

ДОСЛІДЖЕННЯ СТІЙКОСТІ САР ПОТОКОЗЧЕПЛЕННЯ РОТОРА АСИНХРОННОГО ЕНЕРГООЩАДНОГО ЕЛЕКТРОПРИВОДУ

Приймак Б.І., ст. викладач, к.т.н., Федіна В.П., магістрант

кафедра автоматизації електромеханічних систем та електроприводу

Вступ. Системи векторного керування асинхронними двигунами (АД), як відомо, будуються у вигляді двох автономних систем автоматичного регулювання (САР): САР швидкості (положення) та САР потокозчеплення ротора двигуна [1]. В енергоощадних асинхронних електроприводах (АЕП) магнітний потік двигуна не стабілізується на номінальному рівні, як у приводах без енергозаощадження, а змінюється так, щоб бути енергооптимальним для поточних навантажень та швидкостей двигуна. Функціонування САР потокозчеплення ротора двигуна в режимі значних та інтенсивних змін керованої змінної викликає значні варіації взаємодуктивності АД в темпі перебігу перехідних процесів. Крім цього існують значні але досить повільні варіації термозалежного опору ротора. За класифікацією систем з нестабільними параметрами [2] щодо 1-го параметру система є суттєво нестационарною, а щодо 2-го – квазістационарною.

Враховуючи сказане, стає актуальною задача дослідження стійкості САР потокозчеплення ротора з врахуванням наявності зазначених варіацій параметрів об'єкта. Варіант розв'язання такої задачі пропонується у цій статті.

Мета роботи. Метою даної праці є проведення оцінки стійкості дискретної комбінованої модальної САР потокозчеплення ротора енергоощадного АЕП в умовах істотних варіацій опору ротора та взаємодуктивності двигуна.

Матеріал дослідження. Структурна схема дискретної САР потокозчеплення ротора зображена на рис.1, де ψ_r, ψ_r^* – модуль вектора потокозчеплення ротора та його завдання; T_0 – такт квантування за часом;

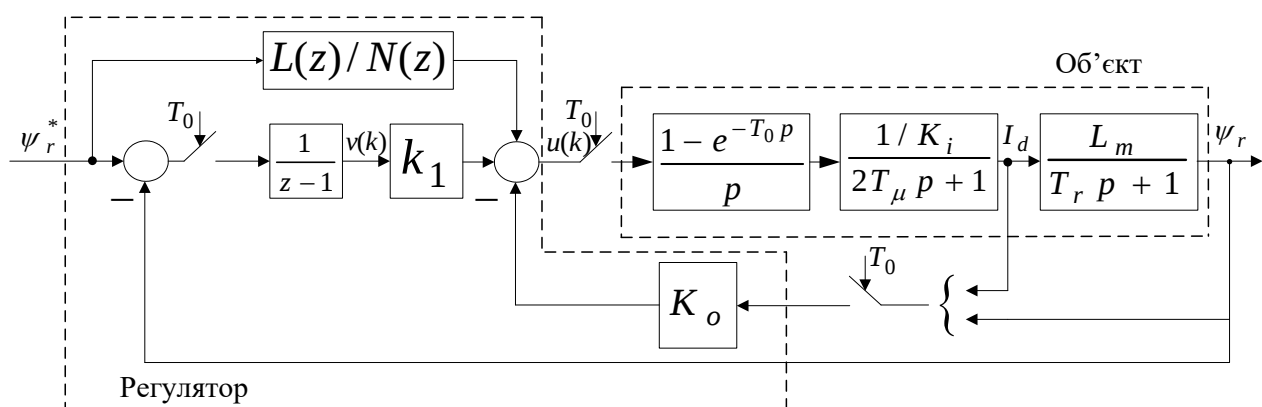


Рисунок 1– Структурна схема САР потокозчеплення ротора з КМ-регулятором

$z = e^{T_0 p}$ – параметр z -перетворення. Зведений об'єкт керування складається із фіксатора нульового порядку та двох аперіодичних ланок 1-го порядку. Перша

з них описує замкнутий контур регулювання потокової складової I_d вектора струму з пропорційно-інтегральним регулятором, налаштованим на модульний оптимум, де T_μ – мала некомпенсована стала часу у контурі струму; K_i – коефіцієнт зворотного зв'язку за струмом. Друга з цих ланок описує зв'язок між струмом та потокозчепленням, де L_m – взаємна індуктивність між статором та ротором; $T_r = (L_m + L_{r\sigma})/R_r$ – стала часу ротора; $L_{r\sigma}$ – індуктивність розсіювання ротора; R_r – активний опір фази ротора.

Процедура синтезу комбінованого модального (КМ) регулятора викладена в [3]. На рис.1. зображена структура КМ-регулятора, яка включає кола зворотного та прямого зв'язків. Для синтезу зворотного зв'язку використовується класичний метод модального керування, що дозволяє забезпечити бажане розташування коренів характеристичного рівняння замкнутої системи або, іншими словами, дозволяє розташувати полюси (моди) ПФ замкненої САР бажаним чином. При цьому визначається матриця коефіцієнтів регулятора $\mathbf{K} = [-k_1 \quad \mathbf{K}_0]$ для вектора стану $\mathbf{x} = [v, I_d, \psi_r]^T$.

Для визначення параметрів прямого зв'язку $L(z)/N(z)$ використовується поліноміальний підхід. Він дозволяє за допомогою прямого зв'язку скомпенсувати частину або всі полюси ПФ замкненої системи. Цим досягається поліпшення показників якості перехідного процесу системи за завданням аж до отримання фінітного процесу керування.

Зважаючи на відомі проблеми практичного застосування 2-го методу Ляпунова, при дослідженні стійкості систем з нестабільними параметрами також використовують розроблені для лінійних САР методи, що ґрунтуються на критеріях стійкості Гурвіца чи Найквіста або на побудові кіл Гершгоріна [2]. Враховуючи це, ми застосуємо методику оцінювання стійкості дискретної комбінованої модальної САР потокозчеплення ротора енергоощадного АЕП, що полягатиме у наступному. По-перше, слід локалізувати область бажаних значень полюсів замкненої не варійованої системи. По-друге, треба побудувати кореневі годографи варійованої системи для всіх варіантів бажаних полюсів, постійних граничних значень R_r та змінюваної величини $L_m = \text{var}$ у відповідності до множини значень цього параметра. По-третє, за виглядом годографів слід зробити висновок щодо стійкості системи.

Для досліджень використано АД з такими паспортними даними для потужності, частоти обертання, фазної напруги та струму: $P_n = 1500 \text{ Вт}$; $n_n = 1413 \text{ об/хв}$; $U_n = 220 \text{ В}$; $I_n = 3.56 \text{ А}$. Параметри моделі об'єкта мають наступні значення: $T_\mu = 2 \cdot 10^{-3} \text{ с}$; $K_i = 1$; $L_{r\sigma} = 0.0238 \text{ Гн}$; $L_{mm} = 0.374 \text{ Гн}$; $R_{rn} = 3.71 \text{ Ом}$; $T_{rn} = 0.103 \text{ с}$ (індексом "n" позначено номінальні значення змінних параметрів). Такт квантування вибрано рівним $T_0 = 0.005 \text{ с}$. Межі змін параметрів були прийняті $(-50 \div +100)\%$ для R_r та $(-40 \div +30)\%$ для L_m .

При синтезі об'єкт був не варійованим і полюси замкненої САР z_i^0 , $i=1..3$ встановлювалися дійсними та кратними $z_1^0 = z_2^0 = z_3^0 = z_0$. Значення кратних коренів z_0 в дослідженні почергово вибиралося із множини $z_0 \in \{0, 0.3, 0.6, 0.9\}$. Змінний параметр R_r задавався своїми екстремальними значеннями. Значення параметра L_m в дослідженні вибиралося із множини $L_m \in \{0.6, 0.7, 0.8, 0.9, 1.1, 1.2, 1.3\} \times L_{mn}$. На рис. 2 представлені годографи полюсів САР z_i , $i=1..3$ для варійованого об'єкта при $z_0 = 0$ та $z_0 = 0.9$.

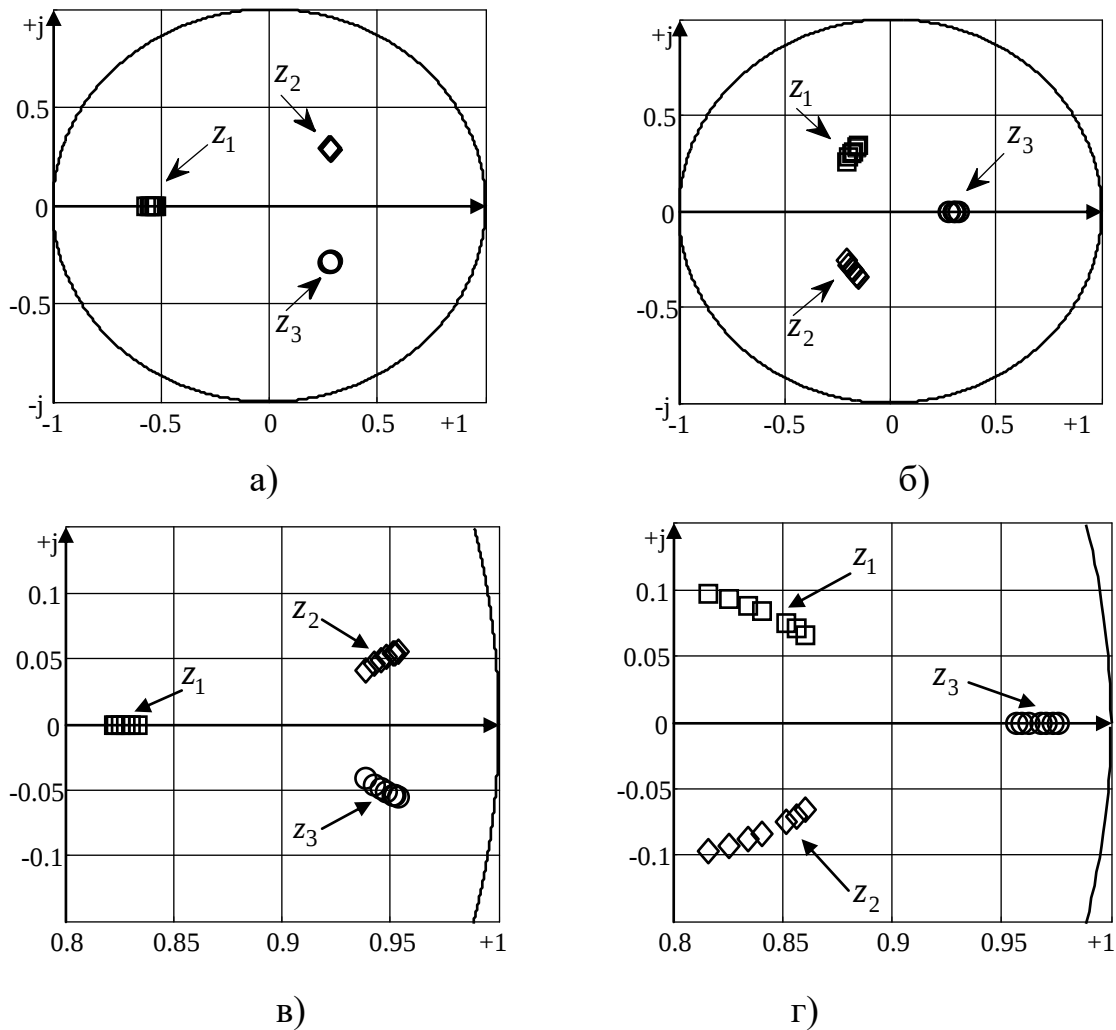


Рисунок 2 – Годографи коренів замкненої САР для параметрів:

- а) $z_0 = 0$, $R_r = 0.5R_{rn}$, $L_m = \text{var}$; б) $z_0 = 0$, $R_r = 2R_{rn}$, $L_m = \text{var}$;
 в) $z_0 = 0.9$, $R_r = 0.5R_{rn}$, $L_m = \text{var}$; г) $z_0 = 0.9$, $R_r = 2R_{rn}$, $L_m = \text{var}$;

Аналіз отриманих кореневих годографів засвідчує, що вони не виходять за межі одиничного круга z -площини. Отже САР потокозчеплення ротора стійка при всіх варіаціях параметрів L_m та R_r у встановлених межах.

Далі було перевірено отриманий результат оцінювання стійкості САР шляхом математичного моделювання. Остання ланка об'єкта керування, схема якого зображена на рис.1, при моделюванні була реалізована таким чином, щоб

враховувати зміни параметрів L_m та R_r . Варіації параметра R_r задавалися постійними у вигляді своїх мінімального та максимального значення. Параметр L_m обчислювався неперервно за отриманою на основі характеристики намагнічування двигуна залежністю $L_m = f(\underline{\psi}_m)$, де ψ_m модуль вектора потокозчеплення у повітряному проміжку, а $\underline{\psi}_m$ відповідно його відносне значення. При цьому було прийнято $\underline{\psi}_r \approx \underline{\psi}_m$ і при визначенні L_m аргументом була змінна ψ_r у відносних одиницях (в.о.)

На рис. 3 представлені отримані шляхом моделювання криві ψ_r та L_m .

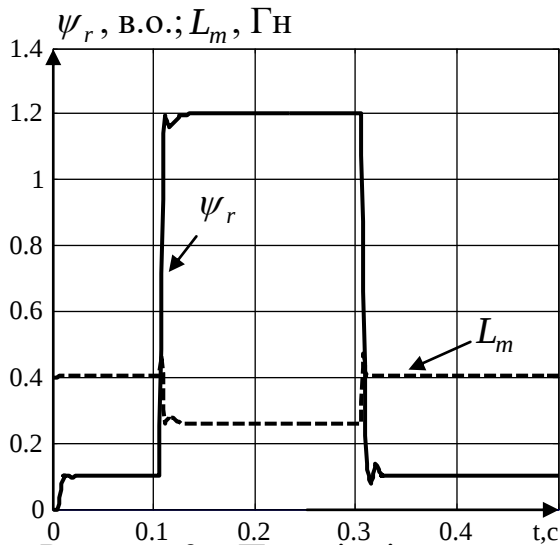


Рисунок 3 – Перехідні процеси ψ_r та L_m при

$$z_0 = 0, R_r = 2R_{rn}, L_m = f(\psi_r)$$

При моделюванні у момент часу $t = 0.1$ с здійснювався накид завдання ψ_r^* від 0.1 в.о. до 1.2 в.о., а у $t = 0.3$ с – скид ψ_r^* від 1.2 в.о. до 0.1 в.о. При цьому струм I_d не обмежувався з метою отримання максимального темпу змін L_m , а прямий зв'язок в регуляторі, який не впливає на стійкість САР, був від'єднаний щоб полегшити аналіз кривих. З рис. 3 видно, що перехідні процеси досить добре демпфовані. Аналогічне моделювання було проведено для всіх інших комбінацій значень z_0 та R_r , що використовувались вище при побудові кореневих годографів. Всі результати моделювання засвідчили стійкість дискретної комбінованої

модальної САР потокозчеплення ротора АЕП зі змінними параметрами.

Висновки. Згідно із запропонованою методикою на основі використання кореневих годографів, проведено дослідження стійкості дискретної комбінованої модальної САР потокозчеплення ротора енергоощадного АЕП за наявності варіацій взаєміндуктивності та опору ротора двигуна. Шляхом моделювання нелінійної системи зі змінними параметрами підтверджено отриманий при оцінюванні стійкості позитивний висновок.

Перелік посилань

1. Шенфельд Р., Хабигер Э. Автоматизированные электроприводы: Пер. с нем./ Под ред. Ю.А.Борцова. - Л.: Энергоатомиздат, Ленингр. отд.-ние, 1985.- 464 с.
2. Ходько С.Т. Проектирование систем управления с нестабильными параметрами.- Л.: Машиностроение. Ленингр. отд.-ние, 1987. - 232 с.
3. Приймак Б.І., Федіна В.П., Денисюк С.А. Синтез комбінованого модального регулятора потокозчеплення ротора асинхронного енергоощадного електроприводу // Збірник наук. праць VIII Всеукр. н.-т. конф. молодих уч. та спец. "ЕЕСММО-2010". – Кременчук, КДУ. – 2010. – С. 276-278.