

Rulman arızası için zarf (envelope) analizi: adımlar ve arıza frekansları

Bu yazıda zarf analiziyle tekrarlı darbeleri nasıl ayıklayacağınızı, dört arıza frekansını nasıl hesaplayacağınızı ve sonucu adım adım nasıl yorumlayacağınızı göreceksiniz.

Kısaca

- Rulman kusurları kısa darbeler üretir; zarf analizi bu darbelerin tekrar hızını yüksek frekans bandında görünür kılar.
- Arıza frekansları BPFO, BPFI, FTF ve BSF, mil hızı ile rulman geometrisinden hesaplanabilir.
- Ölçülen tepeler hesaplanan değerlerin yakınında, ama tam üzerinde olmayabilir; çünkü gerçek rulmanlar kayabilir.

01 / Darbeler, rezonans ve modülasyon

Yuvarlanan elemanlı bir rulmanda kusur, örneğin iç bilezikte bir çizik ya da dış bilezikte bir çukur, her temas geçişinde kısa bir darbe oluşturur. Bu darbeler makinenin yapısal rezonanslarını uyarır. Sonuçta yüksek frekanslı bir titreşim bandı, darbelerin tekrar hızıyla genliği değişen bir sinyal haline gelir. Buna genlik modülasyonu denir. Darbelerin tekrar hızı, kusurun büyüklüğünden değil rulman geometrisi ile mil hızından gelir; bu nedenle ölçülen tekrar frekansı, hesaplanan değerlerle eşleştirilebilir.

Sorun şu ki, ham ve düşük frekanslı spektrumda bu tekrar örüntüsü çoğu zaman dişli, dengesizlik ve motor bileşenlerinin güçlü tepeleri arasında kaybolur. Zarf analizi, modülasyonu ham sinyalden çıkarıp yalnızca tekrar hızını görünür kılmayı amaçlar.

02 / Adımlar: filtre, demodülasyon, FFT

Yöntem dört adımdan oluşur. Önce, bir rezonans çevresindeki bandı geçirecek bir band geçiren filtre uygulanır. İkinci adımda, Hilbert dönüşümünden elde edilen analitik sinyalin büyüklüğü alınarak zarf çıkarılır; bu işleme demodülasyon denir. Üçüncü adımda zarfın ortalama değeri, yani DC bileşeni çıkarılır. Son adımda zarfın FFT'si alınır ve tepeler arıza frekanslarıyla karşılaştırılır.

Adımların sırası ve band seçimi önemlidir. Ham sinyalin örnekleme hızı da yeterli olmalıdır; aksi halde yüksek frekanslı rezonans bandı, zarf alınmadan önce zaten katlanmış olur. Bu yüzden band seçmeden önce örnekleme hızını kontrol edin. Band çok dar seçilirse kusurun darbeleri kaçabilir; çok geniş seçilirse başka darbe kaynakları zarfa karışır. Bu yüzden bandı, spektrumdaki rezonans tepelerine bakarak seçin; rastgele seçmeyin. Rezonansları görmek zorsa, uygun bir çekiç testi ya da sağlıklı bir makinenin kaydındaki tepelerle karşılaştırma yardımcı olur.

03 / Arıza frekansları ve formüller

Dört temel arıza frekansı, rulman geometrisi ve mil frekansı f_r ile hesaplanır. N_b yuvarlanan eleman sayısı, d bilye çapı, D yuvarlanma elemanlarının merkez çemberinin çapı, ϕ ise temas açısıdır.

- BPFO (dış bilezik): $(Nb/2) \cdot fr \cdot (1 - (d/D)\cos\phi)$
- BPFI (iç bilezik): $(Nb/2) \cdot fr \cdot (1 + (d/D)\cos\phi)$
- FTF (kafes): $(fr/2) \cdot (1 - (d/D)\cos\phi)$
- BSF (bilye dönüş frekansı): $(D/(2d)) \cdot fr \cdot (1 - ((d/D)\cos\phi)^2)$

Bu formüller kayma olmadığını ve geometrinin ideal olduğunu varsayar. Gerçek rulmanlar kayabilir; bu nedenle ölçülen bir tepe hesaplanan değerin yakınında, ama tam üzerinde olmayabilir.

04 / Örnek: hipotetik bir rulman

Örnek bir hesap (hipotetik). $Nb = 9$, $d/D = 0,2$, $\phi = 0$ ve $fr = 25$ Hz olan bir rulman düşünün. $\cos 0 = 1$ olduğu için:

- $BPFO = 4,5 \times 25 \times (1 - 0,2) = 4,5 \times 25 \times 0,8 = 90$ Hz
- $BPFI = 4,5 \times 25 \times (1 + 0,2) = 4,5 \times 25 \times 1,2 = 135$ Hz
- $FTF = 12,5 \times (1 - 0,2) = 12,5 \times 0,8 = 10$ Hz
- $BSF = 2,5 \times 25 \times (1 - 0,2^2) = 2,5 \times 25 \times 0,96 = 60$ Hz

Zarf spektrumunda 90 Hz civarında bir tepe ve onun harmonikleri görülürse, dış bilezik kusurundan şüphelenmek için bir neden olur. İç bilezik kusurlarında genellikle fr aralıklı yan bantlar görülür; bu örnekte 135 Hz tepesinin iki yanında 25 Hz aralıklı çiftler aranır. Bu yalnızca bir ön kontroldür, teşhisin yerini tutmaz.

05 / Sınırlar: yanlış band, dişli ve hız değişimi

Zarf analizi her durumda işe yaramaz. En sık hata, bandın yanlış bir rezonansa odaklanmasıdır. Bu durumda zarfta kusurun darbeleri yerine başka bir kaynağın darbeleri görünür ve tepeler yanlış yorumlanır. Dişli kavramasının tekrarları da zarf spektrumunda tepe üretebilir. Mil hızı kayıt boyunca değişiyorsa, sabit arıza frekansları yayılır ve tepeler bulanıklaşır.

Kayıt süresi de önemlidir: arıza frekansının birkaç periyodunu içerecek kadar uzun olmalıdır; aksi halde zarf spektrumunda çizgiler ayrılmaz. Bu nedenle tek bir kayıt yeterli değildir. Aynı ölçüm noktasından, benzer yük ve hız koşullarında alınmış birkaç kaydı karşılaştırın. Bir tepenin rulmandan gelip gelmediğine, hız, yük ve montaj bilgisini birlikte değerlendirerek karar verin.

06 / Veri ve ilk pratik adımlar

Yöntemi kendi makinenizde uygulamadan önce açık bir veri kaynağında denemek işinize yarar. Case Western Reserve University Bearing Data Center, bilinen kusurlara sahip rulman kayıtlarını içeren açık bir veri kaynağıdır. Kendi tesisinizde başlamadan önce şunları kontrol edin:

- Ölçüm noktasını ve her sensörün yönünü kaydedin.
- Mil hızını her kayıtle birlikte not edin ve kayıt boyunca sabit kalıp kalmadığını kontrol edin.
- Bandı rastgele değil, rezonans tepesi gözlemlendikten sonra seçin.
- Hesaplanan arıza frekanslarını, sağlıklı bilinen bir makinenin spektrumuyla karşılaştırın.

Önce tek bir makine ve tek bir ölçüm noktasıyla başlayın. Yöntem bu dar durumda işe yaramıyorsa, kapsamı genişletmeden önce ölçüm yönünü ve bant seçimini yeniden gözden geçirin.

Uygulayın

Open a built-in synthetic signal in spectra, run its envelope spectrum, and compare the strongest envelope peak with the BPFO, BPFI, FTF and BSF values calculated from the formulas in this article.

Kaynaklar ve çevrimiçi rehber

Güncel çevrimiçi rehberi açın

Rolling-element bearing (Wikipedia)

Hilbert transform (Wikipedia)

hilbert (SciPy)

Case Western Reserve University Bearing Data Center

Önerilen pilot adımları saha doğruluk iddiası içermez. Sentetik örnekler gerçek tesis ölçümü değildir.