

## FORMA DE UNDĂ

### Introducere

*Forma de undă* este o însumare complexă a tuturor frecvențelor individuale ale unui utilaj dinamic. Acest lucru poate crea confuzii și poate reprezenta o problemă în efectuarea analizei vibrațiilor.

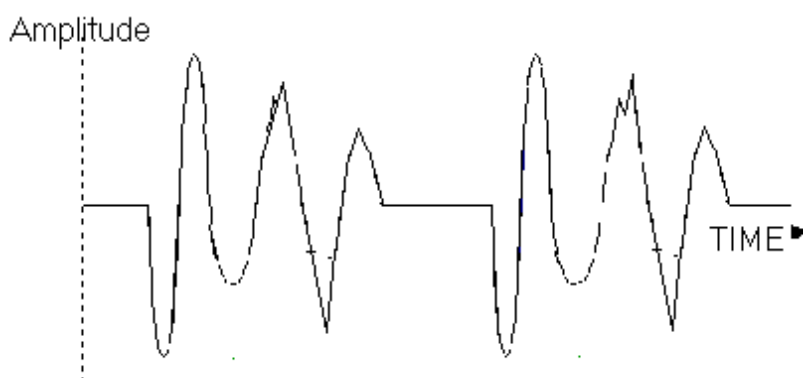
Pentru a analiza corect *forma de undă* trebuie să înțelegem mai întâi ce reprezintă și apoi să decidem dacă ne este utilă în aplicația curentă, la diagnosticarea problemelor mașinilor și instalațiilor noastre.

Trebuie să înțelegem că există anumite defecte despre care putem afla mai multe detalii numai analizând forma de undă, deoarece fără ajutorul măsurătorilor TWF putem pierde evoluția unui defect în timp. Prin urmare, trebuie să învățăm să interpretăm forma de undă în cel mai simplu mod posibil.

Scopul ar trebui totuși să fie determinarea cât mai devreme posibil a schimbărilor stării de funcționare a utilajelor apelând la cea mai simplă metodă.

### Ce este *forma de undă*?

Cea mai elementară descriere a *formei de undă* ar fi un semnal brut, neprocesat pe care îl colectăm cu ajutorul unui sensor de vibrații și îl afișăm pe display-ul unui osciloscop. Acest semnal este afișat de obicei în format analogic și ar trebui să arate în mod normal ca în figura de mai jos.



O dată cu evoluția colectoarelor de date portabile, posibilitatea de a colecta forma de undă în format digital este îmbunătățită și mult mai accesibilă. Marea provocare constă în folosirea formei de undă în vederea îmbunătățirii sistemelor de monitorizare a utilajelor dinamice.

În plus, datele colectate trebuie să aibă și eficiență maximă, deoarece nu are rost să încărcăm memoriile analizatoarelor cu date inutile.

Sistemele digitale dau în prezent informațiile clasice, dar într-un format ușor de colectat și de memorat.

Există multe defecte tipice ale utilajelor dinamice, care pot fi detectate numai apelând la analiza *forme de undă*. Despre aceste defecte și despre setările corecte pentru colectarea de informații pertinente vom discuta ulterior în acest articol.

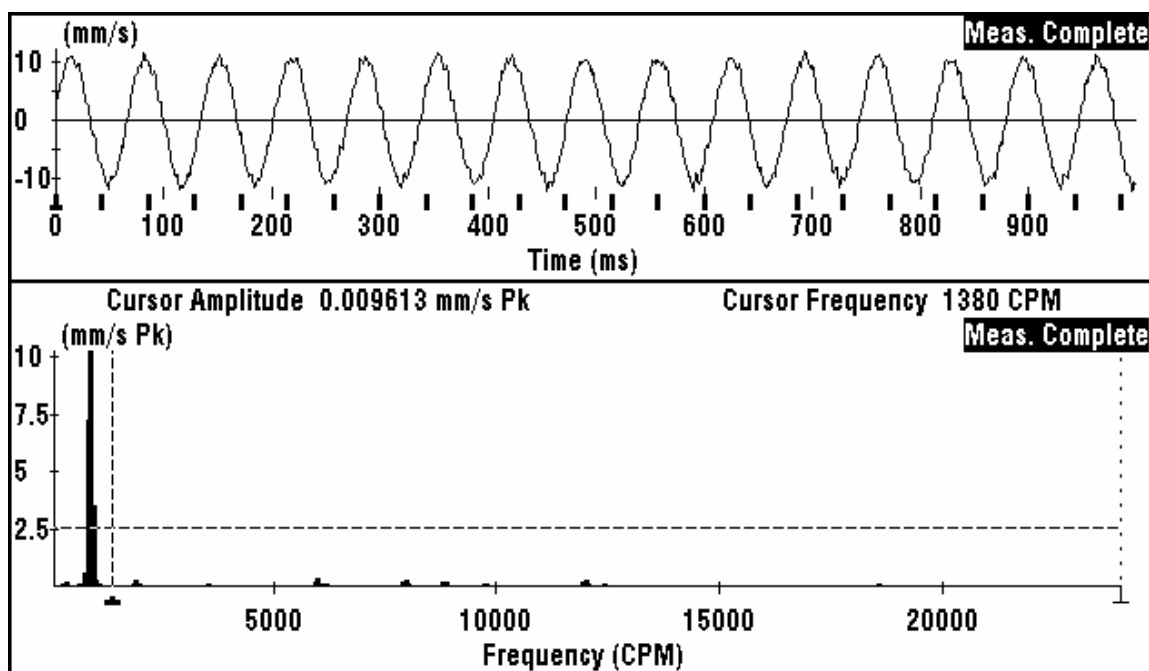
### De ce se folosește *forma de undă*

Ca și specialiști în întreținerea utilajelor dinamice, întrebați fiind cu ce turație funcționează o mașină, răspundem de exemplu cu 1500 rpm. Uneori spunem cu 25 Hz, dar foarte rar spunem cu 40ms/periodă. Ne-am putea întreba de ce să folosim această metodă de măsurare și de ce să ne implicăm în asemenea setări confuze.

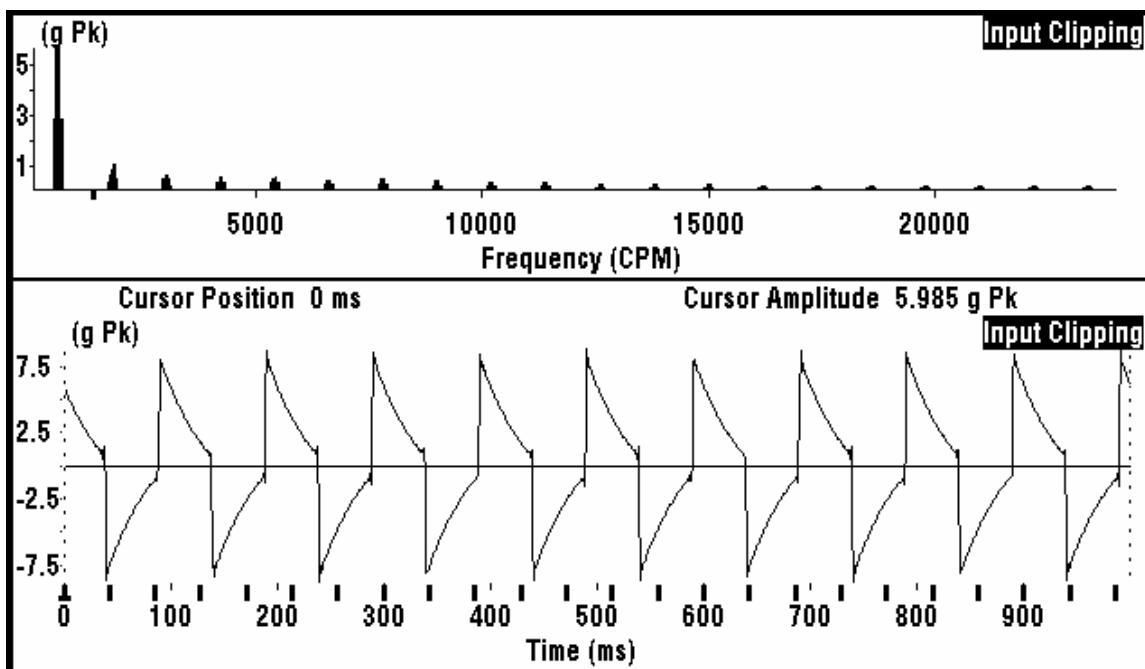
Există motive întemeiate pentru care ar trebui să folosim selectiv *forma de undă*, și despre acest aspect vom discuta ulterior.

### Exemplu

În cazul unei vibrații 1 x RPM apărută datorită unui dezechilibru, vom vizualiza pe ecran un spectru și o *formă de undă* ca în figura de mai jos. Semnalul va fi sinusoidal și la afișarea Transformatei Fourier vom înregistra un vârf foarte pronunțat (1 X vârf). *Forma de undă* arată de asemenea că am măsurat vibrații de joasă amplitudine și înaltă frecvență care nu se văd în spectru. Din analiza *forme de undă* putem avea mici dubii că ar fi vorba de un dezechilibru, dar ar fi nevoie de mai multe investigații în spectru înainte de confirmarea acestei concluzii.



Spectrul și *forma de undă* de mai jos sunt un exemplu elocvent că un spectru caracteristic unui dezechilibru poate aparține unui alt tip de defect, aspect care poate fi clarificat numai după analizarea *forme de undă*, altfel riscăm să facem diagnosticări eronate.



### **Probleme detectabile cu ajutorul analizei *forme de undă*, pentru care analiza spectrală nu este suficientă**

- Dantură de angrenaj ruptă, crăpată sau deformată.
- Defecte de rulment la mașini cu turații foarte mici (<10 RPM).
- Probleme tranzitorii la pornirea motoarelor electrice, care determină deteriorarea lagărelor și a înfășurării statorice.
- Compressoare cu piston: probleme datorate unor vibrații cu impact de scurtă durată ca pistoane cu bătaie, lagăre principale și tije de pistoane cu jocuri, precum și supape de aspirație / refulare cu probleme.

### **Probleme la care analiza *forme de undă* ajută la confirmarea suspiciunilor create în urma analizei spectrale**

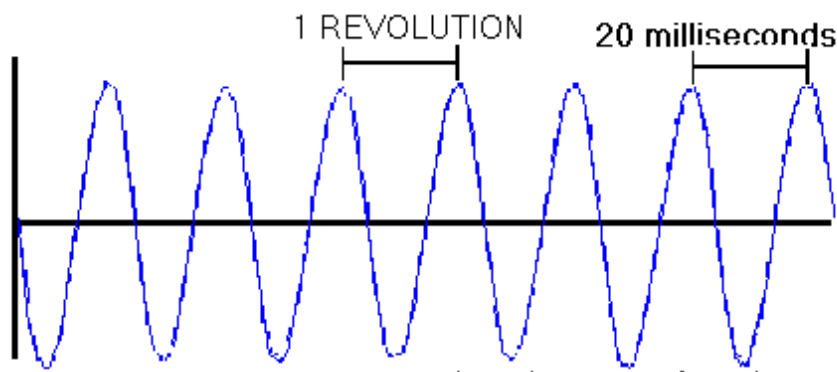
- a. Defecte de rulment la mașini de joasă până la medie turație (60-200 RPM)
- b. Probleme ale motoarelor electrice, inclusiv stator, rotor excentric
- c. Diagnoza tractoarelor de deplasare asupra zonelor suspecte de defect
- d. Uzarea rotorului
- e. Țăcănit la operații de tăiere și îndepărtare de material, la mașini unelte.
- f. Diferențierea unei dezalinieri de jocuri ale anumitelor componente ale utilajelor dinamice
- g. Utilaje cu piston – omisiuni de aprindere, probleme de combustie.

Analistul trebuie să ia în considerare toate aspectele și toate informațiile oferite de analiza *formeii de undă*, atunci când diagnostichează un defect.

- a. Un spectru amplitudine – frecvență nu oferă informații complete despre un semnal, nici măcar pentru o undă sinusoidală stabilă, pentru că nu include faza. Mai mult decât atât, la vibrații foarte complexe informațiile vor fi mult mai sumare.
- b. Analiza *formeii de undă* este o metodă foarte eficientă pentru studierea vibrațiilor caracteristice motoarelor electrice, în special la întreruperea alimentării acestora.
- c. Spre deosebire de o reprezentare statică de spectru, o imagine a *formeii de undă* poate afișa amplitudini pulsatorii (bătăi sau modulații) precum și fluctuații de frecvență.
- d. O *formă de undă* arată amplitudinea reală globală de vârf, în timp ce Transformata Fourier Rapidă se calculează dintr-un spectru RMS (“amplitudine vârf” = 1.414 X RMS). O analiză FFT poate rata afișarea amplitudinilor evenimentelor de mare impact. De fapt, este de așteptat ca amplitudinea semnalului să fie foarte diferită de realitate, mai ales la lagăre și la angrenaje. Folosirea metodei de analiză a *formeii de undă* devine din ce în ce mai populară și mai uzuală de confirmare a defectelor de angrenaj și de lagăr.
- e. *Formele de undă* pot afișa defazajele dintre diferitele frecvențe. Deci prin compararea *formelor de undă* la un analizor cu două canale putem determina direct diferențele de fază între datele colectate în două locații, de exemplu.
- f. *Formele de undă* oferă o dimensiune a amortizării în cadrul sistemului, în special pentru o *formă de undă* colectată în timpul unui test de frecvență la un impuls natural. (test de impact).

### Setări corecte pentru efectuarea analizei *formeii de undă*

Înainte de a putea analiza o *formă de undă* ne este util să înțelegem setarea parametrilor de măsurat în vederea colectării datelor.



*Forma de undă* de mai sus reprezintă o vibrație datorată unui dezechilibru clar, dar care totuși nu poate fi corect diagnosticat fără interpretarea *formeii de undă*.

*Forma de undă* de mai sus aparține unei mașini care funcționează cu o turație de 1500 RPM, pentru care colectorul sau analizorul au fost setate pentru a colecta date la 140 ms. Acest lucru înseamnă 7 rotații ale arborelui. Setarea formei de undă cere de asemenea colectarea unui număr suficient de date în timp real, astfel încât rezoluția semnalului să fie suficient de bună pentru a oferi informații relevante despre situația analizată. Acum începem să observăm relația dintre *forma de undă*, spectru și parametrii spectrului, numărul de date setate este direct proporțional cu numărul de linii spectrale. Relația este determinată de filtrul anti aliasing pe care îl folosește analizorul. Cele mai multe colectoare de date folosesc același format de filtru la care frecvența maximă obținută este 2.56 x frecvența de măsurat. Aceasta dă o relație, după cum urmează: - 1024 date setate împărțit la 2.56 = 400 linii de rezoluție în spectru. Tabelul următor vă ajută să faceți setările pentru analiza *formei de undă*.

### *Setarea formei de undă*

<b>Perioada (Real) uSec</b>	<b>Perioada totală mSec</b>	<b>Frecvența 1/perioada totală Hz</b>	<b>Fmax Kcpm</b>
15.63	16.3	62.50	1500
19.53	20.4	50.00	1200
21.70	22.5	45.00	1080
30.04	31.7	32.50	780
39.06	40.9	25.00	600
43.40	45	22.50	540
48.83	51.2	20.00	480
55.80	58.3	17.50	420
65.10	68.6	15.00	360
78.13	81.9	12.50	300
97.66	102.4	10.00	240
130.20	136.1	7.50	180
195.30	204.8	5.00	120
390.60	409.6	2.50	60
434.00	454.6	2.25	54
488.30	512.0	2.00	48
558.00	584.7	1.75	42
651.00	683.0	1.50	36
781.30	819.2	1.25	30
976.60	1024.0	1.00	24
1302.00	1364	0.75	18
1953.00	2048	0.50	12
3906.00	4096	0.25	6
7813.00	8192	0.125	3
15625.00	16384	0.0625	1.5

Perioada totală din tabelul anterior este aceea care apare la colectorul de date, la submeniul Setări, frecvența indicată este frecvența corectă, din prima coloană a perioadei. Frecvența indică frecvența minimă care poate fi soluționată.

Pentru un spectru FFT cu 400 linii (1024 nr. de date) se poate folosi formula următoare.

Pentru a calcula numărul de linii la FFT, se împarte numărul de date la 2.56 (filtru constant anti alias), de ex.  $1024/2.56 = 400$

Fmax în CPM se poate calcula cu formula:  $f_{max} = (1/\text{perioadă} \times 1024) \times 60 \times 400$

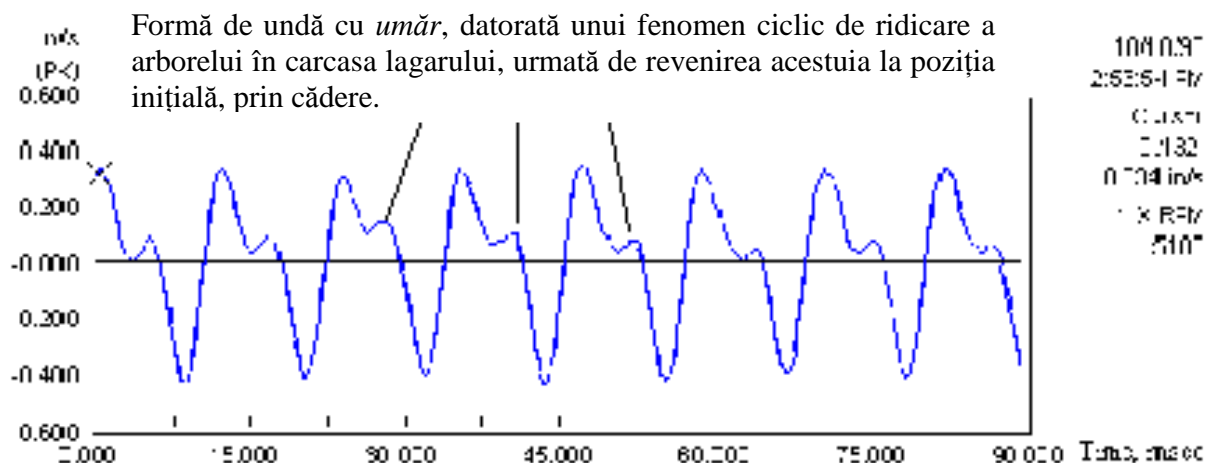
Sistemele moderne de colectare de date ajută considerabil la setarea parametrilor formei de undă.

Mai jos se vede cum colectoarele avansate pot asista la setarea parametrilor *formei de undă*. Pentru o perioadă totală de 400 000 ms, FMax resultantă este afișată deasupra cu o valoare de 60 KCPM, fapt care permite colectorului o reglare dinamică a setărilor în vederea efectuării analizei în aplicația dată. De exemplu, dacă perioada totală este aceeași, pentru un număr de puncte modificat la 2048, FMax ar trebui să se modifice la 120 KCPM.

<b>Time Waveform Measurement Parameters</b>	
Frequency Max 60 KCpm	
Xdcr Native Units	Acceleration
Meas. Variable	Acceleration
Unit Text	g Pk
Hardware Range	Auto Range
Display Scaling	Auto Scale
Display Update	All
Low Freq Corner	160.2 Cpm
Total Period	400.000 mS
Sampling Period	390.625 uS
Number Points	1024
Trigger Control	Positive Slope
Percent Pretrigger	0
Average Type	Linear
Number Avg	4
Tach / Gear Box	1X

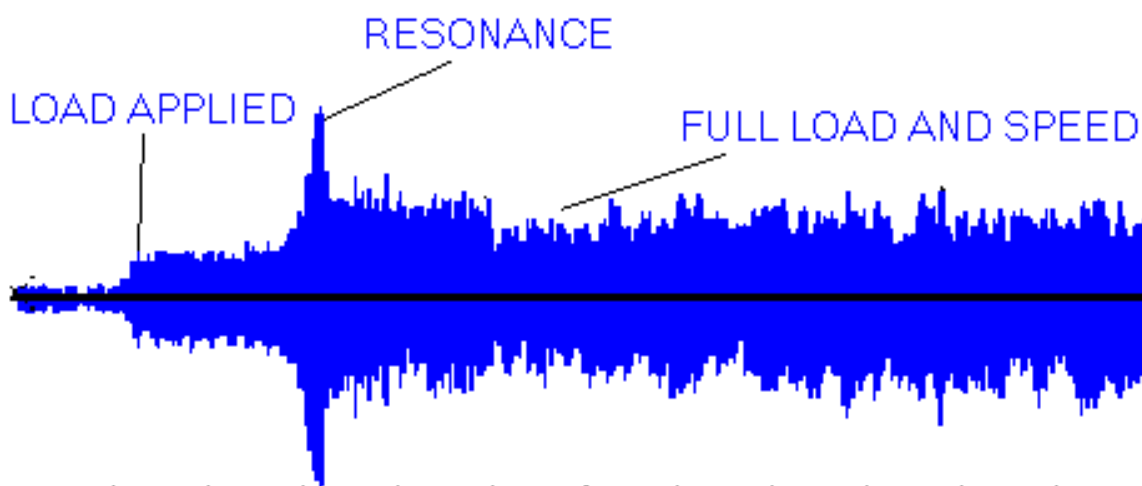
## Analiza câtorva forme de undă

Exemplul de mai jos se referă la un semnal colectat pe o carcasă de lagăr. Jocurile în lagăr sunt dificil de confirmat uneori numai din spectru și se pot interpreta eronat ca și dezaliniere. Folosind analiza *forme de undă* confirmați corect apariția unui joc în lagăr, cu ajutorul unei reprezentări grafice a caracteristicilor vibrației măsurată.



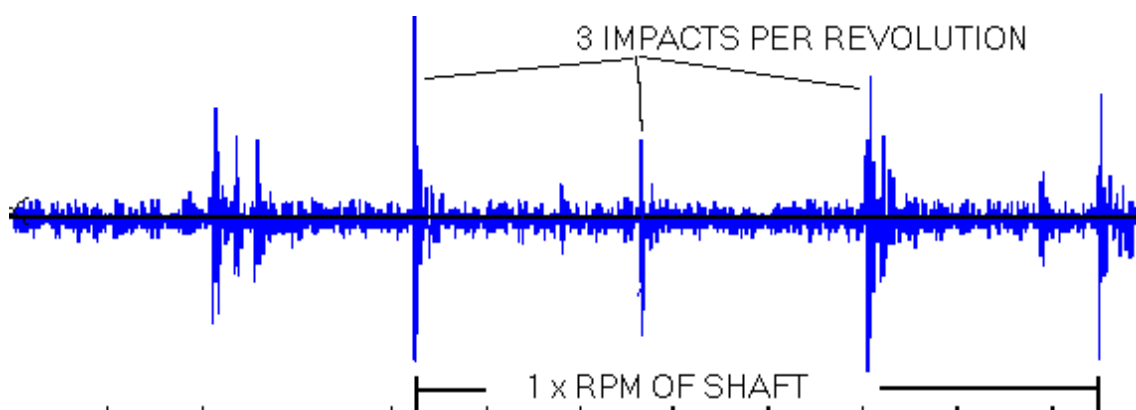
## Regimul de tranziție

*Forma de undă* se folosește cu succes și la analizarea problemelor ce apar la utilajele aflate în regim de tranziție (la pornirea utilajelor). *Forma de undă* de mai jos a fost colectată la un motor electric, la care se observă modificarea regimului de turație la sarcini diferite. Îndată ce motorul intră în sarcina se observă o creștere ușoară a amplitudinii vibrației, apoi crește turația treptat, mașina trecând printr-un regim tranzitoriu de rezonanță, până să ajungă la turația și la sarcina de funcționare. Soluția în acest caz a constat în modificarea software-ului convertizorului de frecvență al motorului, astfel încât corelația încărcare - turație să elimine condițiile de rezonanță.



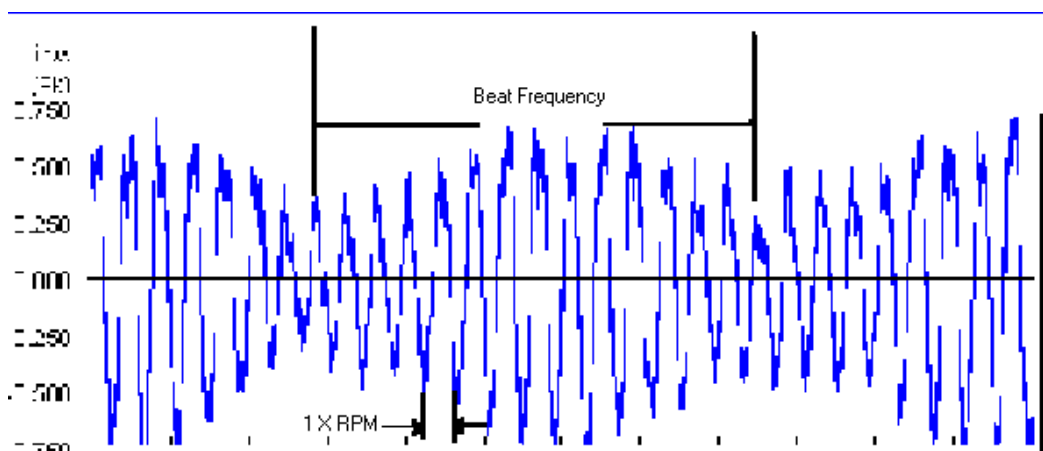
## Angrenaje

Exemplul de mai jos se referă la un angrenaj de la o moară. Pe pinion sunt 21 de dinți și semnalul arată clar că apar trei momente de impact într-o perioadă. Această situație este detectabilă numai cu ajutorul *forme de undă*, de vreme ce spectrul arată o vibrație de amplitudine foarte mică la frecvența angrenajului. Fără informațiile suplimentare din *forma de undă* am fi fost siguri că acest angrenaj este deteriorat.



## Frecvențe de bătaie

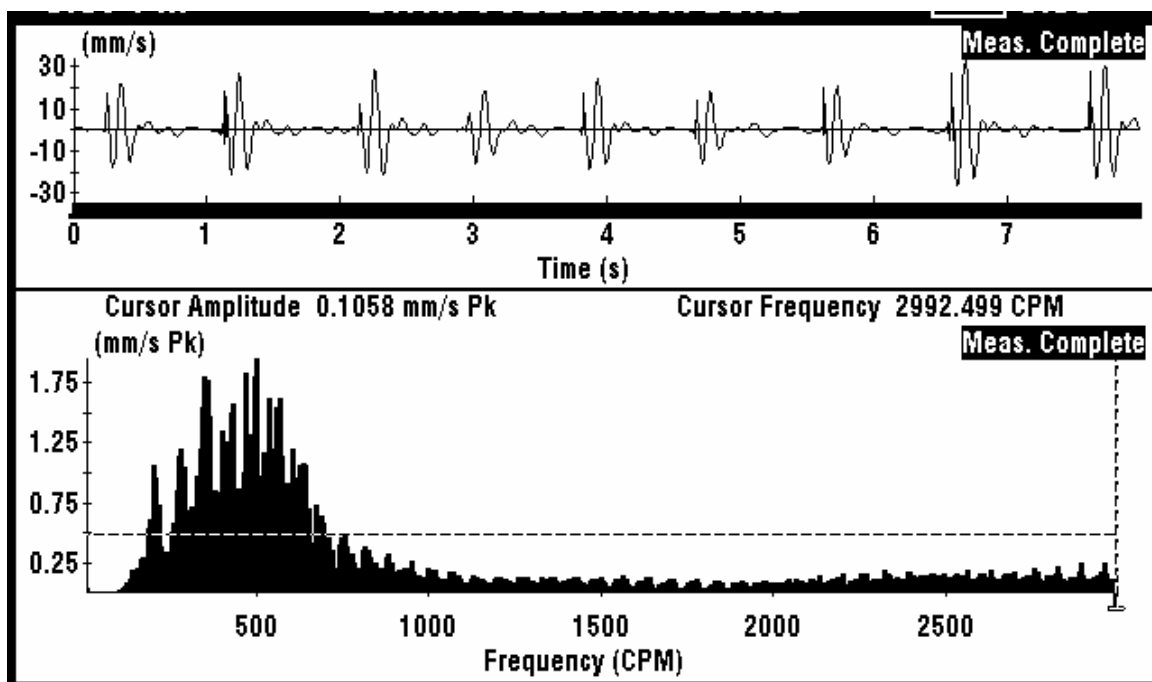
Frecvențele de bătaie sunt frecvențe foarte apropiate aflate în fază, iar apoi în antifază, fapt care determină o modulare a semnalului. Analiza *forme de undă* este o metodă foarte ușoară de investigare a acestui tip de problemă. Efectul modulării semnalului apare foarte clar și în exemplul următor. Frecvențele foarte apropiate de la 1 X RPM pot fi greu distinse ca și amplitudini de semnal.





### Vibrații de impact la intervale repetate

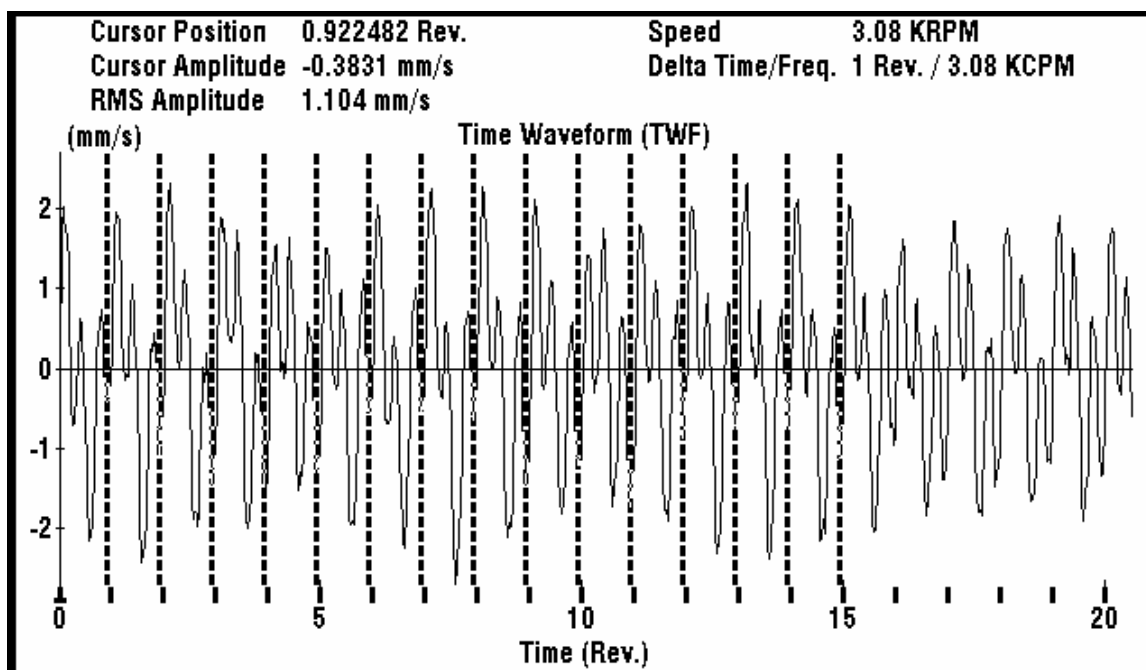
Spectrul și *forma de undă* de mai jos se folosesc pentru a ilustra cum *forma de undă* poate oferi mult mai multe detalii cu privire la vibrațiile de impact și la sursa care le produce. În general este foarte dificil de diagnosticat o astfel de problemă numai din spectru. Excepție fac cazurile în care este vorba despre o vibrație de impact care determină apariția unei grupări de vârfuri în jur de 500 CPM. Oricum analiza *forme de undă* arată că este vorba despre un impact care se repetă la 1 secundă.



## Folosirea tuturor metodelor pentru rezolvarea problemelor

Adesea inginerii de întreținere se feresc să apeleze la analiza *forme de undă*, deoarece nu înțeleg corect și li se pare dificil să interpreteze graficul frecvență - timp.

În exemplul de mai jos observăm cum putem transforma datele în informații. S-a selectat opțiunea de cursor ciclic, care ne ajută să observăm că avem de-a face cu o vibrație la o frecvență de 1 x RPM. Cursorul a fost în mod deliberat dispus astfel încât să evidențieze natura repetitivă a *forme de undă* de analizat.



## Dezalinieri și jocuri

Diferențierea dezalinierilor și jocurilor:

Un studiu recent asupra analizelor de vibrație sugerează faptul că forma de undă ne poate ajuta în mod evident să facem diferența între jocuri mecanice și dezalinieri. Ambele defecte vor indica creșteri de amplitudine multiplu de turație (1X, 2X și/sau 3X RPM). Sfatul nostru este să aruncați o privire în forma de undă la accelerație și la viteză în spectrul de frecvență, pentru a face diferența între cele două probleme. Forma de undă accelerație - timp care evidențiază o dezalinieră va arăta în mod regulat o distanțare periodică a vârfurilor apărute la multiplu de turație a arborelui (2X sau 3X turația arborelui). În plus, amplitudinea acestor vârfuri vor urma un tipar (de exemplu unul dintre cele mai importante trei vârfuri din forma de undă este considerabil mai mare decât celelalte două, la fiecare perioadă - fenomen evident în forma de undă, care însă nu apare neapărat în spectru).

Mai mult decât atât, dacă dezalinierea este problema, amplitudinea vârfurilor *forme* de undă va fi în mod normal sub 2 g, ceea ce indică un impact relativ minor. În domeniul de frecvență, la această problemă apare un zgomot redus la fundație, care indică un impact neglijabil asociat cu o dezaliniere.

Pe de altă parte, în cazul jocurilor mecanice *formele de undă* sunt caracterizate de distanțări neregulate între vârfurile majore, nu există un tipar după care se repetă vârfurile de amplitudine, ele înregistrând o apariție variabilă (impacturi până la 6 g sau chiar mai mult în cazurile severe). Aceste impacturi vor produce zgomote ridicate în fundație.

### **Concluzie**

1. Analiza *forme* de undă se folosește împreună cu analiza spectrală, ca și metodă suplimentară de confirmare a unui diagnostic.

Aceasta face diferența între măsurătorile de vibrație brute și informațiile importante.

2. Asigurați-vă la folosirea analizei *forme* de undă că v-ați stabilit un anumit domeniu de timp, ca să determinați corect cât timp îi ia defectului respective să se propage sau să se extindă.

3. Folosiți toate opțiunile analizorului de care dispuneți pentru a putea da un diagnostic corect.

4. Nu vă bazați numai pe analiza *forme* de undă sau numai pe analiza spectrală, folosiți-le pe amândouă.

### **Referințe:**

1. Documentație de curs - Entek IRD International Incorporated Vibration Analysis 2
2. Fișe tehnice - Stuart Courtney, Entek IRD International Incorporated