

SZÍJHAJTÁSSAL KOMBINÁLT SZERSZÁMGÉPEK FŐHAJTÓMŰVE- INEK NUMERIKUS DINAMIKAI VIZSGÁLATA SIMULINK KÖR- NYEZETBEN

Fülöp Zsombor

PhD hallgató, Miskolci Egyetem, Szerszámgépezési és Mechatronikai Intézet,
Szerszámgépek Intézeti Tanszéke
3515 Miskolc, Miskolc-Egyetemváros, e-mail: fulop.zsombor@uni-miskolc.hu

Szilágyi Attila

egyetemi docens, tanszékvezető, Miskolci Egyetem, Szerszámgépezési és Mechatronikai Intézet,
Szerszámgépek Intézeti Tanszéke
3515 Miskolc, Miskolc-Egyetemváros, e-mail: szilagyi.attila@uni-miskolc.hu

Absztrakt

Ezen cikk a szíjhajtással kombinált szerszámgépek főhajtásainak numerikus dinamikai vizsgálatával/modelljével foglalkozik Simulink környezetben. A korábbi szíjhajtás, illetve a szabad szíjágak modellje kiegészül a szíjtárcsa mentén kialakuló szíj alkotta rezgőrendszerrel, ami már önmagában egy bonyolult matematikai problémát jelent. Mérési eredmények alapján könnyen belátható, hogy különféle szíjhajtások különböző módon viselkednek, ez indokolja az előbb említett lehetséges pontosításnak a szükségességét. Az így kapott újfajta, kiegészített rendszermodell vizsgálata alkalmas lehet pontosabb számítások elvégzésére, amely már a hajtás tervezési szakaszában is egy jó becsléssel szolgálhat adott tervezési paraméterek mellett, a hajtás dinamikai viselkedésre vonatkozóan.

Kulcsszavak: szíjhajtás, főhajtómű, dinamikai vizsgálat, Simulink, Matlab, szíjágak transzverzális lengései, főorsó, főorsó csavarólengései,

Abstract

This paper deals with dynamical modelling of main drives of machine tools that combined with belt drive in Simulink environment. The former models of free belts are substituted with the vibration system of the belt parts that are situated along the pulley - resulting in a rather difficult problem in the mathematics as well. According to the measurement results, we can easily see that the different types of belt drives show rather different dynamical behaviours that is maybe the reason why this aforementioned possible substitution is necessary to have. This way, we have the possibility to derive more punctual/ real behaviour than the earlier models have with analysing the obtained, new type, substituted system. Using this model can be useful in the design phase and contain some design parameters in the aspects of the dynamic behaviour of the driveline.

Keywords: belt drives, main drives, dynamical analysis, Simulink, Matlab, transverse vibrations of belt drives, spindle, torsional vibrations of spindle

1. Bevezetés

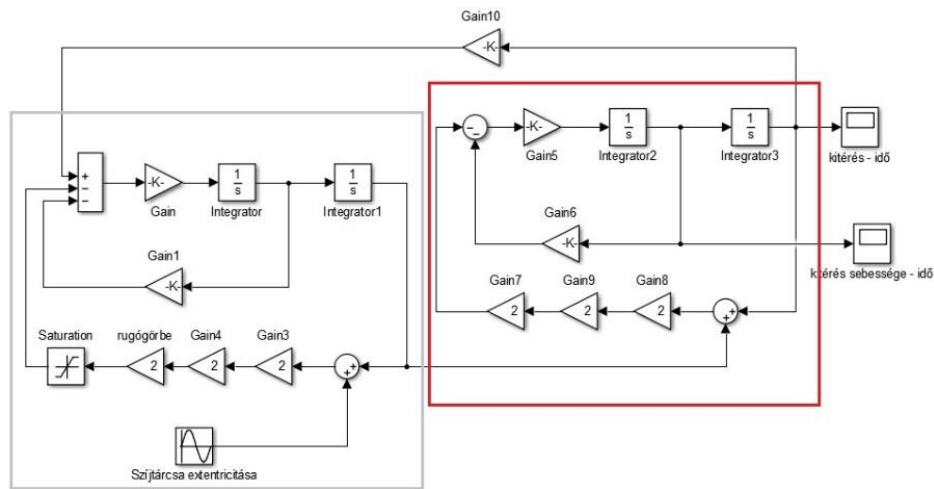
Ismeretes, hogy a sziójhajtás alkalmazásának már önmagában is számos előnye van. A lapossziójhajtás esetén ilyenek a kismértékű zajkeltő hatás; a terhelésből származó impulzusokat a sziójágak felveszik, tompítják, annak energiáját részben elnyelik. Összehasonlítva a fogaskerék-hajtással, fogaskerék-hajtóművekkel – sokkal gazdaságosabb megoldás, egyszerűbb kialakítással. Fenntartási rendszer szempontjából csupán egyetlen dologra kell figyelemmel lennünk, a tengelycsapágyak megfelelő kenésére. Széleskörűen felhasználható azonos vagy ellentétes irányban forgó tengelyeknél, esetleg egymáshoz képest szöget bezáró tengelyeknél is. Az áthidalható tengelytávolság sokkal nagyobb értékű lehet (amely mellette még nagyon könnyen változtatható is), mint a fogaskerék-hajtóművek esetében, melynek kihasználása a legelső transzmissziós hajtásoknál figyelhető meg leginkább. Elterjedt ezen sziójhajtások esetében a gyors- és munkakímélő áttétel módosító megoldás a lépcsős tárcsák kialakítása [1]. A sziójhajtással kombinált szerszámgépek főhajtásai esetében a motortól érkező, az elektromos áram okozta hőt, a sziój nem vezeti át anyagtulajdonságából adódóan a főhajtásra. További előnye ennek a kialakításnak, hogy villamos hajtómotornak megfelelő lehet bármilyen általános célra megfelelő villamos motor, szerkezeti felépítéséből adódóan: többek között nincsen szükség csőszerű tengelyre a villanymotor szempontjából; megfelelő fordulatszámok is egyszerűen megvalósíthatók, így maga a gép felépítése is egyszerű [2], [3].

Szerszámgép dinamikai szempontból egy hátránya van az említett hajtásláncnak ez pedig az a tény, hogy a sziójhajtások egy bizonyos fordulatszám tartományon stabilitásukat veszítik és nagyfokú keresztirányú lengés jelenik meg a sziójágon, amely többek között a megmunkált felület minőségét rontja [4], [5]. Ezért van szükség egy előzetes dinamikai vizsgálatra is a szilárdsági számítás/ellenőrzés mellett a tervezési szakaszban. Ezen cikk hivatott egy ilyen numerikus, dinamikai számítást bemutatni.

2. Szabad sziójág és a sziójtárcsa mentén lévő rugalmas tartomány figyelembevétele

Lehetőségünk van mozgásegyenletet/ differenciálegyenletet „ábrázolni” blokkvázlatos formában is, ami a Simulink környezetben való modellezés alapja [6]. Az 1. ábra alapján, a szűrőkén keretezett rész a sziójtárcsa mentén elhelyezkedő sziój alkotta rezgőrendszernek az egyszerűsített/ jelképes blokkvázlatát mutatja a [7] gondolatmenetere támaszkodva, amely a sziójtárcsa excentricitásával gerjesztett. A pirosan keretezett rész pedig a transzverzális lengést leíró [4], [5], [8], [9] összefüggései alapján szintén, az előljáróban egyszerűsített/ jelképes ábrázolása, amely a sziójtárcsa mentén lévő sziój alkotta rezgőrendszeren keresztül van a sziójtárcsa excentricitással gerjesztve. Gondolatkísérletek és gyakorlati tapasztalatok alapján a kialakuló transzverzális sziójáglengésnek hatása van a sziójtárcsa mentén elhelyezkedő sziój alkotta rezgőrendszerre, mégpedig a sziój irányú elmozdulás következtében. Ezt az öngerjesztést, ami a keresztirányú lengések kapcsán kialakuló sziójirányú rezgés következtében jön létre, erővel való gerjesztésnek feltételeztem. Az előbbi alapján tehát a transzverzális lengés kitérés – idő függvényét abszolútérték függvénytaggal visszacsatolom a sziójtárcsa mentén elhelyezkedő rezgőrendszer blokkvázlatának „elejéhez”, amely során létrejön az öngerjesztés. Ez egy pozitív visszacsatolás útján valósulhat meg, ezért ez a jelenség – erősítési értéktől függően – mindenképpen az instabilitás esélyét növeli, amely megváltozott instabilitási tartományok jelenlétére enged következtetni minket [6], [10], [11].

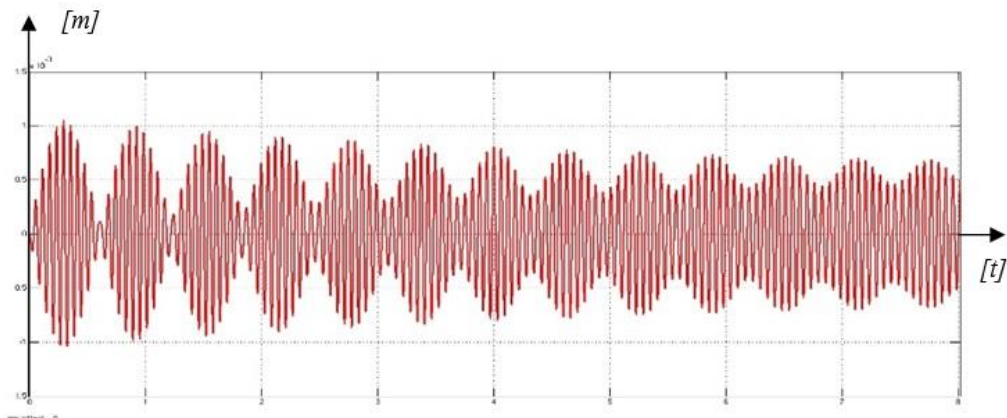
A teljes, részletes, nemlinearításokat és az összes együtthatót tartalmazó blokkvázlatot a 6. ábra szemlélteti. Sok esetben szükség van ezen részletes blokkvázlat előállítására, mivel egyes szoftvereknél lehetőség van az azonos paraméterek egyszerre történő állítására is, azonban ez csak akkor lehetséges, ha minden együttható (tag) teljes részletezésre kerül.



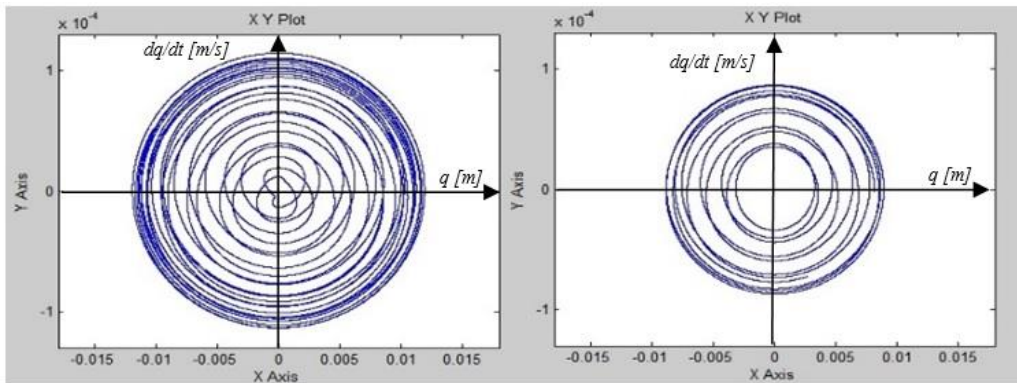
1. ábra. A két rendszer jelképes összecsatolása Simulink környezetben

A numerikus eredmények alapján igazoltam, hogy amennyiben csak az egyik szíjtárcsa excentricitását vesszük figyelembe, egy domináns instabilitási tartománnyal rendelkezik a rendszer, melynek rezonanciagörbét az 4. ábra szemlélteti. Megállapítottam továbbá, hogy a szíjtárcsa mentén elhelyezkedő rendszerrel együtt számolva közel azonos instabilitási tartományra jutunk, amennyiben terhelés nélküli laposszíjhajtást feltételezünk. Tervezési szempontból az instabilitási tartományok elhelyezkedése a mérvadó, melyet célunk lenne meghatározni analitikus úton (amely következőkben megoldani kívánt probléma) a tervezési szakaszban, párhuzamosan a szilárdsági méretezéssel.

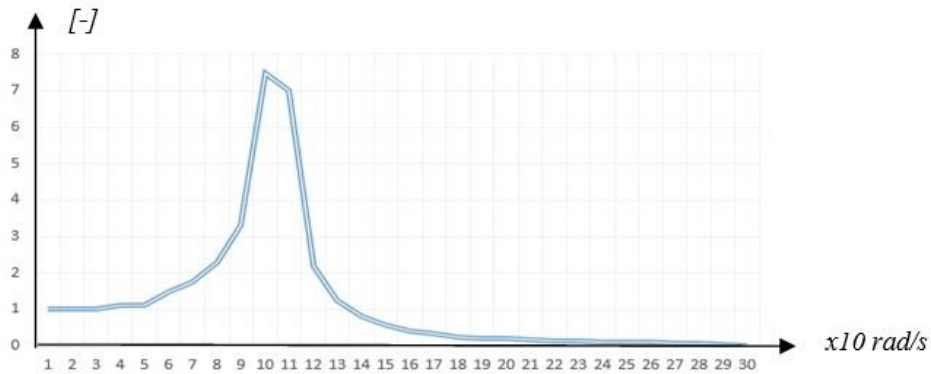
A 2. és a 3. ábrán gerjesztés hatására kimutatható amplitúdók szerepelnek. Stabilitásvesztéskor ún. lebegés alakul ki, amelynek burkológörbéje körülbelül 1 Hz-es harmonikus függvény, de általában minimum egy nagyságrenddel kisebb frekvencia, mint maga a transzverzális lengés sajátkörfrekvenciája. Hasonló jelenséget figyelhetünk meg gyakorlati tapasztalatok alapján is, ami a modell helyességét igazolja.



2. ábra. Rezonanciafrekvenciát elhagyva, a kialakuló transzverzális amplitúdók az idő függvényében



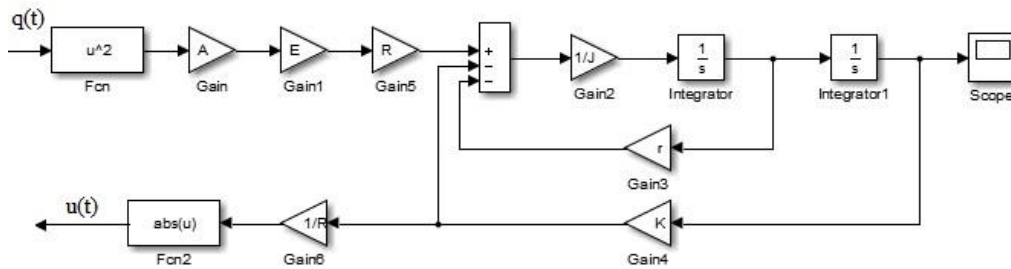
3. ábra. 150 [rad/s] – os gerjesztés esetén, rezonanciafrekvenciát elhagyva kialakuló kezdeti, és kvázi állandósult zárt határciklus görbék (transzverzális lengés amplitúdó sebesség – kitérés függvénye az időben)



4. ábra. A rezonanciagörbe ábrázolása a tárcsa fordulatszámának körfrekvenciája függvényében

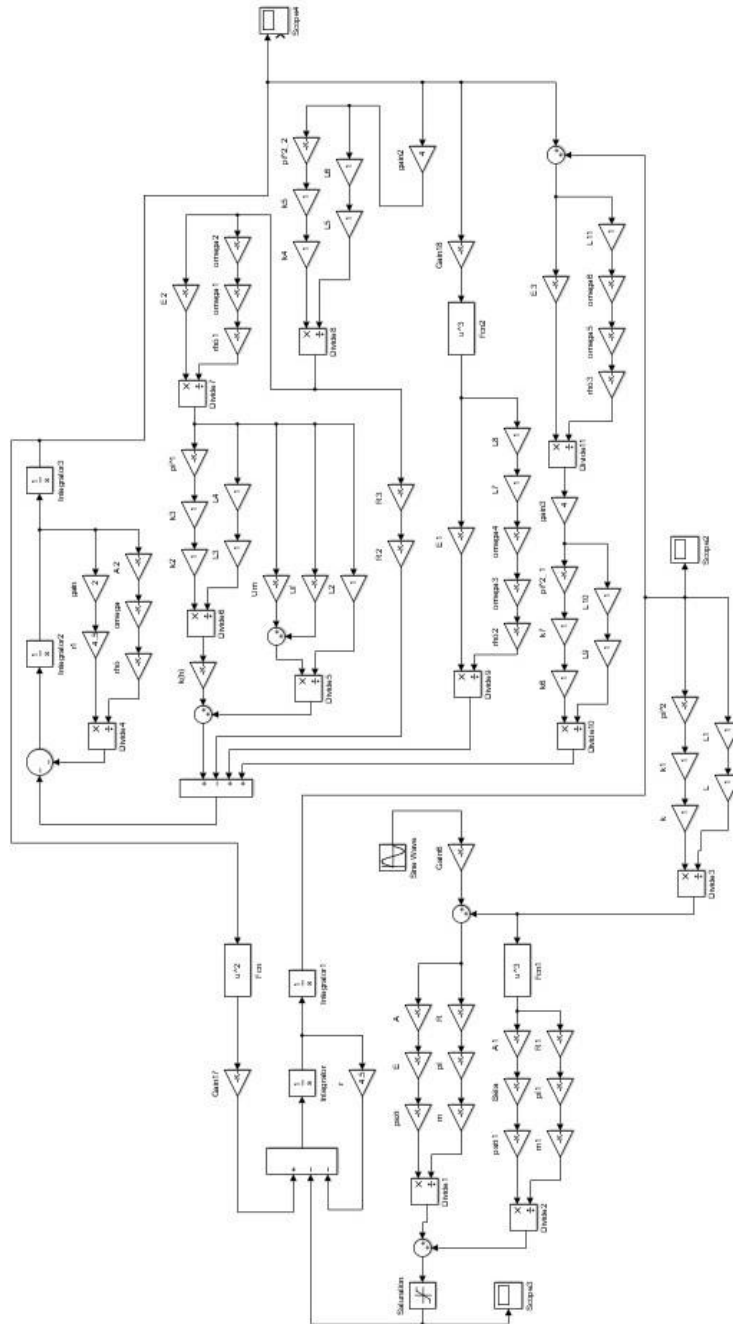
3. Kiegészített szióhajtással kombinált főhajtás Simulink modellje

A főorsó csavarólengéseinek vizsgálata szempontjából a vékonyfalú, körgyűrű keresztmetszetű rúd szilárdságtani összefüggései kerülnek felhasználásra. A Simulink környezetben történő modellezéshez előállítjuk a csavarólengést leíró differenciálegyenlet blokkvázlatát az *Hiba! A hivatkozási forrás nem található.* szerint.

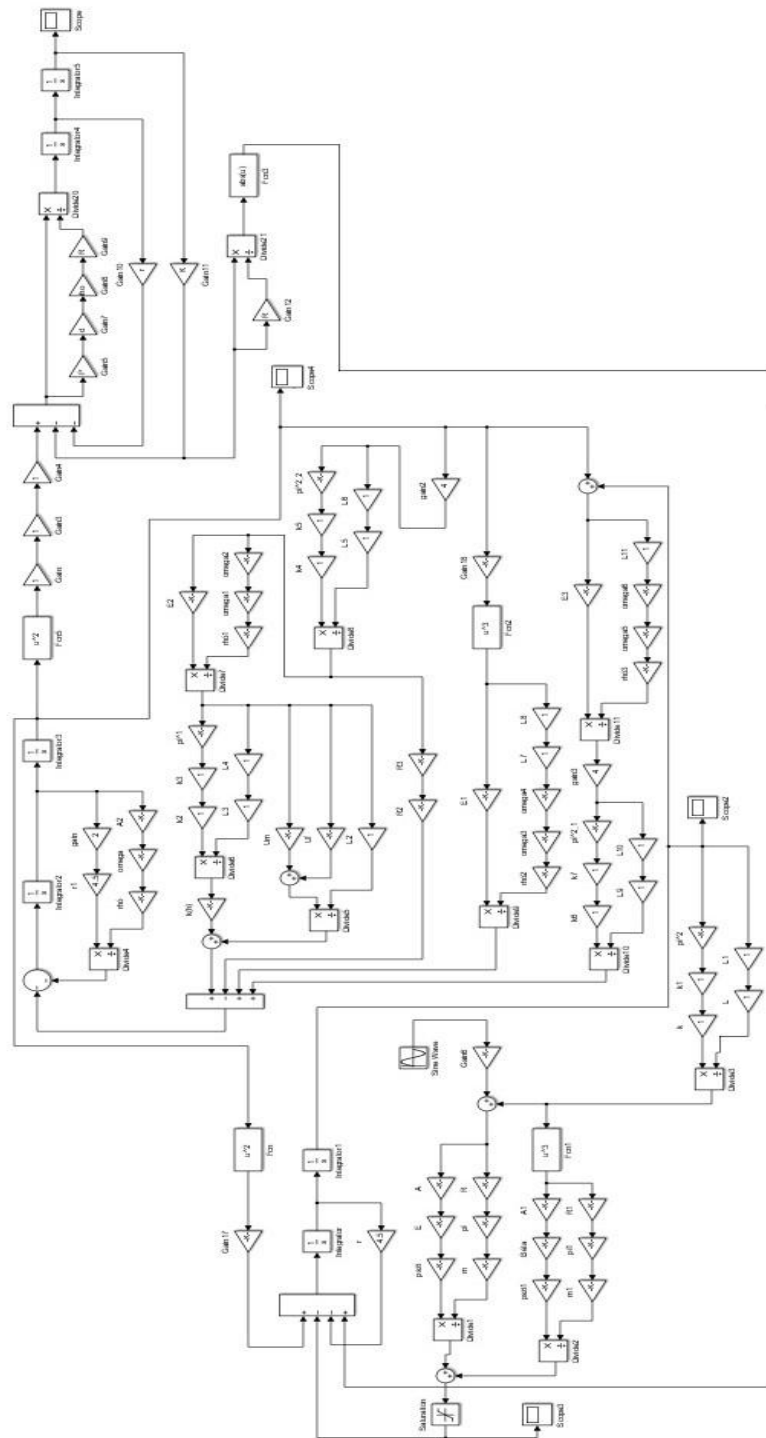


5. ábra. A csavarólengések vizsgálatára alkalmas differenciálegyenlet egyszerűsített, összevont blokkvázlata, az eddigi meglévő (kiegészített sziyhajtás) rendszerébe illeszthető formában: J a főorsó tehetetlenségi nyomatékát; r a rezgőrendszer csillapítását; K a rugómerevségét jelöli

Könnyű belátni, hogy az alkalmazott gerjesztést a transzverzális szijlengés amplitúdójával négyzetesen arányosnak célszerű feltételezni, amennyiben első lengéskép létezésével számolunk. Erre utal a blokkvázlat bemenetén lévő négyzetes függvény.

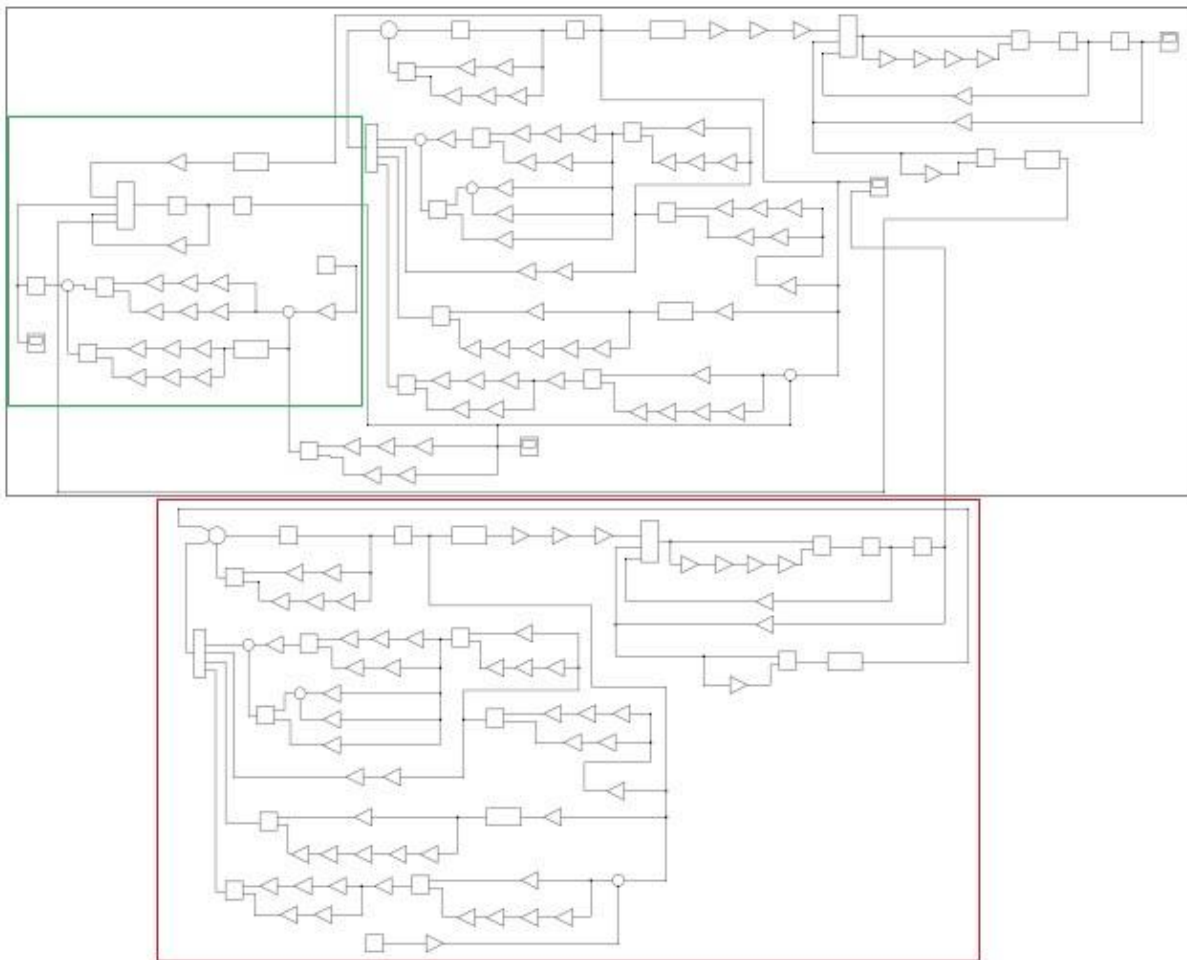


6. ábra. A színhajtás kiegészített (szíjtárcsán elhelyezkedő szíj és a szíjág rezgőrendszerének) blokkvázlata



7. ábra. Csavarórendések vizsgálatára alkalmas kiegészített, részletes Simulink modell

Továbbá az így létrejött szíj irányú elmozdulást, ha megszorozzuk a szíj E rugómerevségével és az A keresztmetszetével, akkor megkapjuk közelítőleg a szíj irányú erőt. Ezt az erőt megszorozva a szíjtárcsa R sugarával megkapjuk azt a gerjesztő nyomatéklengést, amelyet a szíjhajtás transzverzális lengése generál. Ezen nyomatékokat feltételezzük a csavarólengésre hajlamos főorsó gerjesztéseként. Azonban a gerjesztett rezgésnek a „válasza” visszahat a szíjtárcsa kerületére, amely szintén szíj irányú erőt generál, amely visszahat a szíjtárcsa mentén elhelyezkedő csúszás előtti alakváltozást szenvedő szíjelemre, majd azon keresztül pedig a szíjára. A csavarólengésből adódó szögelfordulás mértékének abszolútértékét célszerű választani, mivel ezen cikk keretében az egyik szíjára terjed ki a vizsgálat.



8. ábra. A szíjtárcsa mentén lévő rezgőrendszerrel kiegészített rendszer, és a kiegészítés nélküli rendszer numerikus eredményeinek ábrázolása közös koordináta rendszerben (a pirosan keretezett rész a kiegészítés nélküli, szabad szíjág mozgásegyenlete a főorsó csavarlengéseinek mozgásegyenletével kapcsolva; a zölden keretezett rész az új, szíjtárcsa mentén lévő szíj, mint rezgőrendszer modellje; a feketén keretezett rész pedig a szíjtárcsa mentén lévő rezgőrendszer, a szabad szíjág és főorsó csavarólengésének mozgásegyenleteinek összekapcsolása)

A Hiba! A hivatkozási forrás nem található. ábrán látható részletes, főorsó csavarólengések és szíj-ág transzverzális lengések vizsgálatára alkalmas Simulink modell numerikus eredményei alapján megállapítottam, hogy azonos amplitúdójú, de eltérő lengésképek alakulhatnak ki az eredeti rendszerhez képest, a főorsót viszonylag magas frekvenciával gerjesztve. Az összehasonlító számításokat a **Hiba! A hivatkozási forrás nem található.** alapján modelleztem, erről állapítható meg az újonnan figyelembe vett, szíjtárcsa mentén elhelyezkedő szíj, mint rezgőrendszer hatása az eredeti rendszerhez képest. Az eredmények pontosításához, az újonnan figyelembe vett előbb említett rezgőrendszer gyakorlati felhasználásához további mérési és számítási eredményekre van szükség.

4. Összefoglalás

Előállítottuk a teljes rendszer modelljét hatásvázlatos formában, amely Simulink szimulációs környezetben numerikusan eredményesen vizsgálható. Ily módon elemezhető a teljes rendszer tényleges, együttes viselkedése, összhatása. A paraméterek változtatásai során, a teljes rendszer és a szíj-ág transzverzális lengésének összehasonlító vizsgálata során megállapítottuk, hogy az előállt keresztirányú amplitúdók eltéréseket mutatnak azonos – elmozdulással történő – gerjesztés mellett. Kimutatások készíthetők a domináns lengésképekre és sajátfrekvenciáira vonatkozóan, amely a későbbi linearizálás és a szakaszosan nemlineáris „rugókaraktisztika” szakaszai „összeillesztésének” zárt alakú összefüggés származtatásának alapja lehet.

Előállítottuk a főorsó csavarólengések egyszabadságfokú lineáris mozgásegyenletét, a numerikus vizsgálatra alkalmas blokkvázlatát, majd összeillesztettük Simulink környezetben a csavarólengések, a szíj-ág és a szíjtárcsa mentén létrejövő szíj alkotta rezgőrendszer modelljét. Megállapítottuk, hogy az újonnan figyelembe vett szíjtárcsa mentén létrejövő szíj alkotta rezgőrendszer eredményeképpen eltérő lengésképek léptek fel a 8. ábra számítási eredményei alapján, összehasonlítva az eredeti mozgásegyenlet megoldásával, azonos zavaró hatások mellett.

Irodalom

- [1] Ottrosinka, T., Simon, G., Beleznai, R.: Lapos szíjjal hajtott szerszámgép főorsók stabilitás vizsgálata, Kolozsvár, 2005.
- [2] Knoll, I.: Szíj-, lánc-, kötél-és dörzshajtások, Budapest, Műszaki Könyvkiadó, 1985.
- [3] Takács, Gy.: Gyártóeszközök módszeres tervezése, Miskolc, Nemzeti Tankönyv Kiadó, 2011.
- [4] Takács Gy., Korszerű szerszámgépek előadás anyag, Miskolci Egyetem.
- [5] Patkó, Gy.: Dinamikai eredmények és alkalmazások a géptervezésben, Miskolc, Miskolci Egyetem Habilitációs Füzetek, 1998.
- [6] Patkó, Gy., Kollányi, T.: On transverse vibrations of belt, in Miskolci Egyetem, Miskolc, 2004.
- [7] Tóth, J.: Automatika, Budapest, Terc Kft., 2013.
- [8] Dooroo, K.: Dynamic modeling of belt drives using the elastic/ perfectly plastic friction law, Georgia Institute of Technology, 2000.
- [9] Hans, K.: Nichlineare Mechanic, Berlin-Göttingen-Heidelberg, Springer Verlag , 1958.
- [10] Faragó, K.: Szijszámítással kombinált szerszámgép nemlineáris rezgései, Kandidátusi értekezés, Miskolci Egyetem, 1986.
- [11] Csáki, F.: Irányítástechnikai Kézikönyv, Budapest, Műszaki Könyvkiadó, 1977.
- [12] Csáki, F.: Korszerű szabályozásméletek, Budapest, Akadémiai Kiadó, 1970.