

Alegerea metodei optime de diagnosticare a utilajelor afectate de vibrații externe foarte mari

Prof. dr.ing. Tomasz BARSZCZ,
Catedra de Robotică și Mecatronică a
Academiei de Știință și Tehnologie Górnictwo - Hutnicza Cracovia

Traducere și adaptare ing. Carmen Popescu

Sistemele de monitorizare și diagnosticare a utilajelor dinamice se folosesc din ce în ce mai des în majoritatea industriilor. În general, când vorbim despre monitorizarea utilajelor dinamice, ne referim la turbine, pompe, compresoare, ventilatoare etc. Odată cu creșterea eficienței, precum și a interesului acordat sistemelor de diagnosticare, s-au extins și piețele potențiale pentru sistemele de monitorizare a utilajelor, la alte industrii conexe celor direct vizate, precum mineritul sau metalurgia.

Vom vedea în continuare cum ar trebui abordată analiza și diagnosticarea utilajelor afectate de vibrații externe considerabile. Studiul s-a efectuat de către o echipă de specialiști, pe un compresor de gaz cu piston, dintr-o instalație de foraj marin din Marea Baltică. Caracteristica importantă a compresorului consta în apariția în spectrul de vibrații a unor impulsuri perturbatoare foarte puternice, care distorsionau considerabil semnalul de bază.

Articolul de față își propune să arate că nu toate aplicațiile pot fi tratate la fel, ci fiecare necesită metode specifice de diagnoză. Vom vedea, în continuare ce considerente stau la baza alegerii metodei optime de diagnosticare.

1 Introducere

În prezent, majoritatea industriilor apelează la sisteme de monitorizare și diagnosticare a utilajelor.

Utilajele moderne, omniprezente în viața noastră de zi cu zi, sunt caracterizate de structuri complexe, fapt pentru care evaluarea stării lor tehnice este un proces dificil și o veșnică provocare pentru analiști. Sistemele de monitorizare și diagnosticare sunt, în general, dedicate utilajelor rotative cu design relativ simplu (de ex. generatoare de abur, ventilatoare, pompe, compresoare). Astfel de sisteme prezintă avantajul de a putea fi diagnosticate cu metode arhicunoscute de analiză în domeniul timp, precum și în domeniul frecvență. Pe de altă parte, există utilaje care nu au părți rotative și care necesită o altă atenție și o altă abordare. Și unele și celelalte sunt părți componente ale unor instalații, fapt pentru care sunt expuse unor surse externe de vibrații perturbatoare, fie ele de natură mecanică, de izometrie a conductelor, electrică sau tehnologică.

Să discutăm în continuare despre un compresor de gaz cu piston, de mari dimensiuni, care necesită un algoritm personalizat de diagnosticare. Prezența impacturilor puternice exercitate de către pistonul compresorului maschează frecvențele specifice de defect ale acestui utilaj, făcându-le de nerecunoscut în forma de undă.

Figura 1 prezintă un fragment de formă de undă în timp, colectată de la compresorul cu piston, de mari dimensiuni, din instalația de foraj despre care vorbeam anterior. După cum spuneam, se văd în forma de undă impacturile repetate și puternice ale pistonului. Datorită numărului de nivele de compresie, aceste impacturi apar din 0,04 în 0,04 s.

O astfel de rată mare de repetitivitate a impulsurilor împiedică analiza fragmentelor de semnal înregistrate între impulsuri, deoarece porțiunile de semnal de interes rămân prea scurte. Prin urmare, pentru a putea efectua analiza de vibrații, ar trebui să aplicăm semnalului algoritmi personalizați de analiză.

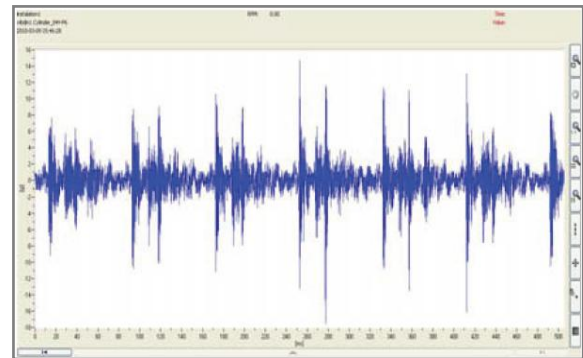


Fig. 1 Forma de undă la compresorul cu piston

2 Specificația tehnică a utilajului

Compresorul de gaz în patru trepte de compresie, model Dresser Rand C-VIP de 1000 kW, funcționează la turații cuprinse între 600 și 1000 RPM. În figura 2 se poate vedea schema compresorului.

Acest utilaj este situat pe o platformă petrolieră maritimă din Marea Baltică și are menirea de a comprima și de a transporta gazele naturale către centrala situată la 70 de km depărtare de platformă. Utilajele sale conjugate, respectiv pompele de hidrocarburi și răcitoarele influențează considerabil condițiile de exploatare ale utilajului descris. Funcția tehnologică extrem de importantă a compresorului, precum și cerințele ridicate de securitate, impun o bună funcționare a utilajului, precum și un plan eficient de întreținere și reparații. Locația greu ac-

cesibilă în care acesta este amplasat, precum și condițiile meteorologice dificile, reprezintă obstacolele serioase cu care se confruntă echipa de întreținere. Acest fapt implică necesitatea reducerii reparațiilor la minim.

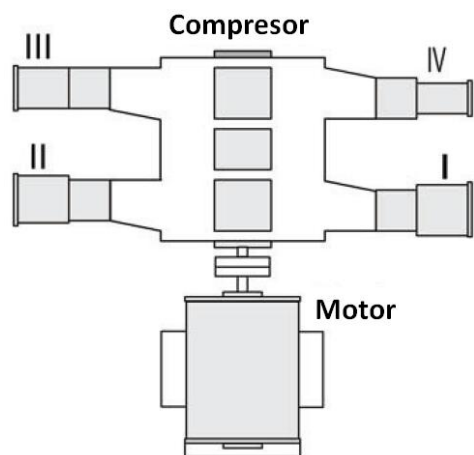


Fig. 2. Compresor în patru trepte antrenat de motor electric

Prin urmare, singura soluție convenabilă din toate punctele de vedere ar fi instalarea unui sistem corespunzător de monitorizare continuă.

3 Sistemul de monitorizare

Sistemul de monitorizare instalat include 20 de canale de vibrații, câte patru pentru fiecare nivel de compresie. Restul canalelor monitorizează rulmenții care sprijină arborii. Pentru fiecare canal în parte, s-a definit un set de analize standard. În afară de analiza tipică de vibrații în bandă largă, s-a mai configurat suplimentar în sistem un set de analize de frecvență pentru subsamblele importante ale utilajului. În plus, s-a montat și un senzor pentru monitorizarea turației de lucru. Mai mult decât atât, s-a avut în vedere și monitorizarea unui set de parametri de proces adică presiuni, temperaturi și debite. Mediul de lucru extrem de periculos (vapori de apă sărată, zonă ATEX) a impus proiectantului să adopte soluții speciale.

4 Spectrul tipic al unui compresor de gaz

Funcționarea acestui utilaj se caracterizează prin generarea de vibrații relativ puternice, generate în special de pistoane și de supape. Impacturile produse de către aceste elemente induc vibrații considerabile în numeroase componente ale compresorului, fapt care face aproape imposibilă utilizarea analizei tipice de frecvență. În figura 3 se poate vedea spectrul FFT cu componente armonice puternice, apărute la frecvențe multipli ai turației de lucru, determinate de către impacturile mai sus menționate.

Acestea sunt prezente de-a lungul întregului domeniu de frecvențe analizat (12 kHz) și maschează frecvențele de defect ale componentelor utilajului.

Fluctuațiile parametrilor de proces reprezintă un alt obstacol în efectuarea clasice analize de vibrații.

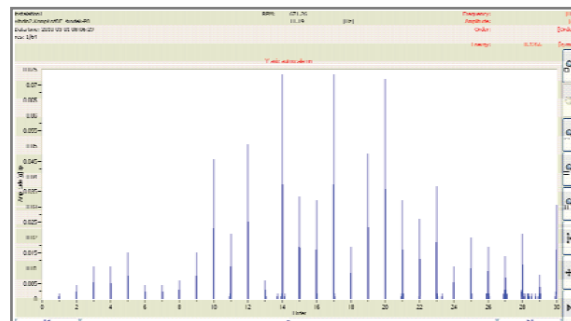


Fig. 3. Spectrul FFT pentru compresorul cu piston

Figura 4 prezintă turația și presiunea la intrarea în conductă, în condiții normale de exploatare. Instalația are în monitorizare continuă 22 de valori de parametri de proces, care, împreună cu cele 20 de canale de monitorizare a vibrațiilor menționate anterior (aproximativ 6 analize pe canal, adică un total de 120 de valori), permit o foarte bună observare generală a compresorului.

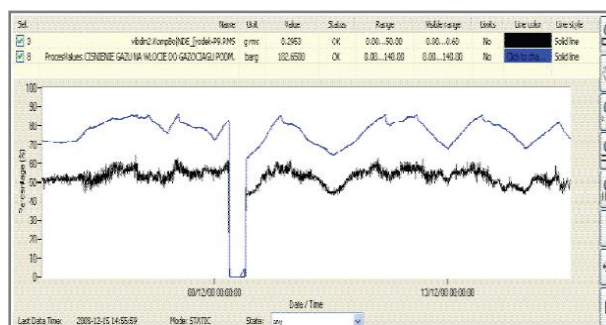


Fig.4 Parametri de proces - turația și presiunea

5 Detectarea defectelor de rulment

Prin monitorizarea continuă a acestui compresor de gaz pe o perioadă îndelungată de timp, echipa de analiști care s-a ocupat de instalația respectivă a detectat o serie de disfuncționalități. În general, a fost vorba despre deteriorarea rulmenților, deteriorarea supapelor de aspirație, a pistoanelor și camelelor cilindrice în urma loviturilor hidraulice apărute din cauza supradimensionării ventilului de reglaj termostatic, creșterea exagerată a jocului ambielajului datorită uzurii capului bielei, ceea ce face posibil contactul între piston și blocul supapei de refulare. În plus, supraîncălzirea compresorului determină reducerea vâscozității lubrifiantului, adică scăderea capacității acestuia de ungere, astfel producându-se fenomenul de „gumare” sau și mai

rău, de cocsificare a uleiului. În această situație supapele de refulare pur și simplu se carbonizează.

Și lista defectelor ar putea continua...

De reținut însă, este faptul că, datorită condițiilor dure de exploatare, în toate aceste cazuri analiza clasică de vibrații nu se va putea ridica la înălțimea așteptărilor analiștilor.

Astfel, pentru a crește eficiența evaluării riscurilor, s-a recurs la dezvoltarea și implementarea unei serii suplimentare de algoritmi de vibrații (inclusiv schimbarea ordinii analizelor și efectuarea analizei personalizate a spectrului anvelopă).

Pentru că cele mai frecvente defecte sunt cele de rulment, vom discuta în continuare despre acestea. După cum știm, metoda tipică de detectare a defectelor de rulment este analiza în bandă largă a spectrului anvelopă, dar care, neadaptată situației concrete, devine insuficientă pentru a descrie fidel situația reală. Spectrul anvelopă calculat prin metoda tradițională arată numai armonicile turației; de aceea se impune aplicarea unor tehnici mai selectiv de diagnosticare.

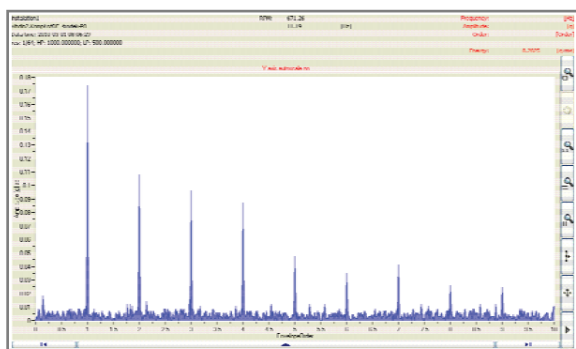


Fig. 5. Spectrul anvelopă clasic

Astfel, prima măsură suplimentară a constată în creșterea rezoluției spectrului anvelopă până la un nivel convenabil. Așadar, s-a calculat spectrul anvelopă după reeșantionarea semnalului, ceea ce a îmbunătățit considerabil surprinderea liniilor spectrale provenite din surse sincrone. În urma acestei decizii, spectrul a dispus de suficiente linii de rezoluție pentru a permite detectarea componentelor spectrale provenite de la elementele deteriorate ale rulmentului vizat.

În figura 6 se poate observa spectrul anvelopă de înaltă rezoluție. Specialiștii experimentați ar putea surprinde în acest spectru componentele provenite de la rulmentul defect, dar totuși amplitudinea componentelor de defect rămâne încă mult prea scăzută, pentru a fi ușor vizibile.

Se pot vedea două vârfuri caracteristice inelului interior, respectiv exterior deteriorate ale rulmentului.

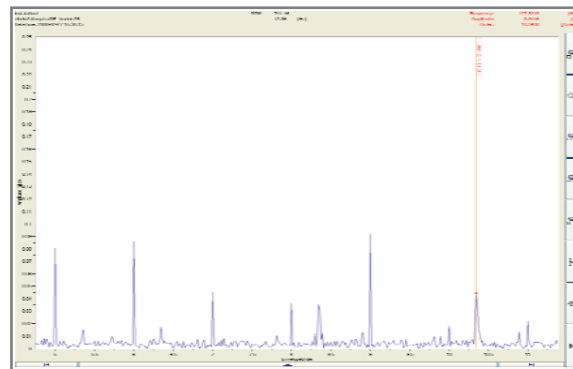


Fig. 6 Spectrul anvelopă de înaltă rezoluție

A doua metodă care s-a aplicat pentru determinarea defectelor de rulment a fost analiza spectrului anvelopă în bandă îngustă (NEA), bazată pe transformata Hilbert¹.

Cu o selecție corespunzătoare a parametrilor, metoda permite identificarea corectă a componentelor caracteristice elementelor defecte ale rulmenților.

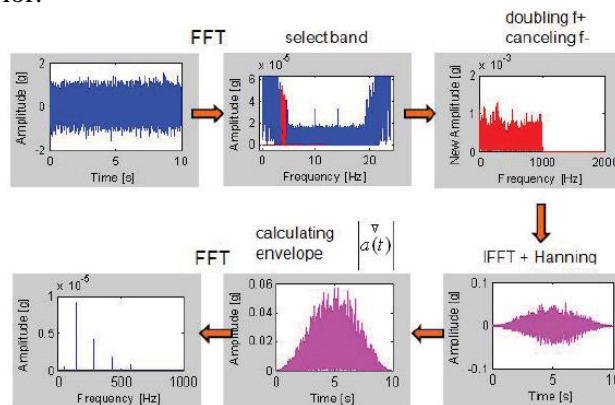


Fig. 7 Algoritmul generării spectrului anvelopă în bandă îngustă

Principiul de funcționare al algoritmului NEA constă în selectarea benzii, în care semnalul trebuie demodulat. Problema selectării corecte a benzii s-a perfecționat treptat, prin contribuțiile mai multor autori², printre care Kurtograma propusă de Antoni J.³ merită o atenție specială. Această metodă puternică se bazează pe determinarea parametrului Kurtosis pentru semnalul de vibrații trecut prin mai multe filtre și modificând atât frecvența centrală (CF), cât și lățimea benzii filtrului (dF).

Din teorie, știm că reprezentarea matematică a abaterii de la distribuția de amplitudine gaussiană

¹ T. Barszcz, A. Jablonski - Analysis of Kurtogram performance in case of high level non-Gaussian noise, Proc. of ICSV 2009, Kraków, Poland

² Ho D., Randall R. B. - Optimization of bearing diagnostic techniques using simulated and actual bearing fault signals. Mechanical Systems and Signal Processing - 2000, 14(5), 763-788

³ Antoni J. - Fast computation of the kurtogram for the detection of transient faults. Mechanical Systems and Signal Processing, vol. 21, 2007, 108-124.

este așa-numitul „moment al patrulea” sau Kurtosis-ul. Distribuția gaussiană are un Kurtosis de 3, iar valori mai mari de Kurtosis indică existența unui factor vârf - RMS crescut al semnalului de vibrații. Kurtosis-ul este o măsură valabilă a gradului de degradare al unei mașini, dar permite și diagnosticarea problemei. S-a constatat în practică faptul că evaluarea Kurtosis-ului este foarte potrivită la diagnosticarea mașinilor cu piston.

Un posibil avantaj al folosirii Kurtosis-ului ca parametru în diagnosticarea defectelor, ar fi acela că nu este necesară monitorizarea valorii sale în timp pentru ca metoda să fie eficientă. În general, o valoare Kurtosis de 3 indică un utilaj în stare bună de funcționare, iar pe măsură ce această valoare crește, în mod progresiv utilajul se degradează.

Cu toate acestea, această abordare este destul de sensibilă la impulsuri și zgomote puternice, care sunt de regulă prezente în cazul compresoarelor cu piston.

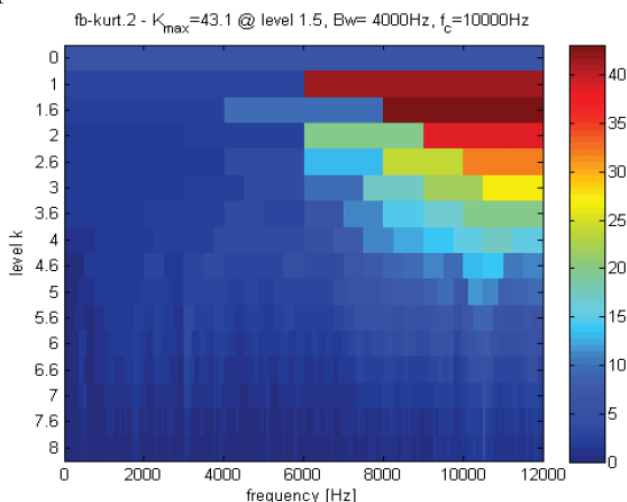


Fig. 8. Kurtograma rapidă obținută dintr-un semnal specific unui defect. Vârful de amplitudine maximă determinat astfel nu se raportează la defectul de rulment existent, ci la impacturile rezultate în urma exploatării utilajului.

Figura 8 prezintă Kurtograma rapidă calculată pentru semnalul de vibrații provenit de la rulmentul defect. Prezența unor astfel de perturbații poate afecta Kurtograma, care, de fapt va surprinde impulsurile și zgomotele intermitente și nu defectele de rulment urmărite. Deoarece metoda menționată anterior, de selecție optimă a lățimii de bandă, nu conduce întotdeauna la rezultatele scontate, analiștii au încercat să investigheze problema pornind de la abordarea de bază. Pe de o parte, evaluând un număr considerabil de cazuri și aplicând tehnica încercărilor repetate, au obținut rezultate acceptabile, chiar dacă au fost nevoiți să evalueze manual un număr mare de combinații posibile. Pe de altă parte,

trebuie să recunoaștem realist că o asemenea abordare ține, până într-un anumit punct, de șansă.

Prin urmare, s-au căutat alte metode pentru a limita numărul de situații posibile CF-dF⁴.

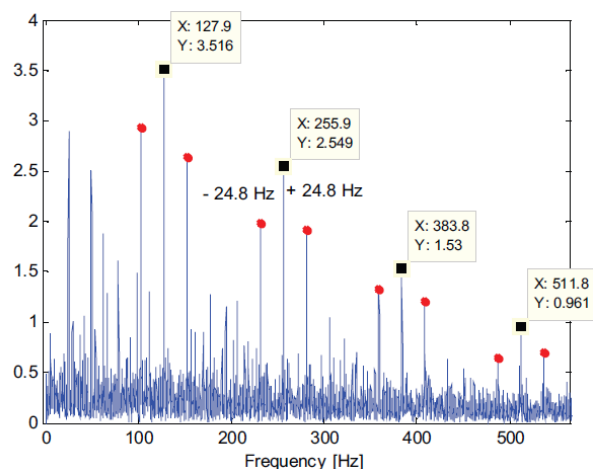


Fig. 9 Spectrul anvelopă în bandă îngustă

Figura 9 prezintă spectrul anvelopă în bandă îngustă și are marcate componentele armonice caracteristice defectelor inelului interior al rulmentului.

Spectrul a fost calculat pentru o frecvență principală CF de 8900 Hz și o lățime de bandă dF de 600 Hz. Primele patru armonici ale frecvenței de defect caracteristice inelului interior BPFi se pot vedea clar cum apar împreună cu benzile lor laterale, spațiate la dublul turației de lucru a utilajului.

6 Concluzii

Metodele propuse anterior permit obținerea unor informații prețioase care permit diagnosticarea utilajului în urma efectuării analizei semnalului de vibrații, în ciuda factorilor perturbatori semnificativi externi. Oricum, selectarea celor mai potriviți parametri de monitorizat și îmbunătățirea algoritmilor de analiză sunt aspecte la care specialiștii lucrează permanent. În continuare, analiștii care au efectuat acest studiu și-au îndreptat atenția către separarea semnalelor.

Chiar dacă acest subiect este foarte popular în literatura de specialitate pentru prelucrarea semnalelor, apariția frecventă și repetitivitatea mare a impulsurilor rămâne o provocare atât pentru oamenii de știință, cât și pentru ingineri.

Notă: Articolul original în limba engleză se regăsește în revista *Diagnostyka*, Nr. 4(56) / 2010, Pg. 55-58

⁴ Bartelmus W., Zimroz R.: Optimal frequency range for amplitude demodulation for local fault detection. *Diagnostyka* vol.37,2006,141-150