

Géprezgések spektrumanalízise (ill. frekvenciaanalízise) -7-

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

Fogaskerekű hajtások rezgésanalízise

Zajok és rezgések fogaskerekű hajtások esetén

A fogaskerekű hajtások nem tökéletesen lineárisan viszik át az erőket. Bár a forgatónyomaték továbbadása csúszásmentes, mégis minden egyes foglegördüléskor minimális fordulatszám-ingadozás (torziós pulzáció) lép fel, amely az erőátvitelben pulzációhoz vezet. Ez ép fogazatok esetén is pulzációs erőket ébreszt - ebből fakadnak a "szokásos" zajok és rezgések -, sérült fogazatnál pedig hatványozottan felerősödnek a különböző rezgések.

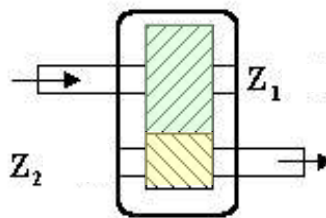
A bevezetőben említett pulzáló erők fellépésének erőssége különböző tényezőktől, így a terheléstől, a fogazás típusától (egyenes vagy ferde), a fogak felületi tulajdonságaitól (érdesség, kopás, kitörések), illetve a fogkialakítástól (evolvensfogazat, hibridfogazat stb.) függ.

A hajtások és fogazatok állapotának meghatározásához gyakran adottnak tekintjük a konstrukciós paramétereiket (fogazás típusa és fogkialakítás) és az üzemi körülményeket (terhelés), ezért a vizsgálatok során a fő hangsúlyt a fogak felületi tulajdonságira szokás fektetni. Ehhez a következőkben részletezett ok-okozati összefüggéseket lehet használni.



Ütésimpulzusok a fogak érintkezése miatt

Két fog összeérésekor keletkezik az úgynevezett fogérintkezési ütés. E természetes erőhatás minden fogérintkezésnél fellép. Erőssége a terhelés nagyságától, ferde fogazat esetén a fogátfedéstől és magától a fogformától függ. Ép fogazat esetén majdnem tisztán szinuszos gerjesztés lép fel, amely a spektrumban fogérintési frekvenciaként jelenik meg. A gyakran fogfrekvenciának is nevezett fogérintési frekvencia (angolul gear mesh frequency) a következő egyenlet alapján számítható ki:



Egyfokozatú fogaskerekű hajtás [forrás: PIM]

$$F_f = n_1/60 * Z_1 = n_2/60 * Z_2 \quad , \text{ ahol}$$

F_f ... a fogfrekvencia,

n_1 ... az 1-es tengely fordulatszáma,

Z_1 ... az 1-es tengely fogaskerekének fogszáma,

N_2 ... a 2-es tengely fordulatszáma,

Z_2 ... az 2-es tengely fogaskerekének fogszáma

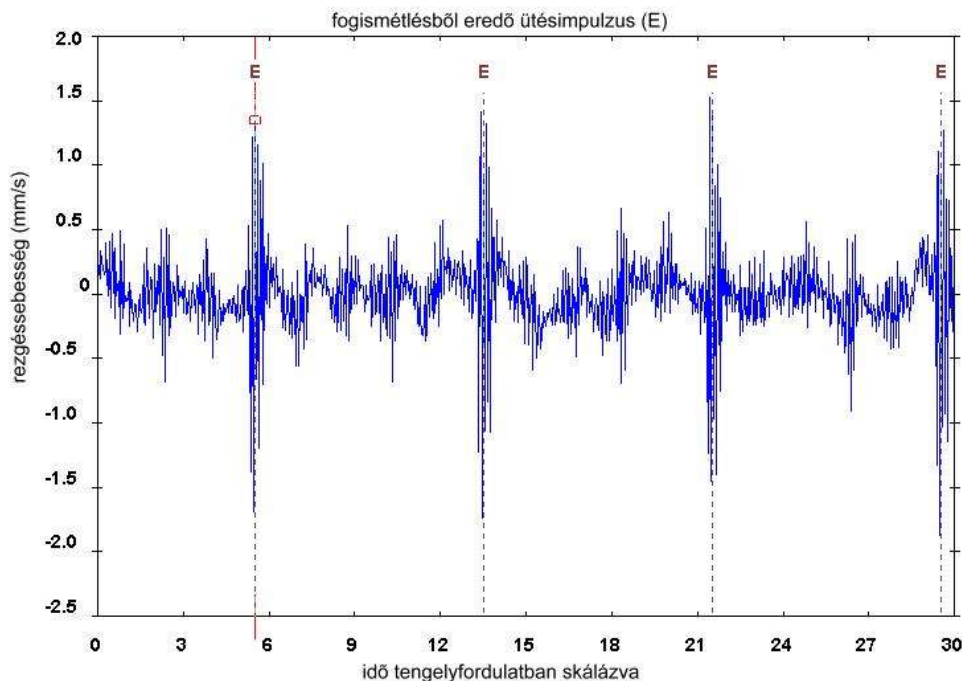
A fogérintési frekvencia megfelel tehát az egy másodperc alatt egymással érintkező fogak számának. A fogfrekvenciájú rezgés a fogaskerekű áttételek természetes (tehát meg nem szüntethető) sajátossága.

Ütésimpulzusok a fogazaton található sérülések miatt

Ha egy vagy több fogon sérülések vannak, a "természetes" fogfrekvencián túl további ütésgerjesztések lépnek fel akkor, amikor ezeken a hiányos helyeken megy végbe az "átgördülés". Mivel így foganként általában több ütés keletkezik, elsősorban a fogfrekvencia többszörösei jelentkeznek, annak ellenére, hogy itt szinuszos erőhatásról nem lehet szó. A gyakorlati tapasztalat az, hogy egy vagy kevés fogon fellépő kisebb sérülés esetén a fogfrekvencia többszöröseit megfelelő értékek megnőnek.

Fogisméltési frekvencia

Abban az esetben, amikor mindkét egymással érintkező fogaskeréken egy vagy több hibás fog van, a fogfrekvencián és annak modulációin túl még a fogisméltési frekvencia is megjelenik, ha akár csak egy olyan fogpáros létezik, amely érintkezésekor különösen nagy rezgésimpulzus keletkezik. A fogisméltési frekvencia a fogfrekvenciának és a fogaskerek fogszámai legnagyobb közös osztójának szorzata, osztva az egymással érintkező fogaskerek fogszámainak szorzatával. Meg kell jegyezzük, hogy az áttételek tervezése során minden gyártó arra törekszik, hogy - az egyetlen kopás kiküszöbölésére - ugyanazok a fogak minél ritkábban találkozzanak egymással. Ehhez a két fogaskerék fogszáma legnagyobb közös osztójának minél kisebbnek kell lennie, ami prímszámnak megfelelő fogszámok alkalmazásával érhető el. (A leghosszabb élettartamot olyan fogaskerek párosításától várhatjuk, melyeknél a fogszámok legnagyobb közös osztója „1”.)



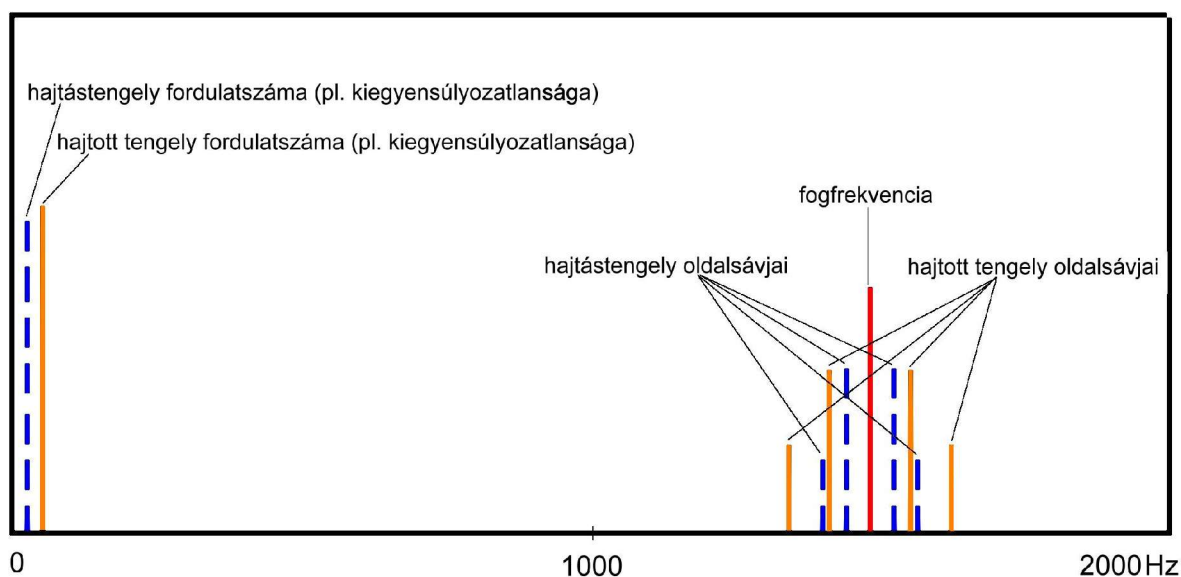
Fogisméltésből eredő ütésimpulzus [forrás: PIM]

Torziós rezgések a fogazaton található kitörések miatt

Minden fogaskerekű hajtás torziós rezgéseket mutat, ami a hajtott tengely fordulatszámának lengésében nyilvánul meg. Oka a nem 100 százalékosan lineáris erőátvitel és a gyártási technológiából adódó foggeometriai (alak-)hiba (ez kis mértékben mindig van) és a fogak felületi „érdessége”. A torziós rezgések ép foghajtás esetén igen kicsik. Ha viszont több fog sérült meg, az előbbieken leírt ütésimpulzusokon és az ebből adódó fogfrekvencia-oldalsávokon túl a torziós rezgések növekedése is megfigyelhető.

A torziós rezgések fogfrekvencia-változást eredményeznek, tehát a fogak nem egyforma időközönként érnek egymáshoz. E jelenség frekvenciamoduláció formájában jelentkezik a rezgésspektrumban: a fogfrekvencia (fogérintési frekvencia) modulálva ("keverve") lesz a sérült fogaskerék forgásfrekvenciájával. A moduláció a fogfrekvencia forgásfrekvencia-távolságú oldalsávjaiként válik láthatóvá.

Egy fogaskerekű hajtás frekvenciaspektruma a következőképpen nézhet ki (sematikusán ábrázolva):



Sematikus frekvenciaspektrum egyfokozatú fogaskerék-hajtás esetén [forrás: PIM]

Sajnos a gyakorlatban nem ilyen egyszerű a helyzet: mivel a fogak - a példánkban is feltüntetett - a kiegyensúlyozatlanságból, illetve tengelybeállítási hibából eredő erőhatásokat is átviszik, ez is torziós rezgéseket okoz, valamint ezáltal is megjelenik a fogfrekvencia modulációja a két tengely forgásfrekvenciájával. Tehát a torziós rezgésekből adódó oldalsávok csak akkor utalnak egyértelműen súlyos foghibákra, ha maga a foghajtás nincs torziós igénybevételnek kitéve.

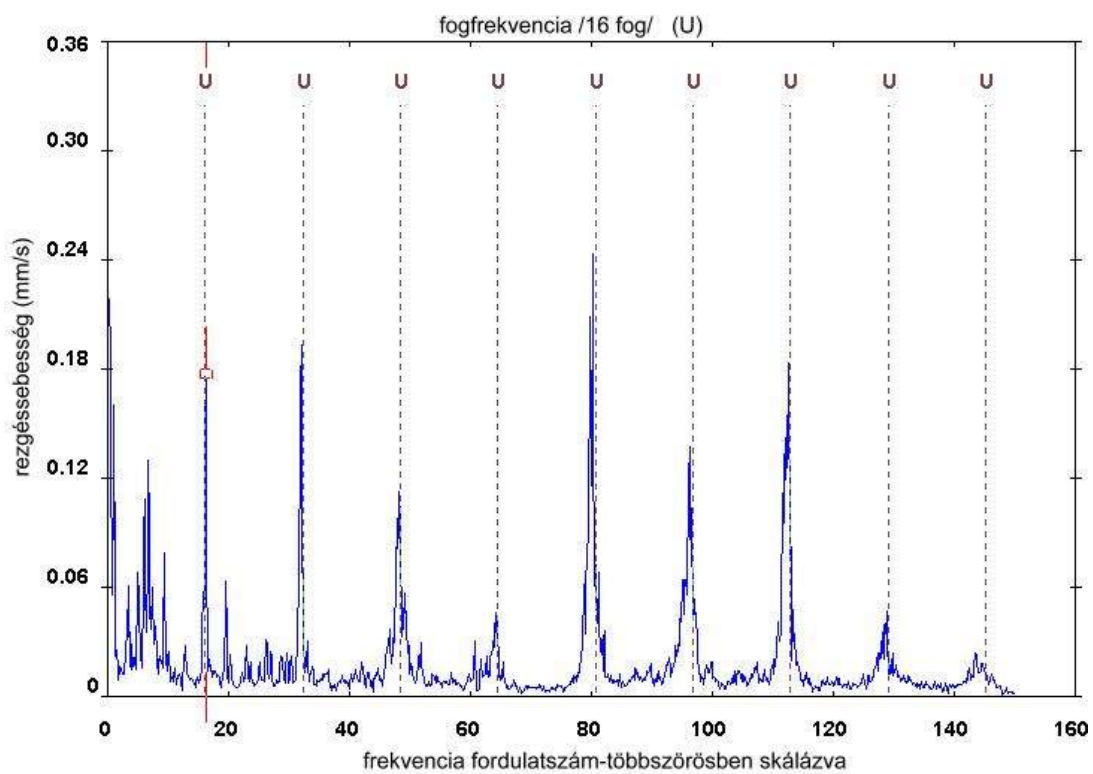
Hibadiagnosztika rezgésanalízis alapján

Egyfokozatú hajtások esetén a fenti frekvenciákat és azok oldalsávjait kell megvizsgálni. Többfokozatú fogaskerekű hajtásoknál egymás után számítjuk ki az egyes fokozatok által keltett frekvenciákat: az előző fokozat hajtott tengelyének (kimeneti) forgásfrekvenciája rendre meggyezik a következő fokozat hajtásoldali (bemeneti) forgásfrekvenciájával. Ennek alapján minden fokozatra meghatározható a fogfrekvencia és annak modulációi. (Az oldalsávok viszont igencsak megsokasodnak, mivel még az utolsó fokozatot is befolyásolja az első fokozat fogfrekvenciája és annak modulációi. Ez az utolsó fokozathoz tartozó fogfrekvenciának – a hajtásoldali és a hajtott tengelytől származó hatásokon túl - további modulációját jelenti.)

Magától értetődő, hogy az említett frekvenciák felfedezésére és szétválasztására csak elég nagy felbontású és frekvenciaszélességű rezgésanalizáló műszerrel van esélyünk. Minél több fokozat van a hajtásban, annál nagyobb felbontásra (3.200, 6.400 vagy akár 12.800 vonalas spektrumokra) lesz szükségünk.

Egyenes fogazatú áttételek esetén radiális, nyíl- vagy evolvensfogazatú hajtásoknál axiális, ferde fogazatú szerkezeteken pedig mindkét irányban keressük a fogfrekvenciájú rezgéseket és azok harmonikusait, valamint az oldalsávként megjelenő frekvenciamodulációikat. Az oldalsávok távolsága (frekvenciája) a hibatípust és -helyet jellemzi: például a hajtó, közbenső vagy hajtott tengely fordulatszámaival arányos frekvenciájú moduláció ezekkel a tengelyekkel és a rajtuk lévő fogaskerekkel összefüggő problémákra, más frekvenciájú moduláció az esetleges fordulatszám- vagy terhelésingadozásokra, míg a fogfrekvenciákat moduláló frekvencia a foghibák gyakoriságára utal.

A szorosan a fogfrekvenciák körül csoportosuló oldalsávok többnyire a fogaskerék hibás köralakját mutatják. A széles (nagy frekvenciájú) oldalsávok impulzusszerű, véletlen ütések vagy hirtelen terhelésváltozások által okozott rezgésekre utalnak, amelyek például a törött fogaknak tudhatók be. Egynél több hiba esetén a hibamodulációs frekvenciák összegeiből, illetve különbségeiből adódó úgynevezett intermodulációs oldalsávok is felléphetnek.



Fogfrekvenciás impulzusok súlyos fogsérülés esetén [forrás: PIM]