

ДОСЛІДЖЕННЯ СИСТЕМИ ВЕКТОРНОГО КЕРУВАННЯ АСИНХРОННИМ ДВИГУНОМ НА ОСНОВІ КОНЦЕПЦІЇ ЗВОРотної ЗАДАЧІ ДИНАМІКИ

Одна з проблем практичного застосування законів керування координатами електроприводів, отриманих на основі методів класичної теорії автоматичного керування, полягає в необхідності мати повну та достовірну інформації про параметри математичної моделі об'єкта керування, бо ці закони за своєю природою є компенсаційного типу, що обумовлено досягненням функціоналом якості в ході оптимізації абсолютного мінімуму. У результаті цього для забезпечення заданої якості керування потрібні точні значення параметрів об'єкта, а при їхній зміні – додаткові алгоритми ідентифікації або адаптації, що підвищує складність і громіздкість системи керування. Одним із шляхів вирішення такої актуальної задачі як підвищення якості векторного керування швидкістю асинхронного двигуна в умовах параметричних збурень без застосування додаткових алгоритмів є створення законів керування на основі концепції зворотної задачі динаміки в поєднанні з мінімізацією локальних функціоналів енергій руху [1].

Метою даної роботи є підтвердження теоретичних положень, отриманих при синтезі системи непрямого векторного керування швидкістю асинхронного двигуна на основі концепції зворотної задачі динаміки.

Модель асинхронного двигуна (АД) в синхронній системі координат, що ідеально зорієнтована за вектором потокозчеплення ротора, описується наступними рівняннями [1]:

$$\begin{cases} \frac{d\omega}{dt} = \frac{1}{J} \left[\frac{3}{2} p_n \frac{L_m}{L_2} (|\psi_2^*| i_{1q}) - M_c \right]; \\ \frac{di_{1d}}{dt} = -\frac{R_1}{\sigma} i_{1d} - \alpha \beta L_m i_{1d} + \alpha \beta |\psi_2^*| + \omega_o i_{1q} + \frac{u_{1d}}{\sigma}; \\ \frac{di_{1q}}{dt} = -\frac{R_1}{\sigma} i_{1q} - \alpha \beta L_m i_{1q} - \beta \omega |\psi_2^*| - \omega_o i_{1d} + \frac{u_{1q}}{\sigma}; \\ \frac{d\psi_2^*}{dt} = -\alpha |\psi_2^*| + \alpha L_m i_{1d}. \end{cases} \quad (1)$$

де $\alpha = R_2 / L_2$, $\sigma = L_1 - L_m^2 / L_2$, $\beta = L_m / \sigma L_2$ – параметри моделі; p_n – число пар полюсів; L_m, L_1, L_2 – індуктивність намагнічуючого контуру, статора та ротора; U_{1d}, U_{1q} – компоненти вектора напруги статора; i_{1d}, i_{1q} – компоненти вектора струму статора; $|\psi_2^*|$ – модуль вектора потокозчеплення ротора; ω_o – кутова швидкість обертання системи координат (d-q); ω, J – кутова швидкість та момент інерції двигуна; M_c – момент навантаження.

Синтез регуляторів потокозчеплення, складових струму та швидкості здійснено на основі концепції зворотної задачі динаміки в поєднанні з мінімізацією локальних функціоналів, що характеризують миттєві значення енергії руху [1]. Рівнянням першого порядку задається бажана якість керування відповідною координатою (складові струму статора, потокозчеплення ротора, швидкість) замкнутого контуру системи векторного керування асинхронним електроприводом

$$z + \alpha_0 z = \alpha_0 x^* \quad (2)$$

де $\alpha_0 = 3/t_n$ – коефіцієнт, яким задається бажана тривалість перехідного процесу t_n та забезпечується астатизм 1-го порядку; z, x^* – бажана вихідна координата контуру керування та її задане значення. Ступінь наближення реального процесу до бажаного оцінюється функціоналом, який характеризує нормовану енергію першої похідної магнітного поля (для струмів та потокозчеплення) чи кінетичної енергії (для швидкості)

$$G(u) = \frac{1}{2} [\dot{z}(t) - \dot{y}(t)]^2 \quad (3)$$

де y – реальна вихідна координата контуру керування. При знаходженні керуючої функції $u(y)$ класичними методами за умови абсолютного мінімуму функціонала отримується традиційний закон керування компенсаційного типу, для реалізації якого необхідна точна інформація про структуру та параметри об'єкта (1). Цей недолік усувається, якщо обмежитися лише вимогою, щоб значення функціонала (3) належало околиці екстремуму-мінімуму, яке забезпечує допустиму по технічним умовам динамічну похибку. Для цього мінімізація функціонала здійснюється за градієнтним законом першого порядку

$$\frac{du(t)}{dt} = -\lambda \frac{dG(u)}{du} \quad (4)$$

де λ – константа. Після підстановки (3) в (4) з урахуванням (2) та (1) знаходиться закон керування кожною координатою електропривода

$$u(t)=k(z-y); \quad z=\alpha_0 \int_0^t (x^*-y)dt. \quad (5)$$

Як видно з (5), параметри регуляторів не залежать від параметрів об'єкту керування (1), що характерно для класичних законів керування, а визначаються лише параметром α_0 рівняння бажаної якості керування (2). Це надає системі керування властивості слабкої чутливості до параметричних збурень. Ідеальна нечутливість має місце при коефіцієнті підсилення регулятора $k \rightarrow \infty$, що забезпечує повне співпадіння реальної та бажаної якості керування. Звичайно, при допустимому з точки зору технічної реалізації коефіцієнті підсилення існує похибка керування, максимально допустима величина якої встановлюється технічними вимогами. Іншими перевагами представленого закону керування є відсутність диференційних ланок та збереження стійкості системи при необмеженому підвищенні коефіцієнта підсилення регулятора $k \rightarrow \infty$ [1].

Дослідження представленої системи непрямого векторного керування швидкістю проведено шляхом математичного моделювання на прикладі АД з короткозамкнутим ротором типу 4АО80В2. Двигун має наступні дані: $P_n=0.75$ кВт, $\omega_n=300$ рад/с, $U_{1n}=380$ В, $f_{1n}=50$ Гц – номінальна потужність, кутова швидкість, лінійна напруга та частота напруги; $R_1=11$ Ом, $R_2=5.51$ Ом – активний опір статора та приведенного ротора; $L_1=0.95$ Гн, $L_2=0.95$ Гн – індуктивність статора та приведена ротора; $L_m=0.91$ Гн – індуктивність намагнічуючого контуру; $J=0.005$ кг·м² – момент інерції двигуна; $M_n=2.5$ Нм – номінальний момент. Відповідна функціональна схема системи векторного керування та її опис представлено в [1].

Синтезовані регулятори на основі концепції зворотних задач динаміки в поєднанні з мінімізацією локальних функціоналів миттєвих значень енергій мають наступні коефіцієнти: регулятор струму РС1: $\alpha_{oid}=175$, $k_{id}=50$, $t_n=0.017$ с; регулятор швидкості РШ: $\alpha_{ow}=30$, $k_w=0.2$, $t_n=0.1$ с; регулятор струму РС2: $\alpha_{oiq}=175$, $k_{iq}=50$, $t_n=0.017$ с.

Алгоритм векторного керування здійснює регулювання швидкості двигуна в наступній послідовності: під час початкового інтервалу часу 0-0.25 с машина збуджується, траєкторія заданого потоку починається з $\psi^*(0)=0.02$ Вб і досягає значення 0.9 Вб з першою похідною, рівною 3.52 Вб/с; починаючи з $t=0.6$ с двигуна без навантаження розганяється по заданій траєкторії швидкості, що має нульове початкове значення та досягає 50 рад/с з першою похідною, рівною 714 рад/с²; в момент часу $t=1$ с до валу двигуна прикладається постійний момент навантаження, рівний номінальному значенню, а в момент часу $t=1.5$ с з валу двигуна знімається навантаження. Дослідження роботи системи проведено на швидкості в шестеро меншій за номінальну, коли вплив збурень стає суттєвим. На рис. 1 показані графіки заданої траєкторії швидкості, перехідного процесу швидкості та похибки швидкості при використанні законів керування координатами електропривода на основі концепції зворотної задачі динаміки.

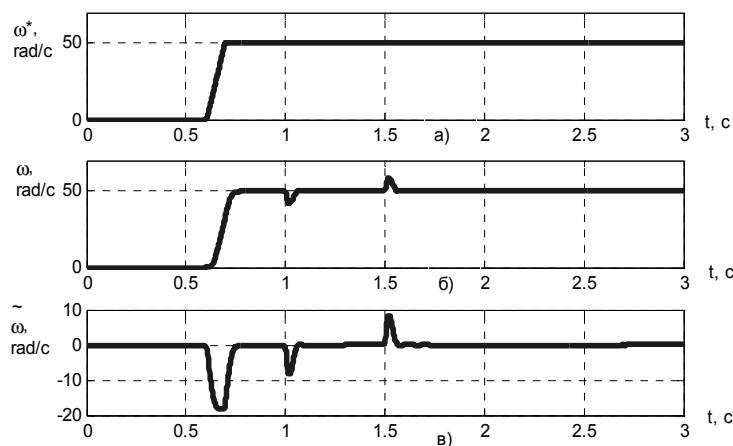


Рис. 1. Графіки: а) заданої траєкторії швидкості; б) перехідного процесу швидкості; в) похибки швидкості при використанні законів керування, які реалізованого шляхом математичного моделювання

Як видно з рисунку, результати дослідження підтверджують справедливості теоретичних положень синтезу законів керування на основі концепції зворотної задачі динаміки в поєднанні з мінімізацією локальних функціоналів енергій руху. Система керування забезпечує нульову статичну похибку з допустимими динамічними похибками під розгону та накидання номінального навантаження.

ЛИТЕРАТУРА

1. Островерхов М.Я., Сигаев О.Л., Бурик М.П. Система непрямого векторного керування асинхронним двигуном на основі концепції зворотної задачі динаміки/ Вип. 3. – Ч. 2 XII Міжнародна науково-технічна конференція «Проблеми енергоресурсозбереження в електротехнічних системах. Наука, освіта та практика». – Кременчук: КДПУ ім. Михайла Остроградського, ІЕЕКТ, 2010. – С. 29-32.