



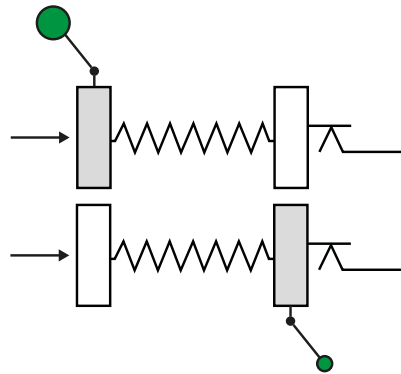
LuK ingás lengésfojtó kéttömegű lendítőkerék



ÖRI PÉTER

A Schaeffler csoporthoz tartozó LuK vállalat több mint 25 éve gyárt kéttömegű lendítőkerekeket. Az első sorozatgyártást a BMW-vel közösen indították és az E30-as, 325i modellt szerelték az új termékkel. A '90-es évek végén rohamosan indult meg a kereslet a kéttömegű lendkerekek iránt, főleg a dízelmotorral hajtott gépjárművek esetén. A 2000-es évek közepére a technológia elérte csúcspontját, viszont kis motorfordulatszám esetén még nem volt elég hatásos, a motorok nyomatéka és az akusztikai elvárások pedig növekedtek. Ezért fejlesztette ki az LuK és a BMW az ingás lengésfojtó kéttömegű lendkereket. Az új módszernek csak alkalmazásmódja nevezhető újnak, hiszen az ingás lengésfojtást már régóta használják vadászgépek belső égésű motorjainak főtengelyén és helikopterek rotorjaiban, de találkozhattunk már gépjárműmotorok forgattyús tengelyén ingás ellensúlyokkal ❶.

Ma nagy darabszámban készülnek kisméretű és kis lökettérfogatú feltöltött motorok, melyek nyomatóka és teljesítménye a nagyobbakéval vetekszik. A kis mérethez társuló nagy erők és torziós lengések erős igénybevételt jelentenek az alkatrészeknek, és rontják az akusztikai és komfortjellemzőket. A torziós lengések csillapítása érdekében alkották meg a kéttömegű lendkereket, amelyek az alapjáratú és a fölötti fordulatszámok esetén képesek csökkenteni a lengéseket, viszont kis motorfordulatszám esetén, motorindításkor és motorleállításakor nem elég hatékonyak. A „downsizing” mellett ugyanakkor legalább annyira elterje-

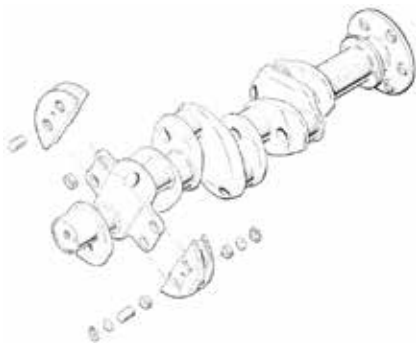


3 Ahogy a lengés elindul, ballasztként kell magával húznia az ingás tömeget, ami mindig az őt gerjesztő folyamatot, vagyis a lengést gátolni fogja.

gések után halad, ezzel fojtva azokat. Ahogy a lengés elindul, ballasztként kell magával húznia az ingás tömeget, így nem képes elérni a teljes amplitúdóját a lengés irányváltásáig. Amint az irányváltás megtörténik, a tehetlenségénél fogva a lengő tömeg ismét az őt mozgásban tartó, mondhatni, hogy a mozgását gerjesztő, lengés ellen fog dolgozni 3. A lengéscsillapításnak azért is egy gazdaságos megoldása ez, mivel nem is hagyunk nagy lengést kialakulni, már az előtt elfojtjuk. A csillapító erő nagysága a centripetális erőtől függ, ami pedig a forgási sebességgel van összefüggésben, így egy fordulatszámhoz kötődő csillapítást kapunk, így nem csak egy bizonyos frekvencián lesz hatékony a lengések fojtása. Az első rendben ébredő torziós lengések a kéttömegű lendkerék primer tömegére helyezett ingával tehát (elméletileg) teljes mértékben kiolthatók. Ha második rendben is szeretnénk kiegyenlíteni a lengéseket (és nem szeretnénk a tengelykapcsoló egység méretét növelni), akkor egy újabb lengő tömeget kell elhelyezni a váltó oldali tömegre. Ezzel a megoldással a motor torziós lengéseinek 80–90%-a kioltható a teljes üzemi tartományban, ami a váltómű és a hajtáslánc minden elemének élettartamát növeli.

dőben van a downspeeding, a fordulatszám-csökkentés, azaz a motor minél kisebb fordulaton való használata és a start-stop rendszerek, melyeknek köszönhetően a torziós lengések szempontjából kritikus tartományban többet tartózkodik a motor. Az igény tehát egyértelmű. Most nézzük meg az LuK választ, az ingás lengésfojtó kéttömegű lendkereket.

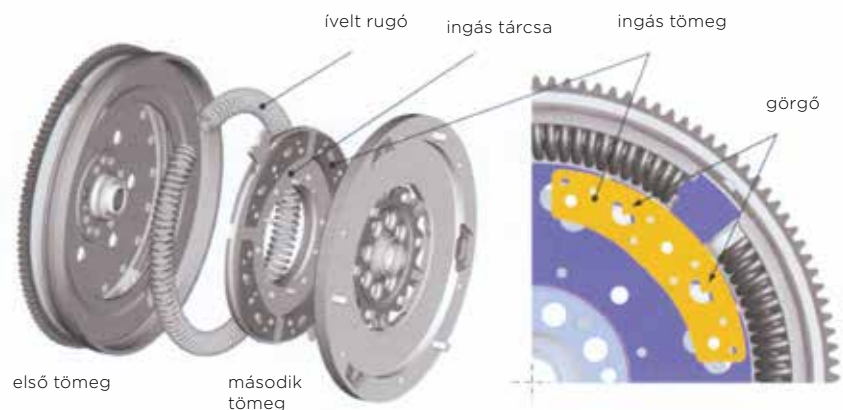
Szerkezeti felépítése hasonlít a hagyományos kéttömegű lendkerékére 2, annyi különbséggel, hogy egy harmadik tömeget helyeznek el az erőfolyamon kívülre, ami a torziós len-



1 A motor főtengelyére helyezett ingás ellensúlyok nem új találmányok.

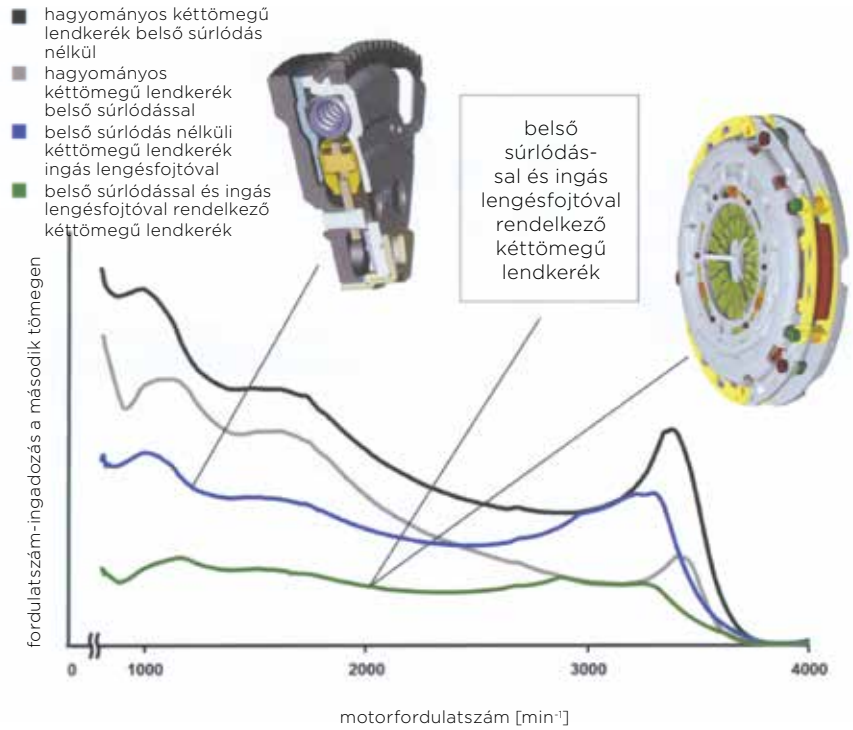


2 Az ingás lengésfojtó kéttömegű lendkerék szerkezeti felépítése a hagyományos kéttömegű lendkerékhez hasonló.



4 A BMW 330d és a 320d Efficient Dynamics Edition modellekben debütáló LuK kéttömegű lendkerék ingás lengésfojtóval.

2002-ben mutatta be az LuK az első prototípust, majd 6 évvel később debütált az első sorozatgyártású ingás lengésfojtó kéttömegű lendkerék a BMW 330d és a 320d Efficient Dynamics Edition modellekben 4. Az inga bifiláris, azaz két forgási középponttal rendelkezik, ezzel hozva létre a síkban való mozgást. A csillapító tömegek bab formájú horonyban megvezetett csavarokkal vannak rögzítve. A horony formája határozza meg az ingás lengésfojtó rendjét. Az inga szabad mozgását minden körülmény között biztosítani kell, hiszen, ha akadályoztatott a mozgása, akkor a határfoka is csökken. Így a súrlódás is nagyon fontos tényező, melynek csökkentésével a lengéskioltás hatékonyabb. Ha kis hely áll rendelkezésre, az ingát biztonságosan az ívelt rugó alatt is el lehet helyezni, de ha nagyobb a hely, akkor érdemes a kéttömegű lendkerék primer tömege mellé vagy a tengelykapcsoló házára helyezni a nagyobb effektív sugár elérése érdekében. Az ingás lengésfojtó kéttömegű lendkerekek hatását az 5 ábra mutatja be. Jól látható, hogy a lengésamplitúdókat a teljes motorfordulatszám-tartományban jó határfokkal képes csökkenteni, valamint az is leolvasható, hogy a hagyományos kéttömegű lendkerekekben alkalmazott csillapítást nem érdemes elhagyni akkor sem, ha

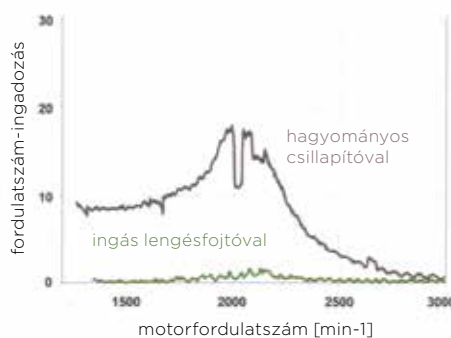
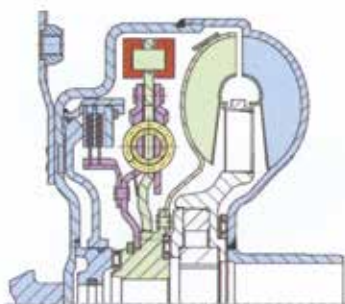


5 Az ingás lengésfojtó hatása a kéttömegű lendkerék teljesítményére.

kiegészül ingás lengésfojtóval, mivel (főleg kis motorfordulatszám esetén) kisebb torziós lengések érhetők el a két fojtás együttes használatával. Kényelmi szempontból gazdasági előnyökkel is bír az ingás lengésfojtó, ugyanis a motort kisebb fordulatszámon tudjuk üzemelni, amivel tüzelőanyagot takaríthatunk meg. Nem csak száraz, egytárcsás tengelykapcsolónál alkal-

mazzák az ingás lengésfojtást, már létezik hidrodinamikus nyomatékvaltóval egybeépített változata is 6.

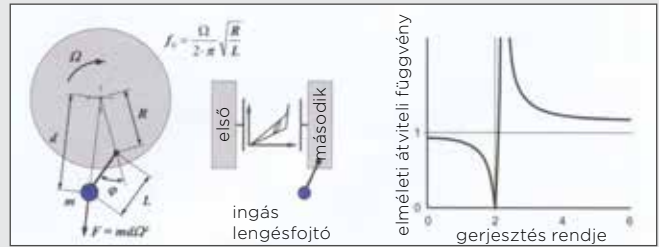
Youtube link: <https://www.youtube.com/watch?v=UrXaXqO3dbI>



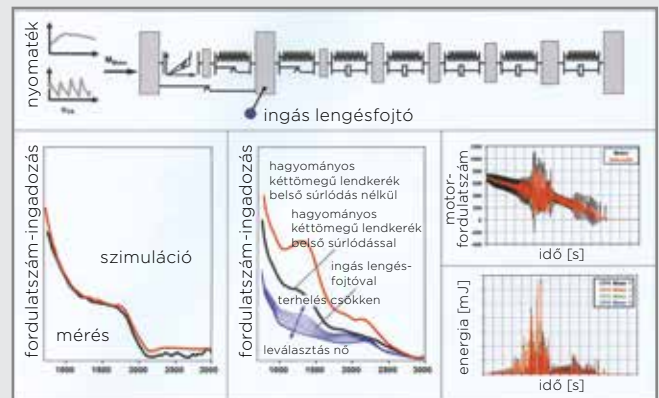
6 Hidrodinamikus nyomatékvaltóval egybeépített ingás lengésfojtó.

Források:
 ATZ 2009/07-08 pg. 42-47.
 Automobil Industrie Special 2010/07-08 pg. 14-15
 Schaeffler Kolloquium 2010/2

Az ingás lengésfojtás elméleti alapjait már a 20. század első felében lefektették: R. Sarazin 1937-ben védette le találmányát ❶, majd 1938-ban R. Chilton egy újabb verzióját mutatta be az ingás lengésfojtóknak ❷. Sarazin szabadalmát már a II. világháborúban is felhasználták a Pratt & Whitney R-2800 vadászpilóta-motorban a forgattyús tengely élettartamának növelése miatt. A személygépjármű-ipar sokáig „megfeledkezett” a találmányról, ugyanis nem volt rá szükség. A belső égésű motorokban ébredő torziós lengéseknek a motorok szerkezeti elemei tartósan ellenálltak. Csak versenyautók motorjaiban alkalmazták a 20. század második felében, míg nem a mai korszerű motorokban (főleg dízelmotorokban) a nagy égési csúcsnyomások által gerjesztett lengések már elég nagyok lettek ahhoz, hogy azokat csillapítani kelljen, ráadásul az akusztikai és rezgés-komforttal szemben megnöttek az elvárások, miközben a szerkezeti elemek méretei pedig egyre csak csökkentek. Ezek a hatások vezettek ahhoz, hogy a mérnökök ismét elővették a több mint fél évszázados szabadalmakat és párosították a kéttömegű lendkerékkel. Most ássuk magunkat kicsit mélyebbre az ingás lengésfojtás tudományában. A fordulatszámhoz alkalmazkodó csillapító a matematikai inga elvén alapszik. Kis egyszerűsítéssel élve megállapítható, hogy egy adott gravitációs gyorsuláshoz tartozó sajátfrekvencia nem függ a tömegtől, csak a távolságtól. A lengésfojtó inga esetén a gravitációs erőt centripetális erővel helyettesíthetjük, ami egyenesen arányos a szögsebesség négyzetével ($F=m\Omega^2R$), ami azt jelenti, hogy az inga sajátfrekvenciája egyenesen arányos a sebességgel (a 3. ábrán látható képlet alapján). Az ideális csillapító megválasztásához az R/L arányt kell jól megválasztani. A 4 hengerű, 4 ütemű motor gyújtási frekvenciája 4-es R/L arányt követel a lengések kioltásához. A csillapító lengésfojtó nyomatéka az alábbiak szerint számol-

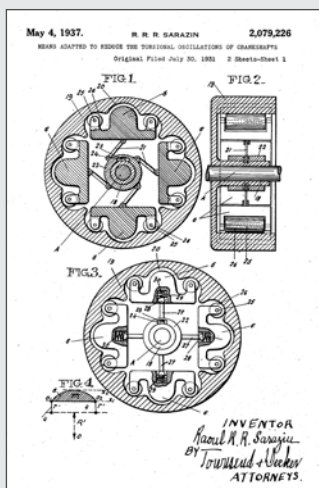


❸ Az ingás lengésfojtás működésének elve

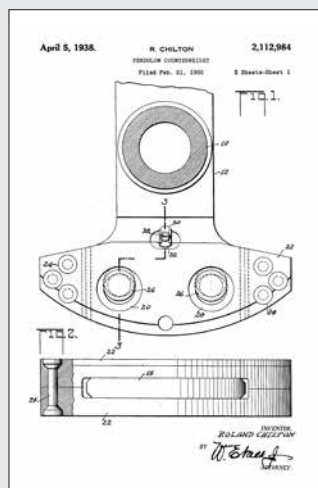


❹ Szimulációs eljárások az ingás lengésfojtó hangolására

ható (a ❸ ábra alapján): $M=-m d R \Omega^2 \sin(\varphi)$. Elméletben tehát könnyen eliminálhatók a másodrendben gerjesztett lengések, ha elég nagy tömeget helyezünk az inga végére. A gyakorlat azonban cseppet sem ilyen egyszerű, ugyanis a befoglaló méretek és a szerkezeti adottságok miatt eleve meg van kötve a tervezők keze, ráadásul figyelembe kell venni a gyártási tűréseket és ügyelni kell arra is, hogy a működés közben a csillapító ne kerüljön az öngerjesztő tartományba. A kihívás tehát adott: minél közelebb kell lenni az ideális matematikai inga tulajdonságaihoz, miközben szerkezeti, geometriai és élettartam-jellemzőknek is meg kell felelni. A klasszikus inga esetén a tömeg egy körpályán mozog és lengésszögének a növekedésével a csillapítás csökken. Ha eltérünk a körpályától, az ingás lengésfojtó teljesítményét lényegesen növelhetjük. Rengeteg szimulációs munkát igényel az ideális rendszer megalkotása, hiszen több aspektusát is vizsgálni kell a csillapítónak: megbízhatóság, csillapítási tulajdonság és zajkibocsátás. Az LuK például saját fejlesztésű szimulációs környezetben dolgozza ki a lengésfojtó kéttömegű lendkerekeinek terveit. Minden üzemi körülményen végeznek számításokat: gyorsítás, start/stop, alapjárat stb. Példaként a 4. ábrán látható egy szimulációs modell. A modelleket mérésekkel validálják, ahogy a 4. ábra bal oldali diagramján is látható. A ❹ ábra középső diagramjáról pedig leolvasható, hogy a szimulációba a szilárdsági analízis is helyet kap már a számítások elején, hiszen az élettartam döntő jelentőségű kritérium.



❶ R. Sarazin ingás lengésfojtó szabadalma



❷ R. Chilton egy újabb verzióját mutatta be az ingás lengésfojtóknak