

MAKİNA ARIZALARININ BELİRLENMESİNDE TİTREŞİM ANALİZİ

R.Kubilay KÖSE *

Döner makinaların sağlığı ile ilgili en ayrıntılı bilgi, yataklar üzerinden alınan titreşim (vibrasyon) ölçümlerinin analizi ile edinilir. Her arıza, fiziksel özelliklerine göre farklı frekanslarda kendini göstermektedir.

Titreşimin, bir rakamla nitelenmesi, bir orkestra müziğinin 85 dB-A gibi bir değerle tanımlanması gibidir. Bu değer müziğin notaları yerine, ses şiddetinin alçak ya da yüksek ayırımı yapılmasını sağlar. Bu şekilde rakamla verinin sürekli izlemesi ile, bir artış olduğunda uyarı alınması sağlanır. Ancak yükselme nedeninin, bu örnekte hangi müzik aletince üretilen hangi notadan kaynaklandığı, yaylı sazlardan kemandan mı yoksa sesli sazlardan flütten mi geldiği bilgisini vermez. Titreşim Analizi bunun ayırt edilmesini, vibrasyonun rulman arızasından mı, kaplin ayasızlığından mı, dişli sorunundan mı yoksa balanssızlıktan mı kaynaklandığının ayırt edilmesini sağlar.

Anahtar sözcükler : Titreşim analizi, makina arıza kaynaklarının belirlenmesi

In industry today, vibration signature is the best technology, which contains the most information about on machine health. A good assessment of machine health allows to predict which part is most likely to fail, and give information approximately how long it can be continue to operate before fault conditions to occur. This way the maintenance actions can be scheduled, shutdowns can be minimized and damage that results from catastrophic failures can be avoided. Once the vibration data is collected, a comparison is made between the fault frequencies and their harmonics and the actual frequencies that dominate the vibration signature. This article discusses vibration transducers, instrumentation and basic analysis techniques in both time and frequency domains.

Keywords : Industrial vibration analysis

* TOPAZ Müş. Müm. ve Tic Ltd.Şti.

GİRİŞ

Bir kerede, makina titreşimi ölçüm analizi ile, arıza kaynağı konusunda kararlı sonuca gidilmesi için deneyim ve bilgi birikimine gerek vardır. Makinanın dizaynından gelen, imalatından gelen, montajından gelen olası kronik sorunları, arıza kaynağını belirlemeyi zorlaştırır. Bu nedenle, endüstride, analizler bir kerede ölçüm yerine, belirli aralıklarda (günde bir - haftada bir gibi) alınan grafiklerin karşılaştırılması şeklinde uygulanmaktadır. Makina arızalarının belirlenmesinde, karşılaştırma yaklaşımı kurulmaktadır. Grafiklerdeki değişim, arıza frekanslarında oluşmakta, karakteristik işaretler ile arıza nedeni ile oluşan sinyaller, birbirinden karşılaştırma ile ayrılabilir. Karşılaştırma, Trend, FFT Spektrum ve Dalgaformu Grafikleri kullanılarak yapılır.

Makina başlangıcında sakat olabilir. Ancak sakat çalışması amacı karşılıyordur. Titreşim Analizi yapan, o makinadaki hangi soruna kendini odaklamalıdır. Arızaya mı odaklanılacaktır yoksa temel dinamik sorunlar mı belirlenecektir. İşletme, hemen arızanın belirlenip giderilmesi ile bir an önce üretime mi geçmek istemektedir, yoksa sık sık çıkan arızanın kökünden çözümünü için üretimi durdurup sonucu mu beklemelidir.

Tercih işletmenin dinamik analizlere itibar etmesi ve bunun için harcama bütçesine sahip olması ile, ne olursa olsun üretimi zamanında yetiştirme kaygısı arasında yapılır. Hangi yöne gidileceği optimizasyonu, bunu ortaya koymaya yönelik veri eksikliği nedeni ile yeterince yapılamamaktadır. Karar verilmesi gereken; kronik bir sorunla periyodik olarak boğuşup yıl boyunca, örnek olarak iki ayda bir iki gün duruş mu daha ekonomiktir, yoksa bir kere beş gün uğraşıp, aynı sorunla iki yılda bir mi karşılaşmak daha ekonomiktir, arasındadır.

Tabidir ki, tercihte bulunmak için öncelikle Titreşim Analizi ile bunun yapılabileceğinin bilinmesi gerekmektedir. Ancak üniversite Makina Mühendisliği Bölümlerinde konunun yeterince işlenmemesi, kimi üniversitelerde hiç işlenmemiş olması, karar verecek yetkililerin konudan uzak durmasına neden olmaktadır.

Titreşim Analizi, sürekli teknik analiz yapılması gereken bir kültürdür.

Hiçbir işaretin birebir bir anlam ifade ettiği söylenemez. Verilerin birbirine etkileşimi, neden sonuç ilişkisi ile analiz edilmesi gerekmektedir.

Bu iki yaklaşımı, hangi kariyerdeki çalışanlar kuracaktır. Çok konuda az şey bilen mi, az konuda çok şey bilen mi? Bakım mühendisleri çok konuda bilgili olmalıdır. Aksi takdirde bu görevi yürütemezler.

Periyodik ölçümlerle alınan grafiklerin karşılaştırılarak analizi, arıza nedeni ile artış gösteren frekansların ayırt edilmesini sağlar. Bu yaklaşım, Bakım Mühendisinin ihtiyacını karşılayacak niteliktedir. İş bu nedenlerle, endüstride titreşim analizi, KESTİRİMCİ BAKIM sistemi içinde kurulan, eğilim izleme metotları ile kolaylaştırılmıştır.

Ancak yönetici olarak görev yapan tecrübeli kadro, vibrasyon analizi için sabır gösterememekte ve hemen sonuç istemektedir. Bu da konunun yeterince analiz edilmeden acele edildiği için hatalı sonuç bildirimine neden olmaktadır. Öncelikle üst kadrolar yeterli zamanı analizleri yapanlara vermeli, onları boş boş oturan, boş zaman harcayan elemanlar olarak görmemelidir. Çoğunlukla, bir arıza durumunda, analizi yapacak olanlar farklı işlerin yapılması için görevlendirilmektedirler. Bu yaklaşım, analiz yapmak için süre kalmamasına, ve yakın zamanda işletmenin başka bir yerinde arıza çıkması neticesi yeni bir duruşla karşı karşıya kalınmasına neden olmaktadır.

Kendi elemanına yeterince imkan tanımadığı için, istediği sonucu alamayan yönetici, elemanlarının bu işi yapamadığına kanaat getirerek, dışarıdan hizmet alımları ile bir yerlere erişmeyi hedefleyebilmektedir. Bu tür uygulama da, genelde bekleneni vermeyerek hüsrarla sonuçlanmakta ve vibrasyon analizlerinden vazgeçilme aşamasına gelmektedir.

Sağlıklı makinaların bulunduğu işletmelerde, kaliteli ürünler zamanında üretilir. Duruş süreleri kısaltılarak, üretim kapasitesi artırılır. Gereksiz parça, enerji ve işçilik harcamasının önüne geçilir.

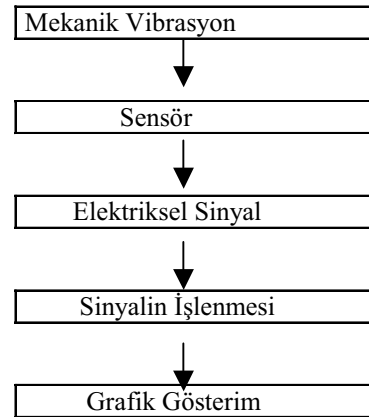
Titreşim (Vibrasyon) ölçüm ve analizini sevmeli ve ona gereken önemi vermeliyiz. Olması gerekenden fazla titreşen makina, bunu ancak motorundan aldığı enerji ile yapar. Demek ki, enerjinin bir miktarı makinanın titreşmesi için harcanmaktadır. Titreşimi azaltmak, enerji tasarrufu yapılmasını sağlayacaktır. Ülkemizin kıt kaynaklarının israfının önüne geçmek hedefidir. Titreşim (Vibrasyon) Analizi her işletmede uygulanması zorunlu bir teknolojidir.



Şekil 1. Veri Toplama Cihazı ile Ölçüm

TİTREŞİM ÖLÇÜM ANALİZİNDE KULLANILAN DONANIM

Titreşimi elektriksel sinyale çeviren bir sensör, bu sinyali algılayacak sinyal işleme özelliğine sahip bir cihaz gereklidir. Analiz için, cihaz üzerinde FFT Hızlı Fourier Çevirim özelliği bulunmalıdır.



Şekil 2. Sinyal Çevrim Akışı

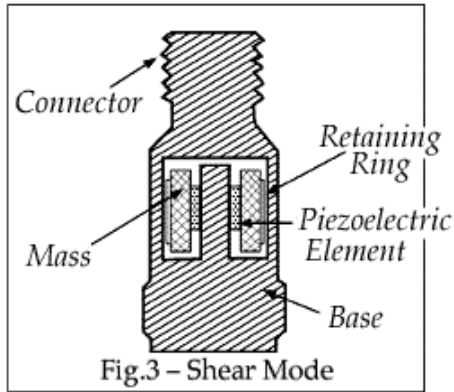
Titreşim Sensörleri

Proximity Tipi

Proximity ucu mili görecekte şekilde, sabitlenerek monte edilir. Ucundaki manyetik alan değişimleri, milin yaptığı hareket bilgisini verir. Türbin gibi Kritik, Kaymalı yataklı makinalarda sürekli izleme ve arıza nedeni ile yüksek hareket oluşturduğunda durdurulması için kullanılır. Deplasman birimi ile ölçüm alır [mikron-mils].

Sismik Hız Sensörleri

Hız birimli ölçüm alınır [mm/san - inch/san]. Ölçüm, sensör içinde yay ve damper ile modellenmiş mıknatıs kütlelerin, dokundurulduğu yerdeki titreşime bağlı olarak oluşturduğu göreceli hareketin hızının ölçümü ile yapılır. Mıknatıs etrafındaki sarım, akım cinsinden hareketliliği elektriksel sinyale dönüştürür.



Şekil 3. Kesme Modu Tipi Akselerometre. Günümüzün En Gelişmiş Akselerometre Tipidir.



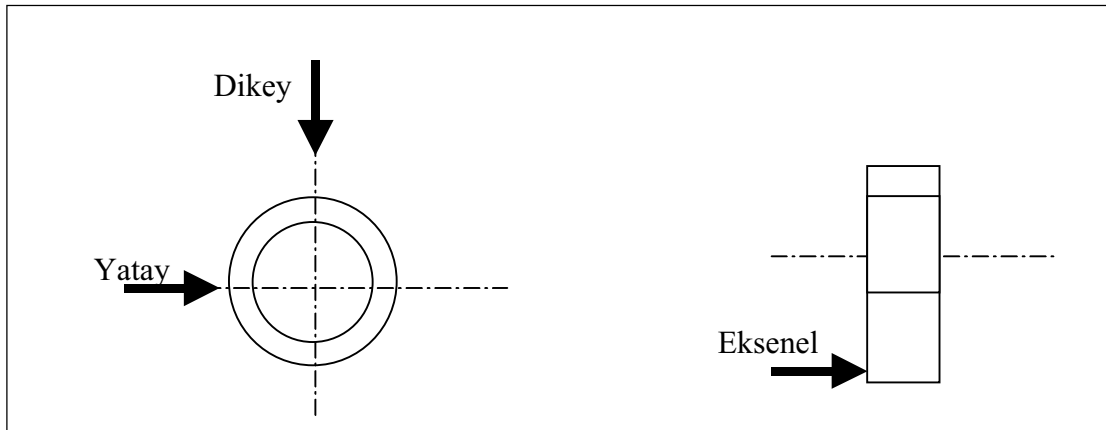
Şekil 4. Akselerometre Örneği

Akselerometreler

İvme birimli ölçüm alınır [g's]. Günümüzün en gelişmiş ve yaygın kullanılan titreşim ölçme sensörüdür. Titreşim hareketinin ivmesi elektrik sinyaline dönüştürülür. Patenti PCB firmasına ait ICP (Integrated Circuit Piezotronics) metodu ile Voltaj çıkışı verebilmesi, kablo hareketinden oluşabilecek Tribo Elektrikten etkilenmemesini sağlar. Sensör içindeki piezo kristalin kesme kuvveti sonucu oluşturduğu tepki izlenerek titreşim modellenir. Sensör içinde hareketli parça yoktur.

Ölçüm Yönü

Makina arızalarının periyodik izlenmesinde, rulman yataklarından ölçüm alınır. Rulmanın gömülü olduğu konumlarda, erişilebilecek rulmanın monte edildiği en yakın elemana sensör dokundurulur.



Şekil 5. Titreşim Ölçüm Yönleri

Detay analizlerde, çalışan makinanın dönmeyen her yerine sensör dokundurularak, örnek olarak, Zeminden, montaj noktalarından, bağlantı borularından , gövdeden, davlunbazdan v.b. ölçümler alınabilir.

Periyodik izleme ölçümleri

Radyal Ölçümler

Mile Dik Yatay

Mile Dik Dikey

Eksenel Ölçümler

Mile paralel yapılıdır.

Radyal ölçümler, milin merkezini görecektir şekilde alınmalıdır. Milin merkezini görmeyen ölçümler teğetsel ölçümler olacaktır.

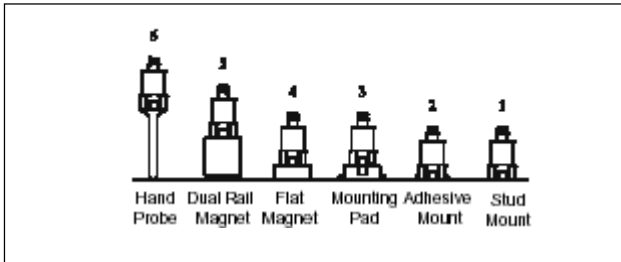
Sensör Dokundurma Yöntemleri

Saplama ile Montaj:

Sürekli izleme sistemlerinde kullanılır. Frekans aralığı en yüksek metottur. Sensör bir saplama ile ölçüm yüzeyine sabitlenir.

Yapıştırarak Montaj:

Sürekli izleme sistemlerinde kullanılır. Yapıştırıcı ile ölçüm noktasına yapıştırılır.



Şekil 6. Sensör Dokundurma Yöntemleri

Önceden Monte Edilmiş Bir Diske Montaj:

Sürekli izleme ya da periyodik ölçümlerde kullanılır. Makina yüzeyine saplama yuvası açılmayan ya da açılması uygun olmayan ortamlarda kullanılır. Ölçüm noktalarına, üzerinde sensörün monte edileceği saplama yuvası hazır bir disk önceden yapıştırılır. Sensör saplama ile bu diske tutturularak ölçüm alınır.

Mıknatıs ile Tuturma

Periyodik ölçümlerde kullanılır. Sensör ucuna bir mıknatıs sabitlenir. Sensör mıknatıs ile ölçüm noktasına tutturulur.

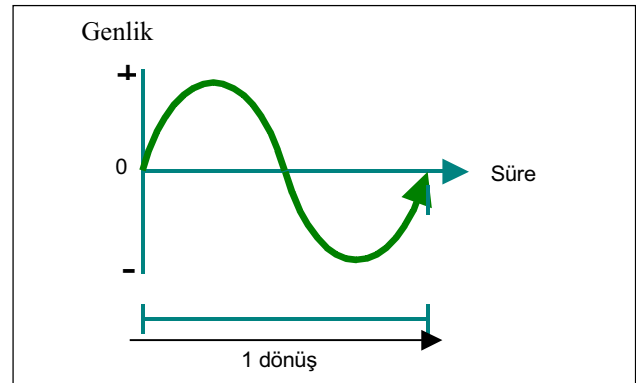
El ile Dokundurma:

Sensör el ile ölçüm noktasına dokundurulur. Uygulamada, sensör ucuna 5 cm uzatma çubuğu takılı olabilir. Kimi zaman bu çubuğun boyunun 30 cm'e kadar uzatıldığı görülür. Nedeni, erişilemeyen yerlere uzaktan dokunarak ölçüm almaktır. Frekans ölçüm aralığı duyarlılığı bu metotta azalır.

TİTREŞİM GRAFİKLERİ

Titreşim Grafik Birimleri

Arızalar, Periyodik (kendini tekrar eden) işaretleri oluşturur. Bu periyodik sinyaller kendi içinde harmoniklerine ayrılarak detaylandırılır. Harmonik sinyali bir sinus eğrisi şeklinde yalınlaştırabiliriz. Bu eğriden edinilecek bilgi hareketin periyodu ve genliği olacaktır.



Şekil 7. Periyodu Bir Dönüş Olan Hareket

Frekans

T, Periyot; bir hareketin ne kadar sürede tamamladığıdır.

f, Frekans; bir zaman diliminde (saniye ya da dakika) hareketin tekrarlama sayısıdır.

Frekans $f = 1 / T$ Formülü ile hareketin frekansı belirlenir.

Teknik olarak frekans birimi [Hz] = 1/saniye

olmasına rağmen, Makina arızaları analizinde birimin [CPM] = 1/dakika olarak kullanımı tercih edilmektedir. Bunun nedeni, makina dönüş hızlarının [RPM] devir/dakika, olarak anılmasıdır. Frekans birimi olarak "CPM" kullanımı, makina devrinin bilinmesi ile arıza nedenine daha hızlı erişim sağlamaktadır.

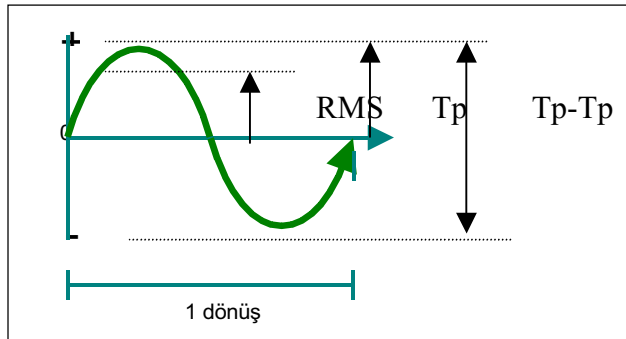
Arızaya neden sorun, makina devri frekansının harmoniklerinde kendini göstermektedir. Bu fiziksel bilgi, titreşim analizi ile Arızalarının belirlenmesine temel olmaktadır..

Genlik Tipi

Harmonik sinyali oluşturan sinüs eğrisinin dikey eksen, sinyalin genliğini ifade eder.

- Tepe değeri : $0 - T_p$
- Tepeden Tepeye değeri: $-T_p + T_p$
- RMS değeri: Efektif T_p (RMS=kareköklerinin ortalaması)

Rakama dönüştürülen titreşim değeri birimi yanında, kesinlikle genlik tipi belirtilmelidir.



Şekil 8. Genlik Ölçüm Tipleri

Saf Sinüs Eğrisinde Tepe değeri ile RMS arasındaki ilişki $T_p = 0.707 \text{ RMS}$ 'dir.

Deplasman birimli ölçümlerde "tepeden tepeye"

Hız birimli ölçümlerde "tepe"

İvme birimli ölçümlerde "RMS", tipi genelde seçilmektedir.

Genlik Birimi

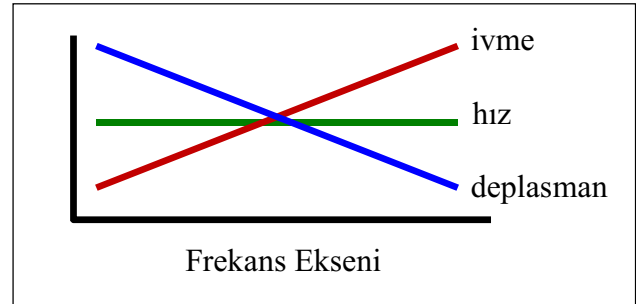
Titreşim değeri üç birimle değerlendirilir.

Titreşimin deplasmanı.....[mikron]

Titreşimin hızı..... [mm/san]

Titreşimin ivmesi..... [g's]

Arızalarının belirlenmesinde, önerilen genlik birimi "hız"dır. Hız birimli ölçümler hem düşük frekanslarda oluşan hem de yüksek frekanslarda oluşan sinyalleri optimum görüntüler.



Şekil 9. Frekans Eksenine Göre Birim Hassasiyeti

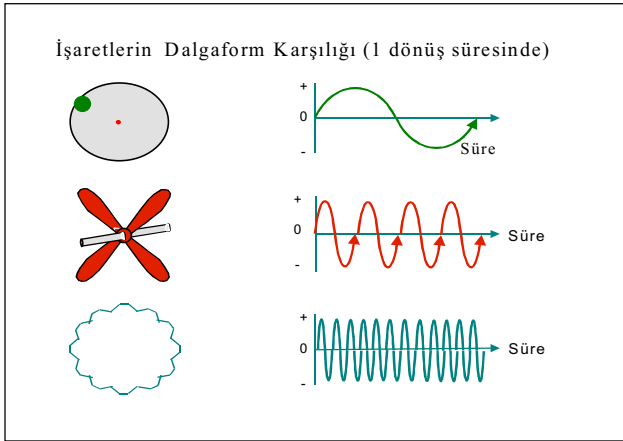
Titreşim Dalgaformu

Dalgaformu grafiği, analiz cihazı üzerinde set edilen frekans aralığındaki toplam titreşimin zaman eksenindeki değişimini görüntüler. Yatay eksen zamandır. Birim saniyedir. Dikey eksen genliktir.

Arıza kendi kendine düzelmeyeceğinden sürekli milin her dönüşünde kendini tekrarlar. Bu nedenle her periyottaki desen birbirini andırmalıdır. Eğer bir tekrarlılık yok ise titreşime neden kaynak, makina dönüş devrinden çok, prosesten ya da çevredeki başka makinalardan gelebilir.

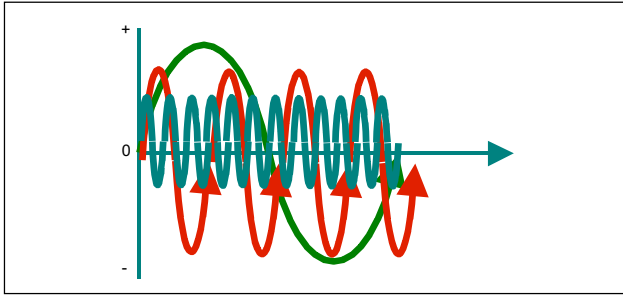
Bir mil üzerinde ayrı ayrı üç sorun olduğunu varsayalım. (Şekil 10.)

- Diske yapışmış bir parça
 - Milde dört kanat
 - Aynı mil üzerinde 12 dişi olan bir dişli çark
- Her bir duruma ayrı ayrı bakıldığında;
- Diske yapışan parça balanssızlık üretecektir. Alınan ölçümde milin bir dönüşünde bir vuruntu olacaktır.
 - Kanatlardan gelen sorun ise, milin bir tur attığında dört vuruntu verecektir.
 - Dişli ise, bir turda on iki vuruntu üretecektir.
- Ancak ölçüm alınan noktaya, aynı mil üzerindeki sorunlar toplanarak birlikte yansır.

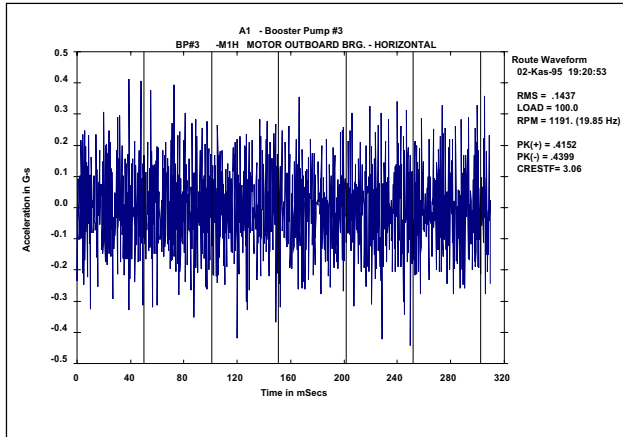


Şekil 10. Üç Fiziksel Olayın Dalgaformu

Gerçek hayattan alınan ölçüm, bu harmonik sinyallerin toplamı, Periyodik sinyal olacaktır.



Şekil 11. Dalgaformların Tek Grafikte Toplanması



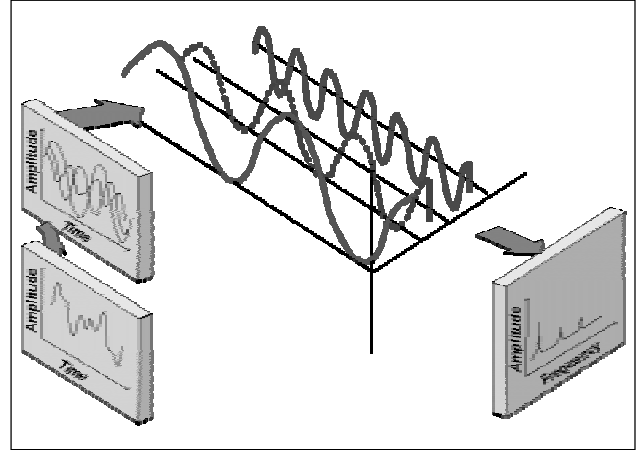
Şekil 12. Makinadan Ölçülen Örnek Dalgaformu

FFT Spektrum Grafiği

Önceki maddelerde, frekans eksenli grafik olarak tanımlanan grafiklerdir.

Bir Periyodik fonksiyonu oluşturan harmonik fonksiyonları ayırım metoduna FFT, Hızlı Fourier Çevirimi denir.

Fourier Serisi; periyodik bir sinyali meydana getiren, basit harmonik sinyallerin oluşturduğu seridir. [1] Bu çevirim sonucu belirlenen harmonik sinyallerin, Frekans ekseninde dizildiği grafik FFT Spektrum grafiği olarak anılır.



Şekil 13. Karmaşık Dalgaformunun FFT ile Harmoniklerine Ayırıp, Çıkan Bilginin Frekans Ekseninde Dizilişinin 3 Boyutlu Görüntüsü

TEMEL MEKANİK ARIZALAR

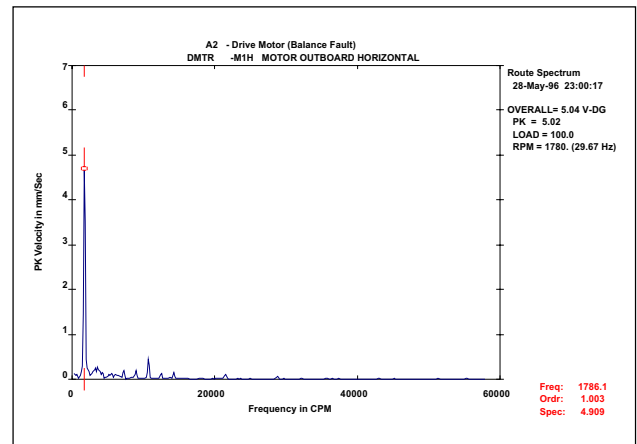
Balanssızlık

Spektrumda:

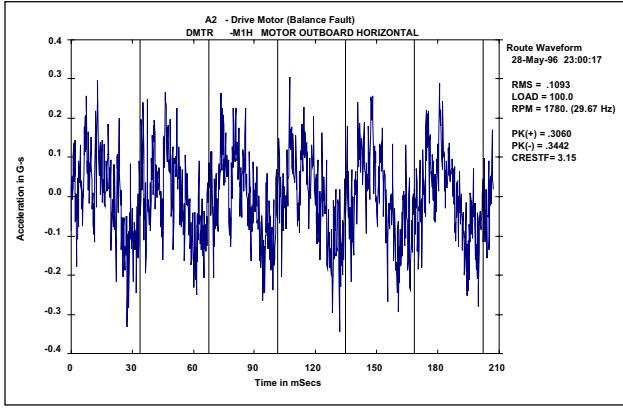
Radyal alınan ölçümlerde, 1xRPM frekansında baskın, sabit değişmeyen, kökünde şişme olmayan tepelik.

Dalgaformunda:

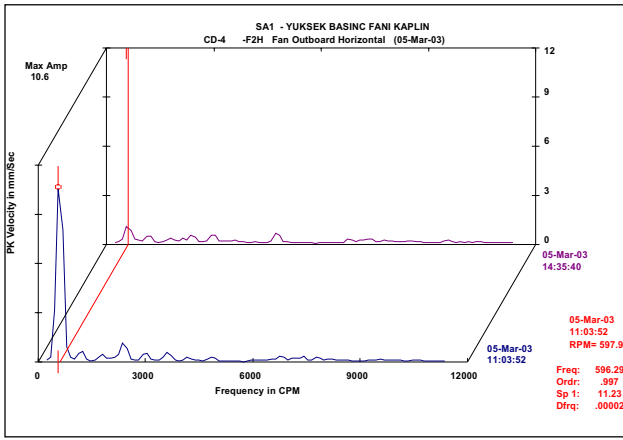
1xRPM periyodunda sinüs deseni. Genelde başka arızaların türevi olarak ortaya çıkar.



Şekil 14. Balanssızlığa Örnek Spektrum



Şekil 15. Balanssızlığa Örnek Dalgaformu



Şekil 16. Fanda 1xRPM Frekansındaki Tepeciğin, Yerinde Balans ile Düşürüldüğü Bir Örnek

Kaplin Ayarsızlığı

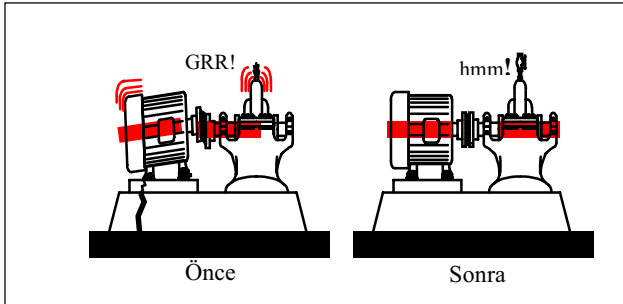
Eksen kaçıklığı, kasıntı adları ile de anılmaktadır.

Spektrumda:

Radyal alınan ölçümlerde, 1x 2x 3x RPM frekansında tepecikler. 2x ya da 3x RPM frekansındaki tepecik, 1xRPM frekansı tepeciğın yarısını geçmelidir.

Dalgaformunda:

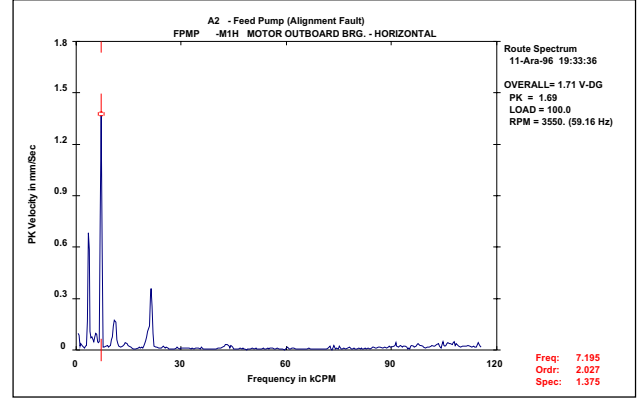
1xRPM periyodunda deve hörgücü deseni



Şekil 17. Kaplin Ayarı Öcesi ve Sonrası Makina Simulasyonu

Kaplin ayarsızlığı bir aksenal kaçıklık sorunudur. Milden mile tutturulacak Lazerli ayar cihazları ile giderilir.

Hatalı rulman montajı, eğik shaft, yalpalı montaj, milde çatlak, makina üzerindeki gerilmeler, topal ayak gibi sorunlar benzer işaretleri verir.



Şekil 18. Spektrumda Kaçıklık İşareti

Mekanik Çözümle

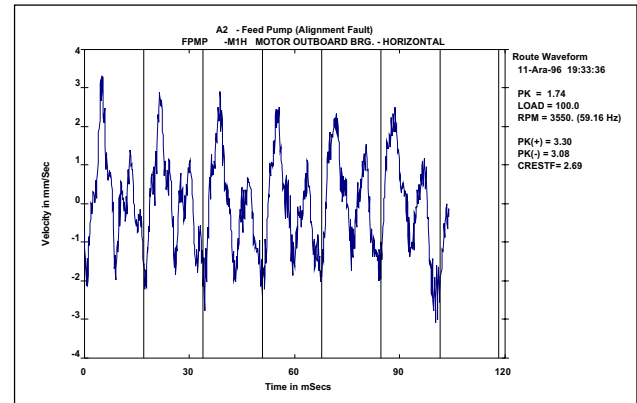
Spektrumda

Yapı bağlantılarında çözümler/gevşemeler; dönüş devri katlarında 8xRPM frekansına kadar harmonikler üretir.

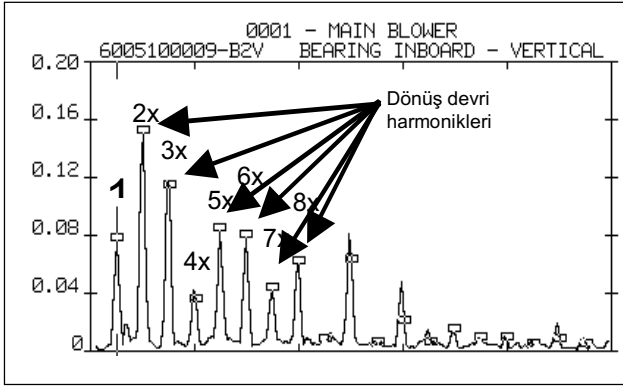
Dönen kısımdaki çözümler; 0.5xRPM harmoniklerinde göreceli olarak düşük tepecikler oluşturur.

Rulman iç bilezik dönmesi buna bir örnektir. Kendini 0.5xRPM frekansında gösterir.

Her durdur kaldırda farklı genlik alınır.



Şekil 19. Dalgaformunda Kıçıklık İşareti



Şekil 20. Mekanik Çözölmeye Örne Bir Makinadan Alınan Spektrum Grafiği

Dişli Arızaları

Spektrumda:

$GMF = \text{Diş Sayısı} \times \text{RPM} = \text{Dişli Kavrama frekansında tepecikler görülür.}$

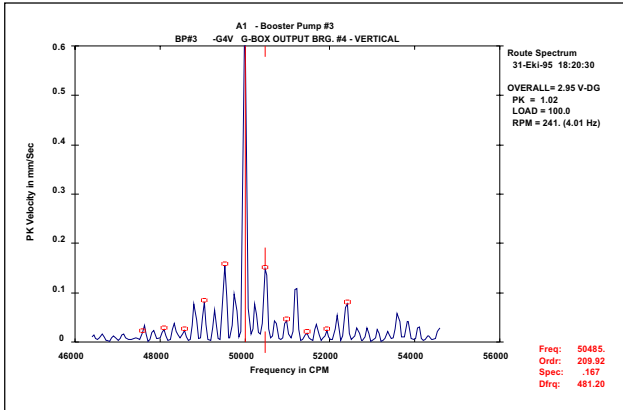
GMF Harmoniklerinin olması, hatalı dişli ayarını,

GMF etrafında yan bantların olması kırık dişten kaynaklanabilecek sorunu gösterir.

Dalgaformunda:

Genlik modölyasyonu görülür.

Dişli gruplarında, hangi dişli çark üzerinde kırık var ise, o çarkın dönüş devri frekansı, GMF frekansının etrafında yan bant olarak görünür.



Şekil 21. Dişli Sinyali Bulunan Bir Spektrum Örneği

Rulman Arızaları

Spektrumda:

Kendi içinde harmonik ailesi bulunan, ancak dönüş devri katlarında oluşmayan tepecikler, ve/ya da spektrum zemininde kabarma şeklinde görülür. Erken sinyaller yüksek frekanslarda oluşur. Önlem alınmaz ise

dağılmadan önce Balanssızlık gibi görülebilir. Dönüş devri frekansının 70 katına kadar frekans aralığı spektrumda yer almalıdır.

Stress dalgası spektrum analizi ile detaylandırılır.

Dalgaformunda:

Mekanik çözölmeye gibi düzensiz yığıntılı vuruntular verir. İvme birimli dalgaformunda genliğin 2 g's sınırını aşması sorun işareti olarak algılanır. Melek Balığı deseni, rulman bileziklerinde çatlak olduğunu gösterir.

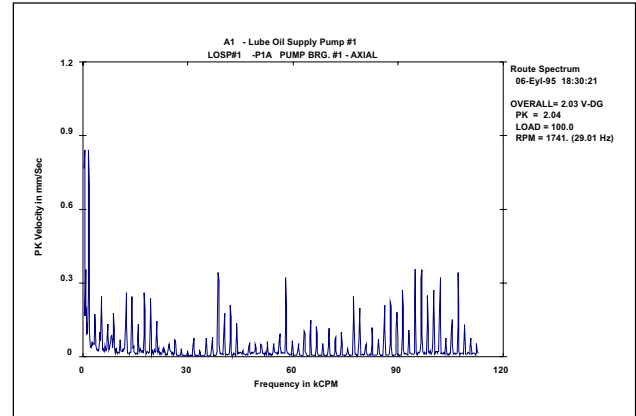
Rulmanlar çok elemanlı olduğu için birden fazla arıza frekansı setine sahiptir. Bilgi bulunmayan dış bilezik sabit iç bilezik dönen rulmanlarla ilgili aşağıdaki formüller arıza frekansları ile ilgili yaklaşık bilgi verecektir.

FTF : Kafes arıza frekansı = $0.4 \times \text{RPM}$

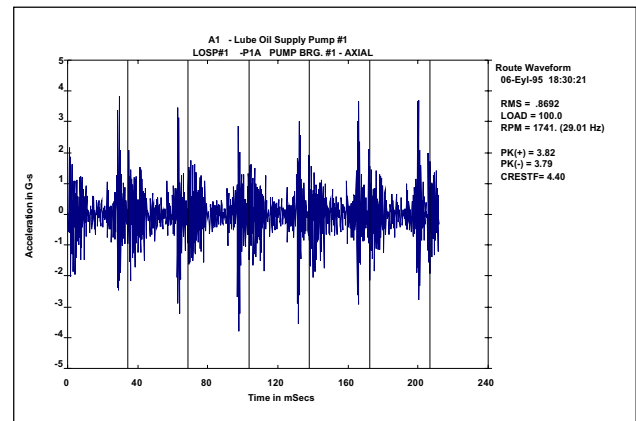
BPFO : Dış bilezik arıza frekansı = $0.4 \times N \times \text{RPM}$

BPFI : İç bilezik arıza frekansı = $0.6 \times N \times \text{RPM}$

N = Bilya / Masura sayısı



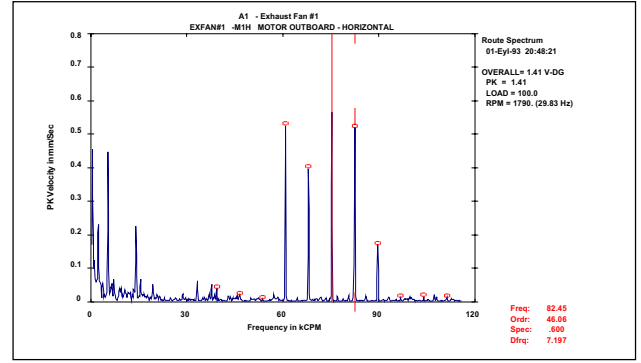
Şekil 22. Rulman Arızasına Örne Spektrum



Şekil 23. Şekil 22'deki Spektrumun Dalgaformu



Şekil 24. Rulman Dış Bilezik Fatik Arızası Örneği



Şekil 27. AC Motor Kısa Devre Çubukları Arızası Spektrum Örneği



Şekil 25. Dış Bilezikte Nemden Kaynaklanan Korozyon Örneği



Şekil 26. Elektrik Akımı Geçişinden Kaynaklanan Fluting Arıza Örneği

Kaymalı Yatak Arızaları

Spektrumda,

Gidip gelen $0.42 \times \text{RPM}$ $0.46 \times \text{RPM}$ frekansında tepelik, yağ filmi ile ilgili bir sorunun olduğunu gösterir.

Kayış Arızaları

Spektrumda:

KF Kayış frekansının ikinci çarpanında görünen tepelik, hasarlı kayış olduğunu gösterir.

$$\text{KF} = \frac{3.14 \times \text{Kasnak Devri RPM} \times \text{Kasnak Çapı}}{\text{Kayış Uzunluğu}}$$

AC Motor Arızaları

Spektrumda:

Mekanik nedenli tepeliklere ek, $2 \times \text{Hat Frekansında}$ keskin tepelik oluşur.

Canlı izlemede, ölçüm anında elektrik kesilince birden yok olur. Mekanik sinyaller ise yavaş yavaş makinanın duruşuna bağlı azalır.

Kısa devre çubuklarında olabilecek sorunlar, $\{\text{Kısa devre Çubuk Sayısı} \times \text{RPM frekansı}\}$ nda, $2 \times \text{HF}$ yanbandı ile görülür.

HF: Hat frekansı (Normalde 50 Hz = 3,000 CPM)

SONUÇ:

Çağımızda Titreşim Analizi her işletmede uygulanması gereken bir kültürdür. Ancak endüstriyel uygulamalar, mühendislik derslerine henüz uygulama yönü ile yansımadağı için ülkemizde yeterince popüler olamamıştır.

Kestirimci Bakım içinde, makina sağlığını izlemeye yönelik olarak kullanılan cihazlar ile titreşim analizi uygulamaları çok limitli kalmaktadır. Cihazlardan istenilen tam verimler, mühendislik kadrolarının yeterince ilgi göstermemesi nedeni ile, alınamamaktadır. Bir an önce bu ilgi gösterilmeye başlanmalı, üniversiteler çok teorik yaklaşımları bir yana bırakıp, endüstrinin ihtiyacını karşılayacak düzeyde popüler titreşim analizi bilgisini yaymalıdır. Bu suret ile ülkemizin sınırlı kaynakları israf edilmeden değerlendirilebilecektir.

KAYNAKÇA

1. TMMOB Yayın no:169 Makina Mühendisliği El Kitabı, Cilt 1, Bölüm 6, 1994
2. Crawford, Arthur R., The Simplified Handbook of Vibration Analysis, Vol 1 & 2, 1992 CSI Computational Systems Inc.
3. Wovk, Victor, Machinery Vibration, Measurement and Analysis, 1991 McGraw Hill ISBN 0-07-071936-5
4. Emerson Process Management / CSI Division-USA , Çeşitli Teknik Dökümanları
5. PCB Piezotronics-USA, Çeşitli Teknik Dökümanları
6. TOPAZ Ltd Şti Çeşitli Teknik Dökümanları
7. FAG Rolling Bearing Damage, Publ.No.WL 82 102/2 ED