

## Introducere în vibrații

### Ce este vibrația?

Vibrația reprezintă răspunsul unui sistem la un stimul intern sau extern, care face acest sistem să oscileze. De obicei lumea consideră că vibrațiile în sine deteriorează utilajele dinamice, lucru neadevărat. De fapt, prejudiciile create se datorează diferitelor tipuri de solicitări mecanice și termice, pe scurt sarcinilor dinamice, la care sunt supuse toate organele de mașini în mișcare, fapt care diminuează dramatic rezistența la oboseală a materialelor. Prin urmare, sarcinile dinamice sunt cauza apariției și dezvoltării vibrațiilor. Evident, diferite tipuri de utilaje prezintă toleranțe diferite la vibrații!

### Care este cauza vibrațiilor?

Literalmente există sute de probleme specifice, care pot conduce la expunerea la vibrații excesive a unui utilaj dinamic. Pentru a găsi sursa vibrațiilor, se impune efectuarea unei analize detaliate de vibrații.

Forțele care au ca rezultat producerea de vibrații în exces sunt generate, de obicei, de mișcarea de rotație a organelor de mașini sau de frecvența liniei de alimentare electrică. Atunci când apare o stare de funcționare defectuoasă, cel puțin una dintre frecvențele mai jos menționate va coincide cu frecvența de defect, frecvență la care apar vibrații de amplitudine semnificativă. Există mai multe tipuri de frecvențe proprii organelor de mașini implicate în diferite tipuri de mișcări mecanice, în timpul funcționării utilajelor dinamice, și anume:

- Frecvența de rotație a arborelui
- Frecvențele proprii barelor rotorice la motoare electrice
- Frecvențele liniei electrice de alimentare
- Frecvențele proprii ale angrenajelor
- Frecvențele proprii ale paletelor rotoarelor
- Frecvențele proprii ale rulmenților
  - ✓ Frecvența proprie coliviei
  - ✓ Frecvența proprie elementelor de rostogolire
  - ✓ Frecvența proprie inelului interior
  - ✓ Frecvența proprie inelului exterior
- Frecvențele proprii ale curelelor de transmisie
- Frecvențe proprii polilor statorului
- Frecvența specifică turbioanelor de ulei la mașinile cu lagăre de alunecare
- Frecvențe specifice de sarcină (datorate încărcării externe a utilajelor)
- Vibrații aleatorii
- Frecvențe naturale.

### Măsurarea vibrațiilor

De vreme ce vibrația este caracterizată de o mișcare oscilatorie, putem pur și simplu măsura valoarea deviației de la poziția de echilibru, parametru care în vibrații este cunoscut sub numele de deplasare de vibrație. În mod uzual ne referim la valoarea măsurată vârf-la-vârf a deplasării, pe care o putem exprima în micrometri. Oricum deplasarea este exprimată în funcție de frecvență. Astfel, putem aprecia că o deplasare de 30 μm la o rotație de 1000 RPM este la fel de distructivă

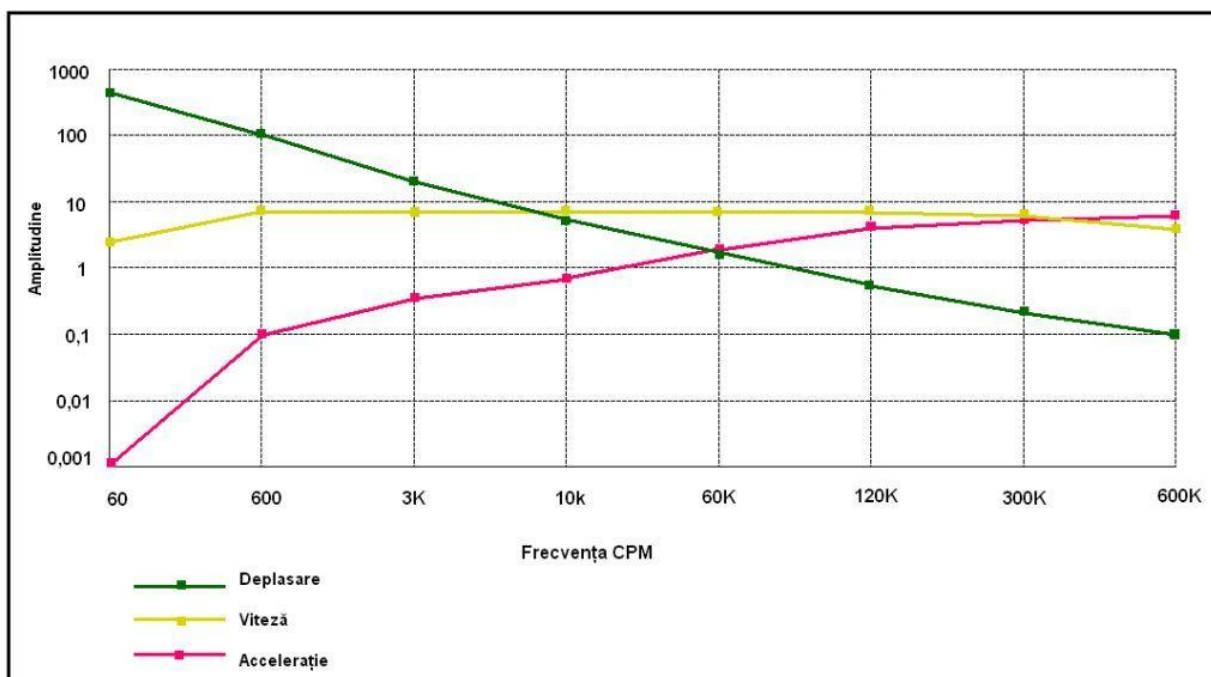
precum o deplasare de 300  $\mu\text{m}$  la o turație de 100 RPM, știind că frecvența este inversul turației. Acest lucru îngreunează mult stabilirea nivelelor de alarmă pentru evaluarea stării de funcționare a utilajelor. Nu trebuie să uităm că orice sursă de vibrații contribuie la creșterea stării de uzură finală a utilajului. Starea generală de funcționare a unei mașini poate fi determinată numai printr-o măsurare a nivelului total de vibrații, care să ia în considerare toate frecvențele de vibrație cu ponderi relativ egale. Acest lucru se poate realiza utilizând prima diferențială a deplasării de vibrație, și anume viteza de vibrație.

Viteza de vibrație este o măsură a turației la care o componentă a mașinii sau întreaga mașină este se mișcă, acesta fiind supuse în plus și unei mișcări de oscilație. Viteza de vibrație este măsurată în [mm/s]. Ca indicator al stării generale de oboseală a utilajelor, nivelele totale ale vitezei de vibrație sunt constante în intervalul 500÷120000 CPM. Este vorba aici despre majoritatea mașinilor cu arbori aflați în mișcare de rotație și despre organe de mașini angrenate între ele. La frecvențe de vibrație mult sub 500 CPM se efectuează citiri de deplasare de vibrație și la frecvențe de vibrație peste 120000 CPM, vom aplica vitezei de vibrație metoda matematică de diferențiere, obținând accelerația de vibrație.

Unitatea de măsură pentru accelerația de vibrație este „g”, unde „g” este multiplu al accelerației gravitaționale ( $9,81 \text{ m/s}^2$ ). Ca indicator al stării de oboseală a utilajului, accelerația este constantă peste 120 000 CPM.

În concluzie putem spune:

1. Vom efectua măsurători de viteză de vibrație la toate utilajele.
2. Vom efectua măsurători de accelerație la utilaje la care ne așteptăm la frecvențe de defect peste 120 000 CPM.



În figura de mai sus se poate observa relația dintre cei trei parametri de vibrație (deplasare, viteză, accelerație de vibrație) și frecvență.

### Nivele de alarmă

Așa cum am spus mai devreme, tipuri diferite de mașini au toleranțe diferite la vibrații. Pentru a extinde această afirmație, putem spune că, dacă două mașini sunt supuse aceleiași solicitări dinamice, amplitudinea vibrațiilor la mașina cu rezistență dinamică mai mare, va fi mai mică decât la mașina cu rezistență dinamică scăzută. De exemplu, dacă o mașină este fixată pe un suport elastic, atunci vibrațiile vor crește datorită rezistenței dinamice scăzute a mașinii respective la aceleași solicitări mecanice, comparativ cu fixarea pe suport rigid. Stabilirea unui prag de alarmă oferă, atunci când este

cazul, un avertisment că s-a atins o valoare predefinită de vibrație, considerată inacceptabilă la funcționarea normală, sau că a apărut o schimbare semnificativă în starea utilajului respectiv. În general, un utilaj poate funcționa la nivelul de alarmă un anumit timp, în care se efectuează investigații pentru identificarea problemei care a determinat atingerea nivelului respectiv de vibrații și pentru definirea acțiunilor de remediere. De fapt, nu vorbim despre un nivel de alarmă, ci mai degrabă despre un interval sau un domeniu de alarmă. Atunci când o mașină atinge valoarea superioară a acestui domeniu, considerată critică, atunci categoric se impune oprirea imediată a mașinii și repararea acesteia. Nivelele critice sunt prevăzute în standardul ISO 10816-1:1995(E), din care am extras următorul rezumat:

CLASA	Descriere	Val. Vârf mm/s	Val. RMS mm/s
I	Mașini acționate de motoare electrice sub 15 KW, fixate rigid pe fundație.	10	7,1
II	Mașini acționate de motoare electrice cu puteri între 15 KW și 75 KW, fixate rigid pe fundație sau mașini acționate de motoare electrice sub 15 KW, fixate flexibil pe fundație cu papuci vibro-izolatori. Mașini cu motoare până în 300 KW, foarte bine rigidizate pe fundații ușoare, speciale.	16	11,2
III	Mașini acționate de motoare electrice peste 75 KW fixate rigid pe fundații solide, grele. Mașini acționate de motoare electrice între 15 KW și 75 KW montate flexibil pe fundație, cu papuci vibro-izolatori.	25	18
IV	Mașini acționate de motoare electrice puternice, peste 300 KW, montate pe fundații izolate împotriva șocurilor și vibrațiilor, care sunt relativ flexibile pe direcția de măsurare a vibrațiilor (de ex. turbine cu putere la ieșire peste 10 MW).	40	28

### Energia în regim tranzitoriu la frecvențe mari

Din discuția anterioară reiese faptul că parametrii precum deplasarea, viteza sau accelerația de vibrație nu pot cuantifica corect și complet starea de degradare a unui rulment, de pildă, sau alte tipuri de defecte caracterizate de semnale de joasă amplitudine, de impulsuri de scurtă durată sau de impulsuri de energie. Este vorba despre regimul tranzitoriu.

Dacă asupra unui element oarecare se aplică un impact, atunci acesta va tinde să vibreze sau să „sune” la frecvența sa naturală. Dacă există un defect la un rulment, efectul acestuia asupra rulmentului va fi similar cu acela al impactului produs de un mic ciocan și va face rulmentul să „sune” la frecvența sa naturală chiar dacă acesta se află montat pe un utilaj. Același lucru este valabil pentru un angrenaj defect. Calcularea tuturor acestor frecvențe naturale ar fi o sarcină enormă. Prin urmare se folosește un filtru setat să elimine de obicei toate frecvențele sub 5 kHz, astfel încât să se ia în considerare numai vârfurile apărute la frecvențele peste pragul prestabilit. Această tehnică de filtrare vă oferă o informație direct proporțională cu cantitatea de contact metal - metal din sistem. Cum este vorba despre o frecvență înaltă la care apare periodic, nu continuu, un impact în regim de tranziție, observăm că valoarea energiei dezvoltate în regim tranzitoriu este cu atât mai mare cu cât „cantitatea” de contact direct metal-metal din sistem este mai mare. Unitatea de măsură pentru energia în regim tranzitoriu este [g]. Energia în regim

tranzitoriu este un parametru specific rulmenților. Nu se poate face diagnosticarea rulmenților, în lipsa unei măsurători de energie în regim tranzitoriu.

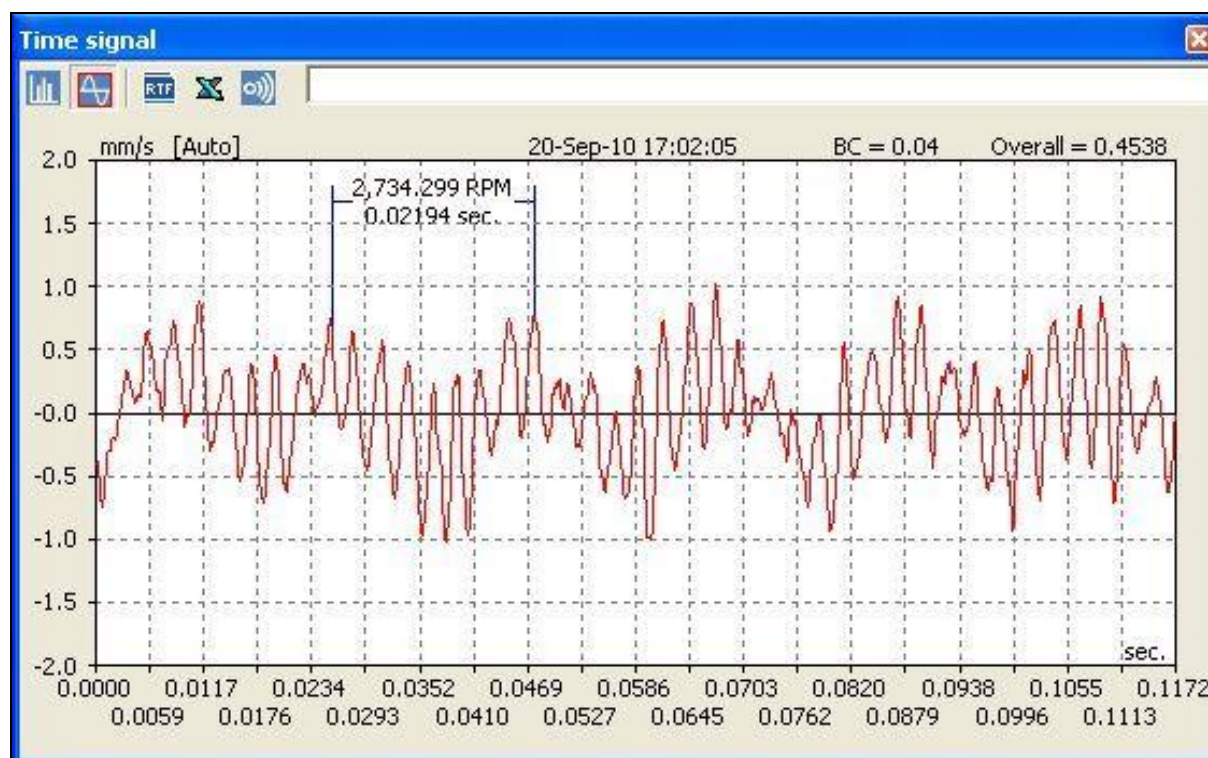
### Cum se măsoară vibrațiile?

Pentru a măsura vibrațiile, trebuie să transformăm oscilațiile mecanice în semnale electrice. În acest sens, pentru a fi măsurată, vibrația percepută pe un reper anume trebuie transformată în semnal electric, prin intermediul unui transductor de vibrație. Primele transductoare de vibrație constau dintr-o tijă cu unul dintre capete aflat în contact direct cu arborele în mișcare, iar celălalt capăt prevăzut cu un magnet cu bobină, pentru producerea unui semnal electric și erau cunoscute sub numele de transductoare de deplasare cu contact. În prezent nu se mai folosesc. Următoarea generație de transductoare de vibrație, cunoscute sub denumirea de transductoare de viteză inductive au fost alcătuite dintr-o carcasă, având suspendată în centru o bobină înfășurată în jurul unei mase seismice și dintr-o parte fixă, formată dintr-un magnet permanent, cu rolul de a induce un câmp magnetic puternic. Cele mai comune transductoare folosite în zilele noastre sunt accelerometrele, care au ca senzor primar un cristal piezoelectric capabil să acumuleze sarcina electrică atunci când este supus unui efort (de exemplu unei vibrații). În prezent, se utilizează toate tipurile de transductoare, dar majoritatea colectoarelor de date folosesc accelerometre.

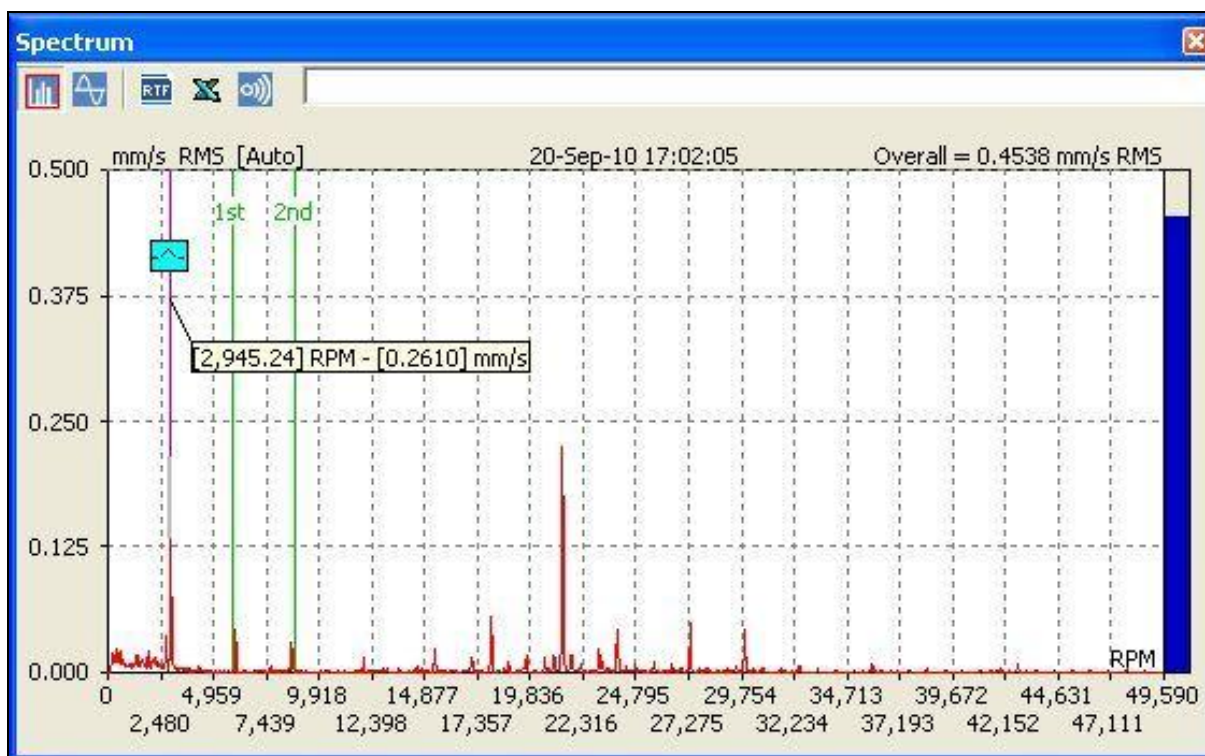
Semnalul de ieșire al transductorului este în continuare procesat cu tehnologii moderne de memorare, filtrare și descompunere în frecvențe componente. De obicei, accelerometrele au o bază magnetică, ceea ce le permite atașarea în punctele de măsurare pentru efectuarea măsurătorilor periodice, dar se pot instala și permanent, cu prezon, pentru efectuarea măsurătorilor continue sau pentru măsurarea în puncte greu accesibile.

### Frecvența de vibrație

Figura următoare prezintă un semnal de vibrație brut:



Se observă că acest grafic se compune din diferite frecvențe, unele dintre ele repetitive, altele ne-repetitive.



Pe axa OY este reprezentată amplitudinea vibrației, iar pe OX este frecvența de vibrație. Din aceste grafice se observă ușor frecvențele dominante din spectru, și deci frecvențele la care apar defectele.

După cum spuneam anterior, vibrațiile prezintă anumite caracteristici, printre care frecvența de vibrație și direcția de măsurare. Dacă ar fi posibil am efectua citiri ale vitezei de vibrație pe direcție verticală, orizontală și axială pentru fiecare lagăr din sistem. Din păcate, nu întotdeauna avem acces la punctele de măsurare, datorită, de pildă cuplajelor sau apărătorilor transmisiilor cu curele. Deci nu este întotdeauna posibilă obținerea tuturor măsurătorilor.

### Direcțiile de măsurare a vibrațiilor

Din motive de securitate sau din rațiuni de protejare a mediului ambiant, utilajele moderne sunt din ce în ce mai bine protejate de carcase, care îngreunează foarte mult accesul la punctele de măsurare din care se pot colecta citiri elocvente. Acest neajuns se poate rezolva prin fixarea permanentă a traductoarelor în punctele de interes, urmată de preluarea semnalului în afara carcasei utilajului la un conector electric, la care se poate cupla ușor colectorul de date.

### Analiza vibrațiilor, instrument incontestabil în întreținerea predictivă

Implementarea unui sistem de întreținere predictivă impune parcurgerea următoarelor etape:

- 1) Colectarea următoarelor informații referitoare la utilajele incluse în programul de întreținere predictivă:
  - a. Denumirea utilajului
  - b. Turația de lucru a utilajului
  - c. Tipul de utilaj (ventilator, motor electric, cutie de viteze, pompă etc.)
  - d. Stabilirea punctelor de măsurare (cât mai aproape de lagăre), numerotate de la capătul liber al utilajului către capătul conectat la utilajul de antrenare.
  - e. Stabilirea direcțiilor de măsurare (verticală, orizontală sau axială), ținând cont de tipul de

utilaj pe care îl măsurați (orizontal, vertical)

f. Stabilirea unităților de măsură pentru vibrații.

- 2) Cu ajutorul informațiilor colectate se va întocmi într-un calculator o bază de date în care se vor ordona ierarhic traseele sau rutele de măsurare, utilajele, în ordinea în care apar fizic în teren, punctele și direcțiile de măsurare. Informațiile de mai sus se vor completa și cu nivelele de alarmă pe care le veți stabili așa cum am discutat anterior.
- 3) Ruta respectivă se va încadra în programul software de întreținere predictivă de care dispuneți, în formatul cerut de acesta.
- 4) Din programul software specializat, ruta se transferă în colectorul de date.
- 5) Se efectuează colectarea datelor, pe teren, cu ajutorul colectorului de date.
- 6) Măsurătorile din colectorul de date se transferă în programul software pentru prelucrare.
- 7) Calculatorul generează o listă a tuturor citirilor care depășesc nivelele de alarmă pe care le-ați stabilit anterior.
- 8) Pe baza datelor obținute se efectuează analiza și diagnoza.
- 9) Procesul se finalizează prin stabilirea concluziilor și recomandărilor, pe baza diagnozei efectuate la etapa anterioară.

Repetând periodic măsurătorile, veți obține un istoric al fiecărui utilaj, care vă permite să apreciați evoluția în timp a utilajului respectiv și să anticipați probabilitatea apariției eventualelor evenimente din timp, ceea ce vă oferă posibilitatea intervenției asupra utilajului deteriorat, atunci când considerați oportun, și nu atunci când acesta intră în colaps. Perioada de timp la care repetați măsurătorile nu trebuie să fie exagerat de mare, deoarece puteți pierde evenimente importante în evoluția mașinii respective, și vă puteți afla la un moment dat în situația căderii iminente a utilajului în cauză.