

DESIGN OF ROBUST CURRENT CONTROLLERS FOR PM SYNCHRONOUS MOTOR

Michal Rajnošek

Master Programme (2), FEEC BUT

E-mail: xrajno00@stud.feec.vutbr.cz

Supervised by: Petr Blaha

E-mail: blahap@feec.vutbr.cz

Abstract: This paper presents design of robust current controllers for permanent magnet synchronous motor. Motor parameters are uncertain. Linear fractional transformation is used to include these uncertainties in the model of motor. The robust current controllers are designed by μ -synthesis. This method ensure robust stability and performance criteria of closed loop. Controllers order reduction is included due to high order of controllers.

Keywords: PMSM, robust control, μ synthesis

1. ÚVOD

V současné době nabývají stále více na významu pohony se synchronními motory, u nichž je budící vinutí nahrazeno permanentními magnety (PMSM). Jejich největší předností je přesnost a robustnost. Využití těchto motorů je v oblasti servomechanismů – robotů a manipulátorů. Obvyklý návrh regulátorů pracuje s přesně zadanou soustavou. Předpokládá se tedy, že parametry soustavy jsou známé a časově neměnné. Tato podmínka ovšem není u reálného fyzikálního systému splněna. Parametry modelu nejsou známy přesně, popřípadě se s časem mění. Typickým příkladem může být odpor statoru motoru, který se mění v závislosti na teplotě. Hovoří se zde o tzv. parametrické nejistotě. Cílem robustního řízení je zahrnout tyto nejistoty do modelu soustavy a navrhnout takový regulátor, který bude schopen splnit požadavky na stabilitu a kvalitu řízení i pro soustavu s nejistotami.

2. MODEL MOTORU

Model synchronního motoru s permanentními magnety se zpětnovazební linearizací můžeme popsat pomocí následujících rovnic.

$$u_{d0} = r i_d + L_d \frac{di_d}{dt} \quad (1)$$

$$u_{q0} = r i_q + L_q \frac{di_q}{dt} \quad (2)$$

Kde u_d a u_q je napětí v d-q souřadnicích (souřadnice spojené s rotorem), i_d a i_q jsou proudy v d-q osách, L_d, L_q jsou indukčnosti, r je odpor statoru.

Konkrétní parametry použitého motoru byly:

$L_d = 1,4mH$, $L_q = 2,8mH$, $r = 0,6\Omega$, $P = 4$, $\phi_f = 0,12Wb$, $J = 1,11 \cdot 10^{-3} kgm^2$. Předpokládá se možná odchylka 30 % od nominální hodnoty u parametrů L_d, L_q, r .

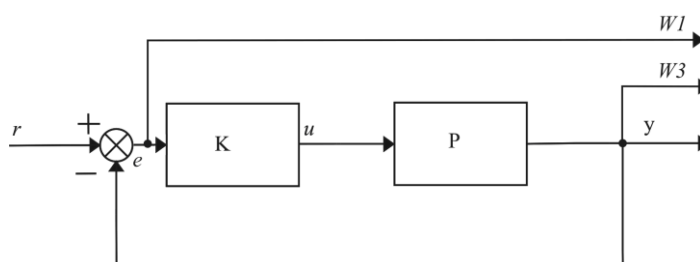
3. NÁVRH PROUDOVÝCH REGULÁTORŮ

Model motoru v q ose a v d ose se liší pouze v hodnotě indukčnosti. Při návrhu regulátorů pro obě osy je možno postupovat analogicky. Z rovnice (2) je vyjádřeno i_q a dostáváme

$$i_q' = \frac{di_q}{dt} = \frac{1}{L_q}(u_{q0} - r i_q). \text{ Z této rovnice se sestaví stavový popis elektrické části motoru v q ose:}$$

$$\dot{x} = Ax + Bu, y = Cx + Du \quad A = \begin{bmatrix} -r \\ L_q \end{bmatrix}, B = \begin{bmatrix} 1 \\ L_q \end{bmatrix}, C = [1], D = 0$$

Nejistoty se do takového systému zahrnují v Matlabu příkazem ureal. Při návrhu proudových regulátorů jsou kladeny požadavky na citlivostní funkci S a komplementární citlivostní funkci T. Schéma uzavřené smyčky je vidět na obrázku 1. Ze standardního zpětnovazebního zapojení jsou vyvedeny signály odchylky (citlivostní funkce), výstupu (komplementární citlivostní funkce) a jsou na ně kladeny požadavky pomocí váhových funkcí.



Obrázek 1: Schéma uzavřené smyčky pro návrh proudových regulátorů

Váhová funkce $W1$ definuje požadovaný průběh citlivostní funkce S. Naším požadavkem je vysoké tlumení pro nízké frekvence (statická porucha a pomalé změny soustavy) a co nejmenší modul této funkce (zajištění stability v modulu). Váhová funkce $W3$ definuje požadavky na přenos řízení. Je požadován široký frekvenční rozsah. Volba váhových funkcí v sobě zahrnuje protichůdné nároky, proto jsou výsledné funkce kompromisem mezi jednotlivými požadavky. Přenosy vah byly postupně sestaveny:

$$\text{pro } q \text{ osu respektive} \quad W1(p) = \frac{0,11p + 49,5}{p + 0,9} \quad W3(p) = \frac{0,55p + 9,9}{0,01p + 90}$$

$$W1(p) = \frac{0,225p + 45}{p + 1} \quad W3(p) = \frac{0,45p + 22,5}{0,01p + 100} \text{ pro } d \text{ osu.}$$

Byl sestaven model soustavy s neurčitostmi, zvoleny váhové funkce a navrhnout regulátor pomocí strukturální singulární hodnoty - μ syntézy. Byl využit program MATLAB a pomocí funkce dksyn byl navrhnout regulátor. Iterativní algoritmus najde nejvhodnější regulátor K . Kritériem splnění požadavků je výsledná hodnota $\mu_q = 0,9432$ a $\mu_d = 0,8315$. Protože $\mu_q < 1$ a $\mu_d < 1$ je možno prohlásit, že získané regulátory splňují požadavky na robustní kvalitu řízení.

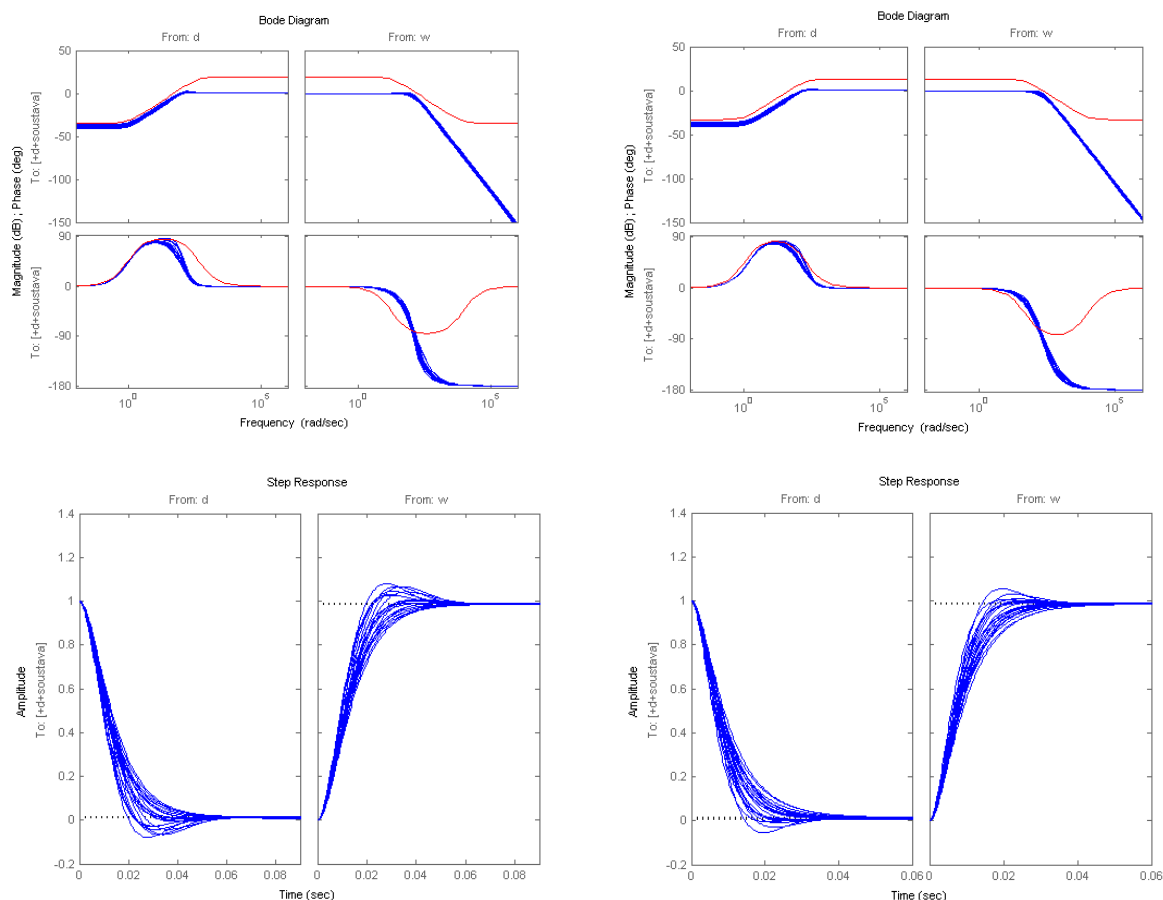
4. REDUKCE ŘÁDU REGULÁTORŮ

Metody návrhu robustních regulátorů obecně vedou na regulátory vysokých řádů. V našem případě byly získány regulátory řádu 21. Nutností je tedy redukce řádu regulátoru, která se provádí pomocí programu MATLAB. Při redukci však může dojít ke zhoršení kvality řízení. Nově vzniklou uzavřenou smyčku s redukovaným regulátorem, je potřeba znovu analyzovat. Byly tedy získány nové singulární hodnoty $\mu_q = 0,9834$ a $\mu_d = 0,9496$, které stále splňují požadavky na robustní kvalitu řízení. Výsledné regulátory:

$$F_q(p) = \frac{50,06p + 8,70}{p^2 + 1,15p + 0,18}, \quad F_d(p) = \frac{69,86p + 170,20}{p^2 + 3,77p + 3,40}.$$

5. SIMULAČNÍ VÝSLEDKY

Na obrázku 2 jsou vidět výsledné frekvenční a přechodové charakteristiky pro q a d osu. Frekvenční charakteristika váhových funkcí je vykreslena červeně a výsledná charakteristika systému s nejistotami modře. Z obrázků je patrné splnění našich požadavků pro robustní kvalitu řízení.



Obrázek 2: Výsledné charakteristiky

6. ZÁVĚR

V tomto článku je vám prezentován návrh robustních proudových regulátorů pro synchronní motor s permanentními magnety. Pro návrh byla využita metoda μ syntézy a algoritmu DK iterace. Regulatory jsou schopny zajistit požadované dynamické odezvy pro třicetiprocentní nejistotu v parametrech modelu.

REFERENCE

- [1] Azaiz, A., Ramdani, Y., Merkoufel, A.: Design of robust control system for the pms motor, Journal of electrical engineering , vol. 58, no.6, pp. 326-333, 2007.
- [2] Skogestad, S., Postlethwaite, I.: Multivariable feedback control – analysis and design. Wiley, 2005.
- [3] Barros, D. Fekri, S. Athans, M.: Robust mixed- μ synthesis performance for mass-spring system with stiffness uncertainty, Mediterranean control conference, 2005.