

Scurt ghid de diagnoză a utilajelor dinamice

Ing. Augustin Micu
Mobil Industrial AG

1 Introducere

În procesul de diagnoză a utilajelor dinamice, analiza spectrelor de vibrații este obligatorie. Analiza spectrelor este denumită și analiza semnăturii. Din păcate, nu există reguli clar definite pentru a asocia vârfurile spectrale cu un anumit defect. Din acest motiv, cei mai mulți dintre cei implicați în activitatea de diagnosticare se limitează la vizualizarea valorilor globale de vibrație și a comparării acestora cu limitele de alarme prestabilite.

În cele ce urmează se prezintă sintetic, tablele de asociere ale diferitelor vârfuri spectrale cu posibile defecte ale utilajelor dinamice.

Departate de a fi exhaustive, informațiile prezentate mai jos trebuie să fie utilizate cu inteligență și precauție.

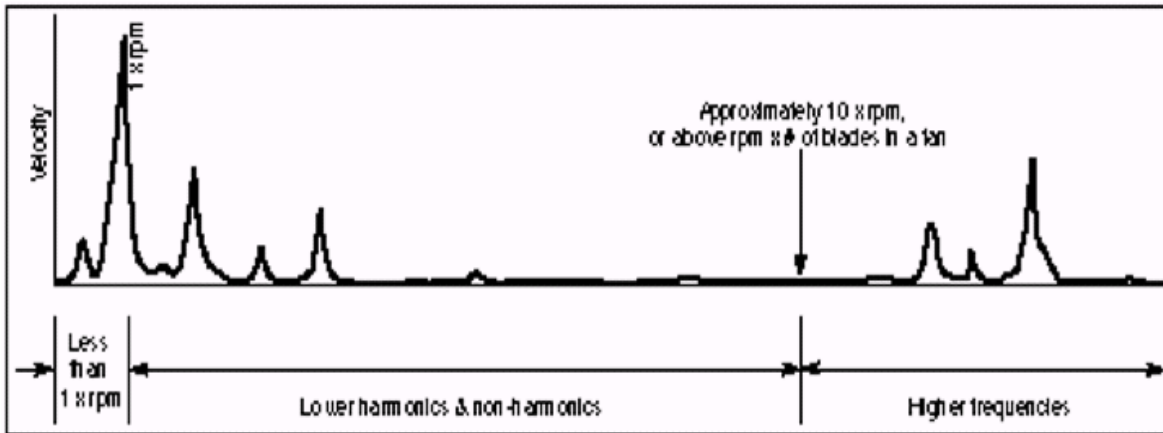
Procesul de diagnoză efectiv este complex. Acesta poate fi simplificat dacă se respectă câteva reguli de bază expuse mai jos.

- Înainte de a începe propriu-zis diagnoza, priviți toate spectrele aferente utilajului. Încercați să vă faceți o primă impresie. Apoi treceți la analiza spectru cu spectru.
- Dacă valorile globale de vibrație sunt reduse și nu observați o creștere semnificativă a acestora față de măsurătoarea precedentă (sau față de “linia de bază”), puteți presupune că utilajul funcționează corespunzător. Treceți la analiza utilajului următor.
- Dacă observați o valoare de vibrație, la unul dintre lagăre, mult mai mare decât la celelalte, puteți presupune existența unui fenomen de rezonanță, care va trebui identificat și rezolvat. Continuarea diagnozei, în această situație, nu mai este posibilă.
- Concentrați-vă la identificarea vârfurilor spectrale predominante. Acestea trebuie să existe și la spectrele celorlalte direcții ale punctului de măsurare dar și la spectrele punctelor de măsurare adiacente. Dacă acest lucru nu se întâmplă, puteți presupune că spectrul analizat a fost măsurat eronat. Un vârf spectral poate fi considerat valid, numai dacă el este confirmat de cel puțin o altă măsurătoare.
- Dacă se identifică cu certitudine un defect major al utilajului (ca de exemplu un dezechilibru dinamic sau o dezaliniere pronunțată), procesul de diagnoză trebuie oprit. Un defect major existent ”ascunde” celelalte defecte. În acest caz procedați la remedierea defectului major descoperit și efectuați un alt set de măsurători.
- Dacă utilajul are defecte multiple, diagnoza este mai dificilă. Din acest motiv, o practică corectă este aceea a măsurării periodice utilajul, după ce acesta a fost reparat și repus în funcțiune. În acest caz, probabilitatea apariției a unui singur defect este mare.
- În procesul de diagnoză, utilizarea istoricului este importantă. Orice schimbare a aspectului spectrului față de situația anterioară indică apariția unui defect iar acesta poate fi ușor identificat.
- În procesul de diagnoză orice informații suplimentare disponibile (temperatură lagăre, debit și presiuni ale pompei, curentul absorbit, observații vizuale, etc.) pot fi de un real folos. Nu ezitați să le folosiți.

2 Frecvențele de vibrație

Liniile spectrale (vârfurile) pot fi localizate în patru zone distincte din spectru:

- 🌈 Vârfuri spectrale amplasate sub turația de lucru
- 🌈 Vârful spectral corespunzător turației axului (exact la valoarea de $\times 1$ RPM)
- 🌈 Vârfuri spectrale armonice, în intervalul $\times 1$ RPM ... $\times 10$ RPM sau $\times 1.. \times \text{Nr. de palete rotorice}$, denumite și armonici joase.
- 🌈 Vârfuri spectrale de frecvență mare (peste frecvența maximă determinată mai sus).



Pentru a fi posibil un proces de diagnosticare corect, trebuie îndeplinite concomitent următoarele condiții minime:

- ✓ Domeniul de frecvență și rezoluția spectrului trebuie să fie corect alese, în funcție de tipul utilajului și turația sa de regim. Astfel, frecvența maximă a spectrului trebuie să fie de cel puțin 20 de ori mai mare decât turația. Frecvența minimă utilizabilă trebuie să fie cel puțin jumătate din valoarea turației. De asemenea rezoluția spectrului va trebui să fie suficient de bună pentru ca vârfurile spectrale alăturate să poată fi discriminate (separate).
- ✓ Turația axului trebuie să fie măsurată sau să poată fi identificată din spectru, cu o precizie de cel puțin 0,5 RPM. La un utilaj la care există mai multe turații ale axelor componente (utilaje antrenate prin curele, reductoare sau multiplicatoare de turație), turația trebuie să fie determinată pentru fiecare ax în parte. O categorie specială o constituie utilajele cu turație variabilă; la aceste utilaje se va încerca, pe cât posibil, ca în timpul colectării măsurătorilor, turația să nu se modifice. În caz contrar, diagnoza nu va putea fi efectuată cu succes.
- ✓ Deoarece singurul criteriu de discriminare a vârfurilor “mari” de cele “nesemnificative” o constituie limitele de alarmă fixate pentru valoarea globală de vibrație, este de la sine înțeles că aceste limite trebuie să fie cât mai corecte.
- ✓ Pentru determinarea stării de funcționare a rulmenților, spectrele de vibrații vor trebui asociate spectrelor de “anvelopă”. Defectele minore de rulmenți nu sunt întotdeauna vizibile în spectrul de vibrație, ci doar în spectrul de anvelopă.

2.1 Frecvențe sub 1 x RPM

Jocuri, piese slăbite	De cele mai multe ori apar exact la $\frac{1}{2} \times \text{RPM}$. Pentru ca acest defect să devină evident, este necesară acțiunea unei forțe externe perturbatoare, suficient de mare, cum ar fi cea provenită de la un dezechilibru rotoric sau de la dezalinierea axelor. Uneori, jocurile sunt însoțite de armonici mai „ciudate” peste $1 \times \text{RPM}$, precum $1 \frac{1}{2} \times$, $2 \times$, $2 \frac{1}{2} \times$ etc. Se mai pot observa în spectru ca vârfuri de armonici mai mari decât de obicei, până la și chiar peste 5, 6 și $7 \times \text{RPM}$.
Frecări (fără rezonanță)	Fracțiuni exacte de $1 \times \text{RPM}$. De obicei, exact la $\frac{1}{2} \times \text{RPM}$. Adesea urmate de armonici peste $1 \times \text{RPM}$, precum $1 \frac{1}{2} \times$, $2 \times$, $2 \frac{1}{2} \times$ etc. Apar adesea vârfuri importante la armonici mai mari de $3 \times$, $4 \times$, $5 \times$ -- până la aproximativ $6 \div 8 \times \text{RPM}$ (în funcție de intensitatea cu care se produce fenomenul de frecare).
Turbioane de ulei (la lagărele de alunecare)	Puțin sub $\frac{1}{2} \times \text{RPM}$, de exemplu la $43\% \div 46\%$ din $1 \times \text{RPM}$.
Frecări care determină rezonanță subarmonică la arbore sau la rotor	Fracțiuni exacte de $1 \times \text{RPM}$, precum $\frac{1}{4} \times \text{RPM}$, $\frac{1}{3} \times \text{RPM}$, $\frac{1}{2} \times \text{RPM}$, $\frac{2}{3} \times \text{RPM}$, $\frac{3}{4} \times \text{RPM}$ etc. Vârfurile din spectru devin vizibile numai când rotorul rezonază aproape de o fracțiune exactă.

Rulmenți cu colivii defecte	Uneori apar la mai puțin de 1 x RPM. Variaza în funcție de modelul constructiv de rulment. Cele mai multe defecte de colivie survin la frecvențe în intervalul de 35%÷46% din turația de lucru. Frecvențele acestor vibrații asincrone se pot confunda cu ușurință cu frecvențele la care apar de obicei turbioanele de ulei la lagărele de alunecare. Adesea, nu apar tocmai la frecvența de defect calculată, ci la armonici ale acelei frecvențe.
Transmisii cu curele defecte	La curele dezechilibrate, vor apărea vârfuri semnificative în spectru la frecvența de rotație a curelei.

2.2 1 ×RPM (Turație rotor)

Dezechilibru rotor	Vârfuri de mare amplitudine la 1 x RPM, relativ scăzute la 2 x RPM și neglijabile alte armonici.
Arbori/cuplaje dezaliniati	Verificați vârfurile mai mari decât de obicei de la 2 × RPM și de la armonici inferioare. Verificați, de asemenea, faza pentru a nu face confuzii și a face clar diferența între dezaliniere și un eventual dezechilibru.
Roți de antrenare dezaliniati	Simptomele sunt asemănătoare cu cele de la dezechilibrul rotoarelor sau roților de antrenare aferente acestora, cu excepția faptului că amplitudinile în direcție axială sunt de obicei mult mai mari decât la 2 × RPM. Acest defect poate da simptome similare ca dezalinierea arbore/cuplaj.
Curele de transmisie necorespunzătoare	Adesea însoțite de vibrații mari pe direcție axială.
Roți de antrenare excentrice	Amplitudini mari, de obicei pe direcția determinată de centrele roților. Faza între citirile în plan orizontal și vertical este aproximativ 0° sau 180°.
Arbore îndoit	Similar cu dezechilibrul static, cu excepția fazei (180°) în axial.
Armături excentrice sau care „funcționează excentric”	Fie cu excentricități din fabricație, sau forțate să „funcționeze excentric” datorită mișcărilor pe orbite ale centrelor axelor, provenite din dezechilibre sau dezaliniere.
Roți dințate excentrice (foarte rar) sau angrenare cu "funcționare excentrică"	Rareori datorită erorilor de fabricație a roților dințate, dar de cele mai multe ori datorită erorilor de asamblare a roților sau dezalinierei axelor sau dezechilibrelor, care forțează centrele roților să descrie orbite în timpul rotației.
Defecte de motor (bare rotorice rupte sau fisurate)	Amplitudine mare în radial la 1×RPM. (Cu una sau mai multe benzi laterale de-o parte și de alta frecvenței de defect). Frecvența dintre cea principală și benzile laterale este egală cu alunecarea rotorică înmulțită cu numărul de poli. În mod normal, amplitudinea la 1×RPM și amplitudinile benzilor laterale sunt proporționale cu sarcina motorului. Acest defect determină vibrații excesive la frecvență relativ înaltă. În loc de un vârf ascuțit la RPM×nr. de bare rotorice, există multe vârfuri laterale, care produc ceea ce numim de obicei „căpițe de fân”, adică vârfuri semnificative, rotunjite, nu ascuțite. Frecvența diferență între benzile laterale este de obicei egală cu frecvența la care apare „zbârnăitul” motorului electric.

2.3 Armonici joase

Vorbim la acest subcapitol despre frecvențe până la aproximativ $10 \times \text{RPM}$ sau nr. de palete de ventilator $\times \text{RPM}$ (oricare dintre acestea este mai mare). Unele frecvențele din acest interval se pot confunda cu armonici, fără a fi de fapt armonici reale și frecvențe asincrone cu $1 \times \text{RPM}$ (cum ar fi frecvența de „zbârâit” la motoarele electrice și frecvența proprie rulmenților. De obicei, amplitudinile nu sunt mari în termeni absoluți.

Dezalinerii arbore/ cuplaj	Frecvența de defect este cel mai adesea (dar nu întotdeauna) $1 \times \text{RPM}$. Amplitudinile vârfurilor la $2 \times \text{RPM}$ sunt mai mari decât de obicei. Se suspectează dezalinerii când vârful de la $2 \times \text{RPM}$ este mai mare de $\frac{1}{3}$ din vârful de la $1 \times \text{RPM}$. Când amplitudinea vârfului de la $2 \times \text{RPM}$ depășește $\frac{1}{2}$ din amplitudinea celui de la $1 \times \text{RPM}$, simptomul este mult mai puternic. De asemenea, simptomele sunt foarte puternice atunci când alte amplitudini de la armonici inferioare sunt "mai mari decât de obicei." La cuplajele cu segmenti, amplitudinile vârfurilor de la nr. de segmenti $\times \text{RPM}$ ar trebui să fie mai mari decât de obicei, pentru ambele semicuplaje. Țineți cont și de simptomele de fază.
Cuplaje	Simptomele dezalinerii sunt din ce în ce mai accentuate, chiar dacă dezalinierea în sine nu s-a accentuat. Pe de altă parte, așa-numitele cuplaje flexibile devin mai puțin eficiente ca urmare a uzării lor excesive sau a unei lubrifieri necorespunzătoare.
Nr. de supape pompă $\times \text{RPM}$	Foarte adesea însoțite de rezonanță. Dacă nu este vorba de rezonanță, verificați debitul pompei, care poate fi prea mic. Uneori, pot fi neajunsuri de proiectare.
Nr. de palete $\times \text{RPM}$	Cel mai probabil este vorba de rezonanță.
Fundație slăbită, jocuri în lagăre piese slăbită	$2 \times \text{RPM}$, dar uneori poate apărea și la $\frac{1}{2} \times \text{RPM}$. Citiți și despre jocuri la frecvențe mai mici de $1 \times \text{RPM}$, prezentate anterior.
Rulmenți cu jocuri semnificative între inelul interior și inelul exterior	Simptome similare cu cele de la jocuri. Cel mai probabil apare exact la frecvențe armonice. Pot apărea vârfuri importante la armonici mari decât de obicei și peste $5 \times$, $6 \times$ sau $7 \times \text{RPM}$. Elementele de rostogolire alunecă prea mult, în loc să se rotească.
Armături excentrice sau care „funcționează excentric”	Fie că prezintă excentricități datorită erorilor de execuție fie că sunt forțate să „funcționeze excentric”, deoarece centrele arborilor descriu orbite în timpul rotației, în urma dezalinerii sau dezechilibrului.
Piese oscilante dezechilibrate, cum ar fi pistoane, tije de conectare, ecrane oscilante	Piese de schimb trebuie să păstreze greutatea pieselor originale.
Zbârâit electric	Apar adesea ca și armonici, fără a fi de fapt armonici sau vibrații sincrone. La un curent de 50 Hz, frecvența este de 100 Hz (6000 CPM).
Frecări sau jocuri	Pot produce vârfuri de amplitudini mai mari decât de obicei la amplitudini până la și peste 5 , 6 , $7 \times \text{RPM}$. Uneori frecvențele de defect pot fi $1 \frac{1}{2} \times$, $2 \frac{1}{2} \times$; $3 \frac{1}{2} \times \text{RPM}$ etc. Alteori, dintr-o serie de armonici, pot lipsi una-două armonici. Analiza orbitală și analiza formei de undă vă ajută să distingeți frecările de alte surse de vibrații.
Calandre dezaliniat	Calandrele mașinilor pentru fabricarea hârtiei pot fi aliniat în toleranțe și chiar și așa prezintă amplitudini ridicate la $2 \times \text{RPM}$ datorită amplificării fenomenului de rezonanță. Se recomandă compararea formelor de undă în timp.

2.4 Frecvențe înalte

Dantură defectă	Defectele apar la frecvența de angrenare, nr. dinți×RPM și/sau armonici ale acesteia. Deseori nu este vorba despre defecte sau uzura excesivă a danturii, ci despre vibrații amplificate de rezonanță la frecvența proprie danturii. Verificați forma de undă.
Defecte ce pot apărea când nu este vorba despre defecte de angrenare sau de dantură	Amplitudini mari la frecvența de angrenare și la armonicele acesteia. Linia de centru descrie orbite mari datorită dezechilibrului, dezalinierei arborilor sau altor neajunsuri apărute în urma erorilor de angrenare. Verificați și rezonanța.
Elemente de rulment defecte	Simptomele sunt caracteristice diferitelor stadii de evoluție a defectelor. Primul stadiu apare la frecvențe relativ înalte și sunt vibrații asincrone. Pe măsură ce rulmentul se deteriorează, frecvențele de defect se răspândesc de-a lungul spectrului, apărând vârfuri în tot acest domeniu. În stadiile cele mai avansate de defect vârfurile apar la frecvențele calculate. Numărul de benzi laterale la 1×RPM crește. În orice caz, amplitudinile vârfurilor pot crește sau nu.
Palete de turbine defecte	Frecvența de defect este nr. de palete de turbină×RPM. De această dată este bine să consultați un specialist în turbine. Uneori, din cauza alte probleme de turbină, nu este ușor să transpuneți funcționarea curentă a turbinei într-o diagramă simplă. Dacă aveți dubii, contactați producătorul turbinei.
Frecări	Defectele au simptome similare cu cele prezentate anterior, dar apar la frecvențe mai înalte.
Motoare electrice cu bare defecte, slăbite sau rupte	Uneori acest defect produce vibrații excesive la frecvențe relativ înalte. În loc de un vârf ascuțit la RPM×nr. de bare rotorice, apar mai multe vârfuri în benzi laterale, determinând ceea ce cunoaștem sub numele de „căpițe de fân”. Frecvența diferență între benzile laterale este de obicei egală cu frecvența de „zbârnat” a motoarelor electrice. De asemenea, verificați și vârfurile de la frecvența fundamentală 1×RPM și benzile sale laterale. Frecvența diferență dintre o bandă laterală și frecvența fundamentală este egală cu alunecare rotorului ×nr. de poli. În mod normal, amplitudinile benzilor laterale depind de sarcina motorului.

2.5 Diverse

Bătăi	Frecvențele bătăilor, care sunt de obicei egale cu diferența între două frecvențe aproape egale, poate provoca vibrații foarte joasă frecvență. Adesea frecvențele sunt atât de mici, încât sunt aproape imposibil de detectat sau de măsurat. Frecvențele sursă va afișa periodic creșteri și scăderi ritmice de amplitudine. Puteți să utilizați analiza formei de undă sau medierea timp sincron. Vibrațiile care seamănă cu cele rezultate în urma bătăilor, dar provin dintr-o singură sursă, sunt vibrații de angrenare, de exemplu, provenite de la o roată dințată excentrică din prelucrare sau forțată să „funcționeze excentric” datorită unui dezechilibru sau a unei alinieri incorecte.
Cavitație	Cavitația produce vibrații de amplitudini mai mari decât de obicei la aproape toate frecvențele existente în spectru. Deși cavitația este rezultatul imploziei bulelor de aer din lichidul vehiculat, veți vedea în spectru vârfuri la frecvențe caracteristice fierberii rapide a apei. De obicei, amplitudinile vibrațiilor sunt relativ mici, dar zgomotul rezultat în urma imploziei este mare.

Datele conținute în tabelele de mai sus pot fi găsite la adresa:

<http://updateinternational.com/VibrationBook.htm>