

REZONANS - KRİTİK HIZ MAKİNA ARIZALARININ TEMEL SORUNU

R.Kubilay KÖSE *

Ülkemizde dizayn, imalat ve montaj aşamasında rezonans frekansı belirleme ve ölçme çalışmaları yapılmadığından, bakım mühendisleri sürekli bu hataları düzeltmeye çalışırlar. Yapılan düzeltmelerin çoğunluğu deneme yanılma ile edinilen bilgi birikimi şeklindedir. Bu tıpkı, depremde yıkılan binalardaki hatalar gibidir. İşin garibi, nasıl çözüm bulunabileceği hakkında bilgi olmadığından, durum kanıksanır ve o arıza sürekli kendini tekrarlayarak devam eder. Yapılacak ilk iş, yeni alınan makinelerin rezonans frekanslarının ne olduğunun satıcı tarafından belgeli olarak istenmesi olabilir. Talep oluşmadan arz oluşmamakta, makina imalatçıların rezonans belirleme yatırım harcamalarına girmemektedirler. Montaj sonrası makina test edilir, belirtilen değerler karşılaştırılır, uygun ise ondan sonra kabulü yapılır. Bu kültürün Türkiye’de yerleşmesi, makina imalatlarındaki kalitenin artmasını sağlayacak, ayrıca yurt dışından gelen hatalı makinelerin iadesine olanak verecektir.

Anahtar sözcükler : Rezonans, kritik hız, doğal frekans, vuruş testi, bode grafikleri, kademeli izge

Resonance is the condition where the forcing function frequency coincides with a system's resonant frequency; which a system will amplify the energy input from the forcing function, causing a dramatic rise in vibration amplitude.

The machine operating speed can be critical frequency; where the vibration motion due to the forcing function is amplified by the system.

Generally, this subject is not take care at the industry and so many fatigue accidents can be occur. With this article, the basic experimental methods are explained, which can be apply by the maintenance engineers at field.

Keywords : Resonans, critical speed, natural frequency, bump test, bode graphs, cascade analyze, coherence

GİRİŞ

Ülkemizde yaşanan sorunların başında, makina temellerinde kullanılan, lastik takoz - yay gibi parçaların hesaplanmadan deneme yanılma ile kullanılması gelmektedir. Burada bir zorlukta, bu parçaların direngenlik ve sönümlenme oranlarının temin edilememesidir. Makinanın monte edileceği kütle önemsenmemekte, hemen makinanın kurularak üretime başlama telaşı yaşanmakta, temel zayıf olduğundan da, makinadan alınabilecek performansın çok altında kalınmaktadır. Kimi kayış kasnaklı yerlerde, hiç düşünmeden, kasnak çapı değiştirerek makina devri değiştirilmekte, karşılaşılan titreşimin nedeni rezonans dışında başka sebeplerde aranmaktadır.

Bir örnekte; bir tekstil fabrikasında, yüzlerce tezgah bu şekilde kurulmuş. Önceleri kapasite 100% kullanılmadığı için makineler mevcut şekli ile ihtiyacı karşılamış. Ancak kapasitenin daha yüksek olabileceğini makina speklerinden bilen yönetim, buna güvenerek yüksek oranda sipariş almış. Ancak makina metre hızları artırılınca, karşılaşılan yüksek titreşim ile ürün kalitesi bozulmuş ve bu nedenle taahhüttün cezaya girmeden yerine getirilebilmesi için firma işi başka firmalara dağıtarak çözmeye çalışmış. Neticede kâr edilmek istenirken zarar durumu ortaya çıkmıştır.

Bir diğer örnekte; oluklu karton üreten bir tesiste, yüksek titreşime neden olan makinanın altına, titreşim yalıtım parçaları takılmış. Bu şekilde ofislere kadar erişen titreşim sorunun dışarıya yansımaları giderilmiş. Ancak bu sefer yaklaşık 30 cm çapında olan makina rulmanları dış bileziklerinde kısa aralıklar ile boydan çatlamalar meydana gelmiş. Büyük maliyetlere neden olan sık aralıklar ile pahalı rulman değişimi sorunun analizinde, rulmanlar üzerine binen enerjinin daha önce sabit bağlantı ile büyük kütleyle dağıtıldığı, yalıtım malzemesinin takılması ile kütle azaldığı, enerjinin bu kütle içinde sönümlenememesi nedeninden dolayı da rulman dış bileziğinin rezonans nedeni ile yorulduğu belirlenmiştir.

Bu yaşanan gerçek olaylar, işin ne kadar ciddi olduğunu uygulamalı olarak ifade etmektedir. Pratik gibi görünen çözümler, ileride yüksek maliyetli sorunlar üretebilmektedir.

* TOPAZ Müş.Müm. ve Tic Ltd.Şti.

Dünyanın en önde gelen ve ilk Titreşim Analiz cihazını 1950'lerde üreten, ART CRAWFORD, karşılaşılan makina titreşimlerinin büyük yüzde ile Rezonans ile ilişkili olduğunu belirtmektedir.

REZONANS

Basit harmonik bir zorlama ile titreştirilen doğrusal bir sistemde, belli zorlama frekanslarında, frekansdaki küçük bir artış ya da azalış, sürekli rejim titreşimlerinin genliğinde azalmaya neden olabilir. Bu olayın meydana geldiği frekanslara rezonans frekansları, rezonans frekanslarındaki titreşimlere de rezonans denir. Rezonans halinde, yani, zorlama frekansının bir rezonans frekansına eşit olması halinde, titreşim düzeyi maksimum olur. Eğer sistemin sönümü küçük ise, rezonans frekansları yaklaşık olarak sistemin doğal frekanslarına eşit olur. [1]

Teorik olarak yaklaşıldığında, sürekli sistemlerin doğal frekansları; Çubuk, Kiriş ve plaka şeklinde düşünülerek formüller ile hesaplanabilir. Ancak çalışan bir makinada bunu hesaplamak nerde ise imkansızdır. Ancak ölçülerek belirlenebilir.

Her makina parçasının bir rezonans frekansı bulunur. Buna LOKAL REZONANS denir. Parçalardan oluşan makinanın toplu rezonans frekansı vardır. Buna da SİSTEM REZONANSI denir. Makinanın monte edildiği yapının da ayrıca bir bütün olarak rezonans frekansı bulunur. Buna da GLOBAL Rezonans denir.

Eğer parça, makina çalışırken, sürekli şekilde kritik frekansta tetiklenir ise, sönümleme yetersizse, rezonansa girer ve parçalanmaya kadar giden sorunların çıkmasına neden olur.

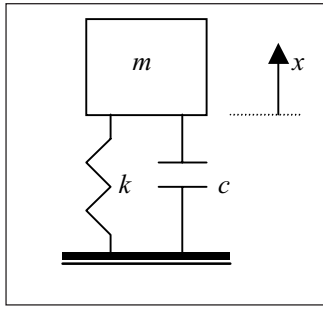
Yaylar üzerinde çalışan makinalarda, makinanın monte edildiği profillerde çatlama rezonanstan kaynaklanır. Sönümleme gücü kalmayan yapı, malzeme yorulması nedeni ile çatlamaya başlar. Önlem alınmaz ve profiller değiştirilmez ise makina parçalanabilir. Bu durumda olan fanlarda patlama olmaktadır. Profillerin kaynak ile ve ek parçalarla güçlendirilmesi kısa süreli geçici çözüm olur.

Uzun sürede, malzeme yorulmasına maruz kalmış profiller kesinlikle değiştirilmelidir. Bu nedenlerle, makina çalışma devirlerinin ve harmoniklerinin, rezonans frekansına eşit düşmesi istenilmez.

TİTREŞİMİN DENETLENMESİ

Arıza nedeni ile oluşacak titreşimler makinayı zorlayacaktır. Balanssızlık ve Kasıntı problemleri rezonans frekansını aktive eden temel arızalardır.

- Zorlama frekansının doğal frekanstan çok küçük olduğu frekans bölgesinde dirençlik kontrollü bölge adı verilir. Bu frekanslarda uyarılan sistemlerde titreşim genliğini azaltmak için sistemin dirençliğini artırmak gerekir. Bu frekans bölgesinde çalışan bir sistemin kütlelerini ya da sönümünü değiştirmek sistem genliğini hemen hemen hiç etkilemez. [1]
 - Zorlama frekansının doğal frekanstan çok büyük olduğu frekans bölgesine kütle kontrollü bölge adı verilir. Bu frekans bölgesinde titreşim genliğini azaltmak için sistem kütlelerini artırmak gerekir. (örneğin temel bloku kullanarak). Bu bölgede sistem dirençliğinin ya da sönümünün titreşim genliğine etkisi hemen hemen hiç yoktur. [1]
 - Zorlama frekansının doğal frekansa yakın olması durumunda sistem sönümü titreşim genliğini en çok etkileyen parametredir ve bu bölgeye sönüm kontrollü bölge adı verilir. Ancak, bu bölgede titreşen bir sistemde öncelikle sistem dirençliğini ve/veya kütlelerini değiştirerek doğal frekansın değerini değiştirmek ve zorlama frekansının rezonans bölgesi dışına çıkmasını sağlamak gerekir. Bunun sağlanamadığı durumlarda titreşim sönüm ile azaltılabilir. Zorlama frekansı / rezonans frekansı oranı sabit kalmak koşulu ile öteki sistem parametrelerinin (k ve m) değiştirilmesi titreşim genliğini pratik olarak etkilemez.
- Zorlama frekansları, temelde makina dönüş devrinin 1 ve 2 çarpanı olarak alınabilir.



Şekil 1. Tek Serbestlik Dereceli Titreşim Modeli

REZONANS FREKANSI BELİRLEME METOTLARINA ÖRNEKLER

Endüstride rezonans frekansı belirlenmesine yönelik çeşitli ölçüm metotları kullanılmaktadır. Makina imalatında ve montajında kullanılan parçalarla modelleme yapma zorluğu nedeni ile hesaplanan değerle gerçek hayattaki değer farklılıklar gösterebilmektedir.

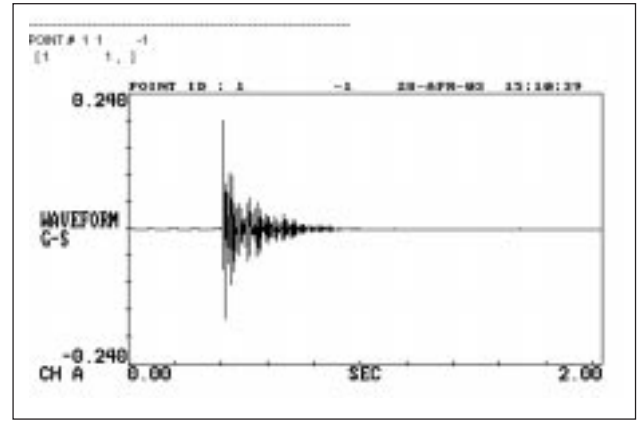
Duran Makinada Vuruş Testi

Duran sistemler üzerinde uygulanır. Tek kanallı FFT titreşim analiz cihazları ile uygulanabilir. Cihazda, belirlenen eşik değerini aşan titreşimle ölçüm almaya tetiklenen özellik olmalıdır. Cihaz dalgaformu grafiğini ekranında canlı olarak gösterebilmelidir.

- Yapı üzerine titreşim sensörü sabit olarak (saplama ya da mıknaatısla) tutturulur.
- Cihaz, sensör biriminde ölçüm alacak şekilde set edilir.
- Bir teflon ya da plastik (metal olmayan) bir çekiç ile, sensörden en az 30 cm uzaklıktan, sensör yönünde tek vuruş verilir.
- Ölçüm kararlılığını görmek için bu işlem en az dört kez tekrarlanır.
- Faz ilişkisi olmaksızın sonuç alınmaya çalışılır.

Çekiç ile yapıya verilen vurununun sönümlenmesi, sensör ile algılanarak kaydedilir. Bu bir çanın vuruş sonrası ürettiği tınının frekansının ölçülmesi gibi algılanabilir. İnsanoğlu, bu özelliği çok eski çağlarda kavrayıp, kulağa hoş gelen tınları üreten müzik aletleri geliştirmiştir.

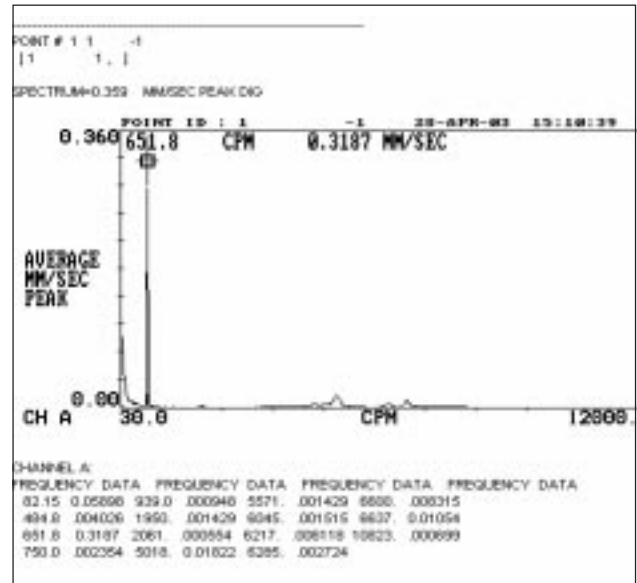
Bir makina elemanından alınan Şekil 2'deki örnek,



Şekil 2. Vuruş ile Alınan Dalgaformu

tek serbestlik dereceli bir sistemle benzerlik taşımaktadır. FFT ile bu dalgaformu Spektrum grafiğine dönüştürüldüğünde, frekansı belirlenebilmektedir.

Şekil 3'de yer alan spektrumunda baskın olarak tek frekansta bir tepelik görülmektedir. Tepe keskinleştikçe, sönümle azalacaktır. Şekil 2 ve 3'te yer alan Örnek, 1200 mm çapında 50 mm kalınlığında, mil üzerinde iki yönden yataklanan bir disk yüzeyinden alınmıştır. Sabit durumda yapılan bu test, diskin çalışma şartlarında karşılaşılabilecek sorunların belirlenmesi için kullanılacaktır. Bu örnekte, diskin 650 CPM frekansında rezonanstan geçeceği görülmektedir. 650 CPM frekansı LOKAL REZONANS frekansıdır. Bu nedenle, makina çalışma



Şekil 3. Vuruş ile Alınan Spektrum

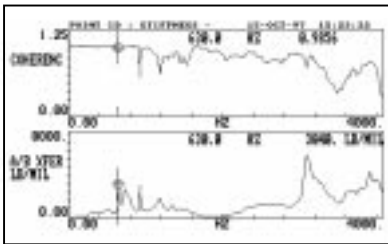
devrinin birinci, ikinci ve üçüncü harmoniklerinin bu frekansa oturması istenilmez.

Makina Çalışırken Vuruş Testi

Bu yaklaşım, makinanın dönmeyen yerlerine sensör yerleştirilerek yapılır. Uygulama duran sistemde yapılan ile aynıdır. Bakımcının bakış açısından, yapılacak rezonans frekansı analizi, üretkenliği etkilememeli, makina durdurmadan bu amaca hizmet edecek metotlarla yapılabilir. Bu hedefe çözüm olarak, Negatif Averaj alma metodu geliştirilmiştir. Sistem Rezonans frekansı belirlemeyi sağlayan bu yöntemde, çalışan makinada sensör ölçülecek yere monte edilir. Birinci aşama olarak, sensörden 30 cm uzaklıktan, sensör ekseninde yapıya bir çekiçle vuruş verilir. Eşik seviyesinin geçilmesi ile cihaz tınlamayı ölçer. Kararlı sonuç alınması için seçilen averaj sayısı kadar bu işlem yapılır. İkinci aşamada, makinanın ürettiği sürekli titreşim ölçülür ve birinci aşamada kaydedilen spektrumdan bu sinyaller çıkarılır. Kalan sinyalleri içeren spektrum ile rezonans frekansları belirlenir.

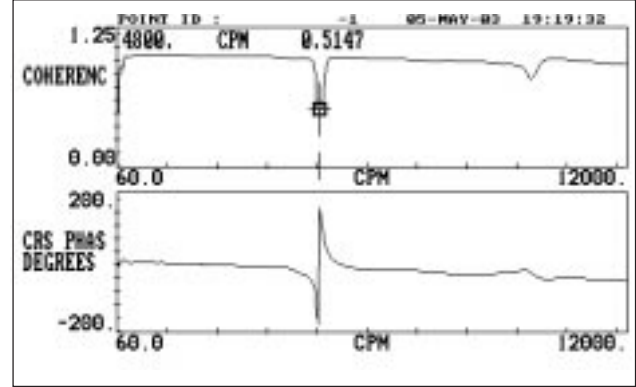
Çift Kanallı Dinamik Analizör ile Vuruş Testi

Bu uygulamada, cihazın iki kanalı birbiri ile gerçek zamanda ilişkili olmalıdır. Piyasada bulunan kimi iki kanallı cihazlarda, kanallar arasında ilişki kurulmadığından bu analiz yapılamamaktadır. Çift kanallı cihazın, bir kanalına titreşim sensörü diğer kanalına kuvvet çekici bağlanır. Yapıya uygulanan vuruş, kuvvet çekici aracılığı ile ölçülür, aynı anda sensöre erişen titreşimler kaydedilir. Bu şekilde, FRF Frekans Cevap Fonksiyonlarını içeren grafiklere alınır. Makina dinamiği ile ilgili detay analizler yapılabilir.



Şekil 4. Coherence ve FRF Grafiğine Örnek

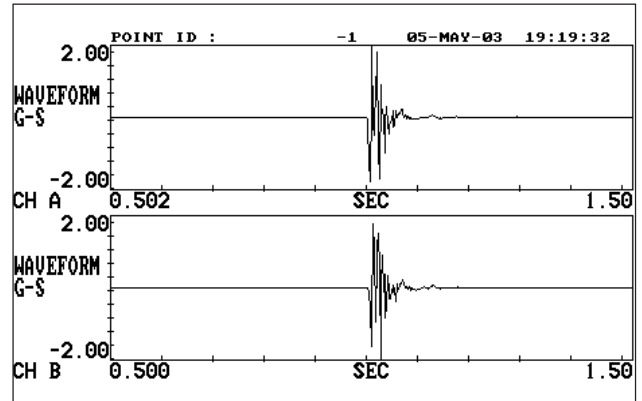
Coherence: çift kanallı cihazlarda bulunan, iki kanal arasında alınan sinyaller arasındaki faz ilişkisi ile, her iki kanaldan, aynı sinyalin alınıp alınmadığını gösteren grafiklerdir. Coherence değerinin 1'e yaklaştığı frekanslarda, iki nokta arasında birebir ilişki olduğu sonucu çıkarılır.



Şekil 5. Vuruş Testi Coherence ve Faz Grafiği

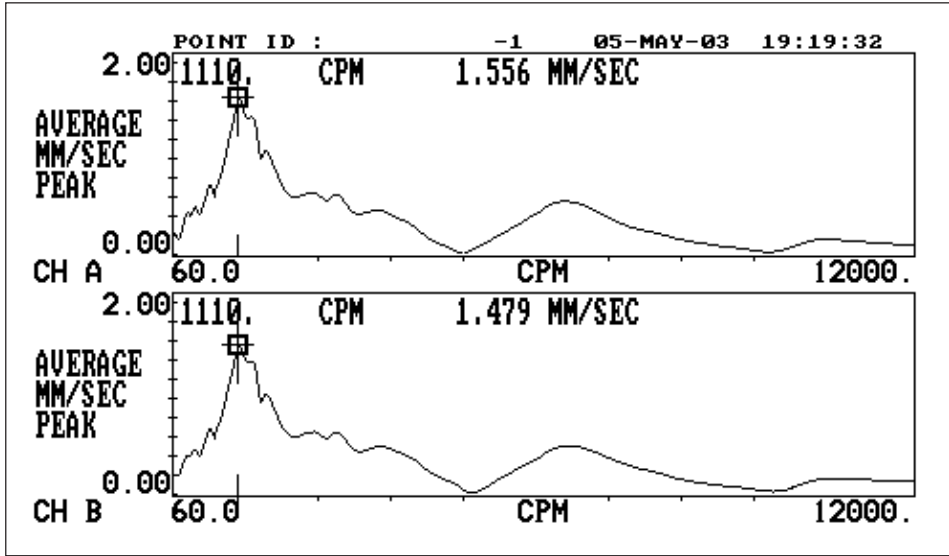
Bu uygulamada cihaza bağlı iki sensör yapı üzerinde farklı noktalara takılır. Harici çekiç ile yapıya tınlama vuruşu verilir. Her iki kanalda sönümlenme izlenir. Dalgaformu ve Spektrum Grafikleri alınır.

Coherence ile iki sensör tarafından kaydedilen verilerin aynı vuruşu okuyup okumadığı analiz edilir. Bu uygulama ile yapıdaki olası çatlakların bölgesi belirlenebilir.



Şekil 6. İki Kanaldan Algılanan Vuruş Dalgası

Şekil 7'de yer alan grafiklerde, 2 kanaldan alınan vuruş spektrumlarında, farklı iki noktada, aynı rezonans frekansının baskın olduğu görülmektedir.



Şekil 7. İki Kanaldan Algılanan Vuruntu Spektrumu

KRİTİK HIZ / DEVİR

Kritik Hız/Devir, makinanın çalışma devrine ulaşırken geçtiği, rezonsans frekansı bölgelerine verilen addır. Bazı değişken devirli makinalarda, kritik hızda makinanın çalışma durumu ile karşı karşıya kalınabilmektedir.

1'nci kritik hızı, Zorlama Frekansını, aşan makinalar mod değiştirir. Faz açısında 180 derece atlama olur. Türbin kompresör gibi makinalar 2'nci kritik hızı geçerek yine mod değiştirirler. Kritik hız öncesi frekansa çalışan makinalarda direngenliği artırarak yüksek titreşime karşı çözümler üretilebilirken, kritik hızın üstünde bir frekansa çalışan makinada, kütle ile oynayarak titreşim değerlerinde düşme sağlanabilir.

Bode Grafikleri ile Kritik Hız Belirlenmesi

Sanayi uygulamalarında, bilinçsizce makina devirleri ile oynanmaktadır. Örnek olarak, kayış kasnak düzeni ile çalışan fanlarda, istenen debiye göre farklı bir fan kullanmak yerine, kasnak çapları ile oynayarak fan devrini değiştirip o debiyi sağlayacak şartlar kurulmaktadır. Fanın kritik hızını bilmeden bu tür bir uygulama yapmak, mühendisliğe sığmayan bir davranıştır.

Bu usta çırak şeklinde deneme yanılma ile bilgi sağlama şeklidir. Hesaplamadan yapılan uygulama ile

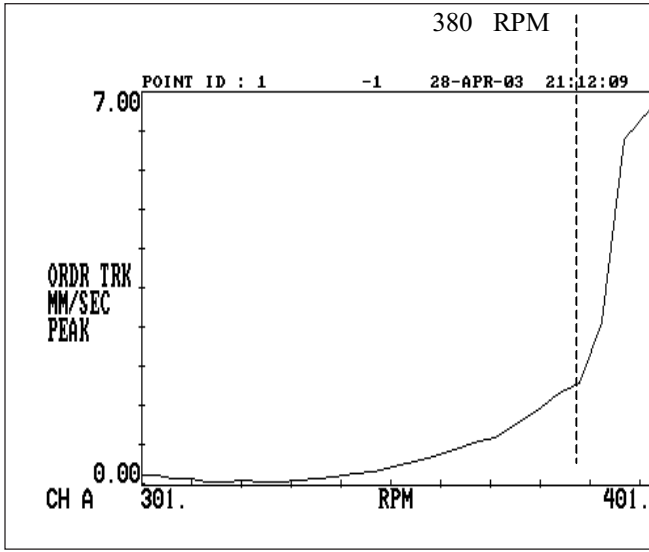
makina devirleri değiştirildiğinde, makina titreşiminin artması şaşkınlığa neden olmakta, sorun, bir analiz yapmaksızın, balanssızlık (dengesizlik) olduğu varsayımı ile !!! balans yapılarak bu sorun çözülmeye çalışılmaktadır. Oysa, fan kritik hızında çalıştırıldığından rezonansa girmiş olabilir ve titreşim bu nedenle artmış olabilir.

Türkiye'de üretim yapan fan imalatçılarına, ürettikleri fanın kritik hızının ne olduğu sorulduğunda, maalesef bilgi alınamamaktadır. Ya da, makina imalatında kaynak olarak kullanılan yabancı imalatçının kataloglarında yer alan değerler kullanılmaktadır.

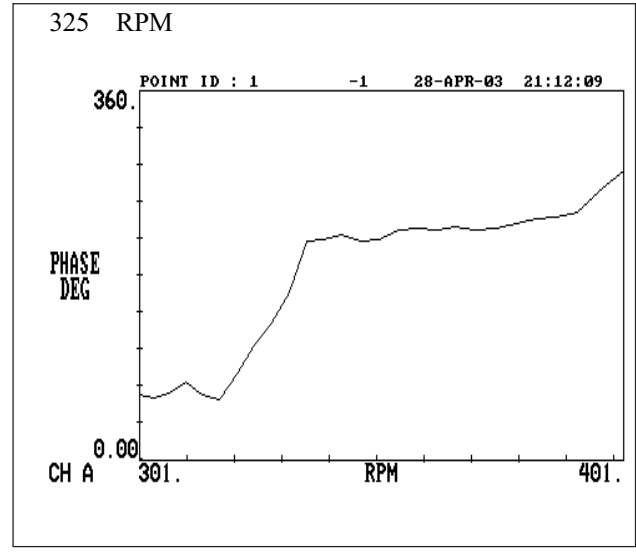
Devir arttıkça artan titreşimin, devir daha da artınca düşmesinin nedeni çoğunlukla bilinmemektedir. Bu bilgisizlikle, günümüzde yaygınlaşan motor devrinin frekans çeviriciler ile, prosese göre değiştirilmesi sonucu, makina kritik hızda çalıştırılabilmektedir. İşletme mühendisleri, oluşan yüksek titreşimin, bakım mühendislerince çözülmesini istemektedirler.

Bunu belirleme metodu, makinanın çalışma devrine çıkarken geçirdiği süreçte, 1xRPM frekansındaki titreşim genliğindeki değişimi izlemektir. Tek serbestlik derecesi olasılığı daha fazla olduğundan genelde dönüş devri frekansında izleme yapılır.

Şekil 8 ve 9'da yer alan RPM/Genlik, RPM/Faz



Şekil 8. RPM / Genlik Bode Grafiği

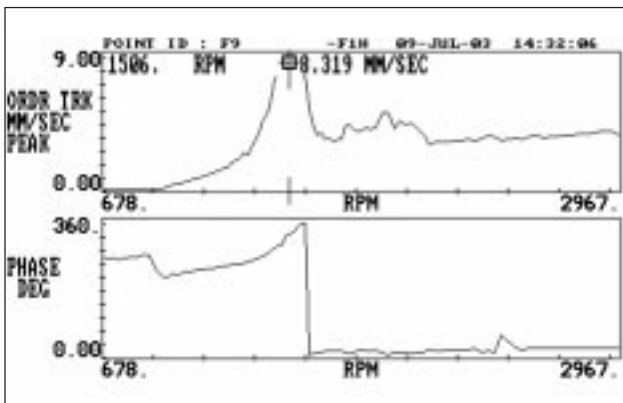


Şekil 9. RPM / Faz Açısı Bode Grafiği

açısı grafiklerinden oluşan BODE grafikleri, bu örnekte, 395 RPM çalışma devrinin kritik hız olduğunu göstermektedir. Bu SİSTEM REZONANS frekansına yakındır. Bu makine 380 RPM üzerine çıkarılmamalıdır.

BODE RPM/genlik grafiğinde görünen yükselmenin kritik hız olup olmadığı, Bode rpm/faz açısı grafiğinde faz açısında bir atlama olup olmadığı ile doğrulanmalıdır. Teorik olarak kritik hızdan geçişte faz açısının 180 derece atlaması beklenir. Ancak sönümlenme detayları tam olarak formüle edilemediğinden, sanayi uygulamalarında faz açısında belli oranda atlamaların olması, kabul görmektedir.

Bu örnek, vuruş testi ile rezonans frekansının

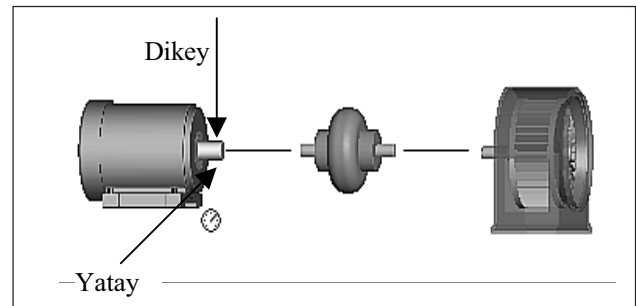


Şekil 10. Kritik Hız Üzerinde Çalışan Bir Makinanın Bode Grafikleri

ölçüldüğü, diskin çalışma şartlarında alınmıştır. Bode rpm/faz grafiğinde 325 RPM'de faz atlaması mevcuttur. Ancak Bode rpm/genlik grafiğinde bu devir bölgesinde genlik artışı çok zayıf kalmıştır. Bu 325 RPM frekansının 2'nci harmoniğine (325 CPM x 2 = 650 CPM) karşılık gelmektedir. Lokal rezonans, sistem rezonansında kendini faz açısında atlama şeklinde göstermektedir.

Radyalde yatay ve dikey alınan ölçümlerde 1xRPM frekansı tepeliklerinin faz açıları 90 derece (+/-30) farklı ise, 1xRPM frekansındaki tepeliğin nedeni balanssızlık olacaktır. 90 derece fark, yatay ile dikey ölçüm arasında, fiziksel konum olarak 90 derece olmasından kaynaklanmaktadır.

Eğer bu açı 0 ya da 180 civarında ise 1xRPM frekansındaki tepelik nedeni Rezonanstır.

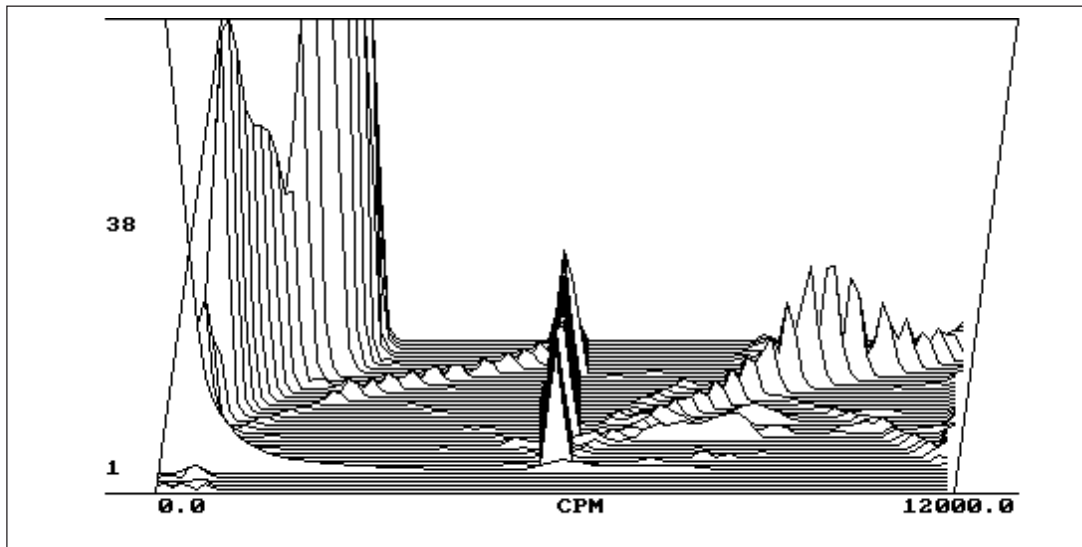


Şekil 11. Yatay ile Dikey Ölçüm

CASCADE Kademeli İzge Analizi ile Kritik Hız Belirlemesi

Bu yöntem, RPM / Genlik BODE grafiğinin üç boyutlu gösterimi şeklinde anılabilir. Makina çalışma devrine ulaşırken, sürekli alınan spektrum grafiklerinin arka arkaya dizilerek görüntülenmesidir. Cascade grafiklerinde, dönüş devri senkronları frekanslarında oluşan tepelikler ile, başka nedenlerden oluşan titreşimler ayrılmaktadır.

belirlenen Rezonans Frekansları, Kritik Devir, makina kurulduktan sonra ölçümler ile doğrulanmalıdır. İşletme, ön analizler yapılmadan makina devirlerinde değişiklikler yapmamalıdır. Makinalarda bir modifikasyonla takılan Titreşim sönümleyiciler ön hesaplar ve montaj sonrası rezonans frekansı ölçümü ve titreşim analizi ile kontrol edilmelidir. Kritik Devir ölçümleri yapılmadan Yerinde Balans yapılmamalıdır.



Şekil 12. Cascade Grafik Örneği

Şekil 12'de yer alan örnekte, frekansı sabit kalan genliğin, makina kendi dönüş devrini aldığı anda, dönüş devrinin ikinci harmoniği ile üst üste geldiği görülmektedir. Sadece dönüş devrinde alınan Spektrum ile yapılacak analiz, gelişme bilinmediğinden hatalı sonuç üretilmesine neden olabilecektir. Cascade analizi, Spektrum analizi ile üretilen sonuçların çözüm üretmemesi durumunda uygulanacak bir yöntemdir. Genelde, Türbin yataklarında oluşan yağ filmi arızalarının belirlenmesinde tercih edilir.

SONUÇ

Karşılaşılan makina titreşimleri büyük yüzde ile Rezonans ile ilişkilidir. Titreşim Analizleri Rezonans Frekans ölçümleri ile desteklenmelidir. Hesaplamalarla

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