

Modelování elektromechanické interakce v pohonu – vliv měření otáček na hřídeli převodovky pohonu při regulaci rychlosti

Patrik Kalaj

Katedra elektromechaniky a výkonové elektrotechniky
Fakulta elektrotechnická
Západočeská univerzita v Plzni
kalaj@kev.zcu.cz

Modelling of Electro-Mechanical Interaction in Drive – Impact of Drive Speed Measurement on Gearbox Shaft at Speed Control

Abstract – The paper deals with creating of complex model covering both electrical and mechanical models of the drive and their mutual interaction. High-speed PMSM machine is used along with 3-stage reduction gearbox. The mechanical model takes into account torsional vibration only. The complex model is used to simulate different operational conditions with the emphasis on the electromechanical interaction.

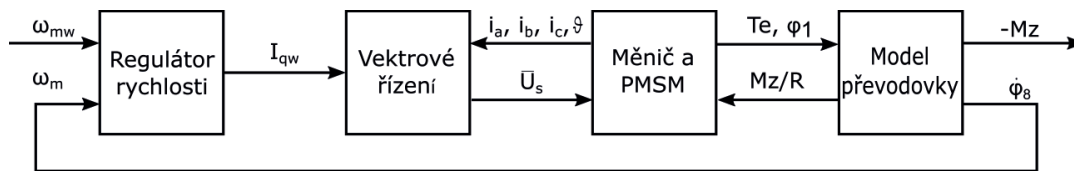
Keywords – Electro-Mechanical Interaction; Matlab; Model of Gearbox; PMSM; Simulation; Vector Control

I. ÚVOD

Pro splnění neustále se zvyšujících požadavků na spolehlivost, bezpečnost a potlačení nežádoucích vibrací u pohonů, je zapotřebí si namodelovat různé stavy a přechodové děje. V mnoha případech je elektrický motor přímo připojen k vícestupňové převodovce bez flexibilní spojky a vše je umístěno do jednoho pouzdra. Dynamika rotorů se musí považovat za složitý úkol s ohledem na všechny rotující části pohonu. Příspěvek si klade za cíl nasimulovat stavy, kdy se skutečné otáčky motoru ω_m pro regulaci rychlosti měří přímo na motoru nebo na výstupní hřídeli převodovky a vyšetřit, jaký to bude mít vliv na regulaci pohonu.

II. POPIS MODELU

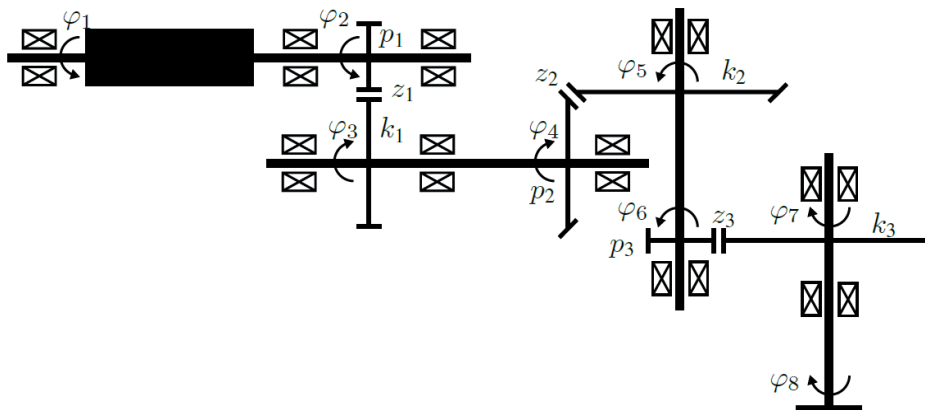
Model pohonu, který je tvořen vektorovým řízením, střídačem, synchronním motorem s permanentními magnety a třístupňovou redukční převodovkou, je předmětem simulace v tomto příspěvku. Vektorové řízení spolu s regulátorem rychlosti zajišťují požadovanou rychlost pohonu. Principiální blokové schéma je zobrazeno na obrázku I. Na motor působí zátěžný moment M_z a přes převodovku proti němu působí moment motoru T_e . Jelikož se jedná o redukční převodovku, je zátěžný moment dělen převodovým poměrem R . Převodovka je buzena momentem motoru T_e a zápornou hodnotou zátěžného momentu M_z .



Obrázek I. Blokové schéma modelu pohonu

A. Matematický model převodovky

Pro analýzu dynamického chování pohonné jednotky byl vytvořen matematický model zahrnující torzní kmitání rotujících částí pohonu. Odpovídající kinematické schéma je zobrazeno na obrázku II.



Obrázek II. Kinematické schéma pohonu

Matematický model převodovky je popsán maticovou pohybovou rovnicí (1), která obsahuje matici hmotnosti \mathbf{M} , matici tuhosti \mathbf{K} , matici tlumení \mathbf{B} vektoru zobecněných souřadnic \mathbf{q} (2) a vektoru pravých stran $\mathbf{f}(t)$ (3). Matice hmotností je tvořena osovými momenty setrvačnosti jednotlivých kotoučů. Matice tuhosti \mathbf{K} se skládá z matice tuhosti hřídele \mathbf{K}_t a matice tuhosti zubové vazby \mathbf{K}_z . Matice tlumení \mathbf{B} tvoří matice tuhosti hřídele \mathbf{B}_t a matice tuhosti zubové vazby \mathbf{B}_z . Vektor zobecněných souřadnic \mathbf{q} je tvořen jednotlivými úhly natočení φ . Vektor pravých stran $\mathbf{f}(t)$ je tvořen z momentu motoru T_e , který je na prvním místě, a dále ze zátěžného momentu, který je na posledním místě. Jednotlivé matice a vektory jsou popsány níže. [1,2]

$$\mathbf{M} \cdot \ddot{\mathbf{q}} + (\mathbf{B}_t + \mathbf{B}_z) \cdot \dot{\mathbf{q}} + (\mathbf{K}_t + \mathbf{K}_z) \cdot \mathbf{q} = \mathbf{f}(t) \quad (1)$$

$$\mathbf{q} = [\varphi_1, \varphi_2, \varphi_3, \varphi_4, \varphi_5, \varphi_6, \varphi_7, \varphi_8]^T \quad (2)$$

$$\mathbf{f}(t) = [T_e, 0, 0, 0, 0, 0, 0, -M_z]^T \quad (3)$$

B. Matematický model PMSM

Stále častěji jsou nasazovány synchronní motory s permanentními magnety do mnoha průmyslových aplikací, kde jsou požadavky na vysoký výkon a proměnné otáčky. Výhody použití PMSM zahrnují: vysoký poměr točivého momentu k hmotnosti, rychlou odezvu a robustní konstrukci.[6]

Model PMSM pro simulaci pohonu je převzatý z knihovny Plecs. Jedná se o matematický model PMSM motoru, který je založen na následujících stavových rovnicích (4)-(6). Moment motoru je určen na základě rovnice (7). Model využívá Parkovu transformaci pro převod z trojfázového systému do systému rotoru dq. [4,5,6]

$$\frac{di_{sd}}{dt} = \frac{1}{L_{sd}} \cdot (U_{sd} - R_s \cdot i_{sd} + \omega_e \cdot L_{sq} \cdot i_{sq}) \quad (4)$$

$$\frac{di_{sq}}{dt} = \frac{1}{L_{sq}} \cdot (U_{sq} - R_s \cdot i_{sq} - \omega_e \cdot L_{sd} \cdot i_{sd} - \omega_e \cdot \Psi_B) \quad (5)$$

$$\frac{d\omega_e}{dt} = \frac{p_p}{J_{red}} \cdot (T_e - M_z) \quad (6)$$

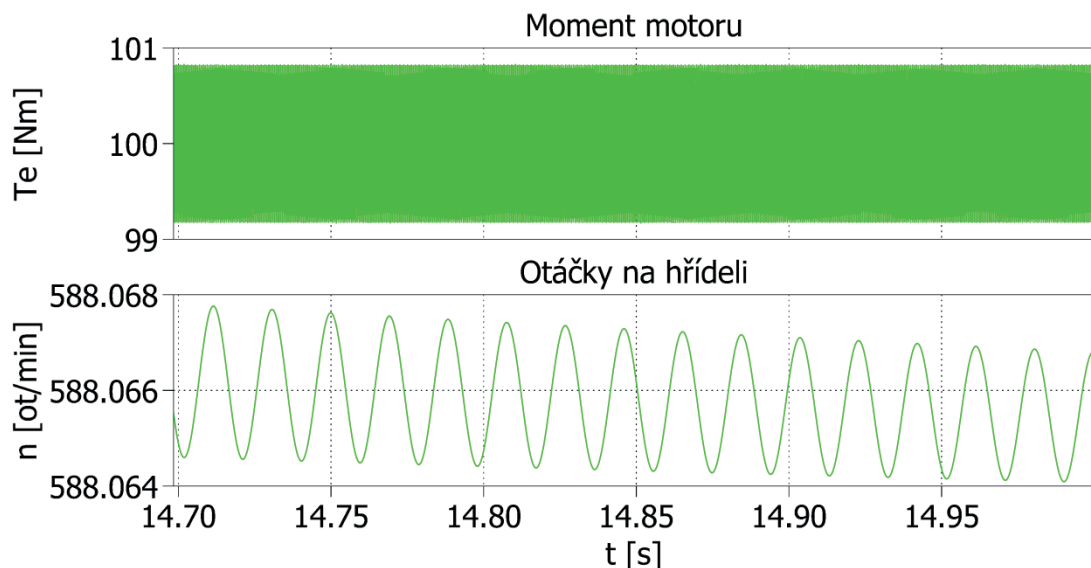
$$T_e = \frac{3}{2} \cdot p_p \cdot [\Psi_B \cdot i_{sq} + (L_{sd} - L_{sq}) \cdot i_{sd} \cdot i_{sq}] \quad (7)$$

C. Vektorové řízení

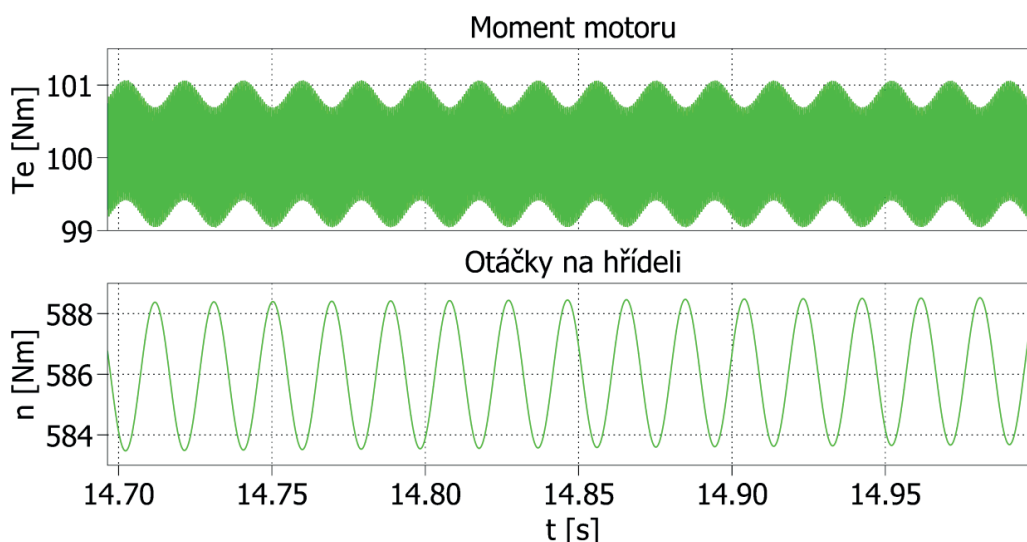
Vektorové řízení lze využít k řízení synchronních motorů. Princip vektorového řízení spočívá ve snaze udržet co nejnižší magnetický tok pomocí d-složky statorového proudu a zároveň maximální moment v co nejširším rozsahu otáček pomocí q-složky statorového proudu [3,5,6].

III. SIMULACE

Celý model je nasimulován pomocí matlabovské nástavby simulink a plecs. V simulaci jsou porovnány dva stavy. První, kdy jsou skutečně otáčky měřeny přímo na výstupu z motoru a druhý, kdy jsou měřeny skutečné otáčky na výstupu z převodovky. Převodový poměr převodovky je 13,605. Jako zátěžný moment M_z byla zvolena konstantní hodnota 1360,5 Nm, která odpovídá jmenovité hodnotě momentu na motoru 100 Nm. Požadované otáčky na výstupní hřídeli z převodovky jsou 588 ot/min, což odpovídá 8000 ot/min na motoru. Jelikož převodovka není ideálně tuhá lze předpokládat, že na výstupu pohonu budou kmity. Na obrázku III. je uveden průběh momentu motoru a otáčky na výstupní hřídeli převodovky při měření otáček přímo na motoru. Na dalším obrázku IV. jsou vyobrazeny průběhy při měření otáček na výstupní hřídeli převodovky. Při měření otáček na hřídeli jsou vnášené kmity do regulace způsobeny torzními kmity mechanických částí. Jak je vidět na obrázku IV, tyto kmity způsobují zvýšení kmitání momentu motoru a otáček. V určitých situacích může docházet k rozkmitání celého pohonu.



Obrázek III. Průběhy při měření otáček na motoru



Obrázek IV. Průběhy při měření otáček na výstupu převodovky

IV. ZÁVĚR

Tento příspěvek popisuje model pohonu obsahující synchronní motor s vektorovým řízením a redukční třístupňovou převodovku. V rámci modelu jsou řešeny kmity na výstupu převodovky a zvlnění momentu motoru při dvou způsobech snímání reálných otáček – měření přímo na motoru a na výstupu z převodovky. Je patrné, že v případě, kdy jsou otáčky snímány až na výstupu převodovky, dochází k daleko většímu kmitání momentu motoru a otáček na výstupní hřídeli převodovky, než při měření otáček přímo na motoru.

PODĚKOVÁNÍ

Tento článek vznikl za podpory interního projektu na podporu studentských vědeckých konferencí SVK-2018-005 a projektu SGS-2018-009: Výzkum a vývoj perspektivních technologií v elektrických pohonech a strojích III.

LITERATURA

- [1] SLAVÍK, Jaromír, STEJSKAL, Vladimír a ZEMAN, Vladimír. Základy dynamiky strojů. 1. vyd. Praha: ČVUT, 1997. 319 s. ISBN 80-01-01622-6.
- [2] Byrtus, Miroslav, Hajžman, Michal a Zeman, Vladimír. Dynamika rotujících soustav. 1. vyd. V Plzni: Západočeská univerzita, 2010. 234 s. ISBN 978-80-7043-953-1.
- [3] Zeman, Karel, Peroutka, Zdeněk a Janda, Martin. Automatická regulace pohonů s asynchronními motory. 1. vyd. Plzeň: Západočeská univerzita, 2004. 200 s. ISBN 80-7043-350-7.
- [4] Bartoš, Václav. Teorie elektrických strojů. 1. vyd. Plzeň: Západočeská univerzita, 2006. 230 s. ISBN 80-7043-509-7.
- [5] R. Souad and H. Zeroug, "Comparison between direct torque control and vector control of a permanent magnet synchronous motor drive," 2008 13th International Power Electronics and Motion Control Conference, Poznan, 2008, pp. 1209-1214.
- [6] A. Apte, R. Walambe, V. Joshi, K. Rathod, and J. Kolhe, "Simulation of a permanent magnet synchronous motor using matlab-simulink," in 2014 Annual IEEE India Conference (INDICON), Dec 2014, pp. 1–5.