

KAWASAKI ROBOT SZIMULÁCIÓJA ÉS MEGFOGÓJÁNAK REZGÉSVIZSGÁLATA

VIBRATION ANALYSIS OF THE END EFFECTOR AND SIMULATION OF A KAWASAKI ROBOT

Tóth Gábor, MSc hallgató, Szabó Tamás, PhD

Abstract: This paper deals with the vibration analysis of the end effector of an industrial robot. The vibration is forced by a pneumatic vibrator, which justifies the design of the mass-spring system model. The force and torque due to vibration excited on the robot is determined. In addition to this the motion of the robot is also simulated.

1. BEVEZETÉS

A robotok alkalmazása egyre nagyobb teret nyer az ipari folyamatok automatizálásában. Többek közt ilyen terület a porfestési technológia is [1], amelynél a hevített munkadarabot a robot a festékpont tartalmazó fluidágyba meríti. A munkadarabra nem ráolvadó felesleges port el kell távolítani. Ennek egyik leghatékonyabb módja a munkadarab rezgetése. A rezgő rendszer tervezésénél figyelemmel kell lenni a robotra ható reakcióerőre és a rezonancia jelenségére. Lineárisan gerjesztett rezgéseket számos könyv illetve egyetemi jegyzet részletesen tárgyalja [4], [5].

A vizsgált 6 szabadságfokú Kawasaki robot tartalmaz egy paralelogramma mechanizmust is. Ahhoz, hogy az adott robotot a szokásos Denavit-Hartenberg paraméterekkel ([2], [3]) könnyen leírassuk egy virtuális csuklót és tagot vezetünk be.

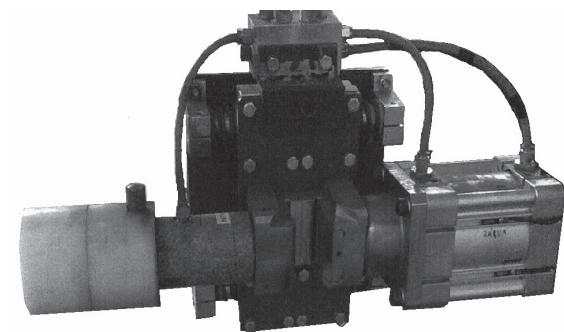
A megfogó szerkezeten alkalmazott rezgető berendezés modellezésével, a rugók méretezésével és a rezgés során fellépő erők meghatározásával a második fejezet

foglalkozik. A harmadik fejezet a robot egy ciklus alatt végzett mozgásának szimulációját mutatja be.

A cikk végén rövid összegzés található az elvégzett kutatásról és eredményeiről.

2. KAWASAKI ZX165U ROBOT MEGFOGÓJÁNAK REZGÉSVIZSGÁLATA

A robot zárótagjára az 1. ábrán látható egyedi szerkezet került felszerelésre, amelynek jobb oldalán egy pneumatikus munkahenger biztosítja a munkadarab megfogását. A megfogó szerkezet másik oldalára pedig egy pneumatikus vibrátor került felszerelésre. A megfogó berendezés a pneumatikusan működtetett elemekkel együtt vízszintes irányban képes elmozdulni a két-két azonos rugó erőhatásának ellenében. A rugók alaphelyzetben nincsenek előfeszítve, így a megfogó valamely irányú elmozdulásakor kizárólag az azzal megegyező oldalra szerelt rugópár szenved alakváltozást.



1. ábra. A pneumatikus elemekkel felszerelt megfogó

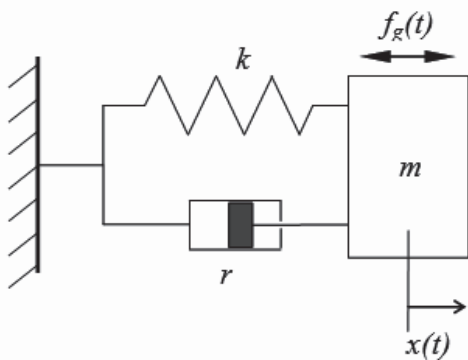
A pneumatikus rezgető működtetésével eltávolítja a fölösleges festékpont. A rezgő rendszer a 2. ábrán vázolt egyszabadságfokú modellel írható le. Az m tömeg a megfogó

egység, a pneumatikus aktuátorok és a munkadarab tömegének összegét jelenti. A k rugómerevség a kitéréskor működő két párhuzamosan kötött rugó merevségének összege. A rezgőrendszer szerkezeti csillapítását az r jelöli.

A gerjesztett egyszabadságfokú csillapított rezgőrendszer differenciálegyenlete a következő alakban írható:

$$m\ddot{x} + r\dot{x} + kx = F_{g0} \cos(\omega t), \quad (1)$$

ahol x az elmozdulás, \dot{x} a sebesség, \ddot{x} a gyorsulás, az F_{g0} a gerjesztő erő amplitúdója, ω a pneumatikus rezgető körfrekvenciája és t az idő. A rendszer energiájának disszipációja első sorban a rugók szerkezeti csillapításából származik, azonban ennek tényleges értéke általában nem áll rendelkezésre.



2. ábra. A rezgés modellje

Az (1) egyenletet elosztva az m tömeggel, és az $\alpha^2 = \frac{k}{m}$, $2\alpha\xi = \frac{r}{m}$, $f_0 = \frac{F_{g0}}{m}$ jelölések bevezetésével a differenciálegyenlet komplex homogén megoldása az alábbi alakban írható fel:

$$z(t) = \frac{f_{g0}}{\alpha^2 - \omega^2 + i2\xi\alpha\omega} e^{i\omega t}, \quad (2)$$

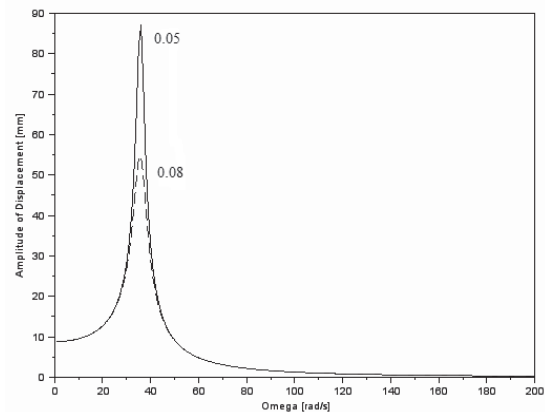
ahol α a rendszer sajátkörfrekvenciáját, ξ a Lehr-féle csillapítást és i az imaginárius egységet jelöli.

4.1. A rezgés amplitúdójának meghatározása

A (2) homogén megoldás exponenciális tag előtti tényezőjének abszolút értéke a rezgés A amplitúdóját jelenti:

$$A = \frac{f_{g0}}{\sqrt{(\alpha^2 - \omega^2)^2 + 4(\xi\alpha\omega)^2}}, \quad (3)$$

Ha a gerjesztés ω értéke jóval nagyobb az α sajátkörfrekvenciánál, akkor a kitérés amplitúdója lecsökken és így a robotra átadódó erő nagysága is kicsi marad. Ezt szem előtt tartva a tervezés során a sajátkörfrekvenciát a rezgető sajátkörfrekvenciájának ötödere választjuk, azaz $\alpha = \omega/5$. A rezgetett tömeg $m = 50$ [kg], a gerjesztés körfrekvenciája $\omega = 179,1$ [rad/s] és a gerjesztő erő amplitúdója pedig $F_{g0} = 565$ [N]. A (3) alapján számolt rezonancia görbék a 3. ábrán láthatók két felvett $\xi = 0,05$ és $\xi = 0,08$ csillapítás esetén. A kitérés amplitúdója ezekben az esetekben kb. 0,42 [mm].



3. ábra. A rendszer rezonanciagörbéje

4.2. A robotra átadódó erő és nyomaték

Az 2. ábra alapján a robotra állandósult állapotban ható F_r erő

$$F_r(t) = r\dot{x} + kx. \quad (4)$$

A (4)-be helyettesítve a (2) megoldást, az erő komplex alakban írható fel:

$$F_r(t) = (i\omega r + k) \frac{f_{g0}}{\alpha^2 - \omega^2 + i2\xi\alpha\omega} e^{i\omega t}. \quad (5)$$

Az erő amplitúdója:

$$|F_r(t)| = \frac{f_{g0} \sqrt{\alpha^4 + 4(\xi\alpha\omega)^2}}{\sqrt{(\alpha^2 - \omega^2)^2 + 4(\xi\alpha\omega)^2}}. \quad (6)$$

Az m tömeg (munkadarab) tömegközéppontja a zárótag forgástengelyéhez képest merőlegesen $s_m = 0,5$ [m] távolságra van. Mivel a rezgetővel létrehozott erő metszi a zárótag tengelyét, ezért csak a kinetikai vektor nyomatékából származik a zárótag tengelyét terhelő M_t nyomaték:

$$M_t = s_m m \ddot{x}. \quad (7)$$

Állandósult esetben a nyomaték amplitúdójának abszolút értéke:

$$|M_t| = \frac{s_m m \omega^2 f_{g0}}{\sqrt{(\alpha^2 - \omega^2)^2 + 4(\xi \alpha \omega)^2}}. \quad (8)$$

A felvett értékeknél $|M_t| = 336$ [Nm], amely kisebb a zárótag csuklójára megengedett 450 Nm határértéknél.

4.3. A rugók méretezése

A rugók méretezése az $\frac{\omega}{5} = \alpha = \sqrt{\frac{k}{m}}$ összefüggésen alapul. A k rugómerevség értelmezésénél [5] figyelembe kell venni, hogy értéke két azonos méretű rugó merevségéből adódik, így

$$\alpha^2 m = k = \frac{2 I_p G}{r^2 l}, \quad (9)$$

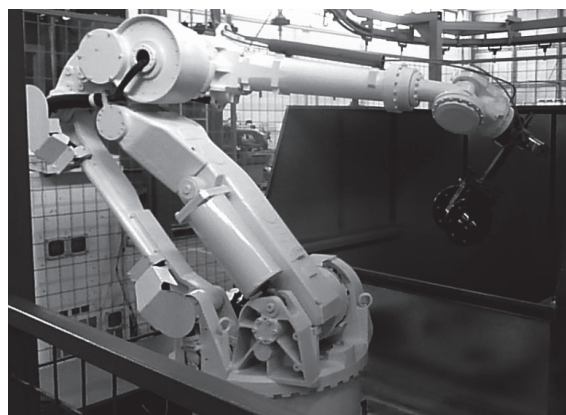
ahol I_p a rugószál keresztmetszetének poláris másodrendű nyomatéka, G az acél csúsztató rugalmassági modulusa, l a rugószál hossza és r a rugó közepes sugara. A méretezésnél ismert értékek: $r = 15$ [mm], $l = 410$ [mm], $G = 79,3$ [GPa].

A (9) formula alapján a rugó szálátmérője:

$$d = \sqrt[4]{32 \frac{I_p}{\pi}} = \sqrt[4]{32 \frac{\alpha^2 m l r^2}{2 G \pi}} \cong 4$$
 [mm]. (10)

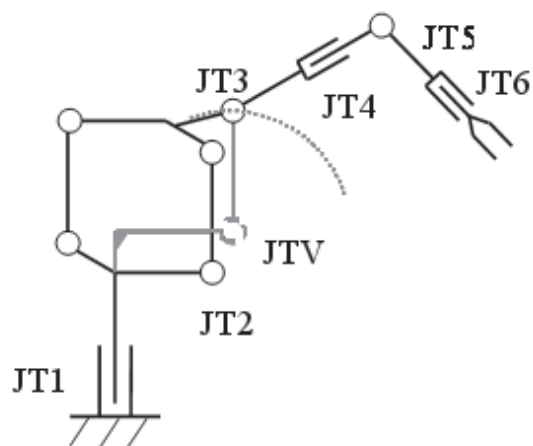
3. A ROBOT MOZGÁSÁNAK SZIMULÁCIÓJA

A Kawasaki ZX165U robotot a 4. ábra szemlélteti. A roboton lévő paralelogramma mechanizmus leírása néhány megfontolást tesz szükségessé, ami az 5. ábra alapján magyarázható.



4. ábra. A robot felépítése

A JT3 csukló mozgásának leírása egy virtuális, a paralelogramma mechanizmust nélkülöző csuklóval is megvalósítható.

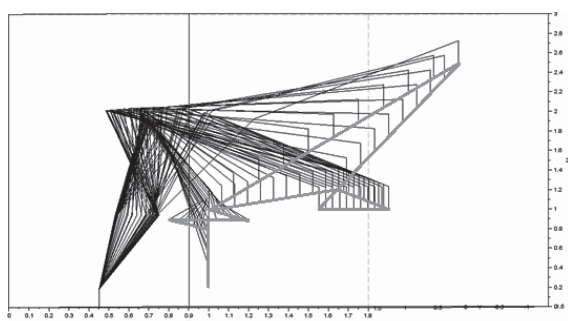


5. ábra. Az eredeti és a helyettesítő modell

A paralelogramma mechanizmusból adódóan a robot JT3 jelű csukló utáni tagjainak orientációja független a JT2 csukló szögelfordulásától. A JTV virtuális csukló a JT3 csuklót a paralelogramma mechanizmus JT2-hez csatolt nem fix tagjának hosszával megegyező sugarú körpályán mozgatja. A paralelogramma mechanizmus a JT3 pályájának translációs mozgását a JTV és JT3 csuklók közötti virtuális tag szögelfordulással valósítja meg. A JTV szögelfordulása azonosnak tekinthető JT2 csuklóival. A paralelogramma mechanizmusnak megfelelő orientáció biztosításához azonban a JT3 szögelfordulását módosítani kell a JTV szögelfordulásával a modellen.

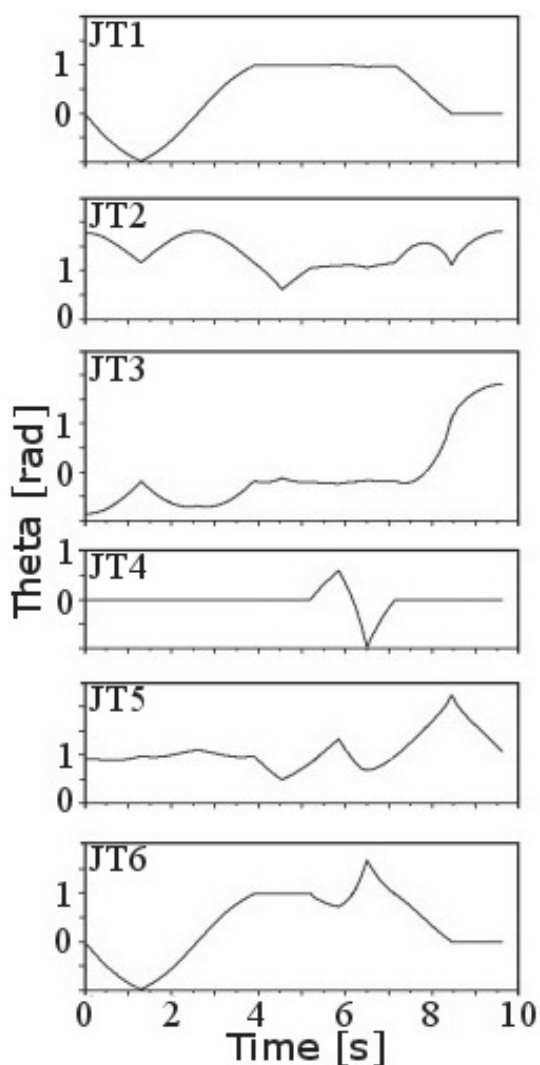
A robot mozgásának szimulálására egy célprogram került kifejlesztésre SCILAB szoftverben. A program a 6. ábra szerint szimulálja a robot mozgását az adott porfestési technológiánál. A fekete vonalak diszkrét

pozíciókban ábrázolják a modellt, a szürke vonalak pedig a megfogó pályáját szemléltetik.



6. ábra. A robot szimulált mozgása

Meghatározásra kerültek a JT1-JT6 csuklók szögelfordulásai is az idő függvényében, melyek a 7. ábrán figyelhetők meg.



7. ábra. Csuklók szögelfordulásai

Az éles törések a szakaszonként definiált állandó sebességnek tulajdoníthatók, melyek szükség esetén ún. trajektória tervezéssel simíthatók [2].

4. ÖSSZEFOGLALÁS

A megfogó szerkezet gerjesztett rezgésének modellezésével a rendszert sikerült úgy hangolni, hogy a rezgés amplitúdója és ezáltal a robotra ható erő, illetve nyomaték megfelelő határértéknél kisebb legyen. A rugó merevségét, azaz a rugószál átmérőjét a rezgőrendszer modelljével határoztuk meg.

A Kawasaki ZX165U robot paralelogramma mechanizmusa egy virtuális taggal került helyettesítésre, így a Denavit-Hartenberg paraméteres leírás egyszerűen alkalmazhatóvá vált. Elkészült egy célprogram, mely képes a robot programozott pályájának szimulálására és a csuklószőgek időfüggvényeinek meghatározására az adott perfestési folyamatnál.

Köszönetnyilvánítás: A kutatómunka a Miskolci Egyetem stratégiai kutatási területén működő Mechatronikai és Logisztikai Kiválósági Központ keretében valósult meg.

5. IRODALOM

- [1] Arthur A. Tracton: Coating Technology Handbook. CRC Press Taylor and Francis Group. Boca Raton, FL, 2005.
- [2] Mark W. Spong, Seth Hutchinson, M. Vidyasager: Robot Modeling and Control. John Wiley & Sons, Inc. USA, 2006.
- [3] Király B.: Ipari robotok kinematikai és dinamikai elmezése. Miskolci Egyetemi Kiadó. Miskolc, 1995.
- [4] Király B.: Dinamika (Kinematika, Kinetika, Rezgésstan). Miskolci Egyetemi Kiadó. Miskolc, 2006.
- [5] Égert J., Jezsó K.: Mechanika/Rezgésstan. Széchenyi István Egyetem. Győr, 2006.