

MODEL OF PERMANENT MAGNET SYNCHRONOUS MACHINE AND CONTROLER DESIGN

Jiří Dušek

Master Degree Programme (2), FEEC BUT
E-mail: xdusek12@stud.feec.vutbr.cz

Supervised by: Čestmír Ondrůšek
E-mail: ondrusek@feec.vutbr.cz

ABSTRACT

In this article the mathematical description of the permanent magnet synchronous machine (PMSM) in dq0 reference frame is given. Basic electrical and mechanical equations needed to creation of model of PMSM are derived. The Symmetric Optimum and Optimum Modul methods are used to design current and revolutions controller. Also there are results of simulations made on this model of system in Matlab Simulink.

1. ÚVOD

Návrh regulátoru otáček synchronního motoru s permanentními magnety (PMSM) je výsledkem celé řady kroků, které jsou nezbytné pro správnou funkci tohoto regulátoru. Jedním z hlavních kroků je výběr způsobu popisu a samotný popis regulovaného stroje. Vhodná volba popisu motoru může výrazně zjednodušit jak samotný popis, tak výsledný model stroje a v konečném důsledku také návrh regulátoru. Právě těmito kroky se zabývá tato práce.

2. POPIS MOTORU

Pro popis motoru je zvolen systém souřadnic dq0. Výhodou tohoto systému je výrazné zjednodušení a zredukování počtu rovnic potřebných pro popis motoru. Ve výsledku je tedy vzniklý model jednodušší což znamená i rychlejší výpočet simulace. Matematický popis modelu motoru je dán elektrickými rovnicemi pro každou z os d a q [2]:

$$\frac{di_d}{dt} = \frac{1}{L_d} (u_d - R_a i_d + \omega_e L_q i_q) \quad (1.1)$$

$$\frac{di_q}{dt} = \frac{1}{L_q} (u_q - R_a i_q - \omega_e L_d i_d - \omega_e \psi_{PM}) \quad (1.2)$$

Elektrické rovnice (1.1) a (1.2) je třeba doplnit o mechanickou rovnici:

$$\frac{d\omega_e}{dt} = \frac{1}{J} p_p (M_e - M_z) \quad (1.3)$$

kde $M_e = \frac{3}{2} p_p \left[i_q \psi_{PM} + (L_d - L_q) i_d i_q \right]$ a M_z je elektromagnetický resp. zátěžný moment.

Rovnice (1.1), (1.2) a (1.3) jsou dostačující pro popis a vytvoření modelu PMSM.

3. REGULACE

3.1. STRATEGIE ŘÍZENÍ

Jako řídicí strategie byla zvolena metoda nulového proudu v ose d ($i_d=0$). Za předpokladu nulového proudu v ose d se výrazně zjednodušuje výpočet momentu a zároveň se moment stává funkcí lineárně závislou na proudu i_q . Tato vlastnost zjednodušuje návrh řídicího algoritmu na úroveň návrhu řízení stejnosměrného motoru.

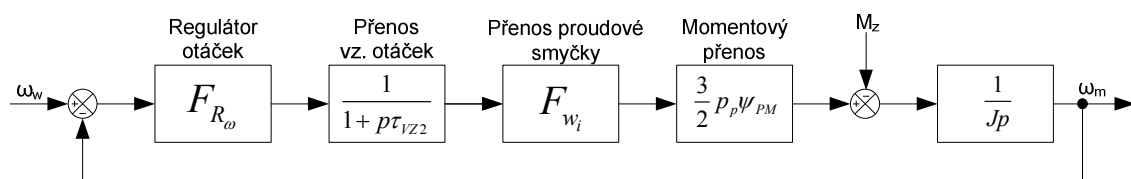
3.2. NÁVRH REGULÁTORU

Návrhu otáčkového regulátoru předchází návrh regulátoru proudu. Pro návrh proudového regulátoru F_{R_i} je použita metoda optimálního modulu (OM), zatímco pro návrh otáčkového regulátoru F_{R_ω} je použita metoda symetrického optima (SO). V obou případech je výsledkem návrhu PID regulátor.

$$F_{R_i} = F_{OM} \cdot \frac{(1 + p\tau_\sigma)(1 + p\tau_{FM})(1 + p\tau_q)}{\frac{K_{FM}}{R_a}} = \frac{(1 + p\tau_{FM})(1 + p\tau_q)}{2\tau_\sigma \frac{K_{FM}}{R_a} p} \quad (1.4)$$

$$F_{R_\omega} = F_{SO} \cdot \frac{(1 + p\tau_{VZ2})(1 + 2p\tau_\sigma)}{\frac{1}{Jp} \cdot \frac{3}{2} p_p \psi_{PM}} = \frac{J(1 + p\tau_{VZ2})(1 + 4p\tau_\sigma)}{3 \cdot 4\psi_{PM} p_p \cdot \tau_\sigma^2 p} \quad (1.5)$$

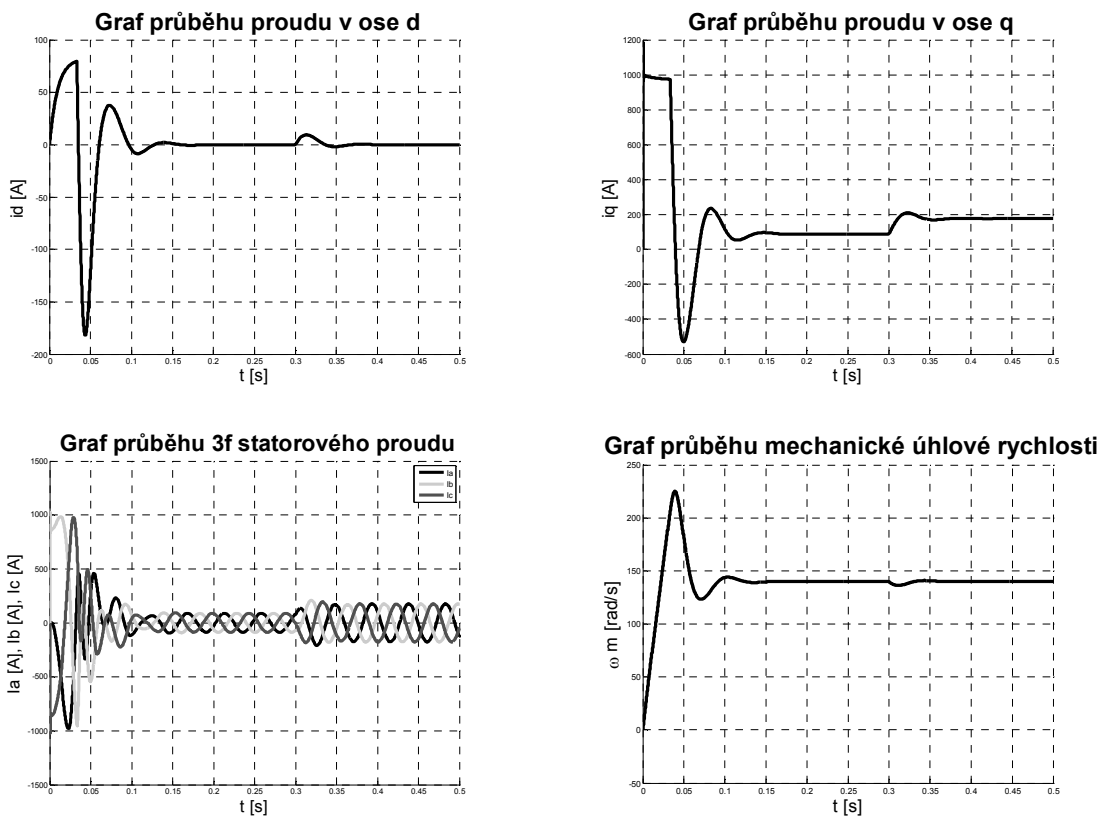
$$\text{Kde } F_{OM} = \frac{1}{2p\tau_\sigma(1 + p\tau_\sigma)} \text{ a } F_{SO} = \frac{1 + 4p\tau_\sigma}{8p^2\tau_\sigma^2(1 + \tau_\sigma)}.$$



Obrázek 1: Blokové schéma regulace

4. SIMULACE

Na vytvořeném modelu byla provedena simulace rozběhu motoru z nulových otáček na nominální. Následně po ustálení hodnoty otáček byla provedena skoková změna zátěžného momentu. Tato simulace ukazuje, jakým způsobem se bude chovat PMSM a jak se s touto situací vypořádá navržený regulátor. Výsledky simulace jsou zobrazeny na obrázku 2.



Obrázek 2: Grafy výsledků simulace

5. ZÁVĚR

Pomocí elektrických a mechanických rovnic byl vytvořen model synchronního motoru s permanentními magnety na rotoru. Následně byl pro tento motor navržen regulátor otáček, respektující řídicí strategii nulového proudu v ose d.

Ve výsledcích provedené simulace je názorně vidět, jak se navržený regulátor vypořádal s nárůstem zátěže zvýšením proudu v ose q, což má za následek nárůst vnitřního momentu motoru. Z konstrukce motoru vyplývá i možnost pomocí proudu v ose d dále zvyšovat otáčky stroje při stálém napětí. Tato vlastnost je dána rozdílnými velikostmi indukčností v ose d a q, konkrétně $L_q > L_d$.

LITERATURA

- [1] FITZGERALD, A. E., KINGSLEY, C. Jr., UMANS, Stephen D. *Electric machinery*. 6th edition. Crawfordsvile, IN, USA, 2003. 699 p. ISBN 0-07-366009-4.
- [2] MĚŘIČKA, J.; ZOUBEK, Z. *Obecná teorie elektrického stroje*. 1. vydání. Spálená 51, Praha 1 : SNTL, 1973. 164 s.
- [3] NAKAI, H., et al. Development and Testing of the Torque Control for the Permanent-Magnet Synchronous Motor. *IEEE TRANSACTIONS ON INDUSTRIAL ELECTRONICS*. 3, JUNE 2005, vol. 52, no. 3, s. 800-806.