

# VÝPOČET DYNAMICKÝCH CHARAKTERISTIK STROJNÍHO ZAŘÍZENÍ POMOCÍ MATLABU

Radek Havlíček<sup>1</sup>, Jiří Vondřich<sup>2</sup>

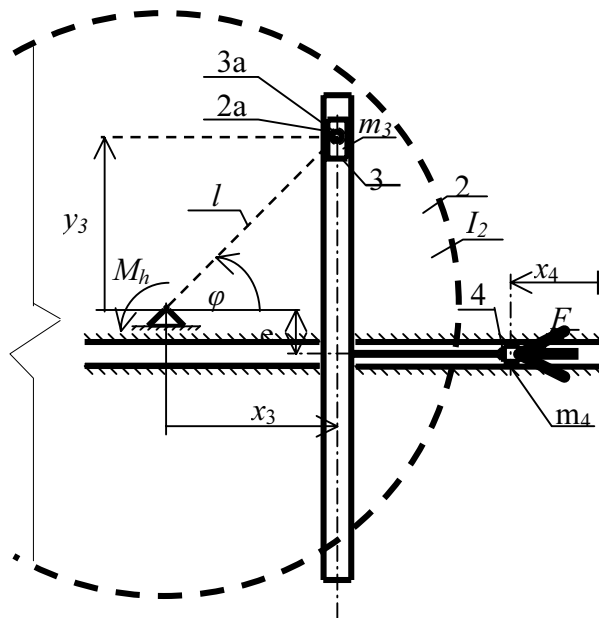
Katedra mechaniky a materiálů, Fakulta elektrotechnická ČVUT Praha

## Abstrakt

Jednotlivé části strojního zařízení - na vstupu poháněného elektromotorem a na výstupu zatěžovaném silami a momenty - jsou namáhány dynamicky. Příčiny dynamického namáhání mohou být např. nevyváženost rotujících částí, vůle v uložení, rozběhové charakteristiky hnacích motorů, nerovnoměrnost zatížení, konstrukce zařízení apod. Znalost dynamických charakteristik umožňuje posoudit chování zařízení, provést nový návrh jeho částí, popř. celého zařízení. V článku je uvedené numerické řešení matematického modelu strojního zařízení pomocí Matlabu - Simulinku.

## 1 Model zařízení a simulace hnacích momentových charakteristik

Dynamické charakteristiky, tj. posuv, popř. pootočení, rychlost, a zrychlení, síly, popř. momenty jednotlivých členů strojního zařízení je možné určit pomocí náhradního modelu zařízení, jeho popsání pohybovými rovnicemi, numerickým řešením pomocí Matlabu a simulováním různých provozních parametrů. Hnací síly, popř. momenty motorů, lze aproximovat matematickými vztahy, rovněž tak zatěžující síly, popř. momenty. Řešení bude ukázáno na modelu strojního zařízení (Obr. 1), převádějícím otáčivý pohyb členu 2 prostřednictvím čepu 2a, křížáku 3, a jeho uložení 3a na posuvný pohyb členu 4 pohybujícím se v uložení 4a.. Předpokládáme, že jednotlivé části zařízení jsou dokonale tuhé a neuvažujeme pasivní odpory. Soustava má jeden stupeň volnosti. Zajímá nás pohyb křížáku – souřadnice  $x_4$ , dále budeme vyšetřovat pohyb kotouče 2 – souřadnici  $\varphi$ .



Obr. 1 Model křížového klikového mechanismu

Člen 2 je poháněn asynchronním motorem jehož moment  $M_h$  je možné vyjádřit tzv. Klossovou momentovou charakteristikou

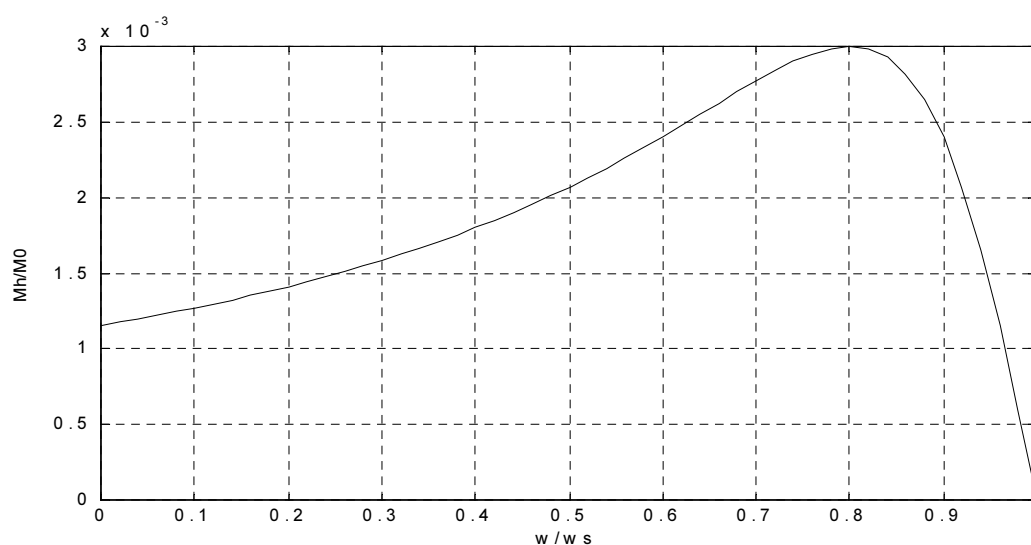
$$M_h = 2 M_0 s_k s / (s_k^2 + s^2),$$

kde  $s = 1 - \dot{\phi} / \dot{\phi}_s$ ,  $\dot{\phi}_s = \pi n_s / 30$ ,  $n_s = 1500 \text{ min}^{-1}$  je skluz úhlové rychlosti  $\dot{\phi}$  respektující synchronní úhlovou rychlost  $\dot{\phi}_s$  a  $s_k$  udává hodnotu skazu v okamžiku maximálního rozběhového momentu  $M_0$ . Při řešení byl simulován pohon 3 asynchronními motory jejichž parametry jsou uvedeny v Tab. 1.

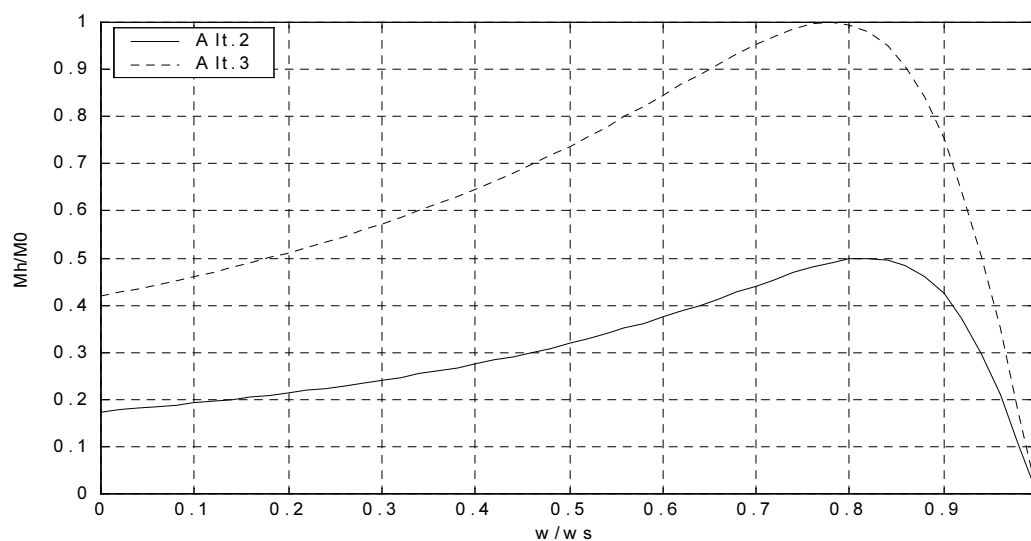
Tab. 1 Parametry hnacích motorů

Motor (alternativa)	$M_0$ [N.m]	$s_k$	$n_s$ [min <sup>-1</sup> ]
1	$3 \cdot 10^{-3}$	0,20	1500
2	$5 \cdot 10^{-1}$	0,18	1500
3	1	0,22	1500

Z výše uvedené Klossové momentové rovnice určíme pomocí Matlabu pro jednotlivé alternativy simulovaných asynchronních motorů průběhy hnacích momentů (Obr.2-alt.1, Obr.3-alt.2a alt.3).



Obr. 2 Momentová charakteristika hnacího asynchronního motoru - alt.1



Obr. 3 Momentová charakteristika hnacího asynchronního motoru - alt.1, alt.2

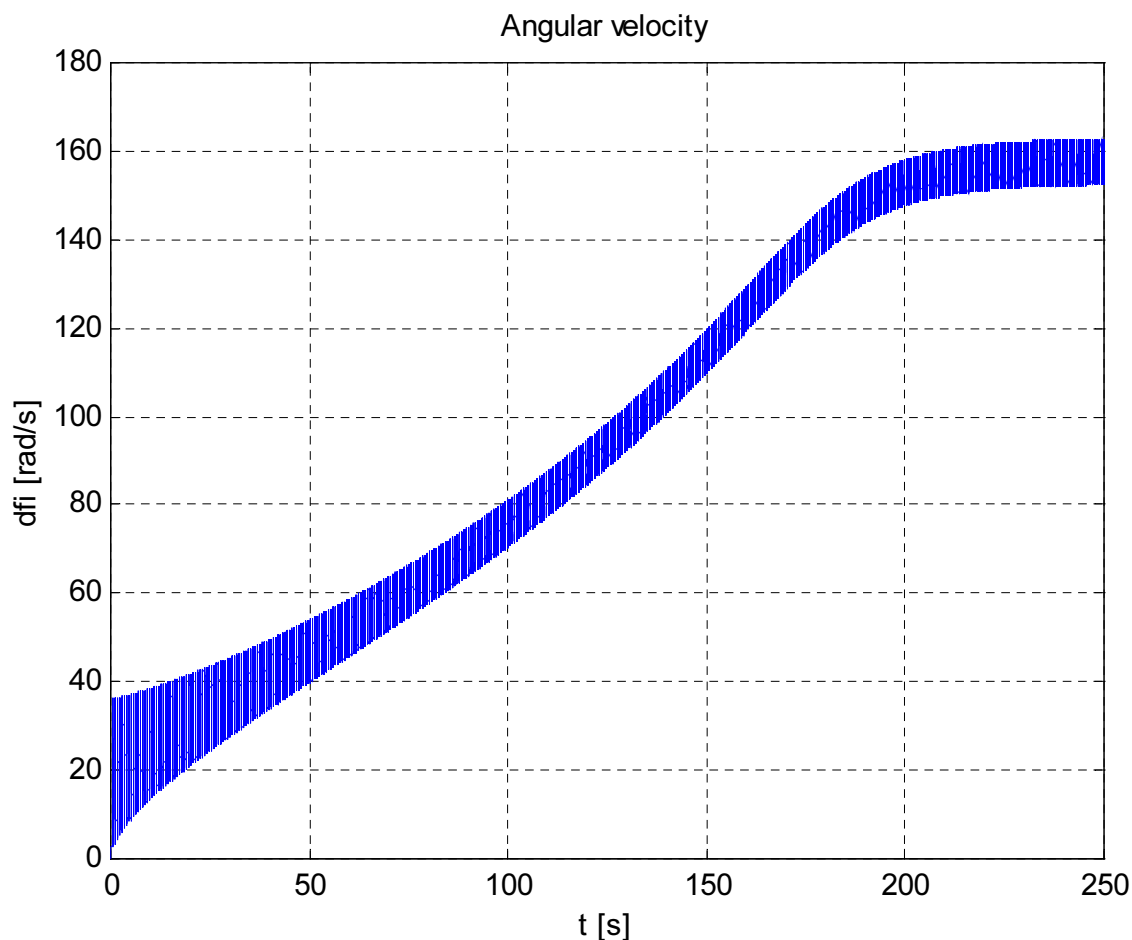
Pohybová rovnice popisující chování zařízení je

$$I_{(\varphi)} \ddot{\varphi} + \frac{1}{2} I'_{(\varphi)} \dot{\varphi}^2 = Q, \quad \text{kde} \quad I_{(\varphi)} = I_m - I_k \cos 2\varphi, \quad I'_{(\varphi)} = 2I_k \sin 2\varphi, \quad Q = Fl \sin \varphi + M_h,$$

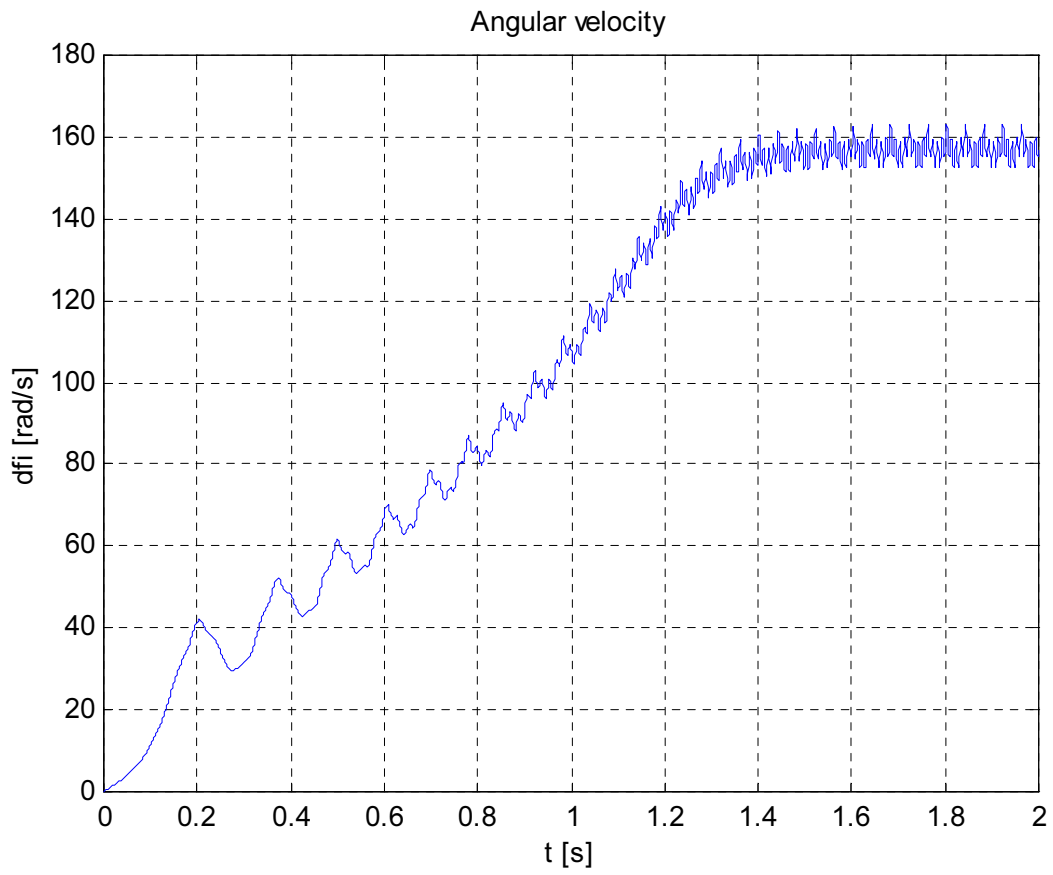
$$I_m = I_2 + m_3 l^2 + \frac{1}{2} m_4 l^2, \quad I_k = \frac{1}{2} m_4 l^2 \cos 2\varphi. \quad (1)$$

Parametry jednotlivých částí jsou  $I_2=4 \cdot 10^{-4} \text{ kgm}^2$ ,  $m_3=0,2 \text{ kg}$ ,  $m_4=0,1 \text{ kg}$ ,  $l=0,1 \text{ m}$ ,  $e=0,05 \text{ m}$ . Zatěžující síla působící na část 4 má pro všechny 3 alternativy velikost  $F=10 \text{ N}$ .

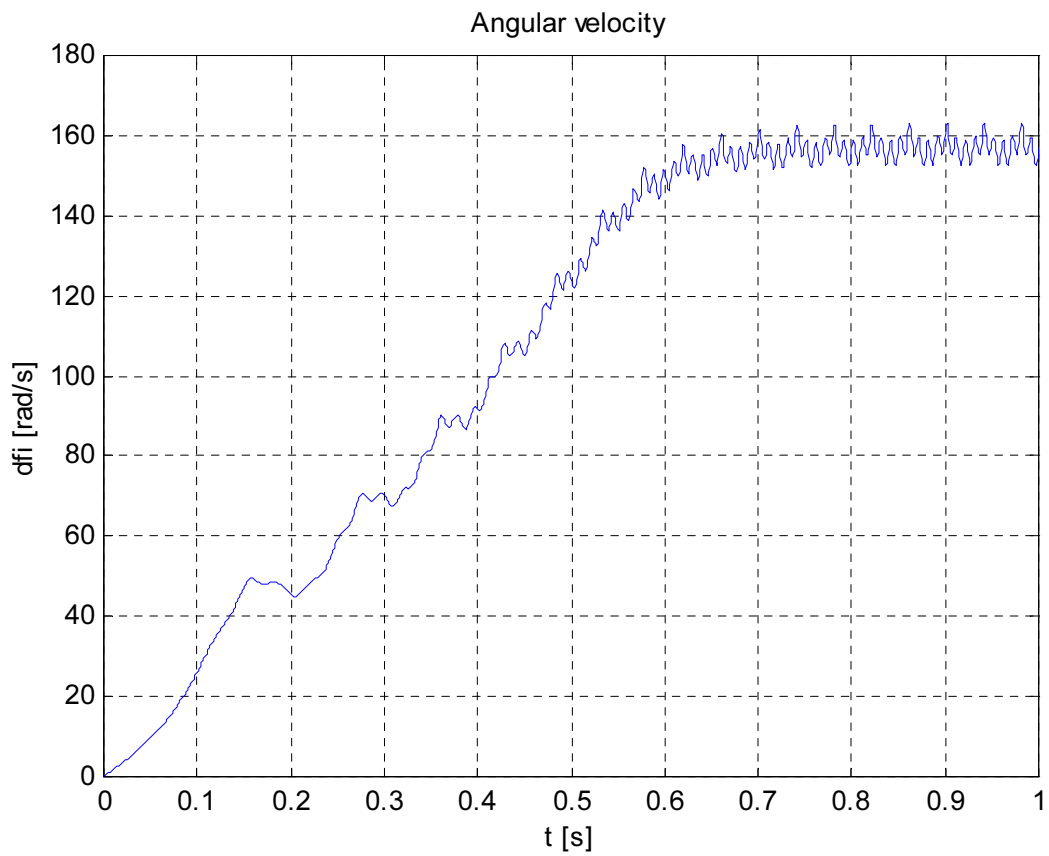
Dynamické charakteristiky při rozběhu zařízení, tj. úhlová rychlost kotouče 2:  $\dot{\varphi}$  (Obr.4 - alt. 1, Obr.5 - alt. 2, Obr.6 - alt. 3), rychlost křížáku 4:  $\dot{x}_4$  (Obr.7 - alt. 1, Obr.8 - alt. 2, Obr.9 - alt. 3) a výsledný hnací moment  $M_{h,r}$  (Obr.10 - alt. 1, Obr.11 - alt. 2, Obr.12 - alt. 3) v závislosti na čase pro jednotlivé alternativy hnacího asynchronního motoru byly numericky řešeny pomocí Matlabu. Simulinkové schéma je znázorněné na Obr. 13.



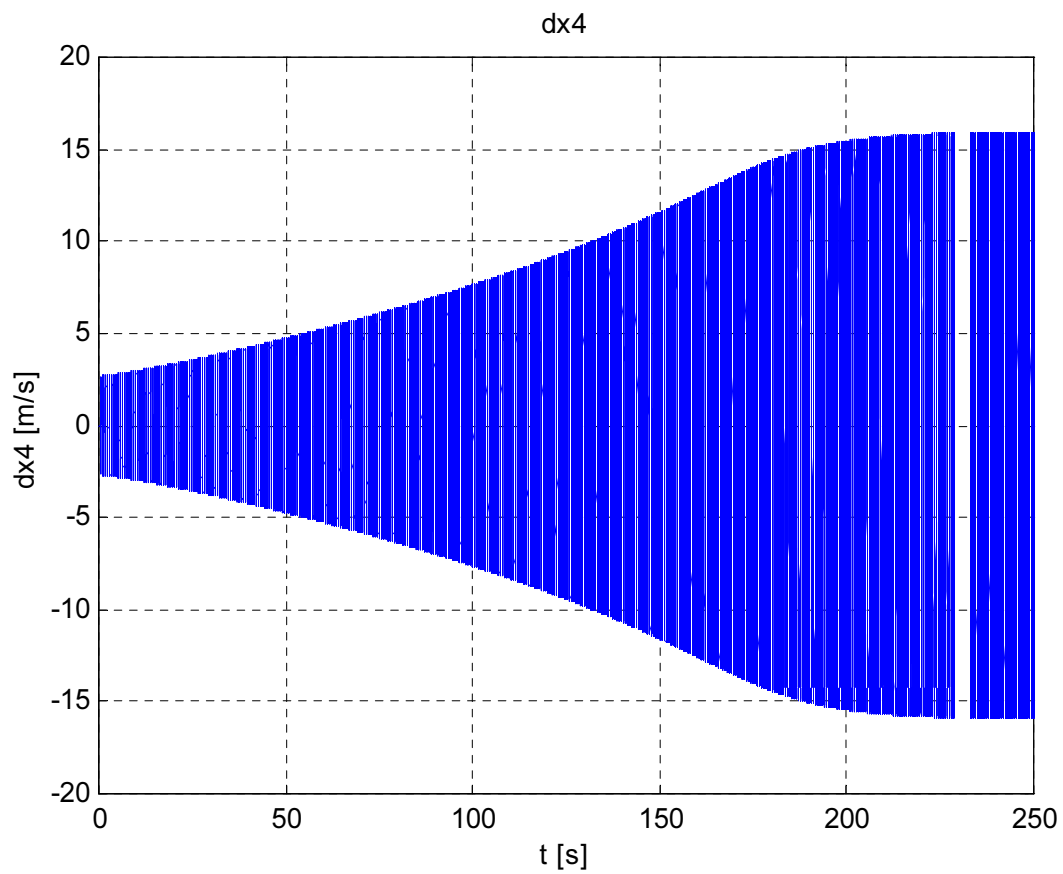
Obr. 4 Úhlová rychlost kotouče 2  $\dot{\varphi}$  – alt. 1



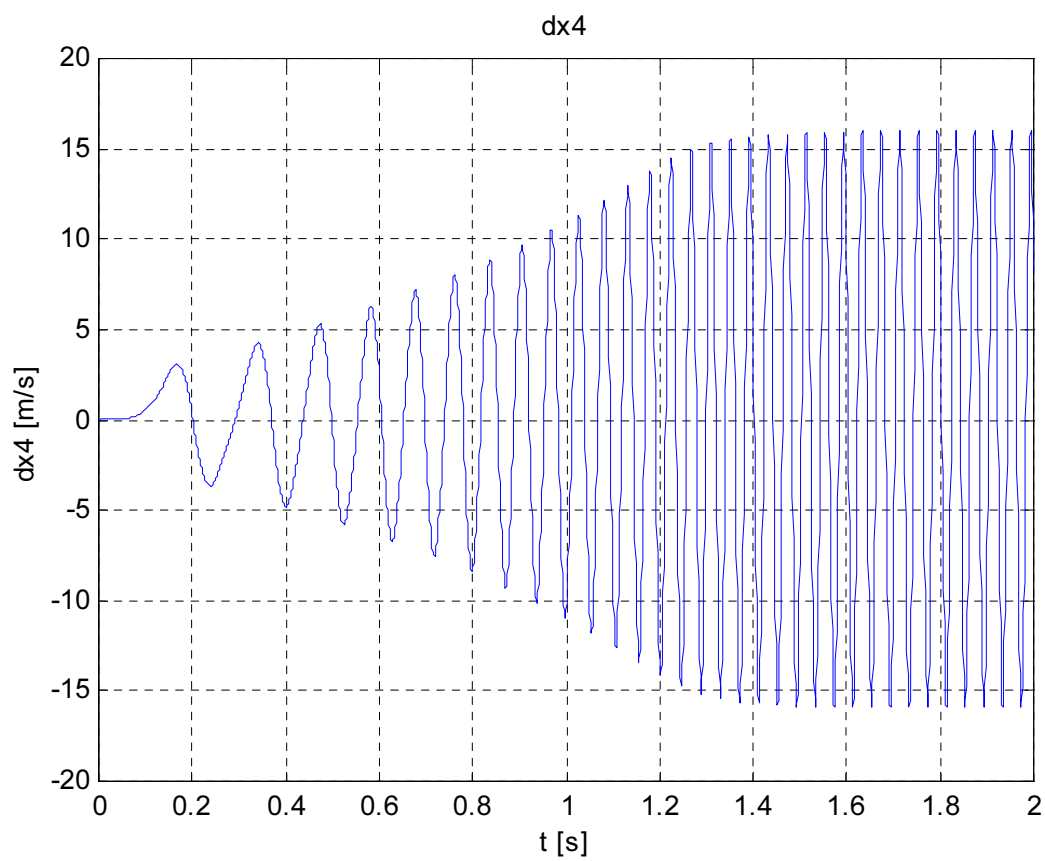
Obr. 5 Úhlová rychlost kotouče 2  $\dot{\varphi}$  – alt. 2



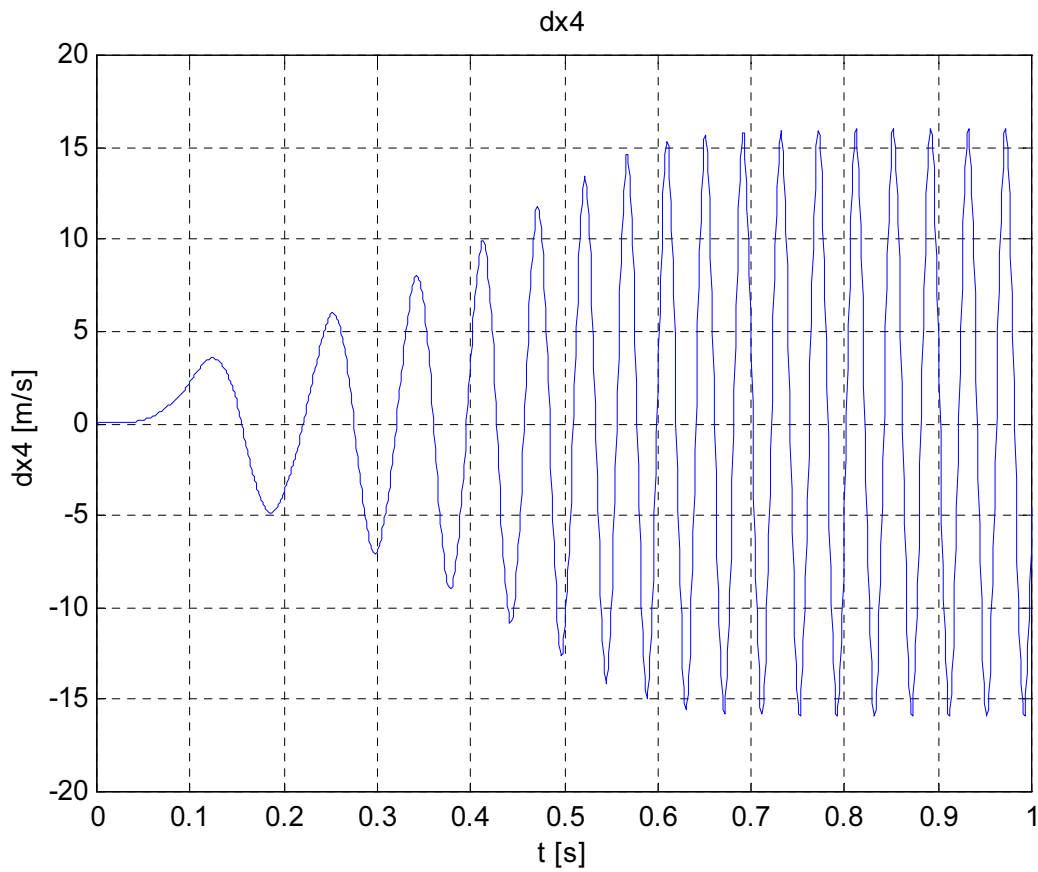
Obr. 6 Úhlová rychlost kotouče 2  $\dot{\varphi}$  – alt. 3



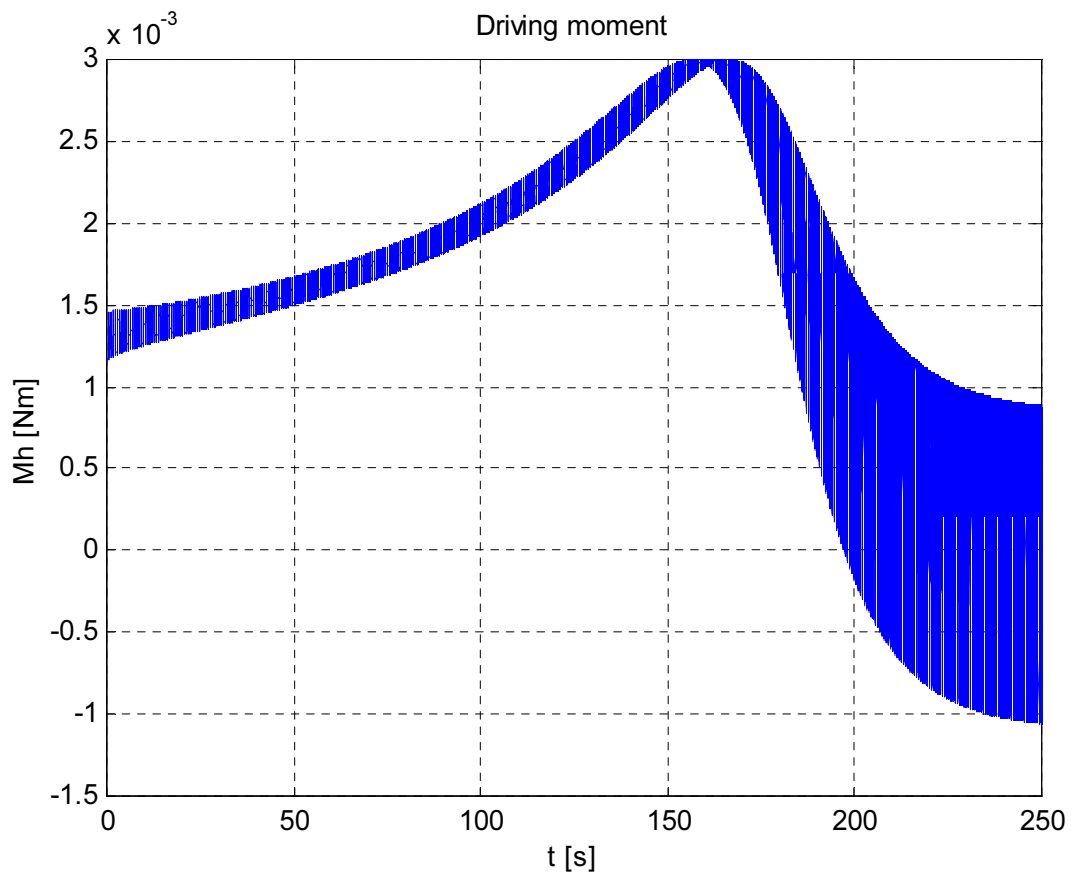
Obr. 7 Rychlost křížáku 4  $\dot{x}_4$  - alt.1



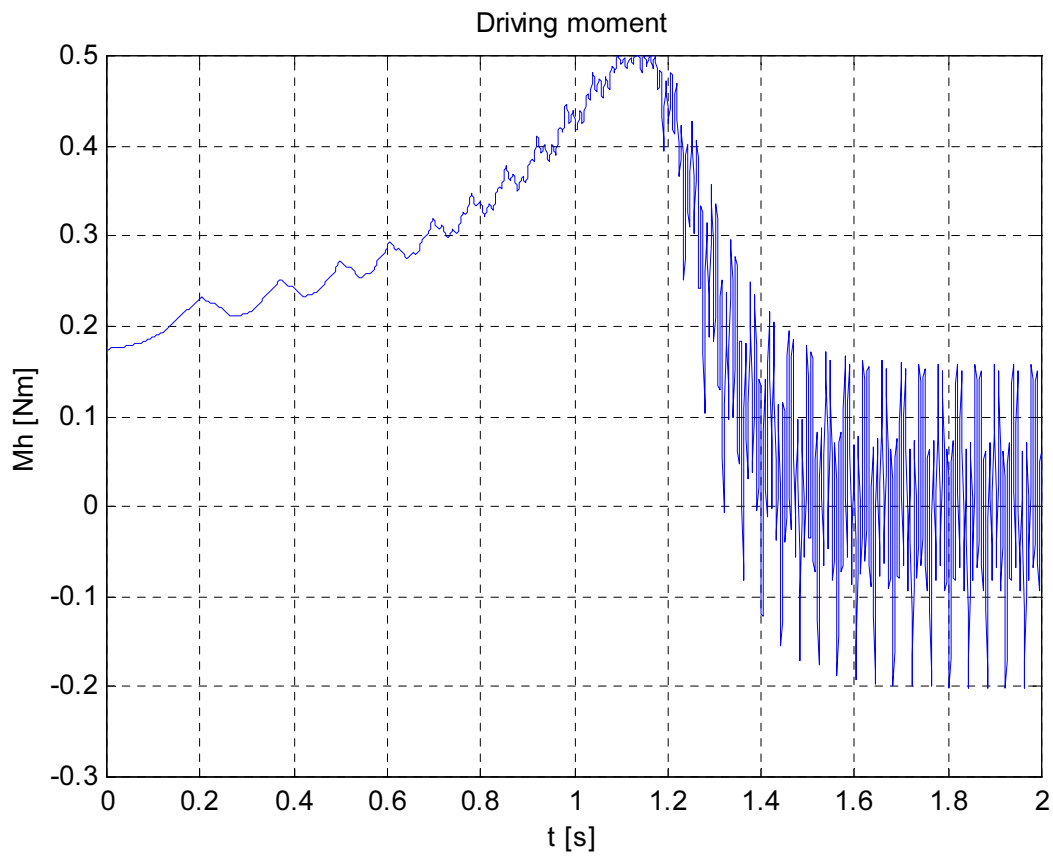
Obr. 8 Rychlost křížáku 4  $\dot{x}_4$  - alt.2



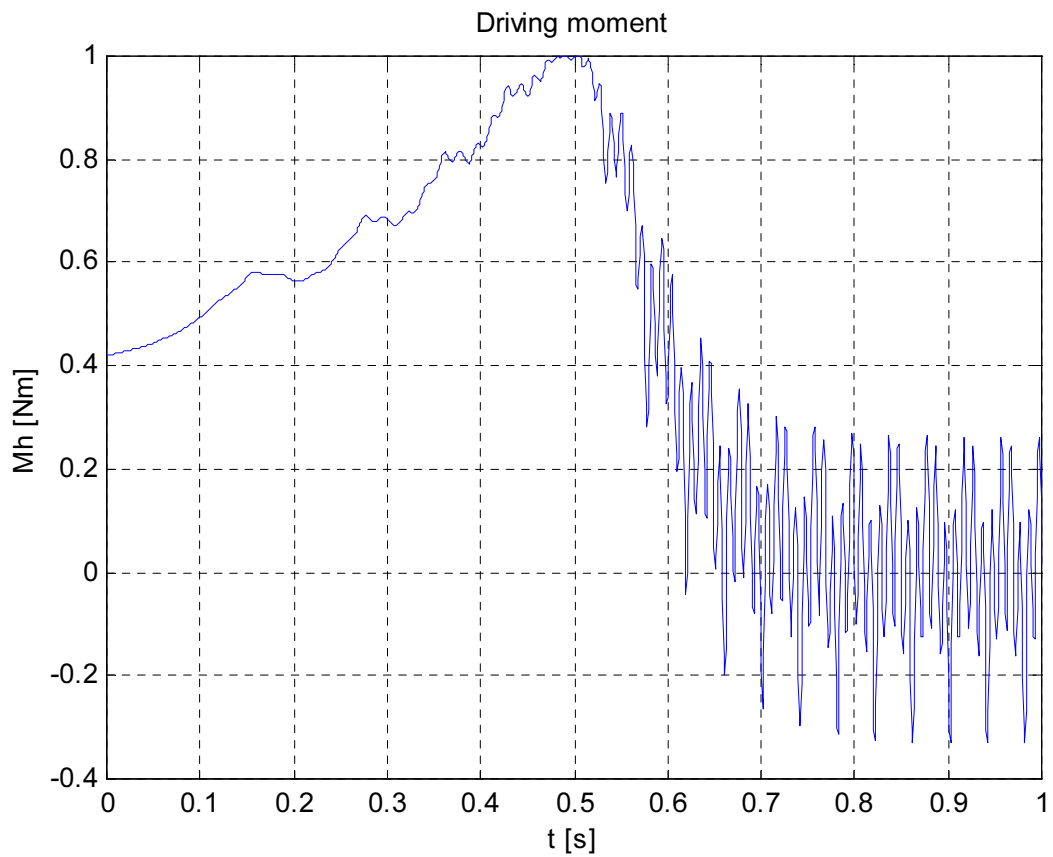
Obr. 9 Rychlost křížáku 4  $\dot{x}_4$  - alt.3



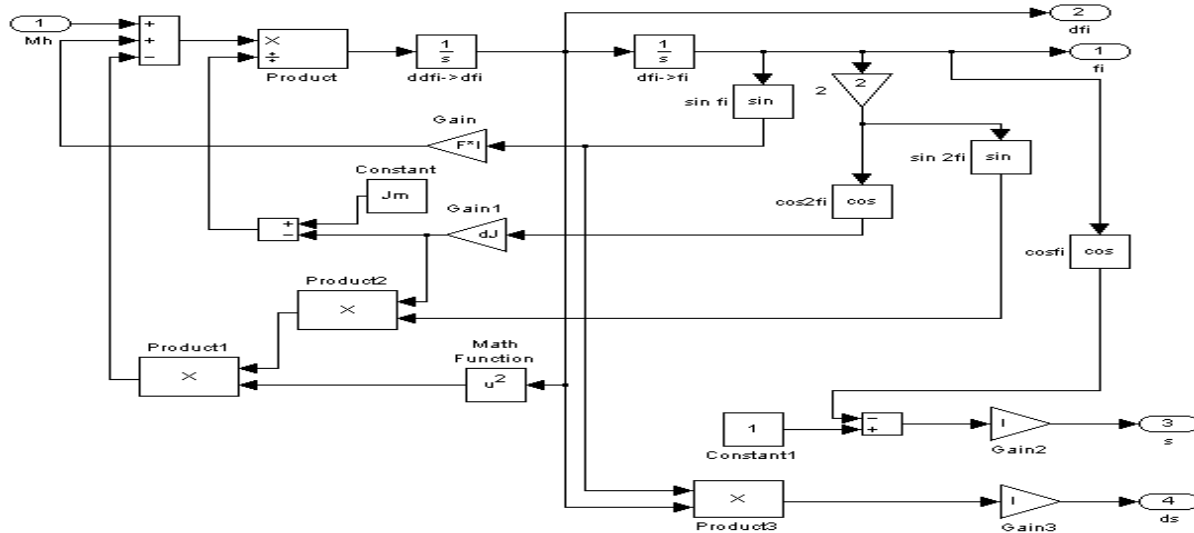
Obr.10 Výsledný hnací moment  $M_{h,r}$  asynchronního motoru – alt.1



Obr.11 Výsledný hnací moment  $M_{h,r}$  asynchronního motoru – alt.2



Obr.12 Výsledný hnací moment  $M_{h,r}$  asynchronního motoru – alt.3



Obr. 13 Simulinkové schéma numerického řešení rovnice (1)

## 2 Závěr

Ze simulace parametrů u jednotlivých alternativ hnacího asynchronního motoru je zřejmé, že rozsahy úhlových rychlostí  $\dot{\varphi}$  kotouče 2, rychlosti posuvu  $\dot{x}_4$  členu 4 a výsledného hnacího momentu  $M_h$  v ustáleném stavu jsou přibližně stejné, mění se pouze doba rozběhu (Tab.2).

Tab. 2 Hodnoty  $\dot{\varphi}$ ,  $\dot{x}_4$ ,  $M_h$  v ustáleném stavu a rozběhový čas pro jednotlivé alternativy motorů

Alternativa	Ustálený stav			Čas rozběhu[s]
	$\dot{\varphi}$ [rad.s <sup>-1</sup> ]	$\dot{x}_4$ [m.s <sup>-1</sup> ]	$M_h$ [N.m]	
1	153 ÷ 162	+16 ÷ -16	+0,75 ÷ -1,1	260
2	155 ÷ 165	+16 ÷ -16	+0,16 ÷ -0,21	1,6
3	155 ÷ 163	+16 ÷ -16	+0,25 ÷ -0,32	0,7

Z důvodu konstrukce hnacího zařízení, tj. začlenění klikového křížákového mechanismu do systému, dochází k rozkmitání jednotlivých členů systému. Velikost amplitudy kmitů je závislá u jednotlivých alternativ pohonu na konstrukčních parametrech systému ( $I_2$ ,  $m_3$ ,  $m_4$ ,  $l$ ). Volbou parametrů hnacího asynchronního motoru ( $M_0$ ,  $s_k$ ,  $n_{SYN}$ ) je možné ovlivnit dobu rozběhu asynchronního motoru a tím i celého hnacího systému. Výhodou této konstrukce s použitím smykového klikového křížákového mechanismu pro hnací systém oproti klikovému mechanismu je, že nevznikají kmity vyššího řádu, pohyb členu 3 je sinusový, excentricita  $e$  nemá vliv na řešení a je potřeba menšího rámu. Nutností je však mazání posuvných členů 3 a 4 v uložení 3a, 4a (Obr. 1) a rovněž dostatečně tuhá konstrukce.

## Literatura

- [1] J. Vondřich, R. Havlíček. *Computer Modelling and Simulation of Manufacturing System Driving Machinery*. Proceeding International Conference on Manufacturing Systems Development-Industry Expections, Wroclaw University of Technology, Wroclaw, PL, 2005.
- [2] Š. Kozák, S. Kajan. *MATLAB-SIMULINK 1,2*. Slovenská technická Univerzita v Bratislava, 1999

<sup>1</sup>Fakulta elektrotechnická, ČVUT v Praze, Technická 2, 166 27 Praha6, e-mail: havlicr@fel.cvut.cz

<sup>2</sup>Fakulta elektrotechnická, ČVUT v Praze, Technická 2, 166 27 Praha6, e-mail: vondrich@fel.cvut.cz