

KVÁZISZIMMETRIA KIHASZNÁLÁSÁN ALAPULÓ KÖZELÍTŐ SZÁMÍTÁSI MÓDSZER VASÚTI KOCSIK KERESZTIRÁNYÚ REZGÉSEINEK VIZSGÁLATÁRA

MICHELBERGER PÁL*—FERENCZI MIHÁLY**

A MŰSZAKI TUDOMÁNYOK DOKTORA

[Beérkezett: 1981. március 14-én]

Cikkünkben egy vasúti koci keresztirányú rezgéseit leíró modellen mint példán, olyan módszert és vele szerzett tapasztalatokat mutatunk be, amelyek a kváziszimmetria hatását alkalmas transzformációkkal redukálva teszik lehetővé a modell kis elhanyagolással történő független részekre való bontását. Feladatunk nemcsak mint kváziszimmetrikus lineáris rezgőrendszer, hanem mint sorozatos analízissel megoldott szintézisfeladat is, tágabb feladatosztályba tartozik.

1. Bevezetés

Járművek statikai és dinamikai vizsgálatának egyik alapvetően meghatározó lépése az alkalmas számítási modell megválasztása. A modell valóság-szerűségét két — inkább csak technikai okból különválasztott — tényező: a minőségi és a mennyiségi részletezettség határozza meg. Az előbbi lényegében a figyelembe vett fizikai jelenségek, az utóbbi pedig a részekre bontás mélysége útján befolyásolható.

Véges szabadságfokú rendszerek esetében a felbontás részletezettségének növelése kézenfekvő és gyakran alkalmazott módszer (pl.: síkbeli modelltől térbeli modellre áttérés, az önkényesen diszkretizált kontinuumon a felosztás sűrítése stb.).

A modell kezelésében manapság döntő szerepet játszó számítástechnikai eszközök hatása kettős: egyfelől egy, a korábnál teljesítőképebb eszköz az addig szokásos méretű és bonyolultságú feladat kedvezőbb kezelése révén nagyobb feladatok kitűzése irányába ösztönöz, másfelől azonban az ily módon megnövekedett anyagi, szellemi, számítási és kiértékelési ráfordítások csökkentését igényli, minthogy a gépi erőforrások növekedését általában csak jelentős késéssel, vagy egyáltalán nem követi a többi erőforrás (pl.: a gyártmánytervezés módszere, ill. a gyártmány előállítási technológiája által biztosított pontosság).

Minthogy az esetek zömében a vizsgált jelenség kielégítő leírása már önmagában is adott bonyolultsági foknál egyszerűbb modelleket gyakorlatilag kizár, ugyanakkor a vizsgálat megkívánt mélysége, az eredmények adott fizikai környezetre való értelmezhetősége szintúgy a megfelelően finomított modelle-

* Prof. Dr. Michelberger Pál 1111 Budapest, Egri J. u. 19–21.

** Dr. Ferenczi Mihály 1107 Budapest, Rabinovics J. u. 14.

zés irányába mutat, ezért a számítási és elemzési munkaráfördítés csökkentésének a modell szimplifikálása útján történő megközelítése napjainkban már csak előtanulmányként fogadható el.

A megoldást tehát elsősorban a modellek kezelésének technikája terén kell keresni. Erre — egymást kiegészítve — alkalmasak a matematikai modellel végrehajtott transzformációk és a hatékony, kifinomult gépi módszerek.

Cikkünkben egy geometriailag szimmetrikus, állandó sebességgel haladó vasúti kocsik keresztirányú rezgéseit leíró kváziszimmetrikus, lineáris modell olyan transzformációját mutatjuk be, amely a modellezési pontosság észrevehető romlása nélkül — könnyen előállítható — közelítőleg független alrendszereket eredményezve, jelentősen redukálja a feladat megoldásához szükséges számítási munkát.

A vasúti kocsik modell és a rajta végzett vizsgálatok két szempontból is tág feladatosztályból származónak tekinthetők. A tágabb feladatosztályba sorolás egyik alapja a közelítő szerkezeti szimmetria. Ismeretes, hogy nemcsak a vasúti kocsik, hanem a szárazföldi, vízi és légi járművek többsége legalább egy síkra szembetűnően szimmetrikus, illetve a vázszerkezet tekintetében kváziszimmetrikus.

Szimmetrikusnak nevezzük a szerkezetet és egyben a feladatot is, ha található olyan koordináta-rendszer és koordinátasorrend, melyben a „leíró egyenlet” (statikai vagy dinamikai) együttható mátrixa a mellékátlóra is szimmetrikus, azaz az $n \times n$ elemű mátrix elemeire teljesül az

$$a_{i,k} = a_{k,i} = a_{n-i+1, n-k+1} = a_{n-k+1, n-i+1} \quad \begin{matrix} i = 1, 2 \dots n \\ k = 1, 2 \dots n \end{matrix} \quad (a)$$

összefüggés.

Kváziszimmetrikusnak tekintjük a feladatot, ha az előzőek szerint választott koordináta-rendszerben és -sorrendben n -hez képest kevés elemre nem teljesül az (a) összefüggés, azaz

$$a_{ik} = a_{ki} \neq a_{n-i+1, n-k+1} = a_{n-k+1, n-j+i+1} \quad (b)$$

néhány i -re és k -ra. A szimmetriazavarok lokálisak és a szerkezet vizsgálatakor sok esetben önkényesen szimmetrizált modelleket alkalmaznak.

Korábbi cikkünkben [1] megmutattuk, hogy a szimmetria, illetve kváziszimmetria lineáris modell alkalmazása esetében a számítási és kiértékelési munkai igény lényeges csökkentését teszi lehetővé.

A tágabb feladatosztályba tartozás azonban a feladat más jellemzője alapján is felvethető. Vizsgálataink technikája sorozatos analízis, bizonyos tulajdonságok extremálása céljából, illetve adott feltételeknek eleget tévő szerkezet felkutatása, változtathatónak tekintett paramétereinek sorozatos értékadása és azt követő analízis révén. Ez valójában szintézisfeladatok megoldásának keresése sorozatos analízis útján.

A fenti okok miatt — bár feladatunkat vasúti kocsi keresztirányú szabad rezgéseinek vizsgálatára alkalmas modellre tűzzük ki, és vizsgálatainkat is egy ilyen modellen konkretizáljuk —, megállapításaink, illetve a feladatmegoldás technikája általánosságban a kváziszimmetrikus lineáris rendszerek és az ilyen modellek sorozatos analízisével megoldható szintézisfeladatok tág körére alkalmazhatók.

2. Vasúti kocsik keresztirányú mozgásai

Mintegy másfélszáz év óta ismeretes az, hogy a (szokásos) kúpos felületű kerékpárokkal szerelt vasúti kocsi hibamentes, sík, egyenes pályán, állandó sebességgel történő előrehaladása során — lényegében tehát külső gerjesztés hiányában is — zavaró oldalirányú mozgásokat végez. E jelenség — ismert nevén: kigyózás, szinuszfutás — egyszerűbb megközelítésben úgy modellezhető, hogy a rúgózott részeket (forgóvázkeretek és kocsiszekrény) a kerékpároknak azon periodikus mozgása gerjeszti, amelynek frekvenciája csak a pálya és a jármű geometriai paramétereitől, valamint a haladási sebességtől függ; e gerjesztésre a rúgózott részeknek nincs számottevő visszahatásuk [2, 3].

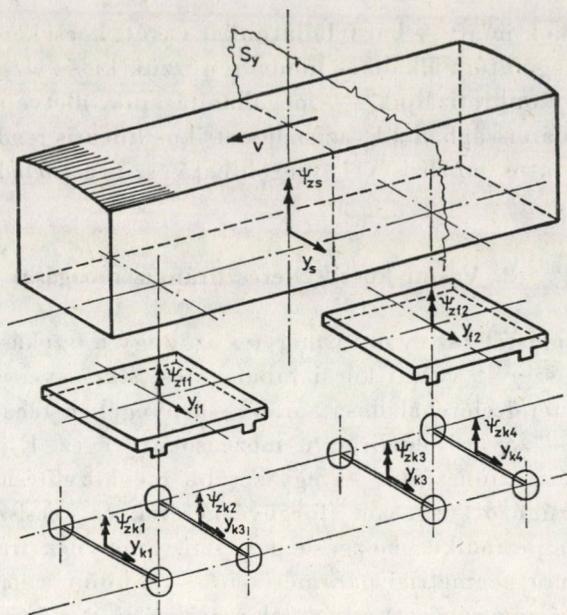
Az említett modellképzés majdnem száz évig szinte egyeduralkodó volt, azonban közel két évtized óta egyre szélesebb körben alkalmaznak olyan modelleket a tágabb értelemben vett kigyózási jelenség leírására, amelyek a kerék és a sín helyi rugalmas deformációja révén a rúgózott részek és a kerékpárok között létrejövő visszacsatolást is figyelembe veszik. Minden más — többnyire másodlagos befolyású — jelenség (pl.: pörgettyűhatás) figyelmen kívül hagyása mellett is az említett hatás lineáris modellezése a rendszerben, illetve annak mozgásegyenleteiben merevségi aszimmetriaként, valamint a haladási sebességtől függő járulékos csillapítás formájában [2, 3] jelenik meg.

A valóságos járműszerkezet olyan, hogy az azonos funkciójú fődarabok (forgóvázkeretek, kerékpárok) kapcsolati rendszereikkel együtt a kocsiszekrényt keresztben átszelő szimmetriasíkra nézve felcserélhetőek, vagyis a jármű szimmetrikus (1. ábra). Az erős külső szimmetria alapján azt várjuk, hogy előző cikkünkben [1] vázoltak nyomán tudunk olyan kongruens transzformációsorozatot szerkeszteni, amely néhány (véges számú) lépés után lehetővé teszi, hogy a dinamikai vizsgálatot is széteső — vagyis legalább felezett méretű — modellpáron végezhesük.

A jármű vízszintes, egyenes pályán, állandó sebességgel történő előrehaladásához tartozó (öngerjesztett) keresztirányú mozgásokat lineáris közelítés mélységéig az

$$M\ddot{y} + K(v)\dot{y} + Sy = 0 \quad (1)$$

differenciálegyenlet jellemzi, ahol M a tömeg, K a csillapítás-, S a merevségi mátrixot, y a választott koordináták vektorát, v pedig a haladási sebességet



1. ábra

$$\underline{\underline{M}} = \langle m_k, \theta_{zk}, m_k, \theta_{zk}, m_f, \theta_{zf}, m_s, \theta_{zs}, \theta_{zf}, m_f, \theta_{zk}, m_k, \theta_{zk}, m_k \rangle$$

$$\underline{\underline{Y}} = [\ddot{Y}_{k1}, \ddot{\psi}_{zk1}, \ddot{Y}_{k2}, \ddot{\psi}_{zk2}, \ddot{Y}_{f1}, \ddot{\psi}_{zf1}, \ddot{Y}_s, \ddot{\psi}_{zs}, \ddot{Y}_{f2}, \ddot{\psi}_{zf2}, \ddot{Y}_{k3}, \ddot{\psi}_{zk3}, \ddot{Y}_{k4}, \ddot{\psi}_{zk4}]^T$$

2. ábra

jelöli. Amennyiben a kocsiszekrényt, a forgóvázkereteket és a kerékpárokat is kétszabadságfokú merev testként modellezzük, úgy, hogy egyik koordináta a súlypont keresztirányú (y) transzlációja, a másik pedig a súlyponton átmenő függőleges tengely körüli (ψ) rotáció, akkor a mozgásegyenletek részletezve a 2., 3. és 4. ábrán láthatók. A mátrixokban található jelölések részben geometriai, részben merevségi, csillapítási és tömeg(eloszlási) jellemzőket tartalmaznak; közülük vizsgálatunk szempontjából definiálandókkal később foglalkozunk, míg az itt most érdektelenek tekintetében a [2] irodalomra hivatkozunk.

3. A mozgásegyenletek transzformációs lehetőségei

A járműmodellképzés szempontjából részletezett — vázlatot, valamint a szimmetriaviszonyokat és kiindulási koordinátaválasztást az 1. ábra mutatja.

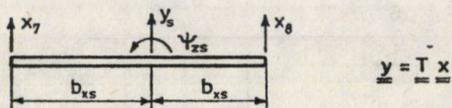
Szembetűnő, hogy az „ S_y ” sík által jelzett fő geometriai szimmetriát elsősorban két tényező bontja meg: egyfelől a kocsiszekrény y_s, ψ_{zs} transzlációs-

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	
1	$2k_{yk} + 2F_0/v$				$-2k_{yk}$	$-2k_{yk}b_{x1}$									\dot{y}_{k1}
2		$2k_{yk}b_{yk} + 2F_0e_0^2/v$				$-2k_{yk}b_{yk}^2$									$\dot{\psi}_{zk1}$
3			$2k_{yk} + 2F_0/v$		$-2k_{yk}$	$2k_{yk}b_{x1}$									\dot{y}_{k2}
4				$2k_{yk}b_{yk} + 2F_0e_0^2/v$		$-2k_{yk}b_{yk}^2$									$\dot{\psi}_{zk2}$
5	$-2k_{yk}$		$-2k_{yk}$		$4k_{yk} + 2k_{yys}$		$-2k_{ys}$	$-2k_{ys}b_{xs}$							\dot{y}_{t1}
6	$-2k_{yk}b_{x1}$	$-2k_{yk}b_{yk}^2$	$2k_{yk}b_{x1}$	$-2k_{yk}b_{yk}^2$		$k_t + 4k_{yk}b_{x1}^2 + 4k_{yk}b_{yk}^2$		$-k_t$							$\dot{\psi}_{z11}$
7					$-2k_{ys}$		$4k_{ys}$				$-2k_{ys}$				\dot{y}_s
8					$-2k_{ys}b_{xs}$	$-k_t$		$2k_t + 4k_{yys}b_{xs}$	$-k_t$	$2k_{ys}b_{xs}$					$\dot{\psi}_{zs}$
9						$-k_t$		$k_t + 4k_{yk}b_{x1}^2 + 4k_{ys}b_{yk}^2$			$-2k_{yk}b_{yk}^2$	$-2k_{yk}b_{x1}$	$-2k_{yk}b_{yk}^2$	$2k_{yk}b_{x1}$	$\dot{\psi}_{z12}$
10						$-2k_{ys}$	$2k_{ys}b_{xs}$		$4k_{yk} + 2k_{yys}$			$-2k_{yk}$		$-2k_{yk}$	\dot{y}_{t2}
11								$-2k_{yk}b_{yk}^2$				$2k_{yk}b_{yk}^2 + 2F_0e_0^2/v$			$\dot{\psi}_{zk3}$
12								$-2k_{yk}b_{x1}$	$-2k_{yk}$			$2k_{yk} + 2F_0/v$			\dot{y}_{k3}
13								$-2k_{yk}b_{yk}^2$					$2k_{yk}b_{yk}^2 + 2F_0e_0^2/v$		$\dot{\psi}_{zk4}$
14									$2k_{yk}b_{x1}$	$-2k_{yk}$				$2k_{yk} + 2F_0/v$	\dot{y}_{k4}

3. ábra

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	
1	$2S_{yk}$	$-2F_0$			$-2S_{yk}$	$-2S_{yk}b_{x1}$									y_{k1}
2	$2F_0 \frac{\lambda e_0}{r_0}$	$2S_{yk}b_{yk}^2$				$-2S_{yk}b_{yk}^2$									ψ_{zk1}
3			$2S_{yk}$	$-2F_0$	$-2S_{yk}$	$2S_{yk}b_{x1}$									y_{k2}
4			$2F_0 \frac{\lambda e_0}{r_0}$	$2S_{yk}b_{yk}^2$	$-2S_{yk}b_{yk}^2$										ψ_{zk2}
5	$-2S_{yk}$		$-2S_{yk}$		$4S_{yk} + 2S_{yys}$		$-2S_{ys}$	$-2S_{ys}b_{xs}$							y_{t1}
6	$-2S_{yk}b_{x1}$	$-2S_{yk}b_{yk}^2$	$2S_{yk}b_{x1}$	$-2S_{yk}b_{yk}^2$		$S_t + 4S_{yk}b_{x1}^2 + 4S_{yk}b_{yk}^2$		$-S_t$							ψ_{z11}
7					$-2S_{ys}$		$4S_{ys}$				$-2S_{ys}$				y_s
8					$-2S_{ys}b_{xs}$	$-S_t$		$2S_t + 4S_{yys}b_{xs}^2$	$-S_t$	$2S_{ys}b_{xs}$					ψ_{zs}
9						$-S_t$		$S_t + 4S_{yk}b_{x1}^2 + 4S_{ys}b_{yk}^2$			$-2S_{yk}b_{yk}^2$	$-2S_{yk}b_{x1}$	$-2S_{yk}b_{yk}^2$	$2S_{yk}b_{x1}$	ψ_{z12}
10						$-2S_{ys}$	$2S_{ys}b_{xs}$		$4S_{yk} + 2S_{yys}$			$-2S_{yk}$		$-2S_{yk}$	y_{t2}
11								$-2S_{yk}b_{yk}^2$				$2S_{yk}b_{yk}^2$	$2F_0 \frac{\lambda e_0}{r_0}$		ψ_{zk3}
12								$-2S_{yk}b_{x1}$	$-2S_{yk}$		$-2F_0$	$2S_{yk}$			y_{k3}
13								$-2S_{yk}b_{yk}^2$					$2S_{yk}b_{yk}^2$	$2F_0 \frac{\lambda e_0}{r_0}$	ψ_{zk4}
14									$2S_{yk}b_{x1}$	$-2S_{yk}$			$-2F_0$	$2S_{yk}$	y_{k4}

4. ábra



$$\underline{y} = \underline{T} \underline{x}$$

$$\underline{T} = \langle 1, 1, 1, 1, 1, 1, \frac{1}{2} \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ 1 & 1 \end{bmatrix}, 1, 1, 1, 1, 1, 1 \rangle$$

$$\underline{T}^T \underline{M} \underline{T} = \langle m_k, \theta_{zk}, m_k, \theta_{zk}, m_f, \theta_{zf}, \frac{1}{4} \begin{bmatrix} m_s + \frac{\theta_{zs}^2}{b_{xs}^2} & m_s - \frac{\theta_{zs}^2}{b_{xs}^2} \\ m_s - \frac{\theta_{zs}^2}{b_{xs}^2} & m_s + \frac{\theta_{zs}^2}{b_{xs}^2} \end{bmatrix}, \theta_{zf}, m_f, \theta_{zk}, m_k, \theta_{zk}, m_k \rangle$$

$$\underline{T}^T \underline{K} \underline{T} =$$

	5	6	7	8	9	10
5				$-2k_{ys}$		
6			$\frac{k_t}{2b_{xs}}$	$-\frac{k_t}{2b_{xs}}$		
7		$\frac{k_t}{2b_{xs}}$	$k_t/2b_{xs}^2 + 2k_{ys}$	$-\frac{k_t}{2b_{xs}^2}$	$\frac{k_t}{2b_{xs}}$	$-2k_{ys}$
8	$-2k_{ys}$	$-\frac{k_t}{2b_{xs}}$	$-\frac{k_t}{2b_{xs}^2}$	$k_t/2b_{xs}^2 + 2k_{ys}$	$-\frac{k_t}{2b_{xs}}$	
9			$\frac{k_t}{2b_{xs}}$	$-\frac{k_t}{2b_{xs}}$		
10			$-2k_{ys}$			

5. ábra

rotációs koordinátapárja, másfelől a jármű lényegéből adódó meghatározott, forgóvázanként azonos futásirány. (Az \$y_s\$ és \$\psi_{zs}\$ koordináták nem alkotnak szimmetrikus párt, mert a szimmetria síkhoz viszonyítva \$y_s\$ szimmetrikus, míg \$\psi_{zs}\$ antiszimmetrikus elmozdulást írnak le. A \$v\$ járműsebesség vektor és a belőle származtatott erők is antiszimmetrikusok.) Ahhoz, hogy a koordináták megválasztása jobban harmonizáljon a domináns geometriai szimmetriával, kézenfekvő, hogy az említett szekrény-koordinátákat szimmetrikussá kell tenni; ennek lépéseit az 5. ábrán a csillapítási mátrix érintett részén mutatjuk be.

A szimmetrikus koordinátapárok kiválasztása azonban modellünk esetében ezután sem egyértelmű, ugyanis a geometriailag megnyilvánuló szimmetria ellentmond az azonos futásirány miatti erőtanú aszimmetriának. Az, hogy a szétesés az alkalmasnak vélt transzformációk végrehajtása nyomán nem következett be, kétségtelenné tette azt, hogy a látszólagos szimmetria ellenére is a modell kváziszimmetrikus, ugyanis a kerékpárok és a sín között ébredő kapcsolati erők nem követik a geometriai szimmetriát, hanem e tekintetben

inkább az azonos helyeken (pl. forgóvázanként előlfutó) levő kerékpárok társulnak, illetve társíthatók (6. és 7. ábra).

A fentiek alapján a pontos szétválasztás helyett meg kellett elégednünk azzal, hogy lehetőség szerint kedvező közelítést alkalmazunk.

Optimumfeltételként a szétesés (független egyenletcsoportokra bomlás) ellen működő kapcsolatok számának minimalását felvéve, a legalkalmasabb transzformáció kiválasztása a következő egymásba ágyazott ciklusok szerint végezhető:

a) Az eredeti koordináták egy részhalmazát szimmetrikus koordinátapárokkal helyettesítjük. A koordinátaválasztás szimmetriája a megoldandó feladatra (most keresztirányú mozgás) nézve domináns fő-, illetve alszerkezeti szimmetria (1. ábra).

b) Az új koordinátákat a feltételezett szimmetria szerint párokba (egy-más mellé) rendezük, majd végrehajtjuk az összegző—különbségképző (8. ábra) koordinátatranszformációt.

c) Megvizsgáljuk a transzformációt követően nem zérus kapcsolóelemek számát, pontosabban azokét, amelyek a legalább két független egyenletcsoportra való bomlást — zérustól különböző értékűek lévén — megakadályozzák.

Az optimumfeltétel finomíthatóságára, illetve más optimumfeltételek kitűzésére nem térünk ki. Jelen választásunkat az indokolja, hogy a szóban forgó optimumfeltétel paraméterértékektől függetlenül is vizsgálható, ezáltal könnyen kiértékelhető; valójában a matematikai modell szerkezeti sajátosságaival áll közelebbi kapcsolatban. Ugyanez a helyzet a transzformációk vonatkozásában is: ismert, hogy kitűzött részfeladatunknak — vagyis a matematikai modell független részekre bontásának — van pontos megoldása. A saját vektorok, illetve fővektorok koordinátarendszerében a mozgásegyenlet együtthatóiként diagonális mátrixok, illetve (Jordan-féle) blokkokból álló diagonális hipermátrixok adódnak. Ahhoz azonban, hogy ezeket a transzformáló mátrixokat adott modellhez, illetve a modellparaméterek adott értékéhez megszerkesszük, meglehetősen nagy munkát kell elvégezni: meg kell oldani a teljes, általánosított algebrai saját értékfeladatot. Ez az út olyan esetben, amikor a modellparaméterek változtatása a vizsgálat lényeges része, nem ajánlható, mivelhogy a saját vektorok koordináta rendszerébe átvivő transzformáció kivitelezéséhez szükséges előzetes számítások jóval munkaigényesebbek, mint a tényleges elemzés a kiindulási (kváziszimmetrikus) modell alapján, és a modellparaméterek bármelyikének megváltoztatása a transzformáló mátrixok újraszámítását és ezáltal a transzformáció ismételt elvégzését követeli meg. Korábbi [1] cikkünkben és a jelenlegiben is éppen e hátrány kiküszöbölésére olyan — a feladatban szereplő mátrixok hiperdiagonizálása irányába haladó — véges transzformációsorozatot keresünk, illetve vizsgálunk, amely a feladat (és annak matematikai modellje) paraméterfüggetlen sajátosságain (most: do-

$\underline{\underline{P}}^T \underline{\underline{T}}^T \underline{\underline{K}} \underline{\underline{T}} \underline{\underline{P}} =$

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
1	$2k_{yx} + 2F_0/\nu$												
2		$2k_{yx} + 2F_0/\nu$											
3			$2k_{yx}b_{yk}^2 + 2F_0e_0^2/\nu$										
4				$2k_{yx}b_{yk}^2 + 2F_0e_0^2/\nu$									
5	⋮												
6	⋮												
7	⋮												
8	⋮												
9	⋮							$4k_{yx} + 2k_{ys}$					$-2k_{ys}$
10	⋮								$4k_{yx} + 2k_{ys}$			$-2k_{ys}$	
11	⋮									$k_1 + 4k_{yx}b_{yk}^2 + 4k_{yx}b_{yk}^2$		$\frac{k_1}{2b_{xs}}$	$-\frac{k_1}{2b_{xs}}$
12	⋮										$k_1 + 4k_{yx}b_{yk}^2 + 4k_{yx}b_{yk}^2$	$\frac{k_1}{2b_{xs}}$	$-\frac{k_1}{2b_{xs}}$
13	⋮							$-2k_{ys}$	$\frac{k_1}{2b_{xs}}$	$\frac{k_1}{2b_{xs}}$	$k_1/2b_{xs}^2 + 2k_{ys}$	$-\frac{k_1}{2b_{xs}^2}$	$-\frac{k_1}{2b_{xs}^2}$
14	⋮							$-2k_{ys}$	$-\frac{k_1}{2b_{xs}}$	$-\frac{k_1}{2b_{xs}}$	$-\frac{k_1}{2b_{xs}^2}$	$k_1/2b_{xs}^2 + 2k_{ys}$	$-\frac{k_1}{2b_{xs}^2}$

6. ábra

$\underline{\underline{P}}^T \underline{\underline{T}}^T \underline{\underline{S}} \underline{\underline{T}} \underline{\underline{P}} =$

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
1	$2S_{yx}$		$-2F_0$										
2		$2S_{yx}$		$-2F_0$									
3	$2F_0 \frac{\lambda e_0}{f_0}$		$2S_{yx}b_{yk}^2$										
4		$2F_0 \frac{\lambda e_0}{f_0}$		$2S_{yx}b_{yk}^2$									
5	⋮												
6	⋮												
7	⋮												
8	⋮												
9	⋮							$4S_{yx} + 2S_{ys}$					$-2S_{ys}$
10	⋮								$4S_{yx} + 2S_{ys}$			$-2S_{ys}$	
11	⋮									$S_1 + 4S_{yx}b_{yk}^2 + 4S_{yx}b_{yk}^2$		$\frac{S_1}{2b_{xs}}$	$-\frac{S_1}{2b_{xs}}$
12	⋮										$S_1 + 4S_{yx}b_{yk}^2 + 4S_{yx}b_{yk}^2$	$\frac{S_1}{2b_{xs}}$	$-\frac{S_1}{2b_{xs}}$
13	⋮							$-2S_{ys}$	$\frac{S_1}{2b_{xs}}$	$\frac{S_1}{2b_{xs}}$	$S_1/2b_{xs}^2 + 2S_{ys}$	$-\frac{S_1}{2b_{xs}^2}$	$-\frac{S_1}{2b_{xs}^2}$
14	⋮							$-2S_{ys}$	$-\frac{S_1}{2b_{xs}}$	$-\frac{S_1}{2b_{xs}}$	$-\frac{S_1}{2b_{xs}^2}$	$S_1/2b_{xs}^2 + 2S_{ys}$	$-\frac{S_1}{2b_{xs}^2}$

7. ábra

$$\begin{aligned}
 \underline{D} &= \frac{1}{\sqrt{2}} \left\langle \begin{matrix} 1 & 2 & \dots & 7 \\ \begin{bmatrix} 1 & -1 \\ 1 & 1 \end{bmatrix}, & \begin{bmatrix} 1 & -1 \\ 1 & 1 \end{bmatrix}, & \dots, & \begin{bmatrix} 1 & -1 \\ 1 & 1 \end{bmatrix} \end{matrix} \right\rangle \\
 \underline{D}^T \underline{A} \underline{D} &= \frac{1}{\sqrt{2}} \left\langle \begin{matrix} 1 & 1 \\ -1 & 1 \end{matrix} \right\rangle, \dots, \left\langle \begin{matrix} 1 & 1 \\ -1 & 1 \end{matrix} \right\rangle \left[\begin{array}{cccc|cccc} a & b & c & d & & & & \\ b & a & d & c & & & & \\ \hline e & f & g & h & & & & \\ f & e & h & g & & & & \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & & & \end{array} \right] \left\langle \begin{matrix} 1 & -1 \\ 1 & 1 \end{matrix} \right\rangle, \dots, \left\langle \begin{matrix} 1 & -1 \\ 1 & 1 \end{matrix} \right\rangle \frac{1}{\sqrt{2}} = \\
 &= \left[\begin{array}{cccc|cccc} a+b & 0 & c+d & 0 & & & & \\ 0 & a-b & 0 & c-d & & & & \\ \hline e+f & 0 & g+h & 0 & & & & \\ 0 & e-f & 0 & g-h & & & & \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & & & \end{array} \right]
 \end{aligned}$$

8. ábra

mináns külső szimmetria) alapszik. Annak, hogy pusztán a matematikai modell szerkezete alapján — függetlenül a benne szereplő paraméterek konkrét értékeitől — módunk van legalább két (esetleg csak majdnem) független részrendszerre vezető transzformációt találni, az az előnye, hogy a transzformációt mindössze egyszer, paraméteres alakban kell elvégeznünk, és a továbbiakban a modellparaméterek bármely értékére az eredeti, nagy méretű feladat megoldását független részfeladatok megoldásaiból állítjuk elő. Amennyiben a keresett mennyiségek az alkalmazott transzformációsorozatra nézve nem invariánsak (esetükben nem ez a helyzet), akkor a megoldások visszafelé haladó transzformációját is el kell végezni.

Megjegyezzük, hogy amennyiben a szimmetria nyújtotta kezelési előnyök kiaknázására egy kváziszimmetrikus modellt úgy próbálnánk előkészíteni, hogy pl. egy szerkezeti mechanikai feladatban a pontos szimmetria megteremtése érdekében önkényesen szerkezeti elemeket (rúgókat, csillapítókat) hagyunk el, vagy pótlólag felveszünk, akkor az ilyen „fizikai” beavatkozás nyomán az eredeti feladatot többnyire rosszul közelítő modellt, illetve megoldást nyerünk. Vizsgált modellünk esetében az ezirányú próbák sikertelensége meggyőző volt a tekintetben, hogy ez utóbbi módszer általában nem javasolható.

Az általunk javasolt kiválasztási algoritmus (3. pont a), b), c)) felfogható úgy is, mint valószínű esetek halmazából az ellenpéldák olyan részhalmozának explicit előállítása, amely végeredményben hatékonyan leszűkíti a közelítőleg célravezető és ezért részletesebben megvizsgálandó konkrét transzformációk körét.

Modellünk esetében négy koordinátatranszformációt (1. eredeti koordináták változatlanul; 2. szekrény-koordináták transzformálása; 3. szekrény-és forgóvázkeret koordináták transzformálása; 4. szekrény, forgóvázkeret és kerékpár koordináták transzformálása), valamint minden egyes koordinátaválasztás mellett 6 különböző párosítást (sorrendet) vizsgáltunk. (A paraméte-

res számítások csökkentése, illetve a tévesztések elkerülése érdekében a kereső algoritmus lépéseit számítógépre programoztuk. A modellparamétereknek *véletlen számértékeket* adva, kiválaszthatók voltak a kedvezőnek ítélt esetek, ugyanis a széteső struktúrától távol álló megoldások ellenpéldaként jelezték, hogy mely esetek *biztosan nem* vezetnek a kívánt irányba.) A megvizsgált 24

$$\underline{\underline{D}}^T \underline{\underline{P}}^T \underline{\underline{M}} \underline{\underline{T}} \underline{\underline{P}} \underline{\underline{D}} = \langle m_k, m_k, \theta_{z_k}, \theta_{z_k}, m_k, m_k, \theta_{z_k}, \theta_{z_k}, m_f, m_f, \theta_{z_f}, \theta_{z_f}, \frac{m_s}{2}, \frac{\theta_{z_s}}{2b_{15}^2} \rangle >$$

9. ábra

esetből a kapcsoló elemek számának minimum-kritériuma egyértelmű megoldást hozott, ugyanis csak egy olyan eset adódott, amikor egyetlen elempáron múlt az egyenletek két, független csoportba való rendezhetősége, mégpedig akkor amikor:

α) Csak a szekrény koordinátákat transzformáltuk az 5. ábrán bemutatottak szerint ($\mathbf{y} = \mathbf{T}\mathbf{x}$).

β) Az így nyert \mathbf{v} vektor koordinátái 1-12; 2-11; 3-14; 5-10; 6-9; 7-8; módon alkottak közelítőleg szimmetrikus párokat ($\mathbf{x} = \mathbf{P}\mathbf{u}$), amelyhez tartozó transzformált csillapítási és merevségi mátrixokat a 6. és 7. ábrán mutatjuk be.

γ) A szétválasztást eredményező \mathbf{D} mátrix és jellemző sajátossága a 8. ábrán látható. Megvizsgálva a 6. és 7. ábrát, adódik, hogy csupán a szaggatott vonallal kiemelt blokkpár olyan szerkezetű, amely az utolsó transzformációs lépést követően a csatolást okozza.

δ) Az $\mathbf{u} = \mathbf{D}\mathbf{z}$ transzformáció nyomán adódó végeredményben (9., 10., 11. ábrák) csak a (11; 14) és (14; 11) elempár okoz csatolást, amely legegyszerűbben a szóban forgó mátrixelemek zérussá tételével szüntethető meg. (Az ábráról megállapítható, hogy a mátrixok zérustól különböző elemei a jelzett két elem kivételével a sakktáblának egyik színén helyezkednek el, így valóban majdnem széteső mátrixot nyertünk.) Ezen lehetőség mellett megvizsgáltunk még nyolc olyan esetet is, amely a 6. és 7. ábrákon szaggatott vonallal jelzett blokkoknak alkalmas előjelcserékkel fő- és mellékátlójukra szimmetrikussá (tehát a \mathbf{D} mátrixszal széteső szerkezetűvé transzformálható) tételével adódtak, ugyanis a blokkbeli elemek abszolút értéke azonos.

ε) Későbbi numerikus elemzéseink azt mutatták, hogy az így nyerhető kilenc különböző közelítés nem lényegesen eltérő, nagyon közel fekszik egymáshoz, azonban más feladat kapcsán az elhanyagolással szemben a kiegészítés esetleg jobb eredményt szolgáltathat.

Megjegyezzük, hogy a transzformációt paraméteres alakban — összhangban korábbi vizsgálatunkkal — csupán ebben az egy esetben hajtottuk végre. Az esetleges tévedések kiszűrése érdekében a megelőző gépi számítást numerikus utóellenőrzésként is alkalmaztuk.

$$\underline{\underline{D}}^T \underline{\underline{P}}^T \underline{\underline{T}}^T \underline{\underline{S}} \underline{\underline{T}} \underline{\underline{P}} \underline{\underline{D}} =$$

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
1	$2S_{y_k}$		$-2F_0$						$-2S_{y_k}$		$-2S_{y_k}b_{x1}$			
2		$2S_{y_k}$		$-2F_0$						$-2S_{y_k}$		$-2S_{y_k}b_{x1}$		
3	$2F_0 \frac{\lambda \theta_0}{r_0}$		$2S_{xk}b_{y_k}^2$									$-2S_{xk}b_{y_k}^2$		
4		$2F_0 \frac{\lambda \theta_0}{r_0}$		$2S_{xk}b_{y_k}^2$									$-2S_{xk}b_{y_k}^2$	
5					$2S_{y_k}$		$-2F_0$		$-2S_{y_k}$		$2S_{y_k}b_{x1}$			
6						$2S_{y_k}$		$-2F_0$		$-2S_{y_k}$		$2S_{y_k}b_{x1}$		
7							$2S_{xk}b_{y_k}^2$					$-2S_{xk}b_{y_k}^2$		
8								$2S_{xk}b_{y_k}^2$					$-2S_{xk}b_{y_k}^2$	
9	$-2S_{y_k}$				$-2S_{y_k}$				$4S_{y_k} + 2S_{y_s}$					$-2S_{y_s}$
10		$-2S_{y_k}$				$-2S_{y_k}$				$4S_{y_k} + 2S_{y_s}$				$2S_{y_s}$
11	$-2S_{y_k}b_{x1}$		$-2S_{xk}b_{y_k}^2$		$2S_{y_k}b_{x1}$		$-2S_{xk}b_{y_k}^2$				$S_{y_k} + 4S_{y_k}b_{x1}^2 + 4S_{xk}b_{y_k}^2$			$-\frac{S_{y_k}}{b_{x1}}$
12		$-2S_{y_k}b_{x1}$		$-2S_{xk}b_{y_k}^2$		$2S_{y_k}b_{x1}$		$-2S_{xk}b_{y_k}^2$				$S_{y_k} + 4S_{y_k}b_{x1}^2 + 4S_{xk}b_{y_k}^2$		
13									$-2S_{y_s}$				$2S_{y_s}$	
14										$2S_{y_s}$	$-\frac{S_{y_k}}{b_{x1}}$			$2S_{y_s} + S_{y_k}/b_{x1}^2$

10. ábra

$$\underline{\underline{D}}^T \underline{\underline{P}}^T \underline{\underline{T}}^T \underline{\underline{K}} \underline{\underline{T}} \underline{\underline{P}} \underline{\underline{D}} =$$

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
1	$2K_{y_k} + 2F_0/\sqrt{v}$								$-2K_{y_k}$		$-2K_{y_k}b_{x1}$			
2		$2K_{y_k} + 2F_0/\sqrt{v}$								$-2K_{y_k}$		$-2K_{y_k}b_{x1}$		
3			$2K_{xk}b_{y_k}^2 + 2F_0e_0^2/\sqrt{v}$									$-2K_{xk}b_{y_k}^2$		
4				$2K_{xk}b_{y_k}^2 + 2F_0e_0^2/\sqrt{v}$									$-2K_{xk}b_{y_k}^2$	
5					$2K_{y_k} + 2F_0/\sqrt{v}$				$-2K_{y_k}$		$2K_{y_k}b_{x1}$			
6						$2K_{y_k} + 2F_0/\sqrt{v}$				$-2K_{y_k}$		$2K_{y_k}b_{x1}$		
7							$2K_{xk}b_{y_k}^2 + 2F_0e_0^2/\sqrt{v}$					$-2K_{xk}b_{y_k}^2$		
8								$2K_{xk}b_{y_k}^2 + 2F_0e_0^2/\sqrt{v}$					$-2K_{xk}b_{y_k}^2$	
9	$-2K_{y_k}$				$-2K_{y_k}$				$4K_{y_k} + 2K_{y_s}$					$-2K_{y_s}$
10		$-2K_{y_k}$				$-2K_{y_k}$				$4K_{y_k} + 2K_{y_s}$				$2K_{y_s}$
11	$-2K_{y_k}b_{x1}$		$-2K_{xk}b_{y_k}^2$		$2K_{y_k}b_{x1}$		$-2K_{xk}b_{y_k}^2$				$K_{y_k} + 4K_{y_k}b_{x1}^2 + 4K_{xk}b_{y_k}^2$			$-\frac{K_{y_k}}{b_{x1}}$
12		$-2K_{y_k}b_{x1}$		$-2K_{xk}b_{y_k}^2$		$2K_{y_k}b_{x1}$		$-2K_{xk}b_{y_k}^2$				$K_{y_k} + 4K_{y_k}b_{x1}^2 + 4K_{xk}b_{y_k}^2$		
13									$-2K_{y_s}$				$2K_{y_s}$	
14										$2K_{y_s}$	$-\frac{K_{y_k}}{b_{x1}}$			$2K_{y_s} + K_{y_k}/b_{x1}^2$

11. ábra

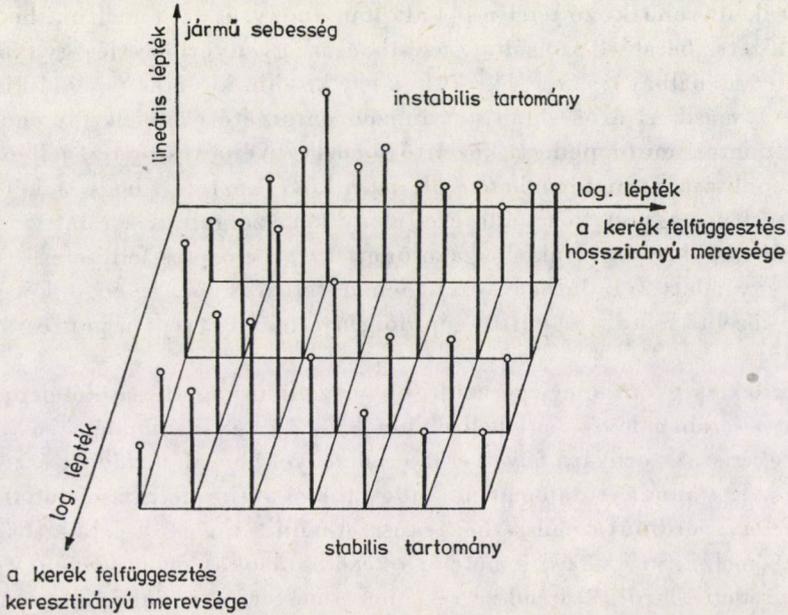
4. A közelítő modell alkalmazása

A vasúti kocsik keresztirányú rezgéseivel kapcsolatos vizsgálatok mintegy két évtizede kerültek a kutatások homlokterébe, amikor is lényegében bizonyítást nyert, hogy e vizsgálatok nélkül ma már nem lehet megfelelő vasúti járműveket építeni [5, 6, 7]. A keresztirányú mozgással kapcsolatban vázolt kétféle modellképzés (lásd: 2. pont) bármelyikét is választjuk, a (közelítő) szétválasztás lehetősége komoly előnyöket hoz magával.

A régebbi keletű modellképzés — mint azt már vázoltuk — figyelmen kívül hagyja a rugózott részeknek a kerékpárokra történő visszahatását, ezáltal a kerékpárok szerepe lényegében csak arra korlátozódik, hogy azok keresztirányban a sebességtől függő frekvenciájú és fáziseltolású külső gerjesztőként viselkedjenek. Ilyen esetben tehát az (1) egyenletből a kerékpárokra vonatkozó sorok és oszlopok hiányoznak, ezáltal egy hat szabadságfokú, úngerjesztett, szimmetrikus mechanikai rezgőrendszer (amely *pontosan* szétválasztható) vizsgálatát kell elvégeznünk.

A rezgőrendszer vizsgálatát a hat szabadságfokú modell helyett, két db három szabadságfokú, illetve (más transzformáció nyomán) három db két szabadságfokú rezgőrendszer segítségével végezhetjük el, akár a saját értékek számítása (e vizsgálatban a képzetes rész mint általánosított saját frekvencia játszik szerepet), akár az idő, akár a frekvenciatartományban történő átviteli tulajdonságok elemzése a feladat.

A másodikként tárgyalt modellképzés a tágabb értelemben vett kigyózási jelenséget öngerjesztett mozgásnak tekinti. A szokásos kérdésfelvetések közül leglényegesebb az, hogy adott értékű, illetve adott tartományba eső konstrukciós paraméterek esetében mekkora az a legnagyobb haladási sebesség, amely mellett az (1) egyenlet megoldásfüggvényei az idő növekvő értékeire zérushoz tartanak, vagyis a rendszer stabil. Az ilyen elemzés a konstrukciós paramétervektor egyetlen értéke mellett is több (a haladási sebesség néhányszor tíz értékének megfelelő) algebrai saját értékfeladat megoldását igényli. Számításba kell venni azonban azt, hogy adott paramétervektor melletti elemzés az esetek többségében csak része egy átfogó számításnak: a dinamikai stabilitás tekintetében legkedvezőbb járműparamétervektor körülhatárolásának, meghatározásának. Ez utóbbi, amely lényegében egy szintézisfeladat, általában a saját értékek néhány száz esetben történő meghatározását igényli. Ismeretes, hogy a stabilitás eldöntéséhez nem szükséges okvetlenül a saját értékek numerikus kiszámítása (hiszen csak a valós rész előjele eldönti a stabilitást), numerikus tapasztalataink azonban azt mutatták, hogy az adott feladatnál a legkönnyebben programozható és legkevesebb gépi időt igénylő eljárás — az általunk vizsgáltak közül — a saját értékek kiszámítása volt. A stabilitás szempontjából mellékeredményként adódó saját frekvenciák a vasúti kocsik tervezésénél más szempontból igen hasznos információkat szolgáltatnak.



12. ábra

Ilyen vizsgálatot mutat be a 12. ábra [2], ahol a kitűzött feladat kapcsán 840 esetben került sor átlagosan 3 perc gépidő jellegű számításra; ez összesen 42 gépórát vett igénybe.

Megmutatjuk, hogy az ismertetett transzformációkat követő közelítő szétválasztás és enyhébb pontossági követelmények esetében a gépidőszükséglet az előzőnek negyedére szorítható, továbbá, hogy megadható olyan stratégia, amely a pontosság észrevehető romlása nélkül képes a gépidőt a korábbiak közel felére redukálni.

4.1. A közelítő modellel szerzett numerikus tapasztalatok

A vasúti kocsival jellemzett jármű stabilitásának elégséges feltétele, hogy az

$$A = \left[\begin{array}{c|c} -M^{-1}K & -M^{-1}S \\ \hline E & O \end{array} \right] \quad (2)$$

mátrix összes saját értékének valós része negatív legyen. Numerikus vizsgálataink a saját értékek explicit előállításán alapultak, minthogy korábbi vizsgálatok [2] kimutatták, hogy mind pontosság, mind gépidőigény szempontjából ez a módszer a legkedvezőbb.

A pontosnak tekintett és a közelítéssel szétválasztott modellek eltérését két módon vizsgáltuk. Az egyik eljárás OSTROWSKYNAK a közelítő mátrixok

saját értékeire vonatkozó tételén [4] alapult, amelytől azt reméltük, hogy megfelelő előzetes becslést szolgáltat, azonban az így nyert becslés gyakorlatilag nem volt használható; ezt a [1] cikkben egy kisebb, követhető példán is bemutattuk. A másik eljárás során ugyanazon paraméterek mellett megoldottuk mind a pontos, mind pedig a közelítő modellt. Néhányszor tíz, jellemző eset összehasonlítása után levonható volt az a következtetés, hogy a két modell e tekintetben nagyon közel álló eredményeket szolgáltat, a relatív eltérések 0,1%-nál kisebbre adódtak. Beigazolódott az az előzetes feltételezés, hogy a gépidő egy adott feladatban közelítően n^2 -tel arányos, lévén a két felezett méretű közelítő feladat együttes gépidőigénye fele az eredeti, pontos feladaténak.

Érdekességként megjegyezzük, hogy az elhanyagolt csatoló elem normál esetben a sorában levő főátlóbeli elemnél 1—2 nagyságrenddel kisebb, azonban értékét százszorosára növelve az eredményekben alig adódott észrevehető változás. Ezt annak tulajdonítjuk, hogy a kváziszimmetrikus feladatot sikerült olyan koordinátarendszerbe transzformálni, amely a feladatbeli szimmetriát emeli ki, a kváziszimmetriát okozó hatásokat pedig legyengíti, szemben az eredeti koordinátarendszerrel, ahol a mesterséges (önkényes) szimmetrizálás nem használható eredményeket szolgáltatott.

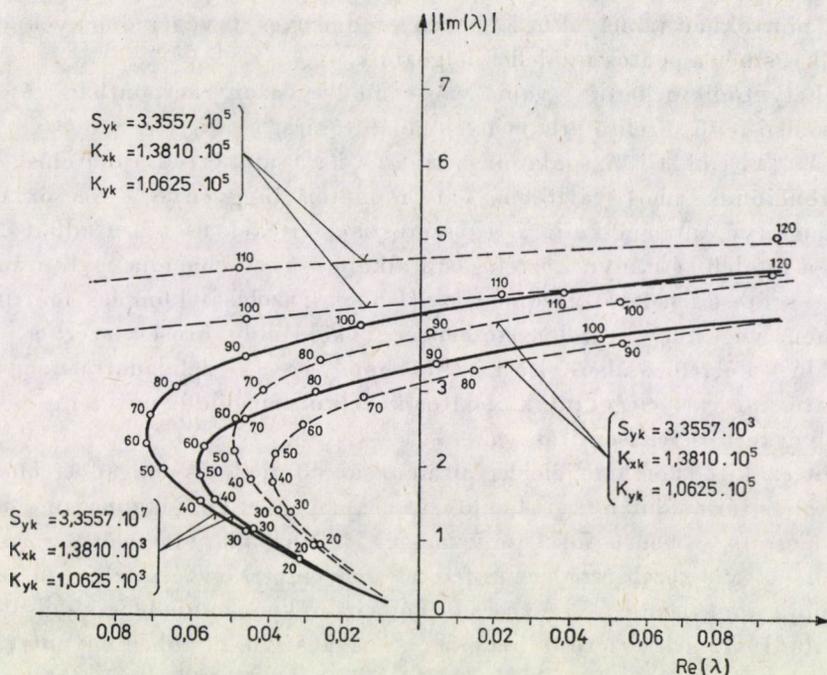
4.2. Stratégia kváziszimmetrikus feladatok számítására

Egy sorozatos analízis (paraméter tanulmányozás) során, változtathatónak tekintett modellparaméterek az összes modellparaméter (a paramétervektor lehetséges értékei) által kifeszített térben alteret határoznak meg. Vizsgálunk úgy tekinthető, hogy e térrész, mint értelmezési tartomány felett valamely többváltozós függvény — például a dinamikai stabilitás adott haladási sebességnél történő fennállásának „igen—nem” logikai függvényértéke — kitüntetett (többnyire extrémális) értékeihez tartozó modellparaméterek meghatározása a szűkebb értelemben vett számítási célkitűzés.

A tényleges számítást a szóban forgó altér — általában valamilyen szabályszerűség alapján — képzett pontsorozatának elemeire végezzük el. Gyakori, hogy egy-egy paraméter önkényesen felvett alsó és felső korlátja között (többnyire ugyancsak önkényesen diszkrét) felosztást készítünk. Ily módon az eredetileg általában kontinuum térrészt egy olyan véges ponthalmazzal helyettesítettük, amelynek pontjai szabályszerűen helyezkednek el. A kétdimenziós analógok mintájára ezt röviden rácsnak, illetve hálónak nevezzük.

Modellünk esetében a változtatott paraméterek (a kerékpárvezetés hossz- és keresztirányú merevsége, valamint a jármű haladási sebessége) által kifeszített háromdimenziós altérben a rácspontok bejárásának egy kitüntetett módja adódik: egy-egy rögzített merevségi paraméter-pár (vagyis ezzel egy adott jármű) mellett növekvő haladási sebességeket vizsgálunk. A járműmodellhez

tartozó gyökhelygörbék számítása révén kapunk választ a dinamikai stabilitásra. Minthogy a görbék a számunkra érdekes sebességtartományban (13. ábra) viszonylag lassú változásúak, így egyik sem változó paraméter tekinteté-



13. ábra

ben sem kell a pontosság érdekében a hálóosztást erősen sűríteni, ezáltal meg lehetőségen durva osztású rács használható.

A vasúti kocsival szerzett tapasztalatok általánosításaként kváziszimmetrikus modellek szintézisfeladatának számítás útján történő megoldására a következő eljárást javasoljuk:

a) A domináns szimetriára alapozva az adott modellhez olyan egyszerűen konstruálható koordinátatranszformációt keresünk, amely felezett méretű, közelítőleg független részrendszereket eredményez.

b) Egy nagyon durva osztású paraméterháló pontjában vizsgáljuk a pontos és közelítő feladat megoldása közötti egyezést. Amennyiben az egyezés kielégítő, akkor a c) pontbeli lépést hajtjuk végre, ellenkező esetben további, alkalmasabb közelítő modellt kell keresnünk.

c) A sűrűbb, finomabb felosztáshoz tartozó háló csomópontjaiban a közelítő modellel számolunk. Amennyiben a b) lépésben a két, félméretű feladat megoldásával kapott eredmények is eléggé közeliek, akkor elegendő csupán az egyik félméretű feladat megoldásait kiszámítani. (A két félméretű feladat

(7+7) saját értéke 7 közelítő párt alkot, a párokon belüli egyezés a vizsgálat szempontjából kielégítő.)

d) A közelítő modellel nyert eredmények behatárolják a változtatott paraméterek kedvező értékeinek tartományát. A rácspontok közötti, interpolált pontokban (amelyekhez tartozó eredményeket végeredményeknek tekintjük) ismét a pontos modellel dolgozunk.

Felvetődik a kérdés, vajon van-e mód egyazon rácspontban kétoldali, vagyis alsó-felső közelítő eredmények előállítására.

Az [1] cikkbeli vizsgálatok szerint — ha a saját érték a csatolást okozó perturbációnak adott tartományban monoton függvénye — csökkentett munkaigényű, általános eljárás egyszeres saját értékek esetében adható, amikor is a modell kétirányú közrefogásra alkalmas perturbációja egyik irányban egyben széteső feladatot eredményez. (Ennek igazolását komplex mátrixokra még nem végeztük el.) Jelen esetben a gyökök többszörösek, ezért a pontos megoldást közrefogó alsó-felső közelítés módszere [1] a feladatra nem alkalmazható, meg kell elégednünk „pontos-közeliítő” megoldás durva rácspontokban elvégzett összehasonlításával.

A szakirodalomban jelenleg általánosan elterjedt és elfogadott módszer, hogy teljes jármű dinamikai stabilitását csupán egyetlen, alkalmasan előkészített alacsony szabadságfokú forgóvázszerű modell alapulvételével számítják anélkül, hogy e közelítésnek akár fizikai (modellszerkesztési), akár numerikus kontrollja adott lenne. (A szokásos forgóváz-kerékpár modell 6 szabadságfokú, az általunk vizsgált „széteső” rendszer 7 szabadságfokú, ebben ugyanis jelentkezik a kocsiszekrény visszahatás is. Mégis indokolt a „forgóvázszerű” modell elnevezés használata, hiszen e modell mérete kevéssé különbözik a 6 szabadságfokútól, viszont lényegesen eltér a teljes 14 szabadságfokú modelltől.)

Eljárásunk ehhez képest kétségkívül előrelépést jelent, minthogy megadja mindkét — egymáshoz relatíve közelálló, de mégis eltérő — forgóvázszerű modellt, amelyekkel (együttesen) a jármű viselkedése jól leírható. Ily módon eljárásunk a szakirodalombeli heurisztikus szabadságfokredukció algoritmikus részletezettségű végrehajtásaként és az így létrejött modellezési hiba becsléseként is alkalmazhatónak mutatkozik.

IRODALOM

1. MICHELBERGER, P.—FERENCZI, M.: Utilization of Quasi-symmetry in the Analysis of Linear Mechanical Systems. *Periodica Polytechnica* (Transp. Eng.), 9 (1981) (Közlés alatt)
2. FERENCZI M.: Vasúti kocsik keresztirányú rezgéseinek stabilitásvizsgálata. (Doct. Diss.) Budapest 1977, 147
3. FERENCZI M.: Vasúti kocsik keresztirányú szabad rezgéseinek stabilitása. *Járművek, Műszaki Tudomány* 28 (1981), 63—69.
4. SZIDAROVSKY F.: Bevezetés a numerikus módszerekbe. Közgazdasági és Jogi Könyvkiadó, Budapest 1974
5. WICKENS, A. H.: Stability of High-Speed Trains. *Physics in Technology*, The Institute of Physics, Bristol 1973, Vol 4, No. 1, pp. 1—17

6. MÜLLER, C. TH.: Wo stehen wir in der Gleislauftechnik? Das Schlingerproblem. *Glaser's Annalen* 82 (1958), No 2, 31—47
7. JOLY, R.: Untersuchungen der Querstabilität eines Eisenbahnfahrzeuges bei hohen Geschwindigkeiten. *Schienen der Welt* 3 (1972), No. 3, 168—204

An Approximate Calculation Method Based on the Utilization of the Quasi-Symmetry to the Investigation of the Lateral Oscillation of a Railcar. — On a mathematical model describing the lateral oscillation of a railcar, as an example, a method and the experiences made therewith are described, which by reducing with adequate transformations the effect of the quasi-symmetry, permit to divide the model into independent parts by a insignificant neglect. The problem belongs not only as a quasi-symmetrical oscillating system, but also as a problem of synthesis solved by a series of analyses, to a wider class of problems.

Ein auf die Ausnutzung der Quasisymmetrie basierendes annäherndes Berechnungsverfahren zur Untersuchung der Querschwingungen eines Eisenbahnwagens. — Auf einem die Querschwingungen eines Eisenbahnwagens beschreibenden Modell, als Beispiel, werden eine Methode und die durch dasselbe gebrachten Erfahrungen beschrieben, die durch Reduzierung mit geeigneten Transformation die Wirkung der Quasisymmetrie, und die Zerlegung auf unabhängige Teile des Modells mit unbedeutender Vernachlässigung ermöglichen. Die Aufgabe gehört nicht nur als ein quasisymmetrisches lineares Schwingungssystem, sondern als auch durch eine Reihe von Analysen gelöste Synthesenaufgabe zu einer mehr verbreiteten Aufgabenklasse.