

Géprezgések spektrumanalízise (ill. frekvenciaanalízise) -6-

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

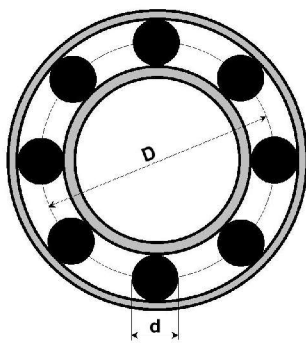
Golyós és hengergörgős csapágyak hibái

A csapágyak sérülései különböző okokra vezethetők vissza: hibás szerelés, technológiai hibák a tengelyelemek szerelésénél, gőzbehatás, túlterhelés, túl nagy fordulatszám, rossz vagy hiányzó kenés, anyag- és gyártási hibák. De alapvetően a csapágy üzemszerű terhelése - a csapágy élettartamának függvényében - önmagában is előbb utóbb anyagfáradáshoz, majd először kisebb, később rohamosan növekvő sérülésekhez vezet.

Egy csapágy sérülésekor rezgések keletkeznek, amelyeknek frekvenciája attól függ, hogy melyik csapágy-alkotóelemen következett be a meghibásodás. Ezek a hibafrekvenciák - gyakran csapágyfrekvenciának, illetve csapágy-hibafrekvenciának is nevezett frekvenciák - könnyen kiszámíthatók, ha a csapágy bizonyos alapvető geometriai méretei ismertek.

A hibafrekvenciák kiszámításához a következő adatokat kell tudni

- D = a görgők középpontja gördülópályának (futáspálya) átmérője
- d = a görgők átmérője
- Q = az érintési szög (az erőátvitel iránya a belső gyűrűről a külső gyűrűre)
- Z = a görgők száma
- N = a tengely fordulatszáma (fordulat/perc egységekben)



A csapágy geometriai adatai [forrás: PIM]

A következő csapágyhibafrekvenciák (alapsávú csapágyfrekvenciák) léteznek:

- FTF = kosárfrekvencia (Fundamental Train Frequency)
- BPFO = külső gyűrű frekvencia (Ball Pass Frequency - Outer race)
- BPFI = belső gyűrű frekvencia (Ball Pass Frequency - Inner race)
- BSF = görgő frekvencia (Ball Spin Frequency)

A leggyakoribb csapágyhiba a külső gyűrű sérülése, mivel a legtöbb esetben a külső gyűrű áll, és a terhelés (például a forgórész súlya) a görgőkön keresztül mindig a külső gyűrű ugyanazon pontján hat. A hibafrekvenciák kiszámítását attól függően kell elvégezni, hogy a csapágy belső vagy külső gyűrűje forog-e. A következőkben mindkét esetre írunk fel egyenleteket, és az ezek által kapott mennyiség minden esetben Hz-ben értendő.

Csapágyhibafrekvenciák kiszámítását szolgáló egyenletek forgó belső gyűrű esetén:

Hiba a külső gyűrűn:

$$BPFO_{Hz} = \frac{Z}{2} \times \frac{N}{60} \times \left(1 - \frac{d}{D} \times \cos \theta\right)$$

Hiba a belső gyűrűn:

$$BPFI_{Hz} = \frac{Z}{2} \times \frac{N}{60} \times \left(1 + \frac{d}{D} \times \cos \theta\right)$$

Hiba a görgőkön:

$$BSF_{Hz} = \frac{D}{2d} \times \frac{N}{60} \times \left(1 - \left(\frac{d}{D} \times \cos \theta\right)^2\right)$$

Hiba a kosáron:

$$FTF_{Hz} = \frac{N}{2 \times 60} \times \left(1 - \frac{d}{D} \times \cos \theta\right)$$

Csapágyhibafrekvenciák kiszámítását szolgáló egyenletek forgó külső gyűrű esetén:

Hiba a külső gyűrűn:

$$BPFO_{Hz} = \frac{Z}{2} \times \frac{N}{60} \times \left(1 - \frac{d}{D} \times \cos \theta\right)$$

Hiba a belső gyűrűn:

$$BPFI_{Hz} = \frac{Z}{2} \times \frac{N}{60} \times \left(1 + \frac{d}{D} \times \cos \theta\right)$$

Hiba a görgőkön:

$$BSF_{Hz} = \frac{D}{2d} \times \frac{N}{60} \times \left(1 + \left(\frac{d}{D} \times \cos \theta\right)^2\right)$$

Hiba a kosáron:

$$FTF_{Hz} = \frac{N}{2 \times 60} \times \left(1 + \frac{d}{D} \times \cos \theta\right)$$

Az érintési szög θ gyakorlati szerepe

Az egyes gépekben fellépő axiális erőhatások miatt nem a csapágy-specifikációban megadott érintési szögben történik az erőátvitel. Az érintési pont minimálisan eltolódik oldalra, és így a tényleges érintési szög (ill. erőátviteli szög) megváltozik. Ez a fenti egyenletek szerint a várható hibafrekvenciákra is kihatással van.

A gyakorlatban leginkább nagy axiális terhelés esetén fordul elő, hogy az axiális erők megnövelik az érintési szöget, és ez befolyásolja a hibafrekvenciák alakulását. Bár ez a hatás igen kicsi (legfeljebb 2 százalékos eltérést idéz elő), de mindenképpen azt eredményezi, hogy a kalkulált hibafrekvenciák nem fedik "hajszál pontosan" a valóságban mért frekvenciákat.

A legtöbb hagyományos esetben (a belső gyűrű forog, a külső gyűrű áll) a csapágyhibákra jellemző rezgésfrekvenciák +/-20 százalékos bizonytalansággal becsülhetők meg a következő egyenletek alapján:

kosárfrekvencia:	FTF	=	0,4 * N / 60
külső gyűrű frekvencia:	BPFO	=	0,4 * N / 60 * Z
belső gyűrű frekvencia:	BPFI	=	0,6 * N / 60 * Z
görgő frekvencia:	BSP	=	0,23 * N / 60 * Z (Z < 10)
		=	0,18 * N / 60 * Z (Z ≥ 10)

Számítási példa

Legyen egy tengely fordulatszáma 2940 fordulat/perc (ez 49 Hz-nek felel meg), és tételezzük fel, hogy a csapágy külső gyűrűje áll, a belső gyűrűje pedig forog. A csapágy további adatai:

A csapágy golyóinak száma	Z = 8
A golyók átmérője	d = 6.75 mm
A futáspálya átmérője	D = 28.5 mm
Az érintési szög	Q = 0 fok

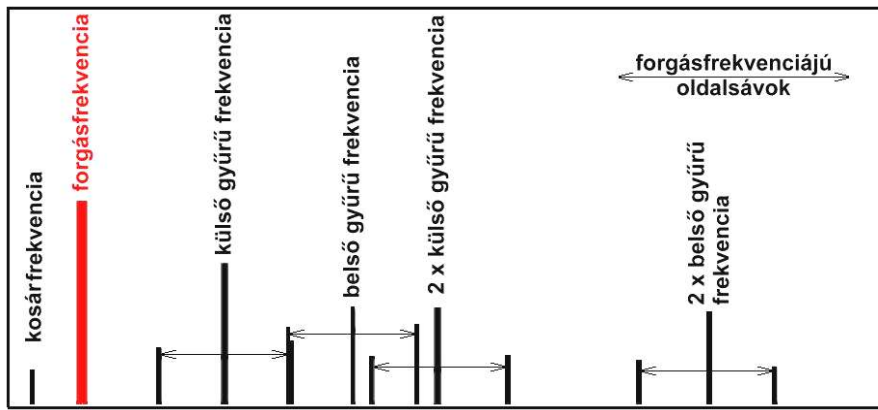
$$BPFO_{Hz} = \frac{8}{2} \times \frac{2940}{60} \times \left(1 - \frac{6.75}{28.5} \times \cos 0\right) = 149.58 \text{ Hz}$$

$$BPFI_{Hz} = \frac{8}{2} \times \frac{2940}{60} \times \left(1 + \frac{6.75}{28.5} \times \cos 0\right) = 242.42 \text{ Hz}$$

$$BSF_{Hz} = \frac{28.5}{2 \times 6.75} \times \frac{2940}{60} \times \left(1 - \left(\frac{6.75}{28.5} \times \cos 0\right)^2\right) = 97.64 \text{ Hz}$$

$$FTF_{Hz} = \frac{2940}{2 \times 60} \times \left(1 - \frac{6.75}{28.5} \times \cos 0\right) = 18.70 \text{ Hz}$$

A következő ábra a fenti csapágy hibafrekvenciáinak spektrumbeli megjelenését mutatja egyszerűsített (sematikus) formában. A csapágyproblémák megjelenése a frekvenciaspektrumban annak függvényében változik, hogy enyhe - kezdődő - hibajelenségről vagy kialakult - súlyos - hibáról van-e szó. Ennek megfelelően további elméleti szempontokat kell a kiértékelésnél figyelembe venni.



A csapágy hibafrekvenciáinak megjelenése a rezgésspektrumban [forrás: PIM]

A csapágy hibafrekvenciáinak előfordulása

A kosárfrekvencia csak nagyon ritkán lép fel dominánsan. A kosársérülések gyakran jelentkeznek a többi csapágyfrekvencia (görgő, illetve belső vagy külső gyűrű frekvenciája) körül fellépő kosárfrekvenciájú moduláció formájában. Ha a csapágy sérüléseinek való átgördülés folyamatosan változó terheléssel megy végbe, esetenként a fordulatszám csapágy-hibafrekvenciájú modulációi figyelhetők meg. Egy ép gép működése közben a csapágy alapfrekvenciái a legtöbb esetben nincsenek jelen. A csapágy kezdődő sérülése a csapágy-hibafrekvenciák nagyfrekvenciás többszörösei formájában jelentkezik, majd a sérülés súlyosbodása folyamán a csapágy alapfrekvenciái egyre jobban felerősödnek.

A csapágysérülés esetén fellépő periodikus ütésgerjesztések mindig az ütésfrekvencia (esetünkben a csapágy alapfrekvenciái) többszöröseit is eredményezik. Ha viszont tisztán szinuszos gerjesztés van jelen (például kiegyensúlyozásból eredő erők esetén), akkor csupán a gerjesztőerő alapfrekvenciája jelenik meg a spektrumban. Ha például a csapágykomponensek feszülés következtében deformálódtak, szinuszos erőhatások várhatók a görgők legördülése során. Ez nem ritkán javítások után figyelhető meg a túl kis hézaggal szerelt feszítőhüvelyek, illetve erősen megterhelt, deformálódott csapágyülésű gépegységek (például szíjhajtás) esetében. Ilyenkor csak a csapágyhibák alapfrekvenciája jelenik meg a spektrumban.

Túl kis csapágyhézag esetén elsősorban a külső gyűrű hibafrekvenciája válik láthatóvá. A megterhelt csapágyalkatrész valójában a kosár, aminek a következő az oka: a túl kis hézag miatt bekövetkező csapágyfeszültséget a kosárnak kell állnia, mivel ennek kell a görgőket a legkisebb hézagú résen átréselnie. Ezért végül is a kosárhiba alapfrekvenciájának kellene megjelennie, de ez a legtöbb esetben nem igaz, mivel a kosárnak mindegyik görgőt egyenként kell átréselnie a szűk keresztmetszeten. Emiatt a kosárfrekvencia többszöröse lép fel, pontosabban a kosárfrekvencia és a görgők számának szorzata. Ez pedig nem más, mint a külső gyűrű hibafrekvenciája.

Összegzés megjegyzésekkel

Összefoglalva elmondhatjuk, hogy ha a csapágy-hibafrekvencia többszörösei elsősorban a magasabb frekvenciatartományban találhatóak, akkor ennek oka többnyire az lehet, hogy kis, éles sérülések vannak a csapágy futófelületén. A szennyeződések is hasonló jelenséget produkálhatnak. Ilyenkor a csapágyhiba-alapfrekvenciák általában nem észlelhetők. Másrészt, ha a rezgésspektrumban jelen vannak a csapágyhiba alapfrekvenciájának alacsonyfrekvenciás többszörösei (leginkább a 2-10-szeres frekvenciák), akkor ez általában nagy és mély csapágysérülésekkel magyarázható. Kis csapágyterhelés, illetve különösen rossz állapotú csapágyak esetén (amikor már igazi legördülés nincs is), a csapágyhibák leginkább rezonanciaerjesztések formájában jelennek meg.

További megjegyzések:

* A görgők hibái nagyon nehezen detektálhatók, mivel ezek az elemek nagyon kicsik. Emiatt meghibásodásuk esetén az általuk keltett rezgés (illetve annak energiatartalma) viszonylag kicsi, így csak akkor mérhető, ha valamilyen más - nagyobb - gépalakrész (pl. a csapágybak) átveszi e rezgéseket.

* Az impulzusszerű nagyfrekvenciájú jelek, illetve a nagyfrekvenciájú energia előfordulása többnyire csapágyhibákra utal. De a nagyfrekvenciájú jelenséget okozhatja még például láncos hajtásoknál az esetleges lánczörgés, szivattyús szerkezeteknél pedig a közegben fellépő kavitáció is.

* A belső gyűrű és a görgő hibájára jellemző rezgésfrekvenciák radiálterhelésű csapágyaknál fordulatszám-, illetve kosárhibára jellemző rezgésfrekvenciájú oldalsávokkal jelentkezhetnek. Ez a hibahely a terhelt zónába történő be- és kilépési mozgástól függ.