur.
- 7 Yatak kontrol sistemleri, manyetik yatağın yüksek hızlarda yapacağı dengesizliği otomatik olarak ayarlayarak tehlikeli durumlarda yine otomatik olarak durdurur.
- 8 Titreşim yoktur ve bu nedenle sessiz çalışırlar.

- 9 Manyetik yatak, motorun boş çalışma güç kayıplarında %15'lik bir azalma sağlamaktadır (Lee, 1994).

3. 2. Manyetik Yatakların Dezavantajları

Diğer yataklarla karşılaştırma yapıldığında manyetik yatakların dezavantajları azdır. Bu dezavantajlar da, manyetik yatakla birlikte kullanılan devrelerin karmaşıklığından ileri gelmektedir. Bunlar;

- 1 Kullanıldığı unsurlar oldukça yüksek maliyetlere sahiptir.
- 2 Normal yataklara nazaran daha karmaşık bir yapıya sahiptir.
- 3 Manyetik yataklarda kullanılan milin ilk konumda dengeye alınması zahmetli ve uzun bir süreç gerektirir.
- 4 Manyetik yatağın üretimine geçilmeden önce protopinin geliştirilmesi gereklidir. Bunun için normal üretimine harcanan süre kadar bir süreye ihtiyaç vardır (Pakla, 1998).

3. 3. Manyetik Yatakların Yuvarlanmalı ve Kaymalı Yataklar ile Karşılaştırılması

Manyetik yataklar buldukları konum itibariyle, endüstride kullanılan birçok yatak sistemlerinden neredeyse % 100'lük bir avantaja sahip olmaktadır. Sahip oldukları ileri teknoloji, sürtünme ve aşınma, yağlamanın olmayışı manyetik yatakları tamamıyla üstün konuma getirmektedir. Tablo 1'de manyetik yatakların diğer yataklarla karşılaştırılması verilmiştir.

3. 4. Tıp Alanında

Manyetik yatak tasarımlarını tıp alanında kalp üzerine yapılan çalışmalarda görmekteyiz. Kullanım alanı olarak ta, suni kalplerde yaygın olarak bilinen sol-karıncağa ait yardımcı devre (LVAD) için tasarımları yapılmaktadır. Bu uygulamada manyetik yataklar yüksek emniyete sahiptir. Tasarlanan pompa geometrisinin biyolojik olarak insan vücuduyla uyum içerisinde olması, manyetik yatağın bu alanda kullanımını arttırmıştır (Lindgren, 1995).

3. 5. Endüstri Alanında

Manyetik yataklar, yüksek devirli makinelerde kullanışlı bir alana sahiptir. Manyetik kuvvetlerin uygulandığı bir yatak sistemi olarak bilinen bu yataklar, yüzeysel kesiciler, un ve su değirmenlerin dönen sistemlerinde uygulanabilmektedir. Diğer uygulamalar olarak da turbo-makine sistemleri ve yüksek hız motor yataklarında (gaz kompresörleri) yaygın olarak kullanılmaktadır (Nohavec, 1997).

Tablo 1. Manyetik Yatakların Yuvarlanmalı ve Kaymalı Yataklarla Karşılaştırılması (www.turkc-adcam.net).

Yuvarlanmalı Yataklar	Kaymalı Yataklar	Manyetik Yataklar
Yağlanmaları gereklidir. Bu nedenle aşırı tozlu ortamlarda çalışması doğru değildir.	Yağlanmaları gereklidir. Kullanılan yerlerde yağ kirliliği söz konusudur.	Yağlama sistemi bulunmaz. Her ortamda rahatça kullanılabilir.
Muylu yuvalarına geçirilirken çok dikkatli olmayı ve ince alıştırmayı gerektirir.	Mil, muylu ve mil yatak ile yağlanmış durumda iken kullanılır.	Mil, havada asılı kaldığı için bu tür ince alıştırmalara ihtiyaç duymaz.
Çok sesli çalışırlar.	Sesli çalışırlar.	Titreşim yok denecek kadar azdır. Bu nedenle sessiz çalışırlar.
Sürtünme ve aşınma gibi mekaniksel olaylara maruz kalırlar.	Sürtünme ve aşınma gibi mekaniksel faktörlere maruz kalırlar.	Sadece hava ile sürtünme söz konusudur bu nedenle mekaniksel olaylara maruz kalmazlar.
Çok yüksek hız elde edilemez	Yüksek hız elde edilemez	Çok yüksek hızlar elde edilebilir.
Malzemeleri aşınmaya karşı gösterebildikleri direnç ile doğru orantılıdır.	İç yatak malzemeleri aşınmaya karşı gösterebildikleri direnç ile doğru orantılıdır.	Ferromanyetik malzemelerin iyi seçilmesi gereklidir.

3. 6. Ulaşım Alanında

Manyetik yataklar, 'KOMET' araçları gibi kritik bir teknoloji alanında tasarlanmaktadır. KOMET olarak adlandırılan bu proje içerisinde bir trene uygulanan manyetik yatak sistemi sayesinde trenin hızı 360 km/h'ye kadar çıkabilmektedir. Aynı tür kullanım Japonya'da yürütülen hızlı tren projesinde de uygulanmaktadır (Nonami, 1992).

3. 7. Uzak Endüstrisi Alanında

Manyetik yatakların yüksek emniyet sağlaması sebebiyle uzay endüstrisinde kullanımları oldukça yaygındır. Yataklar daha çok uyduların momentum tekerleri üzerinde kullanılmaya başlanmıştır. Burada amaç uyduların uçuş-tekerleri'ne enerji depolanmasıdır. Böylece manyetik yataklardan oldukça yüksek verim alınmaktadır.

3. 8. Temizlik Alanında

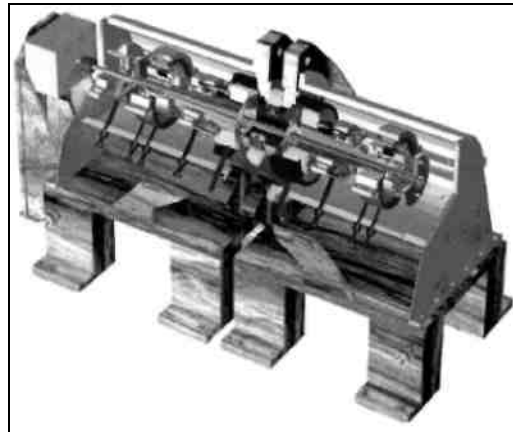
Manyetik yatakların, mekaniksel faktörlerden etkilenmemesi ve yağlama gereksinimi duyulmamasının anlaşılmasından sonra çevreyi koruma amaçlı ve doğal temizleyici olarak birçok alanda olduğu gibi temizlik alanında da kullanımı oldukça yaygınlaşmıştır (Trumper, 1997).

4. MANYETİK YATAKLAR ÜZERİNE YAPILAN ARAŞTIRMALAR

4. 1. Manyetik Yatakların Gaz Türbinleri İçin Geliştirilmesi

Gaz türbinlerinin gelecekteki uygulama alanları dikkate alınarak, bu makinelerin yüksek sıcaklıklarda kullanımı için uygulama başlatılmıştır. 1997'nin

üçüncü yarısında başlatılan test sonucunda DN değerleri (yatak boyu ile genişliğinin çarpılmasından elde edilen değer), yüksek sıcaklık kontrolü, tabakaların kaplanması, fiber kuvvetlendiriciler, yüksek sıcaklıktaki tel yalıtımlarının geliştirilmesi asıl parametreler olarak ele alınmıştır. Tamamlanan çalışmalar sonucunda önemli bulgular elde edilmiştir. Bu test esnasında tek problem konvensiyel tasarımların korunması olmuştur (Şekil 9). Oluşturulan Esnek ve duyarlı test makinesi, yüksek sıcaklıklara dayanan manyetik yatak için geliştirilmiştir (Rockwell, 1998).



Şekil 9. Manyetik yatak test ünitesi.

4. 2. Elektromanyetik Yataklar – Suni Kalp Pompası Prototipi

Manyetik yatakla, geliştirilen suni kalp projesi çerçevesinde oluşturulan bir prototipte (CF3), su ve kan kullanılarak değişik çaplarda (pompa piston çapı) testler yapılmıştır. Tahminen pompa 1.6 inch. boyunda, 4 inch çapındadır. Bu geliştirilen prototip insanlara kalp yardımcı devresi olarak yerleştirilebilmektedir. Pompadaki manyetik yatağa; itici kısım girişi ile manyetik moment,

bölündüğünde 8 bölüntü ve boşaltma radyal kısmının itici yatak bölündüğünde dahi yine 8 bölüntü elde edilmiştir. Bu durum itici yatak merkezindeki geçiş mesafesinde, yatak performansının iyi olmasını sağlamaktadır. Bunun en önemli sebebi pompanın tek yönlü çalışması olarak tanımlanabilir. CF3 yatak formları ilk aşamada birçok malzemenin karışımı olarak yapılmaktaydı. Kullanılan bu alaşımlar ise birçok problemleri de beraberinde getiriyordu. Bu yüzden yeni malzemeler geliştirilerek yeni tip materyal bulundu. CF3 sisteminin bütün unsurları şu an silikon esaslı demir ile yeniden yapılarak bu problemlerin önüne geçilmiştir. Yeni tür malzemedan yapılan bu küçük yataklara yüklenen kapasite arttırılabilmektedir. Bu şekilde tekrardan üretilen manyetik yatak sistemli CF3 prototipi, rahatlıkla kalp pompası olarak kullanılabilir. Yatak akış karakteristikleri, yatak içinde yer alan bobinleri, sensörleri vb. pompa operasyonlarının altında tanımlanması zihinleri karıştıracak düzeyde olmasına yeterliydi. Böyle bir durumda ise ortaya çıkan tek sorun kullanılan devrelerin karmaşık oluşudur. Bunu ön planda tutan tasarımcılar prototipi tekrardan geliştirme aşamasına soktular. A/D (Analog/Dijital) ve D/A (Dijital/Analog) kartlar ve ciplerle yeniden geliştirilen TI C60 pompa serisi, ileri kullanımlar için uygun bulundu. Bu yeni kontrolör tahmini bir ders kitabı büyüklüğünde olacaktır. Bu prototipin yatak sisteminde kullanılan ileri kontrol iticileri sayesinde pompa performansı, akışın değişimine göre iticilerin ters yön almasını sağlayarak durumu kontrol altına alabiliyordu. Bu da istenen bir durumdu (Williams, 1994).

4. 3. Manyetik Yatak Rotorları için Kaymalı Yol Kontrolörü

Rotor üzerindeki bir denge kirisinin doğrusalılığı için geliştirilmiş bir algoritmik kontrolördür. Yapılan bu detaylı çalışmada amaç, karışık bir basamak durumunda bulunan manyetik yatak rotor kiris sisteminin, milin durağan halde havada asılı kalması durumundaki limitlerinin belirlenmesidir. Bu aşama sonunda 5 serbestlik derecesine sahip bir suni kalp pompası modeliyle yapılan araştırma ise başarıyla tamamlanmıştır (Williams and and Trumper, 1995).

4. 4. Manyetik Yataklarda Sonlu Elemanlar Metoduyla Kayıpların Hesaplanması

A2–D Sonlu elemanlar bilgisayar kodları manyetik yatak konfigürasyonları için geliştirilen bu teknik, rotordaki güç kayıpları, asılı kaldığı sürece oluşturduğu girdaptan dolayı manyetik yatak malzemelerinin bu etkilere karşı gösterdiği tepkilerinin hesaplanmasında kullanılmaktadır. Modelde kullanılan inceltirilmiş etkilerin bir eksenel

iletkenlik doğurduğu anda, ölçümlerin sağlıklı bir şekilde belirlenmesi için değerler hesaplanır. Materyalin bu etkilere doyduğu anda kodların verilmesine başlanır. A3–D Sonlu elemanlar bilgisayar destekli kod üretimi hala geliştirilme aşamasındadır. Bu çalışma, manyetik yataktan kopan demir kayıplarının hesaplanmasında kullanılmaktadır. Bu model hem özdeş, hem de özdeş olmayan yataklarda yeterli derecede kullanılmaktadır. Rotorun bir modeli yapılarak analitik olarak çözümü ile manyetik vektörlerin yeterliliği hesaplanabilmektedir (Kasarda, 1994).

4. 5. Test Ünitesi – Manyetik Yatak Kontrolü

Düşey düzlemde çalışacak manyetik yatak kontrol test ünitesi hala geliştirilme aşamasındadır. Bu sistemde kullanılmak üzere üç yatakbulunmaktadır. Bunların ikisi normal manyetik yatak, üçüncü ise bunları hareketlendirebilecek ana tahrik kaynağı ve buna ait olan normal bir yataktır. Rotor modellenerek küçük bir test ile karakteristik özellikleri geniş olarak incelenmiştir. Gerek rotorun havada asılı kalması, gerekse manyetik yataktaki durumu hala inceleme aşamasındadır. Bu işlemler için; sistemin işleme, manyetik yatak X, Y yanal konumunun belirlenmesi, eksenel manyetik kontrolörü ve manyetik dengeleme sistemine ayarlanması gerekmektedir (Kim, 1998b).

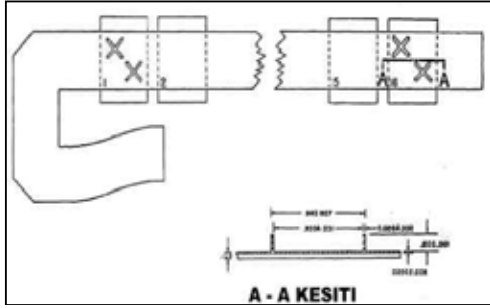
4.6. Manyetik Yatak Sistemli Motorlar

Uygulama alanlarına sahiptir. Sessiz ve temiz olmaları motorlar üzerine tasarımlarını sağladı. Yapılan çalışmalar sonucunda manyetik yatak sistemine sahip bir motor sistemi geliştirildi. Belirtilen sistem iki fazlı bi – polar DC temizleyicisidir. Bir ekmek tahtası modelli elektronik devreleri, üç pozisyonlu bobinlerin tersine çevrilerek, rotor saat yönü ve saat yönünün tersine çevrilerek örnek olarak test edilmiştir. 2000 r.p.m. hızına ve farklı bir temizleyici sistemine sahip rotor bu yöndeki araştırmalar için daima hazır bulundurulmaktadır. Bu sistem tamamıyla analog ve dijital sayısal dönüştürücü devrelerin karışımı ile tasarlanmıştır. Rotorun analizi için sonlu elemanlar metodu kullanılmıştır (Ludwick, 1996).

4. 7. CNC Dik İşleme Merkezinde Kesme Esnasında Meydana Gelen Takım Yolu Hatalarının Manyetik Yatak Sistemi ile Belirlenmesi

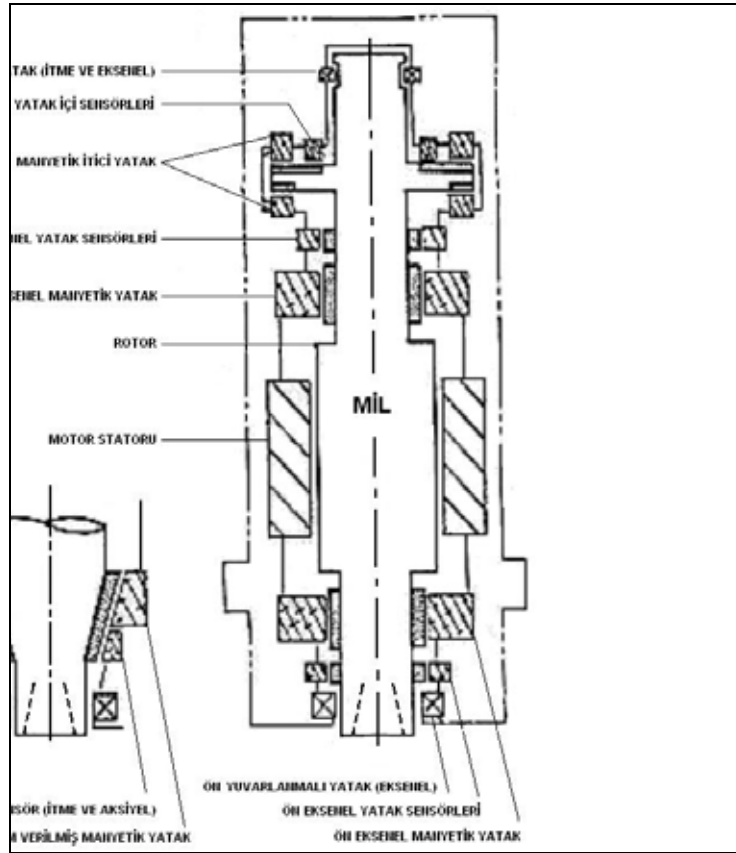
Cinninatti Milacron, Westinghouse tezgahlarının dönen başlık kısımlarına manyetik yatak konularak yapılan karşılaştırmalar ele alınmıştır (Şekil 10). Standart ölçüler kullanılarak belirli ilerleme ve hızlarda yapılan karşılaştırmaların amacı, takım yolu

Manyetik miller bilindiği gibi fiziksel etkileşimsiz, serbest bir manyetik ortamda dönebilecek durumlar için tasarlanmaktadır (Şekil 11). Operasyon esnasında manyetik eksenlerle asılı kalan mil herhangi bir mekaniksel etki ile karşı karşıya gelmemektedir (Pozisyon belirleyici sensörler bu milin etrafına sıralanmıştır). Sensörlerden alınan bilgiler kontrol ünitesi tarafından korunmakta ve milin bu pozisyon ölçüleri elektro manyetik bobinler tarafından çeşitli aşamalarda düzeltilmektedir (Milin eksenden kayması durumunda üretilecek karşı manyetik kuvvetler gibi). Bu yüzden mil, gerçek konuma dönmesi esnasında bile merkez konumundadır.



Şekil 10. Mikrodalga Yardımcısı (Westinghouse şirketi tarafından geliştirilmiştir).

Kütle merkezi geometrik eksenden sapsa bile manyetik yatak mili her durumda kütle merkezi etrafında döndürülebilir. Tehlike arz edecek durumlarda ise yatak mili merkezinden ± 0.005 inc ve 0.5° gibi toleranslar çerçevesinde ekseninden çevirerek kontrol altına alabilmektedir. Bu durum, mil sisteminin performansında herhangi bir etkiye sebep olmaz. Manyetik olarak millerin kontrol edilmesinin en önemli özelliği, takım yolları hatalarının düzeltilmesinde önemli bir etkiye sahip olmasıdır. Maryland Üniversitesi ile manyetik yatak sistemleri, Cinnitti Milacron, Westinghouse gibi CNC devlerinin birleşerek gerçekleştirdikleri dik işleme merkezlerinde hataların düzeltilmesi, kontrol altına alınması programını başarıyla yürütmektedirler (Şekil 10). Ana strateji, test makinasında karmaşık hataların tecrübeye dayalı olarak belirlenmesidir. Bunu ön plana alan araştırmacılar, uzunca bir süre kesme kuvveti hataları modeliyle yaptıkları araştırmalar sayesinde doğrusal kontrol projesini de uygulayarak, işleme esnasında parça üzerinde olmayan hataların azaltılmasını sağlamışlardır (Holmes, 1998b).



Şekil 11. Manyetik yatak

5. SONUÇ

Uzun yıllardan beri kullanıma ve geliştirme aşaması içerisinde bulunan manyetik yataklar, ilk kullanıldığı zamanda sistemi bir anda kâra geçirebilecek düzeyde olması bugünü düşündüğümüzde, ilerleyen teknoloji sayesinde elde edilecek çok yaygın kullanım alanları ve üstün özellikleri ile hayrete düşürecek bir sistemdir.

- Kompresörlerde kullanılan diğer yataklar yağlayıcı pompalamak için gereken füzili 225 Kw veya yaklaşık 300 BG enerjisi, manyetik yataklar sadece 4 Kw olarak kullanılmaktadır.
- Kuru salmastraların ve manyetik yatakların uygulanma maliyeti, yağlama sisteminden vazgeçilmesiyle sağlanan para tasarrufuyla beraber düşünülecek olursa, amorti süresi, revizyon 4.4 sene ve yeni bir makine için bir seneden daha azdır.
- Paranın ötesinde, güvenlikte de üstün niteliklere sahiptir. Manyetik yataklar rijit şekilde monte edilmezler. Ağırlık dağılımlarının yönlendirilmesine uygun olarak serbestçe dönerler. Geometrik eksenleri yerine, eylemsizlik eksenleri etrafında dönerler. Bu nedenle kendiliğinden bir balans sağlamaktadırlar.
- Mil üzerine etkileyen tüm aerodinamik kuvvetler stator mıknatısları aracılığıyla karşı kuvvet üretilerek ortadan kaldırılabilmektedir.
- Yataklara giden maksimum akım 50 amper'dir. Hem 1600 kg'lık kompresör milini hem de 1000 kg'lık türbin milini kaldırmak için radyal manyetik yatağın üst kısmında yer alan iki adet çeyrek mıknatısın her birine 25 amperlik bir akım yeterlidir. Tıpkı bir elektrik motoru gibi bobin sargılarının sayısı, tellerin boyutu ve sargı katlarının büyüklüğü manyetik yataklarda oluşturulan elektromanyetik kuvveti belirler.

Bu yapılan araştırma ile manyetik yataklar hakkında bilgi verilmeye çalışılmış ve bu tanıtımın yanı sıra yakın zamanda yapılan manyetik yatak hakkındaki yeni çalışmalara da yer verilmiştir. Diğer yataklarla karşılaştırılması yapılarak manyetik yatakların ayırt edici yönleri vurgulanmıştır. Birçok teknik avantajlara sahip bir yatak sistemi olarak karşımıza çıkan manyetik yataklar, enerji ihtiyacının arttığı günümüz endüstrisinde enerjinin daha verimli kullanılması için bir alternatif olarak karşımıza çıkmaktadır.

6. KAYNAKLAR

Albritton, N. G. and Hung, J. Y. 1995. Observers For Sensorless Control of Industrial Magnetic Bearings, IEEE Industrial Electronics Conference, Orlando, 2, 973-978.

Bornstein, K. R. 1991. Dynamic Load Capabilities of Active Magnetic Bearings, Transactions of the ASME, Journal of Tribology, 113, 598-603.

Brunet, M. 1988. "Practical Applications Of The Active Magnetic Bearings to the Industrial World", **Proceedings of the First International Symposium on Magnetic Bearings**, 1988, 224-244.

Coombs, T. A., Cardwell, D. A. and Campbell, A. M. 1997. Dynamic Properties of Superconducting Magnetic Bearings, IEEE Transactions on Applied Superconductivity, 7 (2), 924-927.

Fittro, R. L. 1998. A High Speed Machining Spindle with Active Magnetic Bearings: Control Theory, Design and Application, **Ph.D. Thesis**, University of Virginia.

Hung, J. Y. 1995. Magnetic Bearing Control Using Fuzzy Logic, IEEE Transactions on Industry Applications, 31 (6), 1492-1497.

Hung, J. Y. 1993. "Nonlinear Magnetic Bearing Control Using Fuzzy Logic", **An Invited Paper for the IEEE International Workshop on Neuro-Fuzzy Control**, 1993, Japan.

Hung, J. Y., Nelms, R. M., Xia, F. and Story, M. 1995. "Three-mode Variable Structure Control of a Pulse Density Modulated Current Feedback Amplifier", **IEEE Symposium on Industrial Electronics**, 1995, Greece, 736-740.

Holmes, M. L., Trumper, D. L. and Hocken, R. J. 1989. Magnetic Bearings Holds Spindle For Milling, Machine Design, 56.

Holmes, M. L., Trumper, D. L. and Hocken, R. J. 1998. "Magnetically-Suspended Stage for Accurate Positioning of Large Samples in Scanned Probe Microscopy", **6th International Symposium on Magnetic Bearings**, 1998, MIT, Cambridge, 25, 353-358.

<http://www.turkcadcam.net/rapor/manyetik-yataklar/index.html>.

Kasarda, M., Allaire, P., Maslen, E. And Gillies G. 1994. "Design of a High Speed Rotating Loss Test

Rig for Radial Magnetic Bearings”, **Proceedings of 4th International Symposium on Magnetic Bearings**, 1994, Zurich, Switzerland, 577-582.

Kim, W. J. and Trumper, D. L. 1998. “Six-Degree-of-Freedom Planar Positioner with Linear Magnetic Bearings/Motors”, **6th International Symposium on Magnetic Bearings**, 1998, MIT, Cambridge, 641-649.

Kim, W. J. and Trumper, D. L. 1998. “Precision Control of Planar Magnetic Levitator”, **Proceedings of the 1998 ASPE Annual Meeting**, St. Louis, 1998, 606-609.

Knospe, C. R., Collins E. G. 1996. Special Issue on Magnetic Bearing Control, *IEEE Transactions on Control System Technology*, 4 (5), 524-544.

Lee, A.C., Hsiao, F. Z. and Ko, D. 1994. Analysis and Testing of Magnetic Bearing with Permanent Magnets for Bias, *JSME International Journal*, Series C, 37(4), 774-782.

Lindgren, O., Saily, K., Lantto, E., Sari, J. And Antila, M. 1995. “Electromechanical design of motors and active magnetic bearings for high-speed compressors”, **Proceedings of MAG'95 Magnetic Bearings, Magnetic Drives and Dry Gas Seals Conference and Exhibition**, USA, 1995, 47-55.

Ludwick, S. J. 1996. Modeling and Control of a Six Degree of Freedom Magnetic/Fluidic Motion Control Stage, S.M. Thesis, Department of Mechanical Engineering, Massachusetts Institute of Technology.

Mukhopadhyay, S. C., Ohji, T., Iwahara, M. and Yamada, S. 1999. "Design, Analysis And Control Of A New Repulsive Type Magnetic Bearing", **IEE proc. on Elect. Pwr. Appl.**, Cilt 146, No 1, 33-40, 1999.

Mukhopadhyay, S. C., Gooneratne, C. and Gupta, G. S. 2004. “Magnetic Bearing : An Integrated Platform for Teaching and Learning” **2nd International Conference on Autonomous Robots and Agents December**, New Zealand, 283-288.

Nolan, S. And Hung, J.Y. “Technology Advances for Magnetic Bearings”, **Space Technology and Applications International Forum, American Institute of Physics Conference Proceedings**, Albuquerque, 1996, 361, 169-174.

Nohavec, D. R. and Trumper, D. L. 1997. Super-Hybrid Magnetic Suspensions for Interferometric Scanners, *JSME International Journal*, Special Issue

on Magnetic Bearings International Magnetic Bearing Center, Series C, 40 (4), 570-283.

Nonami, K. and Yamaguchi, H. 1992. “Robust Control of Magnetic Bearing Systems by Means of Sliding Mode Control”, **Proceedings of the 3rd International Symposium on Magnetic Bearings**, USA, 1992, 537-546.

Pakla, R., Canders, W.R. And May, H. 1998. Topology and Performance of Superconducting Magnetic Bearings, *The International Journal for Computation and Mathematics in Electrical and Electronic Engineering*, 17(5), 628 – 634.

Pilat, A.. 2004. Femlab Software Applied To Active Magnetic Bearing Analysis, *Int. J. Math. Comput. Sci.*, 14(4), 497-501.

Rockwell, R., Allaire, P., Lebedzik, C., Kasarda, M., Provenza, A. and Brown, G. 1998. Magnetic Bearing Finite Element Loss Computer Program, Nasa Lewis, University of Virginia.

Sarı, A. 2006. Düşük Kayıplı Manyetik Yataklamalı Volan Enerji Depolama Sistemlerinin H-Infinity Kontrolü, Yüksek Lisans Tezi, Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü, Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü, 3-4.

Trumper, D. L. 1990. Magnetic Suspension Techniques for Precision Motion Control, Ph.D. Thesis, Massachusetts Institute of Technology, Department of Electrical Engineering and Computer Science, Eylül 1990.

Trumper, D. L. 1990. “Nonlinear Compensation Techniques for Magnetic Suspension Systems”, **NASA Workshop on Aerospace Applications of Magnetic Suspension Technology**, September, 1990.

Trumper, D. L. and Queen, M. A. 1991. “Precision Magnetic Suspension Linear Bearing”, **NASA International Symposium on Magnetic Suspension Technology**, August, 1991.

Trumper, D. L., Olson, S. M. and Subrahmanyam, P. K. 1997. Linearizing Control of Magnetic Suspension Systems, *IEEE Transactions on Control Systems Technology*, 5(4), 427-438.

Trumper, D. L., Williams, M. E. and Nguyen, T. 1993. “Magnetic Linear Bearing: Theory and Experiment”, **7th International Precision Engineering Seminar (IPES-7)**, Japan, Mayıs, 1993.

Williams, M. E. and Trumper, D. L. 1994. “Materials For Efficient High-Flux Magnetic-

Bearing Actuators”, **Proceedings of the 2nd International Symposium on Magnetic Suspension Technology**, Seattle, WA, NASA Conference Publication, August 1994, 1, 135-145.

Williams, M. E. and Trumper, D. L. 1993. “Materials For Efficient High Flux Magnetic Bearing Actuators”, **NASA 2nd International Symposium on Magnetic Suspension Technology**, Seattle, August, 1993, 1(3247), 135-145.

Williams, M. L. and Trumper, D. L. 1995. “Precision Magnetic Bearing Six Degree of Freedom Stage”, **NASA 3rd International Symposium on Magnetic Suspension Technology**, Tallahassee, FL, 1995.

Xia, F., Albritton, N. G., Hung, J.Y. And Nelms, R.M., “A Hybrid Nonlinear Control Scheme For Active Magnetic Bearings”, **3rd International Symposium on Magnetic Suspension Technology**, Tallahassee, 1995.