

Forgógépek állapotfelmérése és figyelése rezgésméréssel

Szerző: Rahne Eric, okl. villamosmérnök
Copyright © PIM Profeszionális Ipari Méréstechnika Kft.

A fizikai alapok

Minden szilárd test több irányban különböző frekvenciájú rezgések végzésére képes. A legnagyobb kilengéseket a testspecifikus sajátfrekvencián tapasztalhatjuk, mivel e frekvencián (rezonál) a test az adott irányban (innen eredt a rezonanciafrekvencia fogalma).

Természetszerűleg egyetlen test sem kezd el magától rezgéseket végezni, hanem ehhez gerjesztés - tehát külső erőhatás - szükséges. Minél nagyobb ez az erő, és - alternáló erők esetében - változási üteme minél inkább megegyezik a test sajátfrekvenciájával, annál nagyobb rezgéseket végez a szilárd test az erőhatás által meghatározott irányban.

Forgógépek esetén a rezgések forrásai a gép működése közben elkerülhetetlenül fellépő alternáló erők. Ezek soha nem küszöbölhetők ki teljesen, hiszen többek között a gép üzemszerű alternáló működéséből (például dugattyús gépek), a forgó alkatrészek maradék kiegyensúlyozatlanságából, a hajtásból eredő periodikus erőkből (például hálózati felharmonikusok) adódnak.

Az üzemszerűen jelen lévő erőknek az egyes gépalkatrészekre gyakorolt hatását úgy kell elképzelni, hogy minden gépalkatrész egy rúgó-tömeg lengőrendszer része. Maga a forgógép számos ilyen lengőrendszerből áll, amelyek szinte kivétel nélkül egymással is összefüggésben vannak, és egymást gerjesztik.

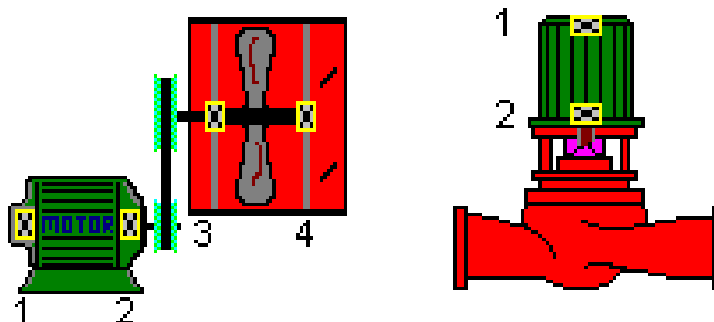
A szilárd testek rezonanciatulajdonságából következik, hogy mindegyik gépelem igyekszik a rá ható alternáló erő hatását a saját frekvenciáján követni. Ez nemcsak a gép mozgó összetevőire, hanem az összes tartóelemre is vonatkozik. A mechanikus elemek merevsége és tömege függvényében alakul ki a gépen mérhető rezgések frekvenciája és a hozzátartozó amplitúdó. Minél kisebb a gépelem, annál nagyobb frekvenciájú, de kisebb amplitúdójú rezgést végez.

A mérőhely kiválasztása

Minden mechanikai rezgés a keletkezése helyén a legerősebb. A rezgés energiájának továbbadása bármilyen anyagban többé-kevésbé erős csillapítással történik. Minél nagyobb frekvenciájú a rezgés, annál erősebb a csillapító hatás. Ennek következtében kisfrekvenciás rezgéseket a forrástól számított nagyobb távolságban is érzékelhetünk, ellenben a nagyobb frekvenciájú rezgések (például csapágyrezgések) érzékelési távolsága nagyon korlátozott. Ráadásul a nagyfrekvenciás rezgéseket csak a kis súlyú – nagy sajátfrekvenciával jellemezhető - elemek képesek jól követni, a nagy súlyú testek nem. A kis súlyú elemek által átadható nagyfrekvenciás rezgések energiatartalma pedig túl kicsi ahhoz, hogy megfelelő gerjesztést adjon át egy nagyobb testnek rezgések végzéséhez.

Az említett csillapításon túl további rezgésenergia-vesztés lép föl, ha egyik testről másik testre (esetünkben gépalkatrészek között) történik a rezgés átadása. Minél szorosabb a két elem kapcsolata, annál könnyebb átadni a rezgés energiáját. Az egymással kapcsolatban nem álló elemek nem követik egymás rezgéseit.

A fentiekből adódik, hogy a rezgésforráshoz minél közelebbi helyen kell mérni. Forgógépek esetén a csapágyházakon ajánlatos mérni, mivel a forgó alkatrészek hibáiból keletkező rezgések átvitel útján ide kerülnek, és a csapágyhibából eredő (nagy frekvenciájú) rezgések csak itt mérhetők. Ne mérjünk laza burkolaton vagy különálló - szoros kapcsolatot nélküli - gépelemeken, ha a gép forgó alkatrészeire vonatkozó rezgések érdekelnek minket! (Az említett elemeken csak akkor érdemes méréseket végezni, ha fennáll az a gyanú, hogy ezek a gép valamely gerjesztésére rezonálással reagálnak.)



Tipikus mérőpontok forgógépeken (példák)

Rezgéssebesség mérés (ill. szélessávú rezgésmérés vagy rezgésszintmérés)

Ha kifejezetten egyszerűen kezelhető, könnyen értelmezhető forgógép-állapotjellemzőt szolgáltató mérési eljárásra van szükség, akkor a szélessávú rezgésmérés vagy rezgésszintmérés a megfelelő módszer. Az erre szolgáló kéziműszerek a rezgéssebesség effektív értékét (angolul RMS, azaz a rezgéskomponensek négyzetes átlaga) mérik.

Példa: Tegyük fel, hogy a rezgés több összetevőből, kiegyensúlyozatlanságból (4 mm/s), tengely-beállítási hibából (2 mm/s) és fogaskerék-áttételből (5 mm/s) származik. Ekkor a rezgés eredője - tehát a készülékkel mért effektív érték - 6,7 mm/s lesz.

$$\text{Rezgés effektívérték} = \sqrt{4^2 + 2^2 + 5^2} \stackrel{!}{=} 6,7 \text{ mm/s}$$

A mérés szokásos frekvenciatartománya 10-től 1000 Hz-ig (ISO 2372 szerint) vagy 10-től 3200 Hz-ig (az új ISO 10816-3 szerint) terjed. Ezek a tartományok felölelik a forgógépek mechanikus problémáinak többségére jellemző, leggyakoribb frekvenciákat. Kitűnően észrevehető például a kiegyensúlyozatlanság, a mechanikai lazaság, a rezonancia, valamint a tengelyek, illetve áttételek beállítási hibáinak jelenléte. Arról viszont nincs információ, hogy melyik dominál.

A szélessávú rezgésmérő kéziműszerek alkalmazása - különböző rezgésértékelő szabványok javaslatainak megfelelően - a forgógépek csapágyain (illetve ezek burkolatain) történő mérésekhez ajánlott.

A tapasztalattal nem rendelkező felhasználóknak javasolható, hogy a mérési eredmények értékeléséhez az ISO 10816-3 szabványt (ez lépett a régi ISO 2372, valamint ISO 3945 helyébe) vegyék alapul. Előfordulnak azonban a szabványnál szigorúbb előírásokat megkövetelő technológiák, valamint a szabványosnál nagyobb rezgésértékeket megengedő esetek is.



Tipikus digitális rezgésszintmérő kéziműszer (VMI Viber-R)

A szabványok általában a rezgéssebesség mérésén alapulnak, mm/s effektív értékben (RMS-ben) kifejezve. A mérési eredmény jobb érthetőségét segíti az, hogy a leolvasott értéket az oda-vissza mozgás átlagsebességéként értelmezzük. A rezgéssebesség effektív értéke tükrözi legjobban a nem kívánatos jelenségek, kedvezőtlen hatású energiák jelenlétének mértékét. Ezek minden mérhető esetben kopást és anyagkifáradást okoznak a gép szerkezetében.

Az ISO 10816-3 szabvány osztályokba sorolja a gépeket, valamint különbséget tesz rugalmasan és mereven szerelt gépek között is. (Az utóbbi megfelel a gépek rezonanciafrekvenciáinak és alapfordulatszámának viszonya szerinti osztályozásnak. Például egy gumialátéttel vagy rugóval – tehát rugalmasan - szerelt gép gyakran alacsony fordulatszámokon mutat rezonanciákat, a gép már igen kis fordulatszámon is nagy lengéseket végez. Ha a fordulatszám meghaladja a kritikus rezonanciafrekvenciákat, a rezgésszint csökken.

Mereven szerelt gépek esetén nem beszélhetünk ilyen jelenségről.) A korszerű gépek nagy fordulatszámon dolgoznak, és viszonylag rugalmas csapágyakkal, perifériákkal és alapzattal rendelkeznek. Ezért ezek rugalmasan szereltként kezelhetők akkor is, ha nincsenek gumialátéttel vagy rugóval rögzítve. Ezekben az esetekben az ISO 10816-3 szabvány valamivel magasabb rezgésszinteket enged meg a merev rögzítéshez képest.

| rezgése sebesség (effektív) mm/s | 1-es és 3-as osztály | | 2-es és 4-es osztály | |
|----------------------------------------|----------------------|-----------------|----------------------|---------------|
| | merev alap | rugalmas alap | merev alap | rugalmas alap |
| - 1,4 - | JÓ | JÓ | JÓ | JÓ |
| - 2,3 - | ELFOGADHATÓ | JÓ | ELFOGADHATÓ | ELFOGADHATÓ |
| - 2,8 - | | | NEM KIELÉGÍTŐ | |
| - 3,5 - | NEM KIELÉGÍTŐ | ELFOGADHATÓ | ELFOGADHATATLAN | NEM KIELÉGÍTŐ |
| - 4,5 - | | NEM KIELÉGÍTŐ | | |
| - 7,1 - | ELFOGADHATATLAN | ELFOGADHATATLAN | | |
| - 11,0 - | | | | |

Az ISO 10816-3 által javasolt rezgésszint határértékek (kivonat)

Az ISO 10816-3 szabványban szereplő géposztályok

| Géposztály | A gépek általános leírása |
|------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| I. | Kisgépek csoportja, melyekhez a 15 kW-nál kisebb teljesítményű villanymotorok is sorolhatóak. |
| II. | A közepes kategóriájú gépek csoportja, ide tartoznak a stabil - csak forgó mozgást végző - gépek, szivattyúk, ventilátorok, külön alaphoz rögzített gépek 300 kW átvitt teljesítményig, valamint a 15-75 kW teljesítményű villanymotorok. |
| III. | A nagy, nehéz, de csak forgó mozgást végző munkagépek, valamint erőgépek csoportja, melyek nehéz vagy súlyos alappal rendelkeznek. |
| IV. | Forgó mozgást végző rugalmas alapon elhelyezett erő és munkagépek csoportja, melyek nagy tömegükkel, nagy sebességgel forognak (turbinák, turbógenerátorok). |

A szabványok használatával nagyon egyszerűen eldönthető, hogy egyes gépek tovább üzemeltethetők-e vagy sem. Alapszabályként elfogadható, hogy a 3 mm/s effektív értéknél nagyobb rezgést mutató gépnél (ide értjük a leggyakoribb géptípusokat, például a villanymotorokat, szivattyúkat, ventilátorokat, generátorokat) a rezgés okát fel kell tární. Ne üzemeltessünk tovább 7 mm/s-nál erősebben rezgő gépet, ha nem vagyunk biztosak benne, hogy a gép állóképessége megengedi a hosszú idejű üzemeltetést ilyen feltételek mellett.

A következő felsorolás a rugalmas gépekre vonatkozó - az említett szabvány(ok)hoz hasonló - tapasztalati határértékeket és a rezgésszintekhez tartozó egyszerűsített magyarázatot tartalmazza. E lista első közelítésként használható, ha olyan gépet kell felmérni, amelyet újonnan állítottak üzembe, illetve csak rövid ideig volt használatban. Az értékek mm/s egységben vannak megadva. Dugattyús gépekre (például kompresszorokra, robbanómotorokra) és állandó mechanikai "sűrűdással", illetve "ütéssel" működő gépekre (például darálókra) a rezgésszint-határértékek nem alkalmazhatók.

Tapasztalati rezgésszint-értékelési táblázat [Forrás: VMI]

| | |
|----------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 0 ... 3 | Kicsi rezgések. Nincs vagy csak nagyon kicsi a csapágyterhelés. Többnyire alacsony zajszint. |
| 3 ... 7 | Az észlelhető rezgésszintek gyakran egy-egy specifikus alkatrésyre, illetve gépirányra koncentrálnak. Észrevehető csapágyterhelés. Tömítési problémák. Megnövekedett zajszint. Javasolt az ok kiderítése a legközelebbi időszakos leállításnál. Addig célszerű felügyelet mellett működtetni a gépet, és rövidebb időszakonként újra meg kell mérni a rezgésszintet a romlás mielőbbi észleléséhez. |
| 7 ... 18 | Nagy rezgések. A csapágyak forrók. A csapágytúlterhelés gyakori cseréket eredményez. A tömítések rosszak, különféle lékek is elképzelhetők. A tengelyek és az alapzatok törnek. Magas zajszint. Mielőbbi beavatkozást kell tervezni, és mindent meg kell tenni az ok kiderítésére. A berendezés nagyon gyorsan elhasználódik. |
| 18 ... | Nagyon erős rezgések és nagyon erős zaj, amely nem egyeztethető össze a gép biztonságos működtetésével. Le kell állítani a gépet, amennyiben műszakilag vagy gazdaságilag az üzem leállási költségei igazolhatók. Más esetben minimumra kell csökkenteni az üzemidőt. Nincs ismert gép, amely ezt a rezgésszintet jelentős belső vagy külső károsodás nélkül kibírná. |

(A táblázat mm/s egységekben van megadva. Dugattyús gépekre /pl. kompresszorokra, robbanómotorokra/ és állandó mechanikai „súrlódással” ill. „ütéssel” működő gépekre /pl. darálókra/ a fenti rezgésszint-határérték nem alkalmazható.)