Gépszerkezetek vizsgálata mozgásanimációval

Egyszerűbb kiegészítő eszköz a diagnoszta kezében

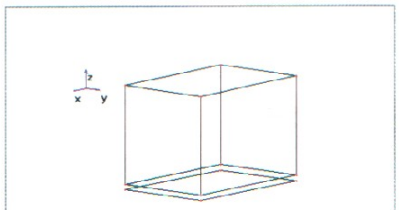
Amíg a működés közbeni géprezgések spektrumanalízise bizonyíthatóan az egyik leghatékonyabb módszer a gépek legtöbb hibájának – például kiegyensúlyozatlanság, egytengelyűségi hiba, görbe tengely, csapágyhiba – felfedezésére és bizonyítására, addig a gép tartószerkezetének bevizsgálására más eszközök szükségesek. A megoldást a végeselem-modellezés vagy a mozgásanimáció nyújtja. A kisebb mérési és számítási igény miatt a legegyszerűbben a mozgásanimáció alkalmazható.

INDULJUNK KI ABBÓL A FELTÉTELEZÉSBŐL, hogy a gép minden szerkezeti eleme (alap, emelvény, keret, alátámasztás, tartógerenda, csapágybak stb.) az üzemeltetés során, a gép működéséből adódóan – a rá ható periodikus erők miatt – kimozdul a helyéből, illetve deformálódik. Mivel a legtöbb gép 1500–3000 fordulat/perces fordulatszámon üzemel, az ilyen mozgások többsége 25, illetve 50 Hz-en, vagy ezek valamilyen egész számú többszörösének megfelelő frekvencián megy végbe. Szabad szemmel két okból nem látjuk ezeket a mozgásokat: egyrészt az 50 Hz-es és az e fölötti frekvenciájú változásokat a szemünk nem tudja követni, másrészt gyakran csupán mikrométeres (ezred-milliméteres) mozgásokról van szó.

Láthatóvá tett mozgások

Hogyan lehetne mégis a gépelemek mozgását láthatóvá tenni? A legegyszerűbben stroboszkóp alkalmazásával: világítsunk meg minden második (vagy harmadik, negyedik) mozgást! Mivel szemünk csak az erős felvillanás pillanatában képes a tárgy felismerésére, úgy tűnik, mintha a folyamat például 50 Hz helyett csupán 25 Hz-en vagy akár csak 12,5 Hz-en menne végbe. Ezt pedig a szemünk már képes követni, tehát így a megfelelően nagy amplitúdójú – de egyébként láthatatlanul gyors – mozgások láthatóvá válnak. (Természetesen csak abban az esetben, ha stroboszkóplámpánkat a vizsgálandó frekvenciától eltérő frekvenciára hangoljuk, mert ellenkező esetben állóképet látunk.) A módszernek több hátránya is van: › a kis, néhányszor tíz mikrométeres mozgásokat sajnos továbbra sem látjuk › csak korlátozott terület világítható be, illetve elemezhető › a látottak kiértékelése meglehetősen szubjektív, az adatok tárolása kizárólag az emlékezettel történik.

A stroboszkóplámpás módszernél jobb eredményeket érünk el, ha a modern rezgésmérő műszerek képességeit és a számítástechnikát hívjuk segítségül, hiszen itt is rezgéseket akarunk megfigyelni. Első feladatunk, hogy modellt készítsünk a bevizsgálandó gépszerkezetről, amely minden egyes szerkezeti csomópontot tartalmaz. A modellalkotásnál természetesen tartsuk szem előtt, hogy csak annyi mérőpontot vegyünk fel, amennyi a bevizsgálandó vagy feltételezett probléma detektálására feltétlenül szükséges – a pontokon ugyanis mérni is kell. Az 1 ábrán egy lemezre szerelt gépelem (lehet például alaplemez és csapágybak) modellje látható. Utána következik a modellünkhöz igazodó adatgyűjtés: annak mindegyik csomópontján meg kell mérni a térbeli (x, y és z irányú) rezgéseket (mozgásokat). Mivel több pont mozgását kívánjuk egymással összehasonlítani (illetőleg együtt megjeleníteni), így nyilvánvaló, hogy nemcsak a mozgások amplitúdója, hanem egymáshoz viszonyított időpontja (fázisa) is fontos információ. Az alábbiakban a szóba jöhető mérési módszereket tekintjük át.



Lemezre szerelt gépelem modellje 1

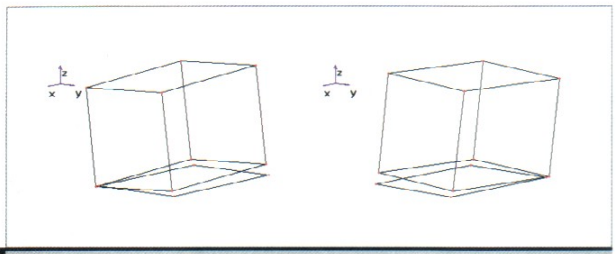
A MOZGÁSANIMÁCIÓ LÁTHATÓVÁ ÉS KÖNNYEN ELEMEZHETŐVÉ TESZI AZ AMPLITÚDÓ–FÁZIS ADATOKAT A KEVÉSBÉ GYAKORLOTTAK SZÁMÁRA IS.

Mérési módszerek

Amplitúdó–fázis mérés triggereléssel Mivel leginkább a gép forgásával kapcsolatos elmozdulások érdekelnek minket, az időbeni viszonyítás alapjaként például a gép főtengelyének forgásfrekvenciáját vehetjük. Ehhez az összes mérést a fordulatszám-érzékelő jelével (fordulatonként egy impulzus) kell indítani, más szóval triggerelni (tehát a fordulatszámmal szinkronizálni), és utána az érzékelt rezgésjelet feldolgozni: a forgásfrekvenciájú, illetve valamely többszörös komponens amplitúdóját és fázisszögét kell meghatározni.

Méréseink eredményeként ez esetben tehát szerkezeti csomópontonként három-három (mindegyik térbeli irányra vonatkozó) rezgésamplitúdó-érték és fázisadat áll rendelkezésünkre. Ezek az adatok együttesen azt írják le, hogy a bevizsgált mérőpont (egy-egy adott frekvenciára nézve) milyen térbeli mozgást végez. Ha más frekvenciájú (forgásfrekvencia-többszörös) mozgás is érdekel bennünket, úgy a méréseket mindegyik ponton meg kell ismételnünk a kérdéses frekvencián. A módszer előnye, hogy a mérések elvégzéséhez nem szükséges bonyolult műszer, és viszonylag gyorsan végrehajthatók. Hátránya viszont, hogy egyszerre csupán egy (forgásfrekvencia-függő), illetve a műszer képességeitől függően két-három kitüntetett (forgásfrekvencia-többszörös) frekvencián jutunk adatokhoz, és feltétlenül szükséges, hogy egy triggerelésre alkalmas jel legyen jelen a forgórészen.

Referenciajel- (kétérzékelős) módszer Két rezgésérzékelővel dolgozunk, amelyek közül az egyiket referenciának tekintjük, és a mérés ideje alatt nem mozdítjuk el a helyéről. A másik érzékelőt pedig egymás után felhelyezzük az egyes mérési pontok meghatározott irányaiba. A mérés során a rezgések fázis- és amplitúdóspektrumát rögzítjük. A jelek egymáshoz történő időbeni viszonyítása tehát nem a forgástengely triggerjele alapján, hanem a referenciaérzékelő által mért rezgésekhez képest történik. A referenciaérzékelős módszer előnye a triggerimpulzusos méréssel szemben: › nem szükséges triggerelésre alkalmas jelnek lennie a forgórészen, sőt egyáltalán nem szükséges „látható" forgórész › nemcsak előre definiált frekvencián jutunk animálható adatokhoz, hanem a spektrumokban szereplő minden olyan frekvencián is, amelyen meg-



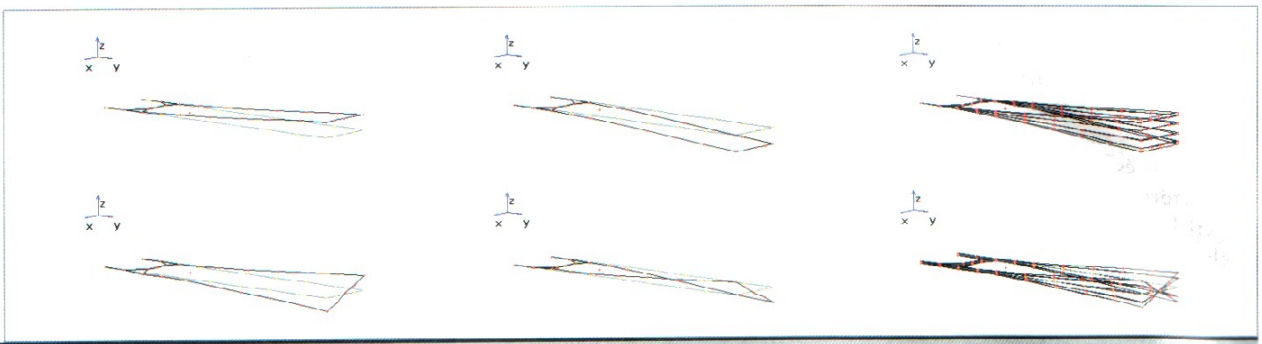
2 Rosszul rögzített gépelem mozgásfázisai

felelő a koherencia a referenciaérzékelővel mért értékekkel. A módszer hátrányaként a fokozott eszközigény említhető.

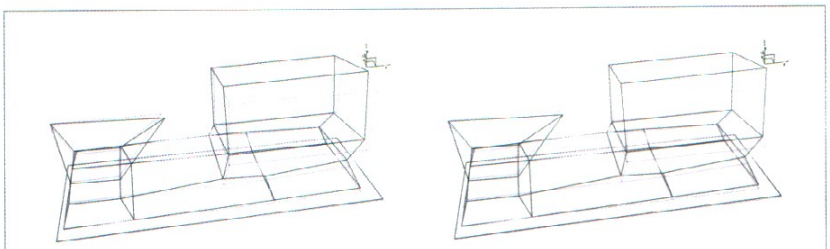
Általános eset, hogy méréseinket a vizsgálandó gép üzemelése alatt végezzük, hiszen legtöbbször a jelentős gép- és gépszerkezeti rezgések kiváltó okaira vagyunk kíváncsiak. Emiatt – bármelyik mérési módszert alkalmazzuk is – mindenképpen figyelembe kell venni az eljárás fizikai korlátait. A legfontosabb talán az idő az egyszerre mérhető csatornák (mérési pontok) száma miatt. A mérést a legtöbb esetben egy, illetve két érzékelővel (egy, illetve két csatornán) végezzük, ebből adódóan tehát csak akkor kapunk összehasonlítható adatokat, ha időben – legalább a mérés ideje alatt – állandó rezgések vannak jelen. Ez komoly korlát, mivel több száz mérési pontnál a szükséges idő akár órákat is kitehet, tehát mindenképpen hosszúidejű stabilitás (azonos üzemállapot) szükséges. Ha ez nem biztosítható, akkor könnyen elképzelhető, hogy a változó amplitúdó- és fázisviszonyok téves eredményre vezetnek. Ha lehetőség vagy szükség van rá, a vizsgálandó gépszerkezet üzemi rezgéseit helyettesíthetjük egy gerjesztő géppel is, amely az általunk meghatározott – általában bizonyos határok között változtatható – erővel és frekvenciával folyamatosan rezgéseket kelt. Ez esetben természetesen nem kell attól tartanunk, hogy a rezgések amplitúdója és fázisa időben nem állandó.

Modellalkotás, kiértékelés

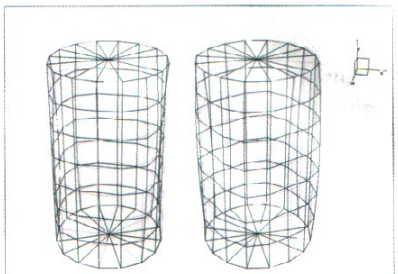
A mérési adatok begyűjtését követi a kiértékelés. Az eredmények kitartó elemzésével (összehasonlítással, koherenciavizsgálattal stb.) megállapíthatók ugyan a vizsgált szerkezet esetleges hibái, de a tévedés lehetősége – főleg nagy adathalmaz esetén – meglehetősen nagy, mivel a hiba nem biztos, hogy kiugróan jelentkezik. Az elemzés gyorsítása, illetve a tévedések minimalizálása érdekében alkalmazzuk a számítógépes, grafikai megjelenítésen



3 Egyik végén befogott tartó mozgásfázisai



4 Csavarkompresszor tengelykapcsolójának deformációját (befeszülését) kimutató animáció (balra), tengelybeállítási hibával és súlyos alaptöréssel terhelt kompresszor mozgásanimációja (jobbra)



Nyomás alatt álló tartály pulzálása 5

alapuló mozgásanimációt. Az animáció során elnagyolt amplitúdókkal – de fázishelyesen – és erősen lelassítva kerül ábrázolásra a gépszerkezet egy-egy kitüntetett frekvenciájú mozgása.

Jól megalkotott 3D-s (háromdimenziós, illetve térbeli) modellen – és természetesen hibátlanul végrehajtott mérésekkel – a gép- és gépszerkezeti hibák garmadája mutatható ki. Legkönnyebben az egyes gépelemek közötti lazaságok fedezhetők fel. Az együttmozgás hiánya komoly rezgéssel és egyéb következményekkel járhat, ha a gépelemeknek egyébként mereven kellene kapcsolódniuk egymáshoz. A leggyakrabban ellenőrzött kapcsolatok a csapágy-csapágybak-alaplemez-alap alkotta rendszer rögzítési pontjai, illetve a teljes, összetartozó tartó- és épületszerkezetek. Az animációs ábrán a lazaság nagyon könnyen felfedezhető, mivel az egymás melletti (kapcsolódó) gépelemek mozgásában jelentős amplitúdó- és fáziskülönbség van. A 2 ábrán egy, az alaplemezhez nem megfelelően rögzített gépelem mozgásának fázisai láthatók.

A vizsgált szerkezetben a repedések, illetve a törések hasonló módon jelentkeznek, mint a lazaságok, de kimutatásuk már sokkal körülményesebb. Míg a lazaságok keresésénél modellünk megalkotásakor, így a mérési pontok felvételénél egyértelműen tudjuk, hogy az esetleges hibát hol kell keresni (gépelemek kapcsolódása), addig a kevésbé látványos repedések, törések kimutatásához egy adott gépelemen belüli mérések szükségesek. Ez esetben a modellalkotáson múlhat a vizsgálat sikere, mivel a túl ritka vagy nem megfelelő síkban felvett mérésekből nem megfelelő következtetéseket vonhatunk le. Ezért mindenképp megjegyzendő, hogy ha a mérés elemzése, animálása közben a legkisebb gyanú is felmerül valamilyen hibára vonatkozóan, akkor érdemes az adott pontok környezetében további – részletesebb – vizsgálatokat végezni.

BÁR A KIÉRTÉKELÉS EGYSZERŰ, A MODELLALKOTÁS ÉS A MÉRÉS MEGFELELŐ SZAKÉRTELMET ÉS GYAKORLATOT KÍVÁN.

Az animációs módszerrel jól kimutatható továbbá az egyes szerkezeti elemek rezonanciás viselkedése. A vizsgálat egyetlen – de nagyon komoly – feltétele, hogy gerjesztenünk kell a szerkezetet a sajátfrekvenciáknak megfelelő frekvenciájú erővel (ha ez valamilyen konstrukciós vagy szerelési hiba miatt a gép üzeme alatt magától nem lépne fel). A 3 ábrán egy egyik végén befogott tartó mozgásának fázisai láthatók az első rezonanciafrekvencián történő hajlításra, illetve csavarásra.

Az említett példákban szereplő egyszerű modelleknél lényegesen bonyolultabbakat is készíthetünk – a modell részletessége (és komplexitása) természetesen elsősorban a feladattól függ 4. De határt szab a modell pontjainak számával arányosan növekvő mérési munka és az eredmény grafikai áttekinthetősége is. Az 5 ábrán egy nyomás alatt álló tartály pulzálásáról alkotott modell látható, amely a VMI AB termékével, a VibShape hardver- (műszer-) független mozgásanimációs PC-szoftverrel készült. A sok mérőpont adatainak begyűjtése nem kis feladat, a látvány viszont lenyűgöző. Itt kell felhívni a figyelmet arra, hogy a módszer nem mindenható, ne próbáljunk vele gyorsan lezajló, nehezen reprodukálható, illetve időben változó (instacionáris) folyamatokat vizsgálni.

Rahne Eric

pim@pim-kft.hu
www.pim-kft.hu