

VASÚTI JÁRMŰVEK FUTÁSTECHNIKAI MÉRETEZÉSE

SIMONYI Alfréd

Budapesti Műszaki Egyetem, Közlekedésmérnöki Kar
Járműgépészeti Intézet

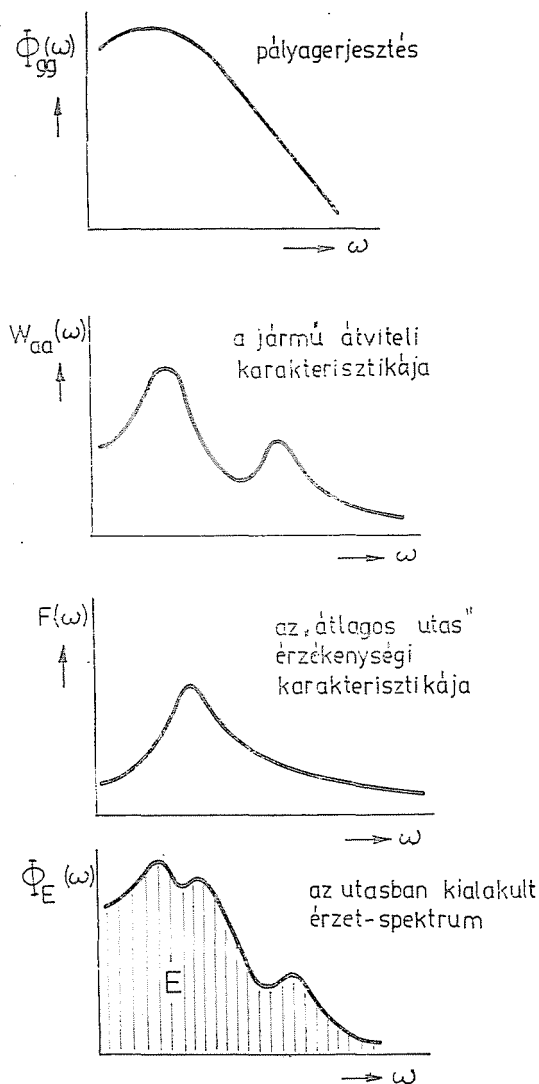
Bevezetés

A vasúti járművek futása során — elsősorban a pálya egyenetlensége miatt — olyan járműlengések keletkeznek, amelyek az utasban kellemetlen érzetet váltanak ki, fáradtságot okoznak. Az egyre növekvő vonatsebességek esetén a futás minősége folyamatosan romlik. Nem véletlen tehát, hogy az utóbbi időben új járművek beszerzésénél a megrendelő előírja a futás minőségére vonatkozó kívánságát. A gyártónak tehát előre meghatározott, mennyiséggel kifejezett futásminőségre kell terveznie a járművet. Kiforrott futástechnikai méretezési eljárás híján a gyártó vállalatok a megkívánt futásminőséget a leggyakrabban fokozatos fejlesztés során — elsősorban futópróbákon végzett mérésekre támaszkodva — igyekeznek elérni. Ez a módszer nagyon idő- és költségigényes, ezért indokolt olyan méretezési eljárás kimunkálásán fáradozni, amelynek az alkalmazásával a fejlesztési folyamat lerövidíthető, olcsóbbá tehető.

A modell

Mint minden méretezési eljárásnak — így a vasúti járművek futástechnikai méretezésének is alapja a gondosan kiválasztott modell. A modellalkotásnál a méretezés célfüggvényét kell pontosan megfogalmazni: a vasúti jármű futása közben keletkező parazita mozgások által, az utasban keltett kellemetlen (fáradtság-) érzet minimális legyen. Ez utóbbi három tényezőtől függ: a jármű lengéstanai tulajdonságaitól (járműmodell), a járművet — elsősorban a pályáról — ért gerjesztés természetétől (gerjesztésmodell) és az utas lengésérzékenységétől (utasmodell). Ily módon a méretezési modell az 1. ábrán látható séma alapján építhető fel.

A vasúti kocsik mint lengőrendszer jól modellezhető diszkrét tömegekből és a köztük működő erőkapcsolatokból álló rendszerrel. Mivel az utasszállító vasúti kocsik legtöbbször szimmetrikus elrendezésű, két forgóvázas, két lépcsőben rugózott kivitelben készül, így — feltételezve egy-egy tömeg maximális hat szabadságfokát — a teljes jármű 42 szabadságfokú lengőrendszernek tekinthető.



1. ábra

Lényegesen leegyszerűsíti a számítást, ha a térbeli modell helyett két síkmodellt alkalmazunk; egy, a jármű hossztengetyére eső függőleges és egy vízszintes síkban levő modellt. A jármű hosszirányú (a vontatás irányába eső) lengései futástechnikai szempontból elhanyagolhatók.

A síkmodellek alkalmazásával a szabadságfokok száma lényegesen lecsökken; a bonyolultabb, a vízszintes, keresztirányú lengések számítására alkalmas modell is mindössze 14 szabadságfokú lesz.

A diszkrét tömegek között működő erőkapcsolatok a valóságban nemlineárisak. Jóllehet a járműbe beépített csavarrugók és hidraulikus lengéscsillapítók karakterisztikái lineárisak, mégis több olyan szerkezeti elem alkalmazásával találkozunk, amelyek még kis kitérésekre sem tekinthetők lineárisnak. Ilyen elem például a koaxiálisan kiképzett duplex vagy triplex csavarrugó rendszer, a gumi- és légrugóelemek. Keresztirányú lengések esetében a kerékpár futófelületének nem egyenes kúpos kiképzése (kopott abroncsprofil) a keresztirányú elmozdulással nem arányos visszatérítő erőt eredményez. Ugyancsak nemlineáris függvény fejezi ki a kerékpárra ható erő — keresztirányú elmozdulás — közti kapcsolatot abban az esetben, ha a kerékpár és a sín ún. kétpontos érintkezésével is számolunk. Ez az állapot a kerékpár viszonylag nagy kitérése mellett következik be, akkor, amikor a kerék nyomkarimája a sínfej oldalához ér. Ekkor, illetve ennél nagyobb kitéréseknél a sín és a kerék-társa rugalmassága által meghatározott erő hat a kerékpárra, míg az egypon- tos érintkezés tartományában csak az előbbinél lényegesen kisebb kúszási erő működik.

A diszkrét tömegek között működő csillapító erők döntő hányadát a beépített lineáris jelleggörbével rendelkező lengéscsillapítók hozzák létre. Az egyes járműelemek kapcsolatánál azonban mindig fellép súrlódási erő, amelynek karakterisztikája nem lineáris.

Közismert, hogy a nemlineáris rendszerek kezelése lényegesen bonyolultabb, így nem véletlen, hogy a kutatók a nemlineáris modellel közel egyenértékű, lineáris modellek megalkotásán munkálkodtak. A linearizálást mérések által nyert tapasztalatok is elősegítették, így például megállapították, hogy a kétpontos kerékpár-sín érintkezés egyenes pályaszakaszon való futás során csak igen kis valószínűséggel jön létre, tehát a méretezési modellnél elegendő az egypon- tos érintkezés figyelembevétele.

A kerékpár futófelületének nem egyenes kúpos voltából származó nem- linearitást az egyenértékű — természetesen egyenes — kúposság bevezetésével küszöbölték ki.

A linearizált járműmodell pályagerjesztése sztochasztikus függvény, amelyet a futástechnikai méretezés során ergodnak és stacionáriusnak tételezünk fel. E függvényeket, illetve ezek statisztikai jellemzőit felépítményi mérőkocsik által mért regisztrátumokból lehet meghatározni. A pálya két sín- szála két egyenközű térgörbének tekinthető, a két sínszál egyenetlensége a pályatengely egyenetlenségével helyettesíthető, így a járművek síkbeli modell- jei továbbra is fenntarthatók. A síkmodell gerjesztéséről feltételezzük, hogy azok csak a kerékpárok és a sín érintkezési pontjain hatnak. Feltételezzük továbbá, hogy a különböző kerékpárokra ható gerjesztőerő-időfüggvények időbeli eltolással fedésbe hozhatók. Az időeltolás mértéke a szóban forgó kerék- párnak a menetirány szerinti első kerékpártól mért távolságtól és a menetsebes- ségtől függ.

A modell harmadik részrendszere a lengésekre érzékeny utas, amelyet a méretezés során — élettani vizsgálatok eredményei alapján — mindkét mozgássíkra vonatkozó frekvenciakarakterisztika segítségével lehet a méretezés során figyelembe venni.

A méretezés módszere

A linearizált járműmodell mozgását az

$$\mathbf{M}\ddot{\mathbf{q}} + \mathbf{K}\dot{\mathbf{q}} + \mathbf{C}\mathbf{q} = \mathbf{G}$$

mátrix differenciál-egyenlet írja le. Megfelelően választott \mathbf{G} gerjesztésmátrix esetén a fenti egyenletből meghatározható a járműmodell $\mathbf{W}(\omega)$ átviteli karakterisztikamátrixa, amely természetesen a járműmodell \mathbf{M} , \mathbf{K} és \mathbf{C} mátrixok elemeitől függ. A $\mathbf{W}(\omega)$ karakterisztikamátrix oszlopmátrix, s e mátrix elemeinek a száma megegyezik a rendszer szabadságfokszámával. A futástechnikai méretezés során elegendő csak a járműszerkevény mozgására vonatkozó átviteli karakterisztikákat figyelembe venni.

A pályagerjesztést leíró stacionárius sztochasztikus függvényből előállítható a gerjesztés teljesítményspektruma. Igen sok mérés alapján megállapítható, hogy ezek a teljesítményspektrumok

$$\Phi_{gg}(\omega) = \frac{A}{\left(1 + \frac{\omega}{B}\right)^3}$$

alakú függvénnyel közelíthetők. A képletben szereplő A és B állandók közül az A a pálya minőségére jellemző.

A pályagerjesztés $\Phi_{gg}(\omega)$ spektruma, valamint a járműmodell kiválasztott pontjára vonatkozó $\mathbf{W}_i(\omega)$ átviteli karakterisztika alapján a

$$\Phi(\omega) = \Phi_{gg}(\omega) \cdot \mathbf{W}_i(\omega)$$

összefüggéssel meghatározható a kiválasztott modellpont lengésselmozdulás spektrum. Ezekből a függvényekből célszerű lengés-gyorsulás spektrumokat [$\Phi_{aa}(\omega)$] előállítani, ugyanis az „átlagos utas” lengésérzékenységét kifejező karakterisztikák is a lengés-gyorsulásra alapozottak. A kiválasztott modellpontra vonatkozó gyorsulásteljesítmény-spektrumot az „átlagos utas” érzékenységi karakterisztikájával, mint szűrővel modulálva, olyan teljesítményspektrumhoz jutunk, amely az „átlagos utas” érzetét fejezi ki.

Az érzetspektrum az előbbiek alapján a

$$\Phi_E(\omega) = \Phi_{gg}(\omega) \mathbf{W}_{aa}(\omega) \cdot F(\omega)$$

összefüggés alapján számolható (1. ábra).

A $\Phi_E(\omega)$ spektrum lényegében arról ad felvilágosítást, hogy az utasban kialakult kedvezőtlen (fáradtság-) érzet kialakulásáért a különböző körfrekvenciájú lengések milyen mértékben felelősek.

A $\Phi_E(\omega)$ spektrum alatti terület így az utas fáradtságérzetével arányos. A méretezés célfüggvénye ennek megfelelően:

$$E = \int_{\omega_1}^{\omega_2} \Phi_E(\omega) d\omega = \text{minimum.}$$

A vasúti kocsi futástechnikai tulajdonsága adott pályagerjesztés-spektrum esetén a már említett \mathbf{M} , \mathbf{K} és \mathbf{C} mátrixok elemeitől függ. Ezen elemek nagy része vagy eleve determinált (geometriai adatok, tömegek, tehetetlenségi nyomatékok nagyságainak egy része), vagy a szilárdsági méretezés alapján meghatározottak. A futástechnikai méretezés során a legtöbb esetben csak a rugózó és csillapító elemek paramétereinek nagyságát választhatjuk meg szabadon.

A jármű futási minőségét jellemző E mennyiség tehát a c_i rugóállandók, illetve a D_i csillapítási tényezők függvénye:

$$E = f(c_1, c_2, \dots, c_i, \dots, c_n, D_1, D_2, \dots, D_j, \dots, D_m)$$

E többváltozós függvény minimuma — tekintettel arra, hogy a független változók értékei korlátosak — variációs számítással határozható meg.

A gyakorlati tervezés során a legtöbbször a lengéstani paraméterek egyikére korlátozható a számítás, s ilyen esetben a kétváltozós függvény szélső értéke adja meg a keresett paraméter optimális értékét.

Simonyi Alfréd egy. docens