

Kestirimci Bakımda Titreşim Analizi

Ali İhsan ENGÜR

Kocaeli Üniversitesi Gölcük Meslek Yüksek Okulu

TİTREŞİM ANALİZİNE BAŞLARKEN

Elektrik motorları, fanlar, pompalar, blowerlar, kompresörler, dizel motor-jeneratör grupları, vs. gibi içinde belli bir devirde

verisini alabileceğimiz noktadan ölçüm almalıyız. Yataklara ulaşamayan yerlerde yine gövdeden ölçüm almaya dikkat ederek çalışan parçalara yakın yerler seçilmelidir.

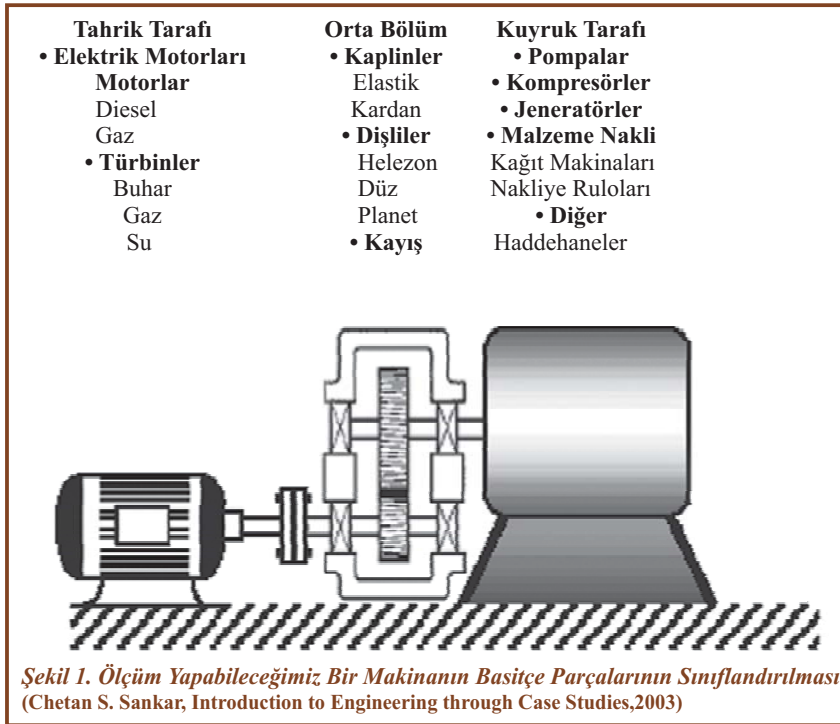
Titreşim ölçümü yapacağımız makinenin

olabileceği yerlerde titreşimin ölçüm yapılan makineden geldiğinin bilinmesi için öncelikli irdelenmesi gereken büyüklüktür. Yapılacak ölçüm de makinenin diğer etmenlerden olabileceği kadar izole edilmesi öncelikli olarak mobiliteyi düzelterek ve olası büyük bir faciayı bile önceden belirleyerek müdahale etmemizi sağlayacaktır.

ANALİZ

Analiz esnasında kullanacağımız bazı terimlerin açıklamalarını pratikte şu şekilde yapabiliriz;

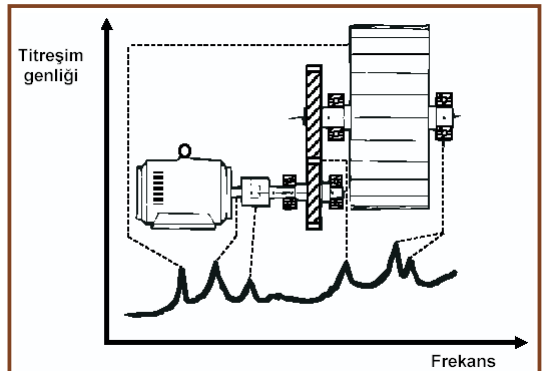
Deplasmanın bir yapının referanstan veya durağan pozisyonundan uzaklığı, hızı deplasman genliğinin zamana bağlı değişimi, ivmelenmeyi hızın zamana göre değişimi olarak, frekansı verilen olayın, bir birim zaman içindeki devrinin sayısı, fazı iki olayın arasındaki referans ya da başlangıç zamanına bağlı olan aralık, RPM'i Dönme devri, harmonikleri spektrumda mevcut



dönen bir rotor bulunduran sistem ve akuple sistemlerde olacak arızayı önceden tespit edebiliriz. İnsanların nasıl hastalanmadan gözleri kızırır, öksürük baş gösterir, ses tonunda değişimler olur aynı şekilde makinelerinde arıza yapmasından önce bize gönderdiği titreşimler de onları ele verirler.

Ölçüm alınacak noktaların makine veya sistem üzerinde kendi gövdesinden ve yataklara en yakın yerlerden alınmalıdır. Mobiliteyi dikkate alarak en iyi titreşim

üretici firma etiket bilgileri, çalışma bilgileri ve ortam şartları hakkında bilgileri alarak kaydetmemiz gereklidir. Grafiklerden de anlayabileceğimiz devir sayısını önceden bilmemiz olası bir mobilite hatasından kaynaklanacak pikleri incelerken yanlıya düşmemizi engeller. Ayrıca devir sayısı; bir nükleer reaktördeki kadar dış etmenin



(1. Bakım Teknolojileri Kongresi Bildiri Kitabı, TMMO Makina Mühendisleri Odası 2003)

Bakım Teknolojisi

herhangi bir tepeciğin tam sayı çarpanlarında tekrarlayan tepecikler olarak düşünebiliriz.

Şekilde gördüğümüz 1xRPM'deki pik rotorun devrini gösterirken 2. ve 3. harmoniklerinde bağlantı elemanlarının titreşim genliklerini, yüksek frekanslarda ise rulmanların kendilerini geniş karıncalanmalar şeklinde gösterdiğini basitçe görebiliriz.

GRAFİK İNCELEME

1) Senkronize tepecikler
NxRPM (tam sayı çarpanlarındaki harmonikler N tam sayı):

Bu tepecikler makinenin dönme devri frekansı ve katlarında oluşur. Oluşan bu harmoniklerin nedenleri ise;

- a) Düşük çarpanlar $N=1$ 8 katları arasında
- Balans, dengesizlik
 - Kasıntı
 - Eğik Şaft
 - Gevşeklik
 - Kanat Geçişi
 - Gidip gelen hareketler
- b) Yüksek Çarpanlar $N>8$
- Dişliler

- Kanat Geçişi (Kompresörler, türbinler, vs.)
- Motor Lama frekansı

2) Alt Senkronize tepecikler (dönme devri altı $N<1xRPM$)

Bu tepecikler dönme devrinin altında oluşur. Bu harmoniklerin nedenleri ise;

- Makinanın başka bir yerinden gelen titreşimler
- Başka bir makineden gelen titreşimler
- Kayış tahrikli makinelerin kayış problemleri
- Hidrolik düzensizlikten yağda kırılma
- Rotor ya da şaft rulman yatağında aşınma
- Bilyalı yataklarda kafes frekansı

3) Senkronize olmayan tepecikler $FxRPM$ ($F>1$ fakat tam sayı değildir). Bu tepecikler dönme devrinden yüksek frekanslarda kendini tekrarlarlar.

Dönme devri tam sayı çarpanlarında değildirler. Kendi aralarında harmoniktirler. Bu harmoniklerin nedenleri ise;

- Kayış frekansı katlarında görülebilir

- Bilyalı rulmanlardan kaynaklanabilir
- Sistem rezonansı olabilir
- Elektriksel kaynaklı olabilir
- Başka bir makinedeki elemandan gelebilir

Diğer olası sebepler ise;

- Zincir tahrikleri kaynaklı
- V-bağlantılar
- Santrifüj frenler ve bağlantılar
- Yağlama pompaları
- kompresör dalgalanmaları
- Vuruntu ve patlama
- Kayan yüzeyler

TİTREŞİM ANALİZİ İLE BULUNABİLECEK ARIZALAR

Balanssızlık

Balanssızlık ağırlık merkezi ile dönme merkezinin farklı olması sonucu ortaya çıkar. Balanssızlık sebepleri; hatalı montaj, yapışmalar, aşınma, kırılan ya da düşen parçalar olabilir.

Balanssızlık probleminin spektrum grafiğinde genel karakterleri şöyledir;

- Dalgaform grafiğinde 1xRPM dönüş devri frekansında saf sinüs eğrisi
- Periyodik, basit, vuruntu işareti olmayan dalgaform
- Balans genliğinin hız ile artması
- Düşük genlikli harmonikler
- Düşük eksenel titreşim genliği

* Eğer genelde dönme devri harmoniklerinde tepecikler alıyorsanız, balans dışında sebepler aranmalıdır.

Spektrum grafiğinde ölçüm sonucu incelemeye başlandığında ilk tespit edilecek balanssızlık peak'i dir. Bu peak spektrum grafiğinde dönüş devri frekansında çıkar. Peak'i tespit etmek için iki yol vardır; ilki spektrum grafiğinde genelde ilk ve en büyük genliğe sahip peak balanssızlık peak'i

Tablo 1. Titreşim Standartları (ISO 2372)

Titreşim Standartları ISO2372 (BS 4675 , VDI 2056)		
Grup K	Grup M	Grup G
İzin verilemez	İzin verilemez	İzin verilemez
Tolere edilebilir	Tolere edilebilir	Tolere edilebilir
İzin verilebilir	İyi	İyi
İyi	İyi	İyi

Hız mm/s RMS

45
28
18
11.2
7.1
4.5
2.8
1.8
1.12
1.71
0.45
0.28
0.18

8dB
2.5 x
10 x = 20dB

İyi Küçük Makinalar < 15 kW

İyi Orta boy makineler < 75kW < 300 kW özel temel üzerindeki için

İyi Büyük makineler doğal frekansı makinenin hızından daha yüksek olan ağır ve rijid temeller üzerine oturtulmalıdır

dir. Bunu tespit ettikten sonra bulunan frekans 60 ile çarpılarak makinenin dönüş devri kontrol edilir. Dönüş devrini tutması gerekir. İkinci yolda dönüş devrini bildiğimiz makinenin devir sayısı 60'a bölünerek balanssızlık frekansı bulunur ve grafikte bulunan frekans tespit edilir.

Yaklaşık olarak peak'in bu frekansı tutması gereklidir.

Bulunan balansızsızlık peakinin genliğinin ve karakteristiğinin takip edilmesi ile olası sorunlar hakkında yorum yapılır. Harmonik imleci balansızsızlık peakinin üstüne getirildiğinde dönüş devir frekansındaki diğer harmonikleri gösterir.

*Çok hasarlı rulman, manşonu gevşek rulman, balansızsızlık işareti verebilir.

*Makina Devrindeki küçük değişimler sonucu 1xRPM frekansında çok anormal değişimler oluyorsa sistemde REZONANS var demektir. Bu sorunu olduğu yerde kesinlikle yerinde balans işlemi yapılmamalıdır. Bu gibi durumlarda devir değiştirilerek işlem yapılır.



Şekil 3. Balansızsızlık Peak'i (1. Bakım Teknolojileri Kongresi Bildiri Kitabı, TMMOB Makina Mühendisleri Odası 2003)

Tablo 2. Balansızsızlık Peakinin Faz Ölçümüne Cevapları CSI Division-USA Eğitim Notları 1999

Titreşim Kaynağı	Baskın Titreşim Frekansı	Ölçüm Yönü	Faz İlişkisi	Genlik
Kütle Dengesizliği	1xRPM	Radyal	Aynı noktada yatay dikey arasında 90°	Sabit
Eğik Şaft	1xRPM	Eksenel	Yataklar arası fark 180°	Sabit
Ekzantirik Motor Rotoru	1xRPM	Radyal	Hareketli
Statik Balansızsızlık	1xRPM	Radyal	Radyalde iki yatakta aynı
Dinamik Balansızsızlık	1xRPM	Radyal	Eksenelde ve Radyalde 180°

Tablo 3. Titreşim Kaynağına Göre Ölçüm Yönü ve Faz İlişkisi CSI Division-USA Eğitim Notları 1999

Titreşim Kaynağı	Baskın Titreşim Frekansı	Ölçüm Yönü	Faz İlişkisi	Genlik
Paralel	1x,2x,3x RPM	Radyal	Radyalde 180°	Sabit
Açısal	1x,2x,3x RPM	Eksenel	Eksenelde 180°	Sabit
Her ikisi	1x,2x,3x RPM	Radyal ve/veya Eksenel	180°	Sabit
Kaymalı yataklar	1x,2x,3x RPM	Radyal ve/veya Eksenel	Eksenelde 180°
Bilyalı yataklar	1x,2x,3x RPM ve 30-60 bin RPM	Eksenel	Eksenelde 180°

Pratikte;

Yatay ölçüm 1xRPM değeri > 4 mm/
Dikey ölçüm 1xRPM değeri < 3 mm/s
ise balansızsızlık kabul edilebilir.
Eksenel ölçüm 1xRPM değeri düşük olabilecektir.

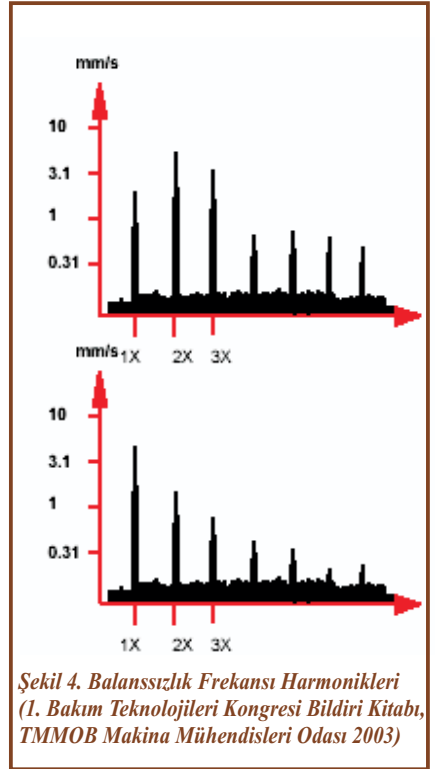
Eksenel Kaçıklık Kaplin Ayarsızlığı:
Birbirinden farklı üç tip eksenel kaçıklık mevcuttur;

- I. Ofset kaçıklık
- II. Açısal kaçıklık
- III. Rulmanda kaçıklık

Eksenel kaçıklığın spektrum grafiğinde genel karakterleri şöyledir;

Yüksek Eksenel Ölçüm Seviyeleri
1xRPM ya da 2xRPM de yüksek vibrasyon kaplin etrafında eksenelde ya da radyalde 180 derece faz farkı

Her dönüşte tekrar edilen periyodik dalgaformu bir, yada üç deve hörgücünü andıran belirgin tepcikler.



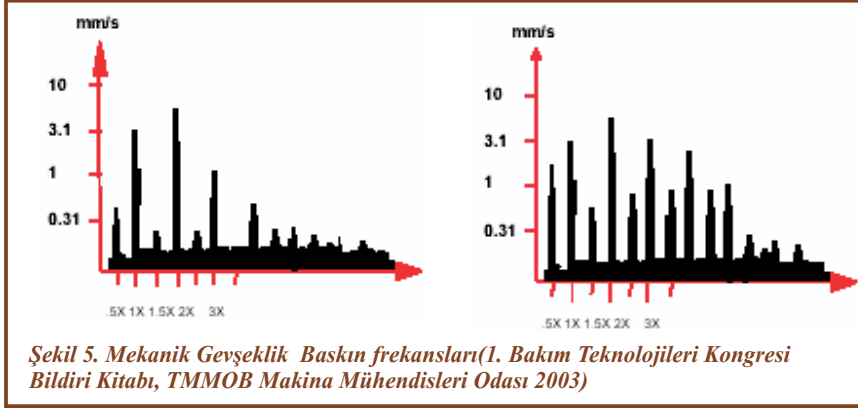
Şekil 4. Balansızsızlık Frekansı Harmonikleri (1. Bakım Teknolojileri Kongresi Bildiri Kitabı, TMMOB Makina Mühendisleri Odası 2003)

* Spektrum grafiği incelenirken 1xRPM balansızsızlık frekansına harmonik imlecini getirdiğimizde dönüş devrinin

bakım teknolojisi

Tablo 4. Dönüp Dönmemeye Göre Gevşeklik (CSI Division-USA Eğitim Notları 1999)

Titreşim Kaynağı	Baskın Titreşim Frekansı	Ölçüm Yönü	Genlik
Rulman yatakları gibi dönmeyen parçalar	3-10x RPM frekansında 1xRPM harmonikleri yarı harmoniklerinde düşük genlik	Radyal	Sabit
Impeller gibi dönen parçalar	Yarı harmonik 10x RPM kadar harmoniklerde düşük genlikte	Radyal	Sabit (Her çalıştırılıştta farklı genlik okunur)



Tablo 5. Rulman Hasar Tablosu (CSI Division-USA Eğitim Notları 1999)

Frekans	Hasar	Uyarı
1-8 x BPFI	İç bilezik	Harmonik tepecikler temel tepeciği geçebilir. Hasar genelde dönen ekipmandan gelen kuvvetlerden olur; rulman kötüleştikçe 1xRPM frekansı yan bandları gelişir.
1-8 x BPFO	Dış bilezik	Harmonik genlikleri temel tepeciği genelde geçer.
1-N x BSF	Bilya yada roller arızası kafes kırılması nedeni olabilir. (N=roller sayısı)	Genelde kafes hasarıdır. En güçlü çarpan kaç bilyanın hasarlı olduğunu verir.
FTF	Kafes arızası	Genelde başka hasarlı parçalarla birlikte olur. Belki farklı frekansa görülebilir.
1xRPM modülasyon	Gelişmiş hasarlar rulman geometrisindeki değişimdir.	Enerji merkezleri hasar frekanslarının etrafında olacaktır. Bu frekans gelişmiş aşınmayı da gösterir.
Toplam ve fark frekansları (yan banadlar) RPM, BPFI, BPFO, BSF, FTF	Çoklu hasarlı parçalar	Geniş hasar
1-6xTS	1- artan iç tolerans	Artan toleranslar diğer frekanslar üzerinde FTF modüle sinyal olarak görünür. Balans hassasiyeti ile ilgilidir.
	2- rulmanın shaft üzerinde dönmesi	Sıklıkla 3xRPM yada büyük çarpanda etkin tepecik
	3- rulman yatağında gevşeme	1xve 4x RPM' de baskın
	4- kasıntılı rulman	Frekans dönme devri çarpı bilya sayısına eşittir.
900-1600Hz bölgesi 3-4 tepecik ile 80-130 Hz bölgesinden ayrılır.	Düzensiz yağlanma	Genlikler 0,1-0,2 inc/san seviyesine doğal frekans nedeni ile gelişebilir. Yağlama hatalı ise yüksek trust yükleri altında olabilir.

harmoniklerini gösterecektir. Bu harmonikleri incelediğimizde eğer 1 x R P M , 2 x R P M , 3 x R P M harmonikerinin genlik değerleri birbirine yakın ve belirgin, diğerleri belirgin değilse sorunu tespit etmiş oluruz. Sorunun ne derecede olduğunu belirlemek için referanslara bakmak ya da trendi takip etmek gerekir

Mekanik Gevşeklik:

İki grup gevşeklik sorunu vardır; Yapısal Gevşeklik Çözülme; Temel yapı, Parçalı muhafaza, Rulman yuvası, Rulman desteklerinde, Dönen Elemanda Gevşeklik; Pompa kanatları, Fanlar, Rulmanlar, Kaplinlerde gözükabilir. Mekanik gevşeklik karakterleri;

Dönüş devrinin çok sayıda harmoniğinin bulunması yöne bağlı değildir. Yatay ve dikey genlikler farklılıklar gösterebilir.

Yarı harmonik (0,5,1, 1.5, 2, 2.5, 3, 3.5,.....) sinyaller olabilir düzensiz, periyodik olmayan dalgaform grafiği

Bilyalı Rulmanlar:

Bilyalı yatak arızaları en genel arıza tiplerindedir. Rulmanlar aşağıdaki karakteristikleri gösterir;

Senkron olmayan görünür harmonikler, Geniş band enerji yığılmaları,

Dalgaform grafiklerinde vuruntu sinyalleri,

Hasarlı rulman erken sinyalleri düşük genliktedir. Spektrum ve dalgaform grafikleri bize bilgi verecektir.

*Vibrasyon analizi ile rulmanlarda aşağıda belirtilen arızaları teşhis edebilirsiniz;

1. Bilya yatak yollarındaki hasarlar
2. Hareketli dönen elemanlardaki hasarlar
3. Kafes hasarları
4. Yataklama mekanik gevşeklikler

Rulman Analiz Parametreleri:

Aşağıda verilen parametreler 65xRPM frekans aralığında 400 line spektra

hassasiyetinde alınan spektrum da rulman arızası belirlenmesinde kullanılabilir.

SONUÇ VE DEĞERLENDİRME

Her bir hareketin hız ve ivmesinin birbirine bağımlı olmasından kaynaklanan ilgili kuvvet değişikliklerinin kaydı ile düzen altında yapılacak ölçümler ile döner tüm makinelerin arızalanmadan önce tespiti yapılarak; bu arızaların daha büyük arızalara yol açması, nükleer santrallerdeki gibi insan hayatının tehlikeye atılması ve düzelmesi uzun yıllar sürecek doğal dengenin bozulması, ilaç sektöründe dezenfektasyonda kullanılacak buhar gibi yüksek ısı gazların sürkulesinin 1 motor rulmanı kadar küçük bir sebepten arızalanıp ihmal edilmesi sonucu tehlikeye atılacak insan hayatları vb. sebeplerden doğacak kayıplar bu yöntemle oluşmadan önlenir. Bakımın arızalanma olaylarından önce yapılması işletmeleri büyük kayıplardan koruyabileceği gibi çeşitli durum ve koşullarda insan hayatı için de kritiktir.



Dünya'da uygun mobilitenin sağlanıp yapıldığı ölçüm ve değerlendirmeler bu sebeple olay anında bakım ve periyodik bakım yöntemlerinin yerini almaktadır.

KAYNAKÇA

1. CSI Division-USA Eğitim Notları 1999
2. Crawford, Arthur R., The Simplified Handbook of Vibration Analysis, Vol1 & 2, 1992 CSI Computational Systems Inc.
3. Topaz Makina Ltd.Şti. Eğitim Notları 2001
4. GBM Makina Ltd.Şti. Eğitim Notları 2001
5. P.K. Raju and Chetan S. Sankar, Introduction to Engineering Through Case Studies, Tavenner Publishers, 2003, 3rd Edition
6. F. Benvenuto, L. Ferrari, A New Approach in Maintenance of Nuclear Power Plants-International symposium on nuclear Energy Sien 2005
7. Köse, R.Kubilay, Kestirimci Bakım, 1. Bakım Teknolojileri Kongresi Bildiri Kitabı, Yayın No: E/2003/334 TMMOB Makina Mühendisleri Odası 2003
8. Köse, R. Kubilay, Kestirimci Bakım-2 2. Bakım Teknolojileri Kongresi Bildiri Kitabı, Yayın No: E/2005/370 TMMOB Makina Mühendisleri Odası 2005

Tablo 6. Rulman Analiz Parametreleri (CSI Division-USA Eğitim Notları 1999)

	Band Tanımı	Frekans Aralığı
1.	Altharmonik ve 1xTS	0,0 -1,5 x TS
2.	2 xTS	1,5xTS – 2,5xTS
3.	3xTS – 8xTS	2,5xTS – 8,5xTS
4.	1. rulman bandı	8,5xTS – 35,5xTS
5.	2. rulman bandı	35,5xTS – 65xTS
6.	Yüksek frekans bandı	1 kHz – 20 kHz