

Torzní kmitání vysokorychlostního pohonu kolejového vozidla

Pavel Halama¹

1 Úvod

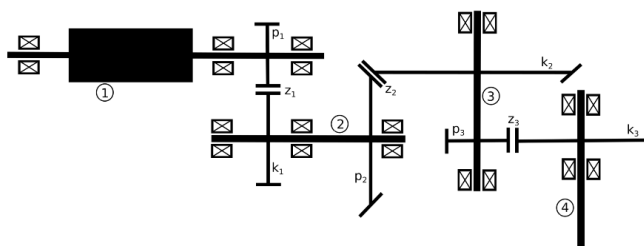
Práce se zabývá modelováním torzního kmitání hřídelových soustav metodou konečných prvků. Předpokládá se stálý záběr ozubených kol bez ztráty kontaktu. Jsou sestaveny dva lineární matematické modely popisující torzní kmity pohonné jednotky p a pohonné jednotky s kontaktem kolo - kolejnice k . Matematické modely jsou využity pro stanovení základních dynamických vlastností pohonu a dále je zkoumán vliv kinematických úchylek v ozubení zubových vazeb na torzní dynamiku pohonu.

2 Výpočtové modelování pohonné jednotky

Je vytvořen výpočtový model pohonné jednotky, která je vyvíjena na ZČU v Plzni ve spolupráci s firmou Wikov MGI. Fotografie pohonné jednotky a odpovídající kinematické schéma je na obrázku 1, resp. obrázku 2.



Obrázek 1: Fotografie



Obrázek 2: Schéma

Vnitřní rotující vestavba pohonné jednotky je diskretizována metodou konečných prvků. Při předpokladu torzních kmitů lze každou zubovou vazbu nahradit diskretní visko-elastickou vazbou, matematický model vnitřní rotující vestavby pak lze zapsat ve tvaru

$$\underbrace{\mathbf{M}}_{\mathbf{M}_p} \ddot{\mathbf{q}}_p(t) + \underbrace{(\mathbf{B} + \mathbf{B}_Z)}_{\mathbf{B}_p} \dot{\mathbf{q}}_p(t) + \underbrace{(\mathbf{K} + \mathbf{K}_Z)}_{\mathbf{K}_p} \mathbf{q}_p(t) = \mathbf{f}(t), \quad (1)$$

kde \mathbf{q}_p je vektor zobecněných souřadnic, \mathbf{M} je matice hmotnosti, \mathbf{B} je matice tlumení a \mathbf{K} je matice tuhosti spojitých i diskretních prvků vnitřní vestavby. Index Z u matic \mathbf{K}_Z a \mathbf{B}_Z představuje matice tuhosti, resp. tlumení zubových vazeb.

Výše zformulovaný matematický model lze dále doplnit o další komponenty. Na výstupní hřídel lze pomocí torzní spojky připojit kolejové kolo s kontaktem kolo - kolejnice a zahrnout také vliv setrvačnosti skříně vozidla, ve které je pohonný systém uložen. Matematický model se tak rozšíří o 2 stupně volnosti a lze ho zapsat ve tvaru

¹ student bakalářského studijního programu Počítačové modelování v mechanice, e-mail: halamap@rek.zcu.cz

$$\mathbf{M}_k \ddot{\mathbf{q}}_k(t) + (\mathbf{B}_k + \mathbf{B}_0(s_0, v)) \dot{\mathbf{q}}_k(t) + \mathbf{K}_k \mathbf{q}_k(t) = \mathbf{f}(t), \quad (2)$$

kde matice $\mathbf{B}_0(s_0, v)$ popisuje vliv momentové charakteristiky motoru a adhezních podmínek ve styku kola s kolejí s linearizovanou adhezní charakteristikou. Tento silně nekonzervativní systém je tedy závislý na provozních parametrech představující relativní skluz s_0 a rychlost vozidla v .

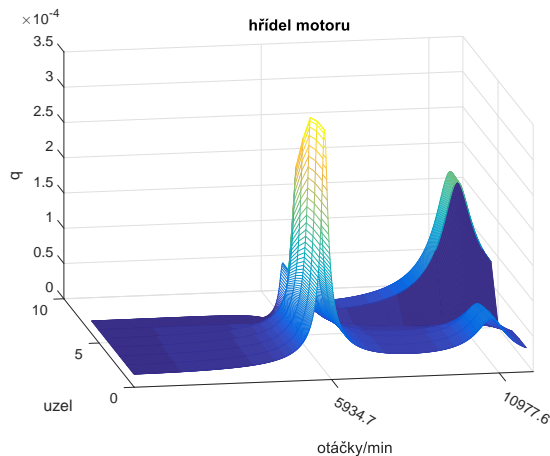
Vnitřní buzení kinematickou úchytkou v ozubení se v matematických modelech projeví ve vektoru pravých stran

$$\mathbf{f}(t) = \sum_{z=1}^3 \left[k_z \Delta_z(t) + b_z \dot{\Delta}_z(t) \right] \mathbf{c}_z, \quad (3)$$

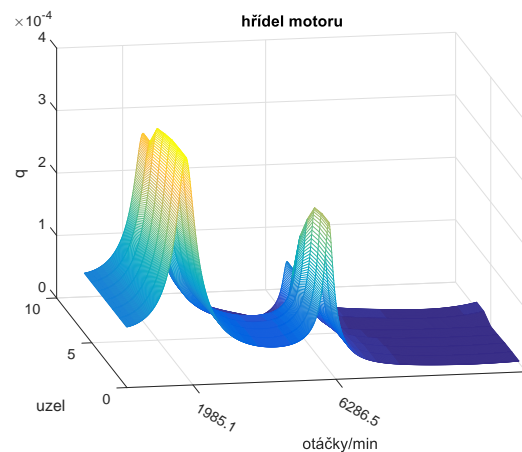
kde $\Delta_z(t)$ je kinematická úchytkol, k_z je tuhost ozubení, b_z je tlumení v ozubení a \mathbf{c}_z je vektor obsahující poloměry pastorků a kol na odpovídající pozici zubového záběru z .

3 Buzení kinematickou úchytkou v ozubení

Na základě formulovaného matematického modelu kmitání torzní soustavy v různých modifikacích byl sestaven odpovídající výpočtový model v prostředí MATLAB. Byla provedena modální analýza, včetně vizualizace vlastních tvarů kmitání. Dále byla zavedením komplexních amplitud výchylek vypočtena ustálená odezva na vnitřní buzení vlivem kinematické úchytkol. Na obrázku 3 a 4 je ukázka odezvy soustavy na buzení v zubové vazbě z_3 u modelu vnitřní rotující vestavby a pohonné jednotky s kontaktem kolo kolejnice a linearizovanou adhezní charakteristikou. Vykresleny jsou horní efektivní odhady výchylek v uzlech hřídele motoru 1 v závislosti na jeho otáčkách.



Obrázek 3: Vnitřní rotující vestavba



Obrázek 4: Pohonná jednotka s kolem

Literatura

M. Byrtus, M. Hajžman, V. Zeman (2011), *Dynamika rotujících soustav*, Vydavatelství ZČU v Plzni.

V. Zeman, J. Slavík, V. Stejskal (1997), *Základy dynamiky strojů*, Vydavatelství ČVUT v Praze.