

PARTICULARITĂȚILE DIAGNOSTICĂRII DEFECTELOR RULMENȚILOR

Gherman Sorochin, Sergiu Tincovan
Universitatea Tehnică din Moldova
ger_sor@mail.ru, s_tincovan@mail.ru

Abstract. *The paper deals with some approaches to the diagnostics of roller bearing defects. Dignity of the envelope analysis method for monitoring and diagnostics of defects on the basis of spectrum and cepstrum of vibration signal is presented.*

Cuvinte-chee: *diagnostică, rulment, viteza vibrației, accelerația vibrației, analiză spectrală, cepstrum analiză.*

I. Introducere

Mărirea eficienței, fiabilității și resursei, de asemenea asigurarea exploatării sigure a avioanelor și automobilelor sunt strâns legate de aprecierea stării lor tehnice. Cele mai eficiente metode de control sunt cele ne-distructive, în special, vibro-diagnostica. Anume semnalul vibrației posedă cea mai înaltă capacitate informativă despre funcționarea motorului și componentelor lui și poate servi în calitate de indice a stării acestuia.

Rulmenții constituie parte indivizibilă majorității motoarelor: de automobil, aviație și generatoarelor centralelor hidroelectrice. Calitatea confecționării rulmenților, diagnosticarea lor în regim de exploatare determină cardinal securitatea activității vitale a omului. De aceea metodelor de diagnosticare li se acordă o atenție deosebită [1...5].

II. Diagnosticarea defectelor rulmenților

Semnalul vibrației este un purtător fizic de informație despre starea componentelor motorului în regim de funcționare. Zgomotul și vibrația sunt procese firești ce decurg în motoare și echipament, sunt provocate de aceleași forțe dinamice care constituie cauzele uzării și apariției defectelor de tipuri variate.

Cea mai simplă formă a vibrației prezintă oscilația armonică:

$$S(t)=A \cdot \sin(\omega t+\varphi), \quad (1)$$

unde A este amplitudinea oscilației; φ - faza inițială a oscilației; ω - viteza unghiulară.

În condiții reale această formă clasică de oscilații se întâlnește rar. O parte considerabilă de oscilații ce se întâlnesc în practică sunt poliarmone. Parametrii de bază a proceselor de vibrație sunt:

- frecvența vibrației $f=1/T$ (Hz), T – timpul ciclului complet a oscilației, s;
- deplasarea vibrației (deplasare sub acțiunea vibrației) S (mm, μ m) – componenta deplasării ce descrie vibrația. În calitate de parametru al diagnosticării deplasarea vibrației prezintă interes în acele cazuri când este necesar de aflat deplasarea relativă a elementelor obiectului sau mărimea deformației;
- viteza vibrației V (mm/s) – derivata deplasării vibrației în timp. Viteza vibrației se aplică pentru determinarea stării tehnice a mașinilor când vibrațiile sunt poliarmone. De obicei acest parametru este asociat cu energia oscilațiilor mecanice, ce poate duce la distrugerea pieselor;
- accelerația vibrației a (m/s^2) – derivata vitezei vibrației în timp. Accelerația vibrației este aplicată pentru determinarea gradului de distrugere, prezenței defectelor și a forței loviturilor

în rulmenți.

Detectarea apariției defectului în rulmenți se efectuează prin două metode – apariția impulsurilor de șoc și modulația forțelor de frecare.

Impulsurile de șoc reprezintă variații de presiune neregulate (unde de șoc) ce apar în fiecare rulment ce se rotește și se propagă cât în interiorul acestuia atât și via materialul pieselor ce îl contactează. În metoda undelor de șoc analizează rulmentului (în funcțiune) este interpretat ca un „generator al impulsurilor de șoc” și nu ca un „generator de vibrații”. De aceea pentru monitorizarea stării rulmenților sunt folosiți senzori ai impulsurilor de șoc ce utilizează amplificarea de rezonanță a undelor de șoc.

Specificul analizei vibrațiilor a motoarelor de aviație constă în aceea că pentru aprecierea corectă a calității confecționării motoarelor este necesar de apreciat comportamentul vibrațiilor în diferite regimuri: la încălzire, cu ieșire treptată de la turații minime până la cele maxime, dinamica capacității de repriză la accelerare și cursă liberă la frânare. De aceea metoda analizei spectrale a oscilațiilor puterii vibrației aleatoare, cunoscută sub denumirea de metoda înfășurătoarei, se potrivește cel mai reușit pentru diagnosticarea acestor motoare. Esența metodei este ilustrată în fig. 1 și fig. 2, unde sunt prezentate semnalele oscilațiilor vibrațiilor de frecvență înaltă în rulmenții fără defecte și cu defecte [1, 3].

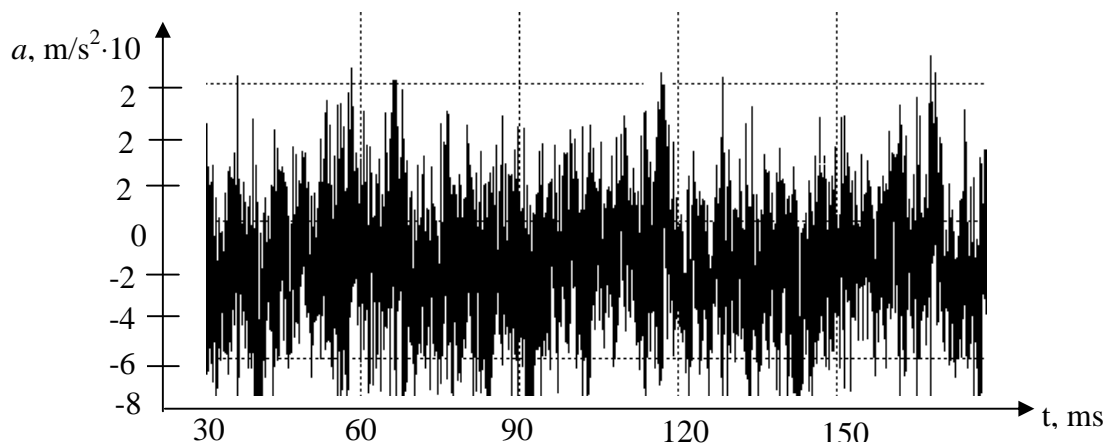


Fig.1. Componentele de înaltă frecvență a rulmentului fără defecte

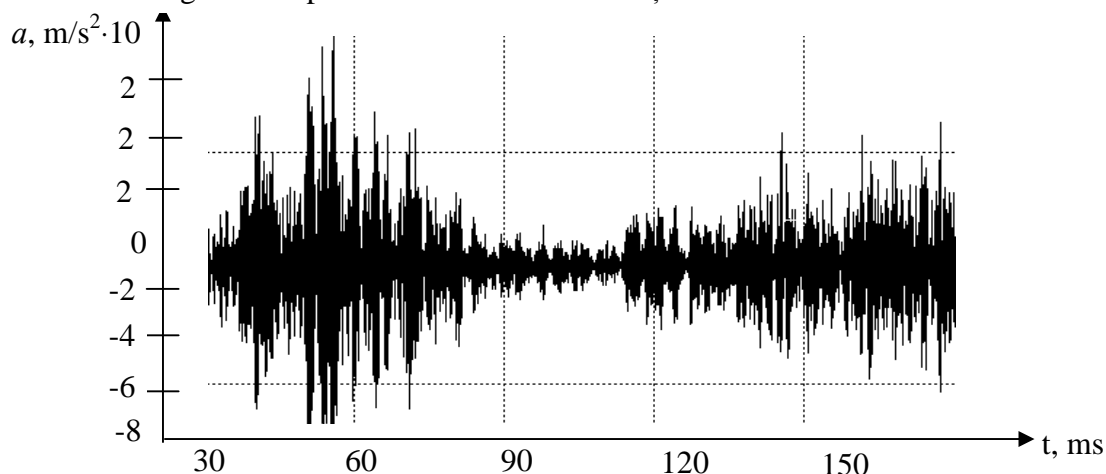


Fig.2. Componentele de înaltă frecvență cu modulare după amplitudine din cauza defectelor rulmentului

În rulmentul fără defecte puterea semnalului nu conține oscilații de frecvență joasă, iar în cel cu defecte aceste oscilații sunt pronunțate și considerabil se evidențiază în spectrul înfășurătoarei sub formă de armonici (vezi fig. 3) ce conțin frecvențe caracteristice pentru rulment sau combinații

de frecvențe.

Tipic problema primordială a diagnosticării o constituie timpul redus de rotire a rulmentului cu sarcină și turații stabile (constante). Pentru diagnosticarea completă a entității cu rulment prin metoda înfășurătoarei este necesar de măsurat parametrii vibrației pe parcurs de 50÷100 rotații a rulmentului. Restricțiile temporale de rotire a rulmentului cu viteză și sarcină constantă permite evidențierea a trei procedee principale de măsurare a parametrilor vibrației, inclusiv cu ajutorul spectrului înfășurătoarei [1].

Primul procedeu, cel mai important, constă în acumularea pas-cu-pas a rezultatelor analizei spectrale. În acest procedeu este selectat un interval de timp pe parcursul căruia rulmentul se rotește cu viteză stabilă. În acest interval de timp se măsoară spectrul înfășurătoarei care apoi se mediază cu rezultatele măsurărilor similare pe parcursul altor intervale de timp.

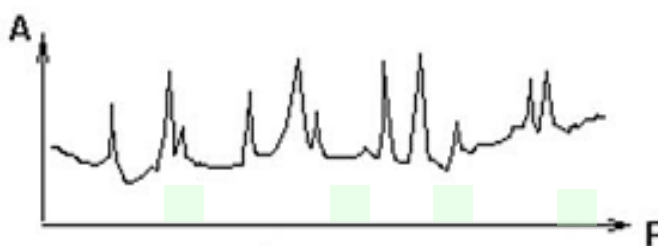


Fig.3. Spectrul înfășurătoarei semnalului vibrației al rulmentului cu defecte

Al doilea procedeu constă în organizarea regimurilor speciale pentru diagnosticarea funcționării motorului cu turații constante. Ca exemplu poate servi diagnosticarea rulmenților avio-motoarelor la rotirea rotorului cu ajutorul starterului sau a unei transmisii externe. Problema ce poate apărea într-o asemenea diagnosticare constă în aceea că sarcina poate să-și schimbe direcția și porțiunea defectată a inelului static al rulmentului poate să-și piardă angrenajul cu partea mobilă a corpului, în deosebi la prezența unui joc în componentele rulmentului. Rezultatul acestei situații poate fi ratarea detectării defectării inelului fix al rulmentului.

Al treilea procedeu în diagnosticarea rulmenților la o variație a frecvenței turațiilor constă în analiza sincronă a spectrului înfășurătoarei cu utilizarea senzorilor unghiului de rotire a rulmentului diagnosticat. Însă în acest procedeu variația vitezei de rotire nu trebuie să depășească 15÷20%.

Cei mai performanți indicatori (ce constituie mai puțin de trei procente ai sumei probabilității non-detectării defectului esențial și alarmei false) se ating la măsurarea periodică (primul procedeu) a spectrului înfășurătoarei de frecvență înaltă și spectrului frecvențelor medii ale vibrației entității cu rulment. Argumentarea constă în aceea că la analiza spectrelor cu repetare periodică este mai ușor de separat o porțiune a spectrului vibrației analizate.

În spectrul prezentat în fig. 3 este greu de evidențiat frecvențele caracteristice pentru rulmenți. Ca regulă, frecvențele caracteristice sunt periodice și depind de numărul corpurilor de alunecare și de viteza de rotire a axului (vezi fig. 4.)

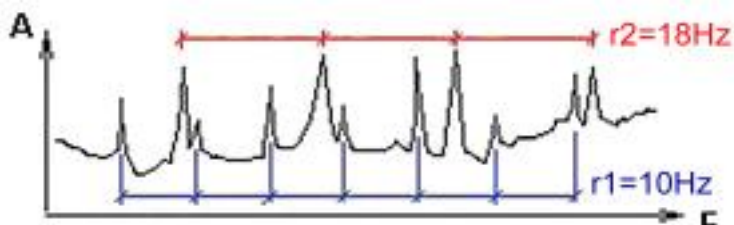


Fig.4. Spectrul semnalului vibrației cu frecvențele caracteristice rulmenților

Cu ajutorul analizei cepstrum [6] spectrul inițial din fig. 4 poate fi prezentat într-o formă mai compactă, unde fiecare serie de armonici ai spectrului inițial poate fi reprezentat numai printr-o singură componentă (fig. 5.)

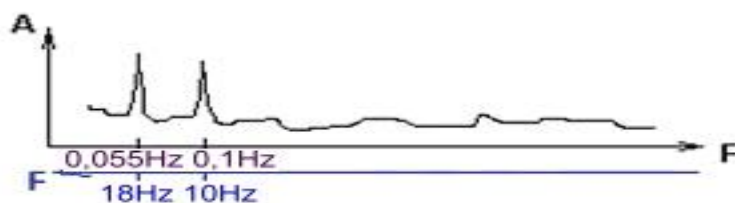


Fig.5. Cepstr-ul vibro-semnalului

Deoarece cepstr-ul este media frecvențelor, amplasate pe axa frecvențelor, atunci după variația amplitudinii componentelor spectrului e posibil de cercetat mai detaliat tendința schimbării comportamentului rulmentului defectat.

Baza schemotehnică contemporană – microcontrolerele, circuitele cu structură programabilă etc., permite efectuarea în timp real a analizei spectrale, inclusiv a cepstrum-ului. Diagrama tipică a dispozitivului de diagnosticare a defectelor rulmenților este prezentată în fig. 6.

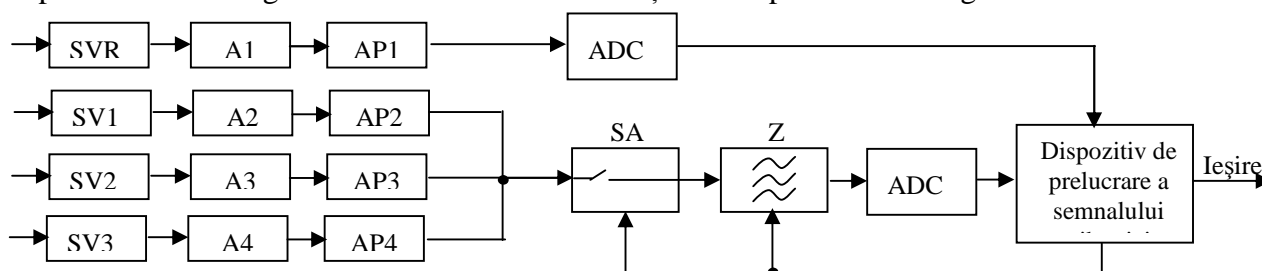


Fig.6. Schema funcțională a dispozitivului pentru diagnosticarea defectelor rulmenților

Semnalele de la senzorii de vibrație (SV1...SV3) și de la senzorul vitezei de rotație (SVR) prin dispozitivele de amplificare (A1...A4) și schemele de adaptare și protecție (AP1...AP4) prin comutatorul analogic de semnale se aplică la intrarea blocului de filtre active trece jos (Z). De la senzorul de rotație a axului semnalul este generat continuu spre dispozitivul de procesare a vibro-semnalului, ceea ce permite prelucrarea vibro-semnalului în acele momente de timp când viteza de rotație a axului pe parcursul unui interval de timp este neschimbată. Convertorul Analog-Numeric (ADC) transformă semnalul analogic a senzorilor în formă digitală pentru prelucrarea ulterioară. În dispozitivul de procesare a vibro-semnalului se efectuează analiza spectrală și cepstrală cu ajutorul transformării discrete Fourier. Rezultatele procesării sunt transmise pentru analiza ulterioară și luarea deciziei.

III. Concluzii

În lucrare au fost cercetate trei procedee de detectare în timp real a defectelor rulmenților. În rezultat s-a constatat că metoda de analiză a spectrului înfășurătoarei oferă cea mai plauzibilă estimare asupra stării rulmenților. Cepstrum analiza permite o analiză mai detaliată a tendinței varierii frecvențelor caracteristice ale rulmenților. Schema funcțională prezentată propune una din variantele de implementare a sistemului de diagnosticare în timp real a defectării rulmenților

IV. Bibliografie

1. Adams M.L. Rotating Machinery Vibration: from Analysis to Troubleshooting. Marcel Dekker, Inc., 2001, 364 P.
2. Барков А.В., Баркова Н.А., Азовцев А.Ю. Мониторинг и диагностика роторных машин по вибрации. Изд. АО ВАСТ, Санкт Петербург, 1997.
3. Балицкий Ф.Я., Иванова М.А., Соколова А.Г. Виброакустическая диагностика зарождающихся дефектов. – М.: Наука, 1984.
4. Белинская Ю.П. Разработка системы вибродиагностики насосного агрегата шахтной водоотливной установки. // Материалы 7-й Международной молодежной научной конференции «Севергеоэкотех-2006». Ухта, 2006.
5. Звонарев С., Поклад В., Потапов А. Стендовый комплекс диагностики авиационных двигателей. // Современные технологии автоматизаций, №1, 2002, pp.42.
6. S.Sukittanon, L.E.Atlas, J.W.Pitton. Modulation-scale analysis for content identification. IEEE. Transactions on Signal Processing. Vol.52, №10, Oct.2004, pp.3023-3035.