

ENGINE DRIVE WITH LOCKING MECHANISMS

J. Mudrik*

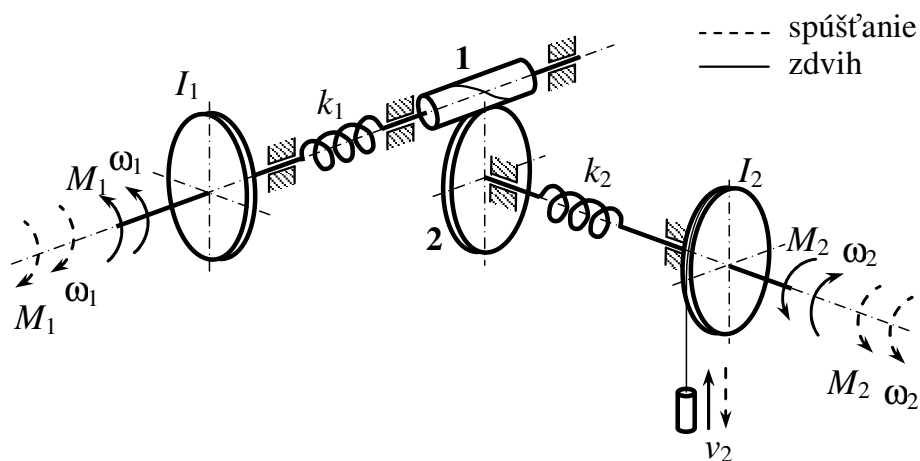
Summary: Contribution deals with machine aggregates with locking elements (worm gearings and cross-axis helical gearings). Vibrational processes in aggregates with locking mechanism show specific features when compared against classical toothed gearings and paper points out particularly to these features.

1. Úvod

Samozvorné mechanizmy sa vďaka svojim špecifickým vlastnostiam úspešne používajú v strojových agregátoch pracujúcich pri rýchle sa meniacich zaťaženiach a tam, kde je vyžadovaná veľká presnosť a rovnomernosť posuvov pracovných orgánov. Samozvorné mechanizmy sú rozšírené v ľahkých stavebných, zdvíhacích, dopravných zariadeniach obrábacích strojoch, elektromechanických upínacích zariadeniach a pod.

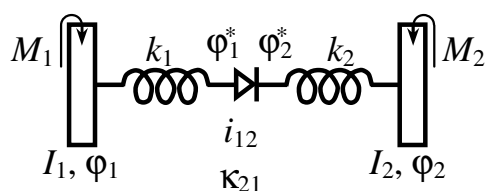
2. Charakteristiky a režimy práce

Uvažujeme mechanizmus pohonu stavebného výťahu tvoreného závitkovým prevodom (Obr.1), ktorého dynamický model je na Obr.2.



Obr. 1 Kinematická schéma pohonu stavebného výťahu

* Doc. Ing. Jozef Mudrik, CSc.: Materiálovotechnologická fakulta v Trnave, Slovenská technická univerzita, Paulínska 16; 917 24 Trnava; Slovenská republika; e-mail: jozef.mudrik@stuba.sk



Obr.2 Dynamický model pohonu so samozvorným mechanizmom

Jednotlivé symboly v Obr.1 a Obr.2:

I_1, I_2 -momenty zotrvačnosti výstupných členov pohonu,

φ_1, φ_2 -uhlové výchylky výstupných členov,

ω_1, ω_2 -uhlové rýchlosti výstupných členov,

M_1, M_2 -vonkajšie krútiace momenty pôsobiace na výstupné členy,

φ_1^*, φ_2^* -uhly natočenia samozvornej dvojice,

$i_{12} = \frac{\omega_1}{\omega_2}$ -kinematický prevodový pomer, (1)

$\kappa_{12} = \frac{M_{21}}{M_{12}}$ -dynamický prevodový pomer, (2)

M_{12}, M_{21} -momenty pružných väzieb pôsobiacich zo strany mechanizmu na výstupné členy,

k_1, k_2 -koeficienty tuhosti spojovacích prvkov samozvornej dvojice.

Členy, cez ktoré sa privádza alebo odoberá energia sú nazvané výstupné členy. Pri ustálenom rovnomernom pohybe sa smer prenosu vonkajších momentov riadi znamienkom vonkajších výkonov P_1 a P_2 :

a) pri prenose od člena 1 k člen 2

$$P_1 = M_1 \omega_1 > 0, \quad P_2 = M_2 \omega_2 < 0, \quad (3)$$

b) pri prenose od 2 \rightarrow 1

$$P_1 = M_1 \omega_1 < 0, \quad P_2 = M_2 \omega_2 > 0. \quad (4)$$

Za týchto predpokladov vonkajšie momenty a uhlové rýchlosti považujeme za kladne orientované.

Člen, pre ktorý výkon vonkajších momentov je kladný, budeme nazývať hnacím členom, v opačnom prípade člen nazývame hnaným členom.

Straty v mechanizme pri ustálenom pohybe sú charakterizované koeficientom účinnosti η . Účinnosť prevodu je definovaná s ohľadom na znamienko výkonu ako podiel výkonu na hnanom a hnacom hriadeli, potom

- pri hnanom hriadeli s indexom 1:

$$\eta_{12} = -\frac{M_2 \omega_2}{M_1 \omega_1}, \quad (5)$$

- pri hnanom hriadeli s indexom 2:

$$\eta_{21} = -\frac{M_1 \omega_1}{M_2 \omega_2}. \quad (6)$$

Potom pre dynamický prevod daný vzťahom (2) s ohľadom na (5) a (6) dostaneme

$$\kappa_{12} = \begin{cases} -\frac{i_{21}}{\eta_{12}} & \text{- pri hnanom prvom člene,} \\ -i_{21}\eta_{21} & \text{- pri hnanom druhom člene.} \end{cases} \quad (7)$$

V reálnych sústavách dynamický prevodový pomer závisí od trecích síl v kinematických dvojiciach a od smeru prenosu síl a momentov.

V niektorých mechanizmoch je vplyv trecích síl taký veľký, že ustálený pohyb je možný iba vtedy, ak oba výstupné členy budú hnacie. V danom prípade, výkon vonkajších momentov sa rovná výkonu trecích síl v mechanizme

$$P_{tr} = M_1\omega_1 + M_2\omega_2. \quad (8)$$

Pri určovaní koeficientu účinnosti takýchto mechanizmov podľa vzťahov (5) a (6) dostaneme zápornú hodnotu koeficientu. To ale znamená, že vyšetrovaný mechanizmus nemôže po prekonaní pasívnych odporov vykonávať pohyb, teda práca vonkajších momentov pôsobiacich na výstupných členoch sa spotrebuje na prekonanie pasívnych odporov.

Mechanizmy s týmito vlastnosťami nazývame samozvornými.

V reálnych mechanizmoch sa samozvornosť prejavuje iba v jednom smere prenosu momentov, pričom v ďalšom budeme predpokladať, že pri prenose momentov od člena 1 a člena 2 proces samozvornosti nenastane.

Takýto režim práce sa nazýva trakčný režim. Pre trakčný proces platia vzťahy (7) pričom pre vnútorné momenty musí byť splnená podmienka $M_{21} > 0$; $M_{12} < 0$.

Režim, pri ktorom ustálený rovnomerný pohyb je možný iba pri obidvoch hnaných hriadeľoch, budeme nazývať režim odbrzdenia a je charakterizovaný koeficientom odbrzdenia definovaného vzťahom

$$\mu_{21} = \frac{P_1}{P_2} = \frac{M_1\omega_1}{M_2\omega_2}, \quad (9)$$

pričom člen s indexom 1 uvoľňuje mechanizmus, vďaka čomu je možný pohyb. Pre tento režim je charakteristické, že vnútorné momenty M_{21} a M_{12} majú rovnaké (kladné) znamienko.

Dynamický prevod s ohľadom na zavedený koeficient μ vzťahom (9) a nerovnosť $M_{21} < 0$; $M_{12} > 0$ - pre prenos od člena 2 k člena 1 môžeme vyjadriť vzťahom

$$\kappa_{21} = i_{21}\mu_{21}, \text{ resp. } \kappa_{12} = \frac{i_{12}}{\mu_{12}}. \quad (10)$$

Zo vzťahu (9) vyplýva, že pri $P_2 \rightarrow 0$ a konečnej hodnote P_1 koeficient $\mu_{21} \rightarrow \infty$ a dochádza k zaklíneniu mechanizmu, tj. nie je možný režim odbrzdenia.

Rozoberme režimy práce samozvorného mechanizmu pohonu stavebného výťahu Obr.1.

Pri zdvíhaní bremena závitovka 1 je hnací člen, závitovkové koleso 2 hnaný člen, ($M_1\omega_1 > 0$, $M_2\omega_2 < 0$, $\eta_{21} > 0$) sa realizuje trakčný režim.

V prípade spúšťania bremena sa realizuje režim odbrzdenia, závitovka i závitovkové koleso sú hnacie členy ($M_1\omega_1 > 0$, $M_2\omega_2 > 0$, $\mu_{21} > 0$).

3. Pohybové rovnice pohonu so samozvornými členmi

Uvažujeme pohon podľa Obr.1 s dynamickým modelom na Obr.2, ktorý predstavuje dvojkotúčová sústava s nehmotnou samozvornou dvojicou a pružnými členmi k_1 a k_2 , s prevodovým pomerom i_{12} a silovým prevodom κ_{12} (Stradiot & Mudrik, 1985).

Pohybové rovnice majú tvar

$$\begin{aligned} I_1 \ddot{\varphi}_1 + k_1(\varphi_1 - \varphi_1^*) &= M_1, \\ I_2 \ddot{\varphi}_2 - k_2(\varphi_2 - \varphi_2^*) &= -M_2. \end{aligned} \quad (11)$$

Momenty pružných väzieb môžeme vyjadriť v tvare

$$\begin{aligned} M_{21} &= \frac{\kappa_{21} k_1 k_2 (\varphi_2 - i_{21} \varphi_1)}{k_1 - i_{21} \kappa_{21} k_2}, \\ M_{12} &= \frac{k_1 k_2 (\varphi_2 - i_{21} \varphi_1)}{k_1 - i_{21} \kappa_{21} k_2}. \end{aligned} \quad (12)$$

Režimy pohybu samozvorného mechanizmu (trakčný odbrzdenia) pre relatívnu súradnicu

$$\varphi = \varphi_2 - \varphi_1, \quad (13)$$

závisia od znamienka φ a charakterizuje ich koeficient silového prevodu

$$\kappa_{21} = -\frac{i_{21}}{\eta_{12}} \quad \text{pre } \varphi < 0 \quad \text{- trakčný režim,} \quad (14a)$$

$$\kappa_{21} = -i_{21} \mu_{21} \quad \text{pre } \varphi > 0 \quad \text{- režim odbrzdenia.} \quad (14b)$$

Aby nenastalo zaklínenie v samozvornej, kinematickej dvojici musí byť tiež podmienka

$$k_1 - i_{21} \kappa_{21} k_2 > 0, \quad (15)$$

resp. s ohľadom na (14a, 14b) podmienka

$$k_1 - i_{21}^2 \mu_{21} k_2 > 0, \quad \text{pre } \varphi > 0. \quad (16)$$

S ohľadom na (12) a (13) a za predpokladu: $i_{21} = 1$, $M_1 = \text{konšt.}$, $M_2 = \text{konšt.}$, $\kappa_{12} = \text{konšt.}$, môžeme sústavu rovníc (11) prepísať do tvaru

$$\ddot{\varphi} + \frac{I_1 - \kappa_{21} I_2}{I_1 I_2} \cdot \frac{k_1 k_2}{k_1 - \kappa_{21} k_2} \varphi = -\left(\frac{M_2}{I_2} + \frac{M_1}{I_1} \right). \quad (17)$$

Z uvedených predpokladov trakčný režim aj režim odbrzdenia možno opísať lineárnou diferenciálnou rovnicou, pričom musia byť splnené doplnujúce podmienky

$$\begin{aligned} k_1 - \mu_{21} k_2 &> 0, \\ I_1 - \kappa_{21} I_2 &> 0. \end{aligned} \quad (18)$$

Vlastná kruhová frekvencia kmitania sústav so samozvornou kinematickou dvojicou je daná vzťahom

$$\omega_0^2 = \frac{I_1 - \kappa_{21} I_2}{I_1 I_2} \cdot \frac{k_1 k_2}{k_1 - \kappa_{21} k_2}. \quad (19)$$

Proces kmitania sústav so samozvornými mechanizmami má takto oproti sústavám s ozubenými prevodmi svoje špecifiká dané doplnujúcimi podmienkami (15), (16) a (18).

4. Záver

Na základe analýzy lineárneho dynamického modelu uvedeného v predkladanej práci možno konštatovať, že pohon so samozvorným členom je charakterizovaný dynamickými režimami (ťažný, odbrzdzenia a zaklínenia). Prítomnosť samozvorného člena vnáša do sústavy nelinearity, ktoré spravidla nemôžu byť opísané do sústavy lineárnymi alebo linearizovanými modelmi.

Presnejšie modely možno zostaviť zahrnutím momentovej charakteristiky motora, ďalej periodického zaťaženia hnaného člena, prípadne zahrnutím pružných a tlmiacich vlastností spojovacích elementov (Vejc, 1983).

V samozvorných mechanizmoch pri niektorých režimoch práce majú veľký vplyv vôle v kinematických dvojiciach. Vo výskume ozubených mechanizmov so samozvornými mechanizmami sa v poslednom období kladie dôraz na zvyšovanie ich účinností (Kushelov, 1998) a riešenie sústav s uvažovaním rázových režimov.

5. PodĎakovanie

Práca vznikla za finančnej podpory v rámci projektov KEGA-2/4154/06, AV-4/0102/06 a VEGA 1/2076/05.

6. Literatúra

Stradiot, J. & Mudrik, J. (1985) *Dynamika strojov*, ES SVŠT, Bratislava.

Vejc V. L. (1983) *Nelinejnyje zadachi dinamiky uprugosti mashin*, Leningrad.

Kushelov V.V. (1998) Samotorzjaschaja zubchataja peredacha s maximalnym KPD. In: *Proc. of the Conference - Theory and Practice of Gearing*, Izhevsk.

Nad' M., Labašová E. & Ďuriš R. (2000) Kontaktná analýza evolventného ozubenia s bokmi zubov upravenými povrchovými vrstvami, In: *Proc. of the Conference - Dynamics of Machine Aggregates*, Gabčíkovo.