

Tehnologii complementare

Identificarea defectelor mecanice cu ajutorul analizei de curent (1)

Traducere și adaptare
ing. Carmen Popescu

În timp, analiza de curent s-a dovedit a fi un instrument extrem de valoros în cadrul oricărui program de întreținere predictivă a utilajelor dinamice. Deși este o tehnologie mai rar utilizată, a început să câștige teren și să fie tot mai des acceptată în aplicațiile industriale moderne. Defectele de natură mecanică ale curelelor de transmisie, ale cuplajelor, dezalinierea și altele, devin mai ușor de determinat și mai timpuriu, prin utilizarea spectrului de curent demodulat.

Analiza de curent este pur și simplu procesul prin care măsurătorile de curent ale motorului sunt înregistrate și analizate în domeniul frecvență. Metoda a fost descoperită și folosită prima dată în 1985 și și-a dovedit utilitatea de-a lungul anilor în localizarea defectelor de rotor și a interstițiilor inegale la motoarele electrice. Știm că atunci când interstițiile nu sunt uniforme, forțele magnetice care acționează asupra rotorului devin inegale, fapt care se concretizează în apariția unor vibrații induse magnetic la dublul frecvenței liniei. Atracția magnetică este invers proporțională cu pătratul distanței dintre rotor și stator, astfel încât orice mică excentricitate între cele două elemente provoacă o vibrație relativ mare.

Ca și algoritmi, pentru început se colectează forma de undă în urma efectuării măsurătorilor la motor și se exprimă în domeniul timp. Amplitudinea semnalului este indicată pe axa OY, iar timpul pe axa OX. Rezultatul va fi o sinusoidă tipică, ca cea din Fig. 1. Pentru a analiza datele, se efectuează Transformata Fourier Rapidă (FFT), ceea ce constă într-o operație matematică necesară extragerii informațiilor de frecvență din forma de undă în domeniul timp și transformarea acesteia în domeniul frecvență. Un exemplu de un spectru FFT este indicat în Fig. 2.

Deoarece spectrul FFT reprezintă o sursă incontestabilă de identificare a problemelor barelor rotorice la motoare, și pentru că determinarea corectă a frecvențelor de defect s-a dovedit destul de dificilă, s-a recurs la demodularea spectrului de curent.

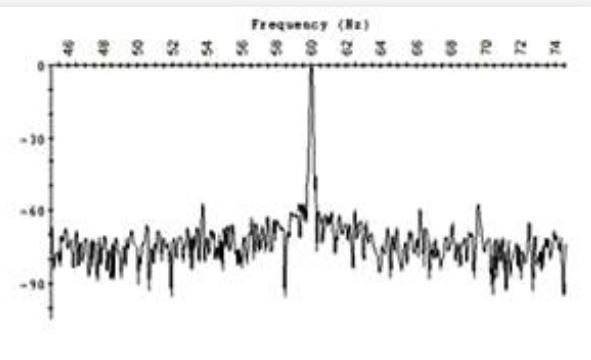
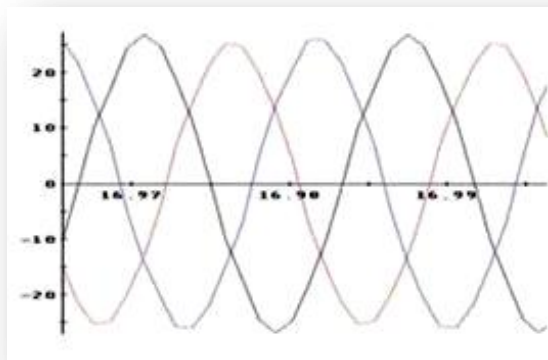


Fig. 1. Exprimarea semnalului în domeniul timp

Fig. 2. Exprimarea semnalului în domeniul de frecvență

Spectrul demodulat

Unul dintre cele mai incitante progrese în tehnologii de întreținere predictivă este spectrul demodulat de curent. Pentru a înțelege mai bine aspectul, vom discuta pe scurt despre conceptul de modulare. Vorbim despre modulare atunci când frecvențele inferioare fuzionează cu frecvențele mai mari. Cu alte cuvinte, semnalele de frecvență mai mică se suprapun peste semnalul de frecvență mai mare. Acest fenomen face greu de identificat frecvența de defect din spectrul FFT, și se concretizează în majoritatea cazurilor în pierderea multor informații prețioase, datorită, de exemplu zgomotului de fond. Datorită prezenței iminente a frecvenței de linie în spectrul de curent, atât identificarea vârfurilor frecvențelor repetitive datorate variațiilor de sarcină, cât și estimarea tendinței de evoluție a acestora devin aproape imposibile.

Demodulare este pur și simplu procesul de îndepărtare a frecvențelor perturbatoare din spectrul de frecvență. În acest caz, frecvența care deranjează este frecvența fundamentală a liniei

electrice utilizate, care în majoritatea statelor este 50 Hz, în vreme ce în Statele Unite și Marea Britanie este de 60 Hz. După îndepărtarea acestei frecvențe, frecvențele legate de variațiile repetitive de sarcină rămân în spectrul demodulat, devenind astfel mai ușor de identificat și de evaluat.

Frecvențele precum frecvența fundamentală, frecvențele proprii polilor, frecvențele paletelor, frecvențele curelelor de transmisie, frecvența de angrenare sau frecvențele proprii rulmenților pot fi identificate, evaluate și se poate estima o tendință de evoluție a vârfurilor apărute la aceste frecvențe în spectrul demodulat de curent. De fapt, motorul acționează ca un traductor permanent instalat.

Datorită acestei tehnologii, aprecierea tendinței de evoluție în timp a unui defect rămâne metoda cu cea mai mare acuratețe de predicție a problemelor unei mașini. Ideal ar fi să dispuneți de o bază de date de referință – un set de măsurători efectuat atunci când utilajul este în stare bună de funcționare - deoarece compararea cu datele de referință a datelor colectate ulterior pentru aceeași mașină sau pentru mașini similare este o metodă foarte eficientă de evaluare a severității defectelor. Reușind să întocmiți o bază de date corespunzătoare pentru diferite tipuri de echipamente, veți avea posibilitatea să stabiliți corect limitele de alarmă corespunzătoare utilajelor respective.

Localizarea frecvențelor proprii curelelor de transmisie

Spectrul de bază specific unei transmisii cu curele se regăsește în Fig. 3. Se observă un vârf dominant la frecvența fundamentală de 60 Hz. Se pot vedea în spectru și benzile laterale de-o parte și de alta a fundamentalei, etichetate cu frecvențele lor. Acest tip de spectru poate fi interpretat greșit, ca reprezentând o potențială problemă a barelor rotorice. În acest exemplu, benzile laterale sunt de fapt legate de frecvența proprie curelelor de transmisie. Frecvența exprimată în rotații pe minut (RPM) se calculează cu formula:

$$\text{Frecvența} = (\text{diferența dintre frecvența liniei și frecvența vârfului de interes}) \times 60$$

Frecvența de interes în acest caz se poate calcula înmulțind 6,5 Hz cu 60. Rezultatul va fi 390 RPM, ceea ce reprezintă frecvența proprie curelelor transmisiei respective. Defectele barelor rotorice apar la frecvența proprie barelor, cu vârfuri apropiate de fundamentală. Frecvența proprie barelor rotorice se calculează cu formula următoare:

$$\text{Frecvența proprie barelor} = \text{turația sincronă} - (\text{frecvența de alunecare} / \text{nr. de poli})$$

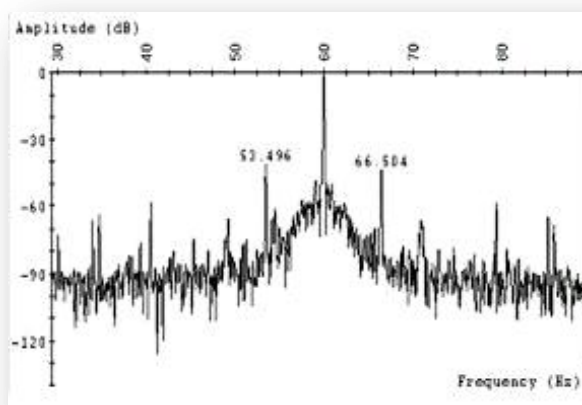


Fig. 3. Spectrul inițial la o transmisie de curele

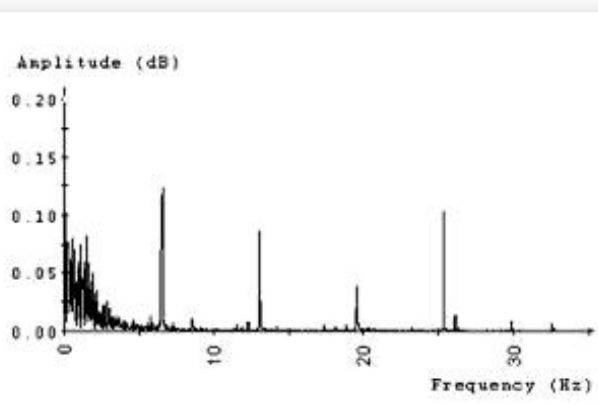


Fig. 4. Spectrul demodulat

Deși vârfurile din Fig. 3 sunt predominante, de cele mai multe ori nu ilustrează clar problema reală. De obicei, în acest tip de spectru, vârfurile cu adevărat importante vor fi acoperite de zgomotul de fond. De aceea, apare necesitatea folosirii semnalului demodulat. Fig. 4 prezintă spectrul demodulat derivat din spectrul de curent din Fig. 3. Observați cât de clar și ușor de interpretat apare acest spectru demodulat, în comparație cu spectrul inițial. Fără zgomotul de fond de la 60 Hz, frecvențele rămase devin mult mai clare.

Benzile laterale care se pot vedea în Fig. 3, apar în spectrul demodulat din Fig. 4 la 6,5 Hz, precum și la $2 \times$ și $3 \times$ frecvența proprie barelor rotorice. Privind îndeaproape spectrul, observăm că armonicile $2 \times$ și $3 \times$ sunt prezente, dar nu sunt ușor de identificat. Apariția acestor armonici în spectrul demodulat reprezintă indicația clară și timpurie a alinierii precare a curelelor, a uzării acestora sau indică prezența unor probleme referitoare la roțile de antrenare a curelelor.

Vârfurile de la turația de lucru

Atât turația utilajului de antrenare, cât și turația celui antrenat se vor regăsi în spectru, dacă la vreunul dintre acestea există o problemă. Vorbind în termeni de vibrații, la 1×RPM vom putea observa un posibil dezzechilibru. În Fig. 4, fundamentală (1×) ventilatorului apare la doar 25 Hz. În Fig. 5, turația de lucru a motorului unei pompe este de 1.800 RPM iar fundamentală se poate identifica la puțin sub 30 Hz. În ambele cazuri, urmărirea tendinței de evoluție a vârfurilor apărute la turația de lucru ne poate oferi mai multe informații despre starea mașinii. În mod normal, vârfurile de interes fiind foarte aproape de zgomotul de fond din spectrul inițial, pot fi acoperite de acesta. Numai în situația în care există o dezaliniere sau un cuplaj deteriorat, amplitudinea semnalului în fundamentală va crește suficient de mult, încât să depășească amplitudinea zgomotului de fond și să devină astfel vizibilă în spectrul inițial.

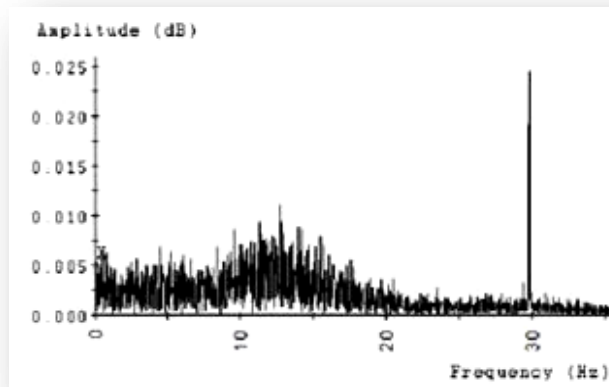


Fig. 5. Spectrul ansamblului pompă-motor cu cuplaj defect

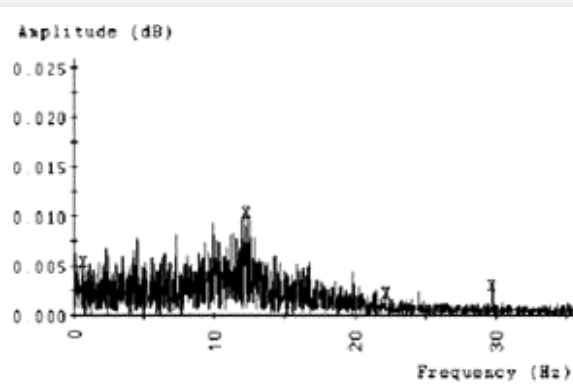


Fig. 6. Ansamblu reparat

Răspunsul în amplitudine în spectrul de frecvență este deosebit de sensibil. O creștere considerabilă în amplitudine va avea loc doar la apariția unui defect. Cuplajele comune de tip elastic vor resimți și vor transmite în spectrul inițial orice semn de oboseală, deteriorare, sau depășirea momentului de răsucire sau a sarcinii de compresiune pentru care au fost proiectate. În Fig. 5 regăsim un exemplu de cuplaj elastic supus unei solicitări de încovoiere. În Fig. 6 se poate vedea spectrul inițial după înlocuirea cuplajului afectat și efectuarea alinierii cu laser a arborilor celor două utilaje ale ansamblului. Se observă scăderea semnificativă a amplitudinii semnalului în fundamentală (30 Hz), aproape comparabilă cu amplitudinea semnalului de joasă frecvență produsă de zgomotul de fond în spectrul inițial.

Alte situații în care este oportună demodularea semnalului

Alte două frecvențe des întâlnite în spectrele demodulate de curent sunt frecvența proprie paletelor de ventilator și frecvența proprie supapelor de pompă. Cu ajutorul acestora puteți să identificați defectele de rotor sau problemele de curgere. Într-un spectru demodulat de curent, acest tip de frecvență se calculează folosind următoarea ecuație:

$$\text{Frecvența proprie a paletelor/ supapelor} = \text{nr. de palete/ supape} \times \text{RPM}$$

Odată cu dezvoltarea în timp a tehnologiei și programelor software de monitorizare, și determinarea altor frecvențe de defect, precum defectele de rulment, defectele de angrenare sau alte defecte mecanice, au devenit practici uzuale bazate pe analiza de curent a spectrului demodulat.

Includerea analizei de curent într-un program de întreținere predictivă

Cu toate că tehnica analizei de curent s-a dezvoltat și s-a implementat în multe aplicații industriale, ne punem firește întrebarea cum am putea folosi la maximum beneficiile acestei tehnici în unui program de întreținere predictivă. Ne gândim: „De ce ar trebui să determinăm defectele mecanice cu un semnal de curent demodulat, când le putem găsi și cu tehnologii precum analiza de vibrații sau cu termografia în infraroșu?”; „Cât de corecte sunt datele generate cu ajutorul acestei

tehnici?"; „Poate înlocui această tehnică analiza de vibrații clasică?"; „Cât de des ar trebui efectuată această analiză de curent la utilajele monitorizate pentru a fi cu adevărat eficientă?"

Fiecare tehnologie de monitorizare are punctele sale forte și punctele slabe. Tehnologiile se completează între ele, așa încât, folosind mai multe variante obținem o vedere reală sau cât mai apropiată de realitate a stării de funcționare a echipamentului. Pentru rezultate optime, este recomandată efectuarea analizei de curent cel puțin trimestrial. Dacă optați pentru o frecvență mai scăzută de atât, rezultatele globale ale programul de testare vor fi cu siguranță compromise. Ca și la orice altă tehnologie, este esențial să dispuneți de suficiente date pentru a crea cu acuratețe tendința de evoluție a stării de funcționare a utilajului în cauză.

Există mai multe considerente universal recunoscute, pentru care un program de întreținere predictivă ar trebui să includă și analiza de curent pentru diagnosticarea defectelor mecanice. De exemplu, atunci când vine vorba de defectele de transmisii de curele sau de cuplaje, analiza demodulat va oferi indicii în stadii incipiente de defect, față de analiza de vibrații. Cantitatea de energie dezvoltată în stadiile primare ale acestor tipuri de defecte este relativ scăzută. Uzarea curelelor de transmisie și a cuplajelor poate fi determinată cu ajutorul analizei de vibrații numai în stadii foarte avansate, mai exact foarte aproape de colaps. În schimb, spectrul de curent demodulat are capacitatea de a detecta neajunsul suficient de timpuriu încât să dispuneți de tot timpul necesar planificării și programării reparațiilor. Cu toate acestea, analiza de curent nu are menirea de a înlocui programul de măsurare a vibrațiilor. Acesta reprezintă doar cea mai bună tehnologie complementară unui program valoros de monitorizare a vibrațiilor.

Un beneficiu suplimentar pe care îl aduce această tehnologie ar fi posibilitatea efectuării de măsurători la distanță, sau în zone greu accesibile, în condiții normale de funcționare a utilajelor, datorită posibilității de verificare a echipamentelor de la tabloul electric de comandă. În asemenea situații, controlul vizual poate fi dificil, iar posibilitatea efectuării analizei de vibrații limitată. În funcție de riscuri, alegerea și achiziționarea de traductoare de vibrații cu citire la distanță poate fi prea costisitoare.

Orice program solid și eficient de întreținere predictivă trebuie să includă mai multe tehnici și tehnologii alternative de verificare a defectelor, pentru o mai mare certitudine. Astfel, nu numai că se confirmă valabilitatea diagnosticului stabilit inițial, dar, se pot face și recomandări de întreținere și reparații mai exacte și mai concrete. Importanța folosirii unei asemenea tehnologii devine evidentă în momentul în care se poate planifica din timp intervenția asupra utilajului respectiv, eliminându-se astfel necesitatea întreruperilor instalațiilor pentru reparații. Analiza de curent a spectrului demodulat se încadrează perfect în acest șablon, și, mai mult decât atât, se dovedește a fi un instrument neprețuit pentru orice program de întreținere predictivă.

BIBLIOGRAFIE

W.T.Thompson and R.J.Gilmore, „Motor current signature analysis to detect faults in induction motor derives – Fundamentals, data interpretation and industrial case histories”, proceedings of 32nd Turbomachinery symposium, Texas, A&M University, USA, 2003

Peter Vas, „Parameter estimation, condition monitoring and diagnosis of electrical machines”, Clarendon Press Oxford., 1993

P.J.Tavner and J.Penman, „Condition monitoring of electrical machines”, Hertfordshire, England: Research Studies Press Ltd, ISBN 0863800610, 1987

C.M.Riley, B.K.Lin, T.G.Habetler and G.B.Kliman, „Stator current harmonics and their causal vibrations: A preliminary investigation of sensorless vibration monitoring applications”, IEEE Transaction on Industrial Application, Vol.35, No.1, pg. 94-99, 1999

P.C.Klause, „Analysis of electric machinery”, New York McGraw-Hill, 1986