

Механічне демпфування у системі енергоформуючого керування синхронною машиною з постійними магнітами

Юрій Білецький¹, Ігор Щур¹,
Сергій Щербовських²

¹Кафедра електроприводу та автоматизації промислових установок, Національний університет "Львівська політехніка", УКРАЇНА, м. Львів, вул. С. Бандери, 12, E-mail: biletzkyi.y.o@gmail.com, i_shchur@meta.ua

²Науково-дослідна група ДБ/FuzzyOpt кафедри електроприводу та автоматизації промислових установок, Національний університет "Львівська політехніка", УКРАЇНА, м. Львів, вул. С. Бандери, 12, E-mail: shcherbov@polynet.lviv.ua

Abstract – For the control of permanent magnet synchronous motor in electromechanical system an energy-shaping control systems have been used. The regulation in such systems is realized by injection of additional damping of current vector projections on dq-axes and some correction coefficient. The energy-shaping control systems with present regulation elements provide worse response compare with classical systems and are hard to be configured. The main aim of this article is to suggest an alternative structure of energy-shaping control system without these disadvantages. For this purpose the energy-shaping control system structures with mechanical damping as regulation element are proposed. There are presented the advantages of mechanical damping injection as well. To exam the proposed system work the comparative researches of its work with old structure system work were carried out.

So, it might be said that for effective regulation in electromechanical system with permanent magnet synchronous motor the energy-shaping control system can be injected with mechanical damping. Such system provides high response and is simple to configure.

Ключові слова – синхронна машина з постійними магнітами, енергетичний підхід, векторне керування, система енергоформуючого керування, додаткове демпфування.

I. Вступ

Для керування синхронною машиною з постійними магнітами (СМПМ) у складі електромеханічної системи використовують енергоформуючі системи керування (СЕФК) [1, 2]. Для здійснення регулювання у такі системи вносять додаткове демпфування за проєкціями вектора струму обмотки якоря на осі обертової системи координат d і q та деякий коректуючий коефіцієнт.

Отримані так СЕФК мають наступні недоліки:

- регулювання здійснюється не за керованою величиною (швидкістю);
- діапазон зміни параметрів системи керування обмежений виходячи із умов стійкості;
- нелінійність керованого об'єкта ускладнює процедуру налаштування;

- налаштування системи є багатопараметричним, і немає відомого алгоритму.

Системи енергоформуючого керування з наявними регулюючими елементами є складними у налаштуванні та забезпечують гіршу якість протікання перехідного процесу порівняно з класичними системами керування [3], і тому їх використання є малоефективне. Для практичного застосування ці системи потрібно поєднувати з іншими підходами до синтезу систем керування [4], однак це суттєво ускладнює процедуру синтезу і саму структуру регуляторів, а налаштування таких систем виходить за рамки звичайної інженерної задачі (стає майже неможливим).

II. СЕФК з механічним демпфуванням

Запропоновано структури регуляторів енергоформуючої САК електромеханічною системою з СМПМ, в яких регулюючим елементом є коефіцієнт демпфування за механічною координатою (швидкістю) [5, 6]. Формування структур відбувається зміною вигляду матриць взаємозв'язків та демпфування системи керування [5]:

$$\mathbf{J}_a = \begin{bmatrix} 0 & -k & -J_{13} \\ k & 0 & -J_{23} \\ J_{13} & J_{23} & 0 \end{bmatrix} \quad \text{та} \quad \mathbf{R}_a = \begin{bmatrix} r_1 & 0 & 0 \\ 0 & r_2 & 0 \\ 0 & 0 & r_3 \end{bmatrix},$$

де k – коректуючий коефіцієнт; J_{13} і J_{23} – елементи, що відповідають за структуру взаємозв'язків; r_1 , r_2 та r_3 – коефіцієнти, що відображають електричне та механічне демпфування системи керування.

У новій СЕФК параметри r_1 , r_2 і k вибираються нульовими, а J_{13} і J_{23} – визначаються таким чином, щоб забезпечувалось ефективне прямування системи до бажаної робочої точки [1].

Внесення механічного демпфування забезпечує:

- простоту у налагодженні (є тільки один параметр налаштування);
- прискорення протікання перехідних процесів;
- зменшення статичної похибки;
- лінійність динаміки усієї системи;
- можливість формування структури регуляторів системи керування в залежності від поставленої задачі, зокрема найпростішого варіанту – використання лише механічного демпфування;
- відсутність потреби у естиматорі моменту.

СЕФК на основі сигналів зворотних зв'язків з давачів струму та енкодера визначає (формує) сигнали завдання на щільність інвертора (рис. 1), що живить СМПМ і під'єднаний до мережі через випрямляч. Оскільки синтез СЕФК відбувається на основі математичної моделі СМПМ в обертовій системі координатах $d-q$ [5], то система вимагає перетворення струмів та щільностей з трифазної abc в обертову систему координат $d-q$ і навпаки. Таким чином СЕФК здійснює векторне керування машиною.

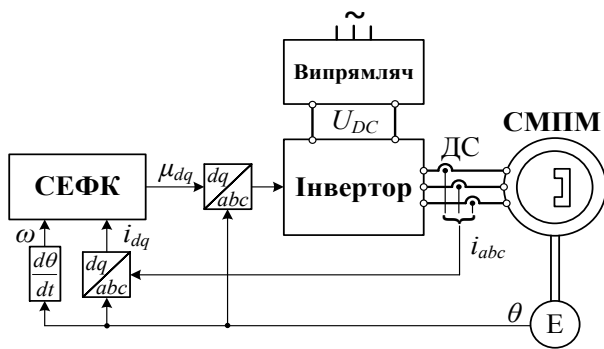


Рис. 1. Функціональна схема керування СМПМ

З метою перевірки роботи одержаної структури системи керування було проведено порівняльні дослідження (рис. 2) для наступних структур СЕФК:

- 1) без внесення додаткового регулювання;
- 2) з електричним демпфуванням (r_1, r_2, k);
- 3) з механічним демпфуванням (r_3).

Дослідження проводились у середовищі MATLAB / Simulink з синхронною машиною потужністю 0,5 кВт, що живиться від інвертора напруги (рис. 1), за наступним алгоритмом: на початку відбувається розгін до номінальної швидкості (рис. 2а, верхній) або 5% від номінальної (рис. 2а, нижній), у момент часу $t = 1,5$ с відбувається накидання навантаження до номінального (рис. 2б) та при досягненні $t = 2,5$ с – його скидання.

Системи 2 і 3 були налаштовані на модульний оптимум (рис. 2а, нижній). Система 1 – немає можливості налаштування.

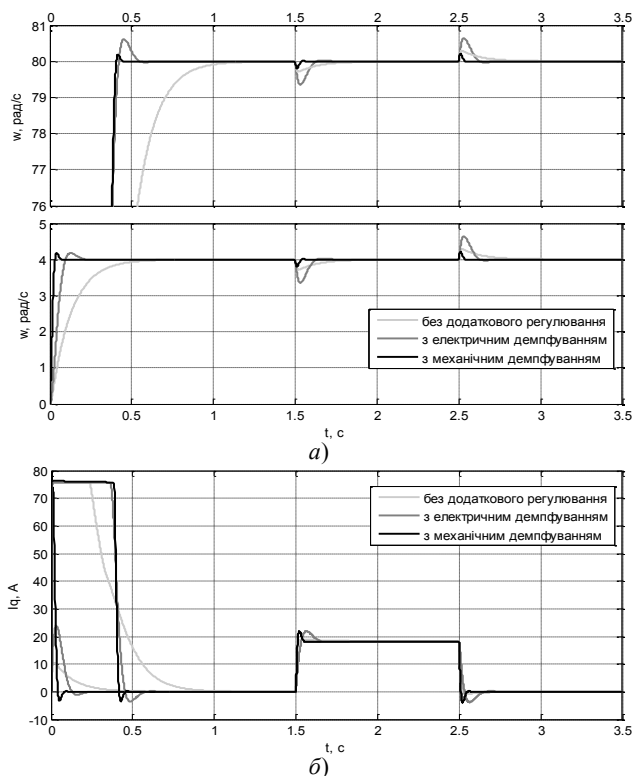


Рис. 2. Осцилограми роботи СМПМ керованої СЕФК: а) кутова швидкість машини; б) проекція струму на вісь q

Висновок

Для здійснення ефективного регулювання у електромеханічній системі на основі синхронної машини з постійними магнітами достатньо доповнити систему енергоформуючого керування коефіцієнтом механічного демпфування. Така система забезпечила високу швидкість, лінійність динаміки усієї системи і є простою у налаштуванні.

Порівнюючи зі структурою без регулювання, використання старої структури (з електричним демпфуванням) дає змогу прискорити швидкість реакції системи на сигнал завдання на 73%, а на зміну навантаження – на 19%; використання ж нової структури (з механічним демпфуванням) – на 93% та 87%, відповідно.

References

- [1] Z. Zou, H. Yu, Y. Tang, "Maximum output power of PMSM based on energy-shaping and PWM control principle," in Proceedings of the IEEE Intr. Conf. on Aut. and Log., Sep., 2008, Qingdao, China, 2008. pp. 1556-1560.
- [2] H. Yu, S. Yu, J. Liu, J. Yu, "L2 Gain Disturbance Attenuation of PMSM Based on Hamiltonian Systems Control Theory," in Proceedings of the 8th World Congress on Intelligent Control and Automation, July 6-9, 2010, Jinan, China, 2010. pp. 2502-2506.
- [3] I. Z. Shchur and Y. O. Biletskyi, "Zastosuvannia pryntsyviv pasyvnoho keruvannia do synkhronnoi mashyny z postiinymy mahnitamy yak Hamiltonovoi systemy z kerovanyvy vkhodamy/vykhodamy" ["Applying passivity-based control to permanent magnet synchronous motor as port-controlled Hamiltonian system"], Elektrotekhnichni ta komp'uterni systemy – Electrotechnical and computer systems, vol. 03 (79), pp. 77-79, 2011.
- [4] B. K. Bose, Modern Power Electronics and AC Drives. N.J: Prentice-Hall, 2002.
- [5] I. Z. Shchur and Y. O. Biletskyi, "Enerhetychni pidkhody v keruvanni neliniinymy systemamy (na prykladi synkhronnoi mashyny z postiinymy mahnitamy)" ["Energy-based approaches in control of nonlinear systems (at example of permanent magnet synchronous motor)"], Visnyk Natsionalnoho universytetu "Lvivska politekhnika" – Lviv Polytechnic National University Journal, vol. 736, pp. 139-145, Dec. 2012.
- [6] I. Z. Shchur and Y. O. Biletskyi, "Enerhoformuiuche optimalne keruvannia navantazhenniam vitro-elektroustanovky z synkhronnym heneratorom na postiinykh mahnitakh" ["Energy-shaping optimal control of electric wind turbine with permanent magnet synchronous generator"], Naukovi pratsi Donetskoho natsionalnoho tekhnichnoho universytetu, Seriya "Elektrotehnika i enerhetyka" – Scientific papers of Donetsk national university, vol. 2 (15), pp. 280-286, 2013.