

Tűzoltás és nagyjavítás helyett

Állapotfüggő karbantartás rezgésdiagnosztikával (VIII.)

A rezgések spektrumanalízise a jelenlegi leghatékonyabb gépállapot-felmérő eszköz. A frekvenciaspektrumok megértéséhez feltételeznünk kell, hogy mindegyik frekvenciacsúcsnak, illetve a frekvenciacsúcsok kombinációjának megfelelő – mechanikailag megmagyarázható – alternáló erő megtalálható a gépben.

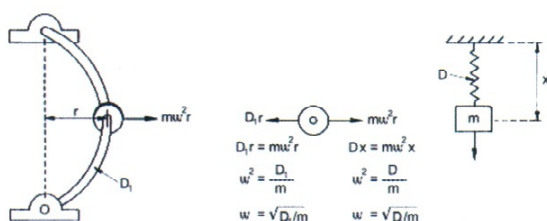
➤ A FORGÓGÉPEK MŰKÖDÉSE közben keletkező alternáló erők periodikus rezgéseket keltenek. Minden egyes szerkezeti elem más-más mechanikai (fizikai) tulajdonsággal – különböző merevséggel, csillapítással, sajátfrekvenciával – bír, maga a gépszerkezet egésze pedig a fellépő dinamikus erők szempontjából csillapított, több szabadságfokú rendszerként modellezhető I.

Mivel a gép belső erőhatásairól csak nehezen tudunk információkat szerezni, az erőhatás válaszaként jelentkező, kívülről mérhető rezgések alapján kell a gép vizsgálatát elvégeznünk. Ebben a legnagyobb segítséget az időjelek spektrumanalízise révén kapjuk, mivel az így „láthatóvá” tett rezgéskomponenseket már csupán aszerint kell ellenőrizni, hogy frekvenciái megegyeznek-e a gép alkatrészeire

és bizonyos gépbeállítási hibákra jellemző frekvenciákkal. Ezek az úgynevezett hiba-frekvenciák, amelyek a legtöbb beállítási hiba és sok géplelem sérülése esetére egyértelműen definiálhatók.

Gépdiaгностика hibafrekvenciák alapján

A frekvenciaspektrumok megértéséhez feltételeznünk kell, hogy mindegyik frekvenciacsúcsnak, illetve a frekvenciacsúcsok kombinációinak megfelelő – mechanikailag megmagyarázható – alternáló erő megtalálható a gépben. A mechanikai magyarázathoz ismerni kell a gép szerkezetét és az ebből adódó összefüggéseket. Annak ellenére, hogy a gépek konstrukciójában, működésében és viselkedésében igen nagy különbségek vannak, a legtöbb hibajelenségre általános érvényű definíciók adhatók



I Rugórendszer szerkezeti elemeinek modellezése

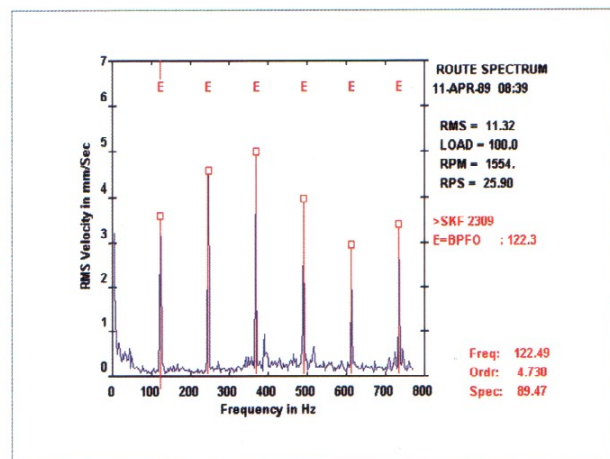
Gyakori hibajelenségek tipikus rezgésfrekvenciája

Kiegyensúlyozatlanság	1-szeres forgásfrekvencia
Tengelybeállítási hiba	1-, 2-, 3- (4-) szeres forgásfrekvencia
Lazaság, mechanikus játék	1-, 2-, 3-, 4-, 5- (6-, 7-, 8-, 9-) szeres forgásfrekvencia
Foghibák (fogaskerék)	1-, 2-, 3-szoros fogszám×forgásfrekvencia
Lapáthibák (ventilátor, szivattyú)	1-, 2-, 3-szoros lapátszám×forgásfrekvencia
Szíjfrekvencia (szíjhajtás)	a szíjtárcsák geometriai mérete, a szíjhossz és a forgásfrekvencia alapján kiszámolandó
Gördülőcsapágy hibái	a csapágy geometriai mérete és a forgásfrekvencia alapján kiszámolandó
Villanymotor villamos hibái	2-szeres hálózati frekvencia

meg, mivel a geometriai, illetve fizikai összefüggések alapján kiszámíthatók a várhatóan fellépő rezgések frekvenciái. Nagyon fontos figyelembe venni, hogy a legtöbb hiba frekvenciája fordulatszámfüggő. Ezért a frekvenciaspektrumok egyértelmű analíziséhez elengedhetetlen a gép fordulatszámának (számainak) ismerete. Táblázatunk a gyakran előforduló hibajelenségek esetén várható (tipikus) rezgésfrekvenciákat tartalmazza, fordulatszám-többszörösben kimutatva, a domináns jellemzőt kiemelve.

Gépdiaosztikában elterjedt frekvenciaegységek

A legelterjedtebb frekvenciaegység a spektrum frekvenciatengelyének skálázására a hertz (Hz, a francia tudósra, Hertzre emlékezve). Ez a periodikus esemény egy másodperc alatt történő előfordulását fejezi ki, azaz $1 \text{ Hz} = 1 \text{ esemény/s}$. Mivel a gépdiaosztikában abból kell kiindulni, hogy a legerősebb rezgésgerjesztés magán a fordulatszám – tehát forgásfrekvencián – lép fel az ezen a frekvencián forgó forgórész miatt, valamint a legtöbb géptipikus (mechanikai eredetű) hiba a forgásfrekvenciához (illetve annak egészszámú többszöröseihez) kötődik, elterjedt a spektrumok frekvenciatengelyének skálázása fordulatszámegységben (fordulat/perc) is. A fordulatszám-skálázásnak viszont az a hátránya, hogy sokszor – zavaróan – igen nagy értékek kerülnek kijelzésre. Ennek kiküszöbölésére a fordulatszám-többszörös skálázást szokás alkalmazni. Az angol irodalomban ilyenkor az order (rend) elnevezést használják.



2 Rezgésspektrum bejelölt hibafrekvenciákkal

Mivel a táblázat szerint a gép felépítése alapján igen jól meghatározható, hogy milyen hiba esetén milyen frekvenciájú rezgések várhatók, a legtöbb diagnosztikai szoftver a hibafrekvenciák grafikai megjelölésével segíti a diagnosztikai munkát: csupán azt kell megnézni, hogy a berajzolt hibavonalak egybeesnek-e a mért rezgésjel spektrumcsúcsaival **2**.

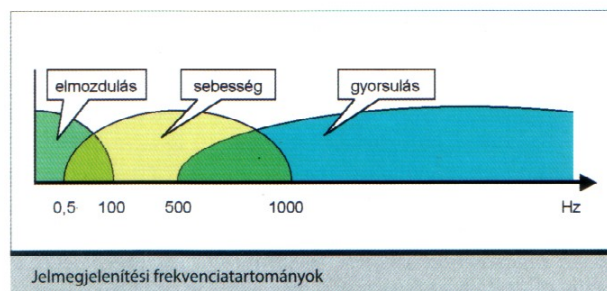
Természetesen ugyanazon elvek alapján a szoftverek listaszerű – szöveges feltételezésekkel ellátott – hibabeszámolókat is készíthetnek, illetve szakértői programmodulok révén gép-

hibák akár 80–95 százalékos biztonsággal felfedezésére és szöveges kiértékelésre is képesek. De maradjunk még egy kicsit a „gyalogos módszer” témakörénél...

Paraméterek jelentősége

Elmozdulás, rezgéssebesség vagy -gyorsulás Amíg a szélessávú rezgésszint mérése esetén a szabványokból kiindulva tudtuk, hogy a gépállapotra jellemző rezgésszintet rezgéssebességben kell meghatározunk, a gördülőcsapágy magas frekvenciájú zaját viszont rezgés gyorsulásban szokás mérni – a spektrumanalízis során nekünk kell eldöntenünk, hogy milyen fizikai egységben jelenítsük meg a rezgéseket. Döntésünk attól függ, hogy ugyanannak a rezgésnek az alacsony vagy a magas frekvenciájú komponenseit kívánjuk szemügyre venni. A frekvencia-összefüggés miatt ugyanis nem jeleníthető meg a teljes frekvenciatartomány úgy, hogy valamennyi frekvenciájú komponens ugyanabban az egységben skálázva jó látható legyen.

Az összefüggés viszont igen egyszerű: az alacsony frekvenciájú rezgés komponenseket elmozdulásban, a közepes



frekvenciatartományt rezgéssebességben, a magas frekvenciájú rezgéseket pedig rezgés gyorsulásban eredményes ábrázolni. (Egy mindent egyszerre megjelölni képes, de nehezebben leolvasható ábrázolás a logaritmikus skálázás, amely grafikusán kinagyítja a kis amplitúdókat.) A tipikus jelmegjelenítési frekvenciatartományokat a **3** ábra mutatja.

Számpélda

A mérési idő meghatározás a következő feltételek mellett: 8 spektrum átlagolása (átlapolás 67%), 6400 vonal, $f_{\max} = 3200 \text{ Hz}$ (tehát az $f_{\max}$ -ból és a spektrumvonalak számából adódik, hogy a spektrumfelbontás 0,5 Hz).

$$t_{\text{mérés}} = 8 \times 67\% \times 6400 \text{ Hz} \times 2 / (3200 \text{ Hz} \times 2,5) = 8,576 \text{ s}$$

Meg kell jegyezni, hogy ez az idő nem készülékfüggő és semmiképp nem rövidíthető meg, mivel matematikailag szükségesszerű. A műszerek gyorsaságának különbsége abban rejlik, hogy az automatikus méréstartomány-beállítást, az offszetkiegyenlítést és magát a jelfeldolgozást-megjelenítést milyen algoritmussal és gyorsasággal valósítja meg. Ezek az időszükségletek mind a fent kiszámított időn túl értendők.

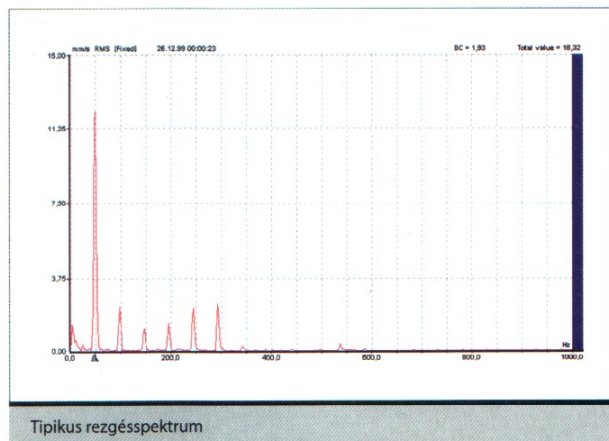
■ **Felbontás, spektrumvonalak száma, frekvenciatartomány, átlagolás, mérési idő** Nem véletlen, hogy ezeket a paramétereket egyszerre említjük, mivel szoros összefüggésben állnak egymással. A spektrális felbontás a spektrumvonalak közötti frekvenciabeli távolságot, más szóval a vonalak szélességét jelzi. Minél kisebb, annál jobb eséllyel választhatók szét az egymáshoz közel eső hibajelenségek frekvenciacsúcsai. A spektrumvonalak száma a műszer spektrális felbontóképességének egyik jellemzője. A beállítható frekvenciatartomány ismeretében kiszámítható, mi a legkisebb vonalszélesség.

Ahhoz, hogy egy műszer rögzíteni tudja a kívánt spektrumot, teljesíteni kell a jeldigitalizálással és a spektrumanalízissel kapcsolatos törvényeket: a Fourier-transzformáció kétszer annyi időjelmintát követel meg, mint amennyi spektrumvonalat meg kívánunk jeleníteni. Az alul-mintavételezésből adódó jel-torzulás elkerülése érdekében viszont a Shanon-törvényt is be kell tartani, amely szerint a megjelentetni kívánt legmagasabb frekvencia minimum kétszeresével kell az időjelet rögzíteni. A legtöbb kéziműszergyártó a Shanon-tétel kielégítésére 2,5-szeres mintavételt alkalmaz.

Az elmondottakból adódik, hogy egy spektrum méréséhez szükséges idő a következőképpen alakul:

$$t_{\text{mérés}} = \text{spektrumvonalak száma} \times \frac{2}{f_{\text{max}}} \times 2,5$$

Ahhoz, hogy fölöslgcen ne pazaroljuk az időnket, gondoljuk végig, hogy mit akarunk mérni: a felbontás (a spektrumvonalak szélessége) túlzott növelése, de a túl alacsony felső határfrekvencia kiválasztása is meghosszabbítja a mérés időtartamát. A felbontás kiválasztásához pedig át kell gondolni, mi lehet az adott mérőponton a két egymáshoz legközelebb eső, de szétválasztani kívánt hibajelenség frekvenciakülönbsége. A vonalszélesség ennek felére – jobb esetben ötödére – állítandó be. A felső határfrekvenciát pedig a mérendő gép jellegétől és fordulatszámától függően kell beállítani. Ennek részletes szabályaira cikksorozatunk következő részeiben kitérünk. Zajcsökkentés céljából (a jel-zaj viszony javítása érdekében) több spektrumot szokás átlagolni. (Az átlagolás módjaival is egy későbbi cikk keretében foglalkozunk majd.) Matematikailag bizonyított, hogy ezeket



a spektrumokat nem feltétlenül egymás után kell rögzíteni, hanem legfeljebb 67 százalékos időbeni átlapolás (átfedés) esetén is információvesztés nélkül végezhető az adatrögzítés.

Spektrumanalízis-alapú rezgésdiagnosztika

Ahogy már említettük, a rezgésspektrumok megértéséhez feltételeznünk kell, hogy mindegyik frekvenciacsúcsnak, illetve a frekvenciacsúcsok kombinációinak megfelelő – mechanikailag megmagyarázható – alternáló erő megtalálható a gépben. Ha megtaláljuk a mechanikai magyarázatot, a szükséges korrekciókhoz már igen közel kerültünk. Egy frekvenciaspektrum a 4. ábrán láthatók szerint jelenhet meg.

Egy-egy spektrum nagyszámú frekvenciacsúcsot tartalmaz, ami az első ránézésre bonyolulttá teszi a diagramot. Módszeres értékeléssel viszont gyorsan „tisztul a kép”. A rezgés természetének és okozójának kiderítéséhez általában a spektrumban található legnagyobb amplitúdóértékű frekvenciacsúcs, illetve a domináns csúcscsoport (harmonikus frekvenciacsúcsok) analízisével kezdjük hozzá. Sokat segít, ha a gyakori géphibák tipikus rezgésspektrumait ismerjük, ezekkel kell ugyanis a valós spektrumot összehasonlítani. Ehhez a következő folytatásban szemügyre vesszük a leggyakoribb géphibák spektrumbeli megjelenését.

Rabne Eric

pim@pim-kft.hu

www.pim-kft.hu, www.gepszakerto.hu

WWW.GYARTASTREND.HU