

Островерхов М.Я., д-р техн. наук, професор
 Коломійчук Д.С., магістрант, Фальченко М.Ю., аспірант
 Большаков Г.Г., аспірант, Вещиков Г.В., аспірант
 Національний технічний університет України
 «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

КЕРУВАННЯ ШВИДКІСТЮ СИНХРОННОГО ДВИГУНА С ПОСТІЙНИМИ МАГНІТАМИ У КОВЗНОМУ РЕЖИМІ

Вступ. Синхронні двигуни з постійними магнітами мають широке застосовуються в електроприводах та електромеханічних системах різного призначення [1-2]. Внаслідок нагрівання обмоток двигуна або зміни кінематики механізму параметри електропривода можуть змінюватися або можуть бути неточно визначені на основі існуючих методик. На локальні контури керування електропривода діють координатні збурення внаслідок внутрішніх електромеханічних взаємозв'язків електродвигуна.

Вирішити задачу синтезу алгоритмів керування в таких умовах параметричних та координатних збурень можна методами теорії систем із змінною структурою у ковзному режимі. У ковзних режимах системи володіють властивостями, які недосяжні при застосуванні неперервних алгоритмів керування. Синтез алгоритмів керування у ковзних режимах класичними методами пов'язано з труднощами при визначенні рівняння та практичній реалізації гіперповерхні переключення [1]. Зменшити труднощі синтезу можливо при застосуванні ідей методу зворотних задач динаміки у поєднанні з мінімізацією локальних функціоналів миттєвих значень енергії [3].

Мета та завдання. Метою роботи є розробка та дослідження алгоритмів керування швидкістю синхронного двигуна з постійними магнітами у ковзному режимі на основі концепції зворотних задач динаміки у поєднанні з мінімізацією локальних функціоналів миттєвих значень енергій, які забезпечують астатизм першого, другого та третього порядку.

Матеріал і результати досліджень. В основу концепції покладено ідею зворотності прямого методу Ляпунова з дослідження стійкості. Метод дозволяє знаходити закон керування, у якому замкнутий контур має наперед задану функцію Ляпунова, в якості якої виступає миттєве значення енергії. Характерною особливістю оптимізації є знаходження не абсолютного мінімуму функціоналу якості, як у класичних системах, а деякого мінімального значення, що забезпечує допустиму за технічними умовами динамічну похибку системи.

Функціональна схема системи векторного керування швидкістю з орієнтацією за полем ротора містить замкнутий контур регулювання струму i_d по осі d , замкнутий контур регулювання струму i_q по осі q та зовнішній до нього замкнутий контур регулювання швидкості ротора ω_r .

Бажана якість будь-якого замкнутого контуру керування згідно з концепцією зворотної задачі динаміки [3] задається звичайним диференціальним рівнянням наступного вигляду:

$$\frac{d^r y}{dt^r} + \dots + \alpha_i \frac{d^i y}{dt^i} + \dots + \alpha_0 y = \beta_l \frac{d^l x^*}{dt^l} + \dots + \beta_j \frac{d^j x^*}{dt^j} + \dots + \beta_0 x^*. \quad (1)$$

За допомогою коефіцієнтів рівняння α_i та β_j задається бажаний характер і тривалість перехідного процесу вихідної координати y під час руху по заданій траєкторії x^* , де: x^* – диференційована за часом необхідну кількість разів функція, причому $l < r$. Порядок r рівняння (1) може бути різним для кожного замкнутого контуру керування згідно з вимогами до якості керування. Типово порядок r дорівнює або більше порядку об'єкта керування.

Ступінь наближення реального процесу керування струмом до бажаного оцінюється локальним функціоналом, який характеризує нормовану за індуктивністю миттєву енергію першої похідної магнітного поля, яка виступає функцією Ляпунова

$$G(u_d) = \frac{1}{2} [\dot{y}_d(t) - \dot{i}_d(t, u_d)]^2. \quad (2)$$

Мінімізація функціоналу (2) здійснюється за градієнтним законом першого порядку

$$\frac{du_d(t)}{dt} = -\lambda_d \frac{dG(u_d)}{du_d}, \quad (3)$$

де $\lambda_d > 0$ – константа.

Висновки. Запропоновано метод синтезу алгоритмів керування швидкістю синхронного двигуна з постійними магнітами у ковзному режимі на основі концепції зворотної задачі динаміки у поєднанні з мінімізацією локальних функціоналів миттєвих значень енергії. Сигнали на виході регуляторів складових струму статора та швидкості змінюються стрибком від максимального до мінімального значення. Особливістю регуляторів є відсутність в них параметрів синхронного двигуна, що характерно для класичних регуляторів. Параметри регуляторів містять тільки коефіцієнти, за допомогою яких задається бажана тривалість та вид перехідних процесів струму і швидкості електродвигуна.

Результати моделювання показали працездатність алгоритмів керування, які забезпечують високі показники якості керування. Алгоритм керування швидкістю з астатизмом 1-го порядку забезпечує нульову похибку регулювання тільки при незмінному сигналі завдання. При лінійнозростаючому сигналі завдання усталена відносна похибка регулювання становить 2,5 %, а при параболічному сигналі завдання похибка змінюється в межах від нулю до 2,5 %. Алгоритм керування швидкістю з астатизмом 2-го порядку забезпечує нульову усталену похибку регулювання при незмінному та лінійнозростаючому сигналі завдання, а при параболічному сигналі завдання усталена відносна похибка регулювання дорівнює 0,125 %. Алгоритм керування швидкістю з астатизмом 3-го порядку забезпечує нульову усталену похибку регулювання при незмінному, лінійнозростаючому та параболічному сигналі завдання.

Список використаних джерел:

1. R. Zhang, Y. Xia, P. Zhu, G. Huang, Y. Zhang and X. Mi, "Speed control of Permanent Magnet Synchronous Motor system using quick-power reaching law based on sliding mode control," *2023 CAA Symposium on Fault Detection, Supervision and Safety for Technical Processes (SAFEPROCESS)*, Yibin, China, 2023, pp. 1-7, doi: 10.1109/SAFEPROCESS58597.2023.10295830.
2. M. Ostroverkhov, V. Chumack and E. Monakhov, "Synchronous Axial-Flux Generator with Hybrid Excitation in Stand Alone Mode", *2019 IEEE 2nd Ukraine Conference on Electrical and Computer Engineering (UKRCON)*, Lviv, Ukraine, 2019, pp. 455-459. doi: 10.1109/UKRCON.2019.8879849.
3. N. Ostroverkhov and N. Buryk, "Control System with Field Weakening of Synchronous Motor Drive," *2020 IEEE Problems of Automated Electrodrive. Theory and Practice (PAEP)*, Kremenchuk, Ukraine, 2020, pp. 1-5, doi: 10.1109/PAEP49887.2020.9240903.

References:

1. R. Zhang, Y. Xia, P. Zhu, G. Huang, Y. Zhang and X. Mi, "Speed control of Permanent Magnet Synchronous Motor system using quick-power reaching law based on sliding mode control," *2023 CAA Symposium on Fault Detection, Supervision and Safety for Technical Processes (SAFEPROCESS)*, Yibin, China, 2023, pp. 1-7, doi: 10.1109/SAFEPROCESS58597.2023.10295830.
2. M. Ostroverkhov, V. Chumack and E. Monakhov, "Synchronous Axial-Flux Generator with Hybrid Excitation in Stand Alone Mode", *2019 IEEE 2nd Ukraine Conference on Electrical and Computer Engineering (UKRCON)*, Lviv, Ukraine, 2019, pp. 455-459. doi: 10.1109/UKRCON.2019.8879849.
3. N. Ostroverkhov and N. Buryk, "Control System with Field Weakening of Synchronous Motor Drive," *2020 IEEE Problems of Automated Electrodrive. Theory and Practice (PAEP)*, Kremenchuk, Ukraine, 2020, pp. 1-5, doi: 10.1109/PAEP49887.2020.9240903.