

УДК 621.313.333

Мельников В. О.¹, Калінов А. П.², Кочуров І. М.³¹Канд. техн. наук, доцент, Кременчуцький національний університет ім. М. Остроградського, Україна, E-mail: melnykow@gmail.com²Канд. техн. наук, доцент, Кременчуцький національний університет ім. М. Остроградського, Україна³Магістрант, Кременчуцький національний університет ім. М. Остроградського, Україна

КОМПЕНСАЦІЯ ВПЛИВУ НЕСИМЕТРІЇ ОБМОТОК СТАТОРА АСИНХРОННОГО ДВИГУНА У СИСТЕМАХ ВЕКТОРНОГО КЕРУВАННЯ

Представлено методи компенсації впливу несиметрії обмоток статора асинхронного двигуна на характеристики систем електропривода з векторним керуванням. Показано, що застосування запропонованих систем керування, за рахунок внесення додаткових сигналів компенсації в замкнені контури регулювання струму статора двигуна, дозволяють компенсувати змінну складову електромагнітного моменту, чи змінну складову споживаної потужності. При цьому застосування системи компенсації змінної складової електромагнітного моменту двигуна дозволяє зменшити вібрації двигуна, а застосування системи компенсації змінної складової споживаної активної потужності дозволяє зменшити теплове перевантаження окремих фаз, що збільшує термін експлуатації ізоляції обмоток статора асинхронного двигуна.

Ключові слова: асинхронний двигун, векторне керування, несиметрія статора, компенсація.

ВСТУП

Підвищені вимоги до статичних, динамічних та енергетичних показників якості керування електроприводами (ЕП) змінного струму призвели до того, що на сьогоднішній день широкого застосування набули системи векторного керування асинхронними двигунами (АД). Можливість керування перехідними процесами, забезпечення високої швидкодії і енергоефективності системи електропривода надає перевагу даному методу в порівнянні з іншими. Вирішальним фактором, що впливає на якість регулювання є наявність точної інформації про поточні значення електромагнітних параметрів АД. Неточність визначення цих параметрів, призводить до зниження якості регулювання вихідних координат ЕП [1].

Відомо, що під час роботи АД його параметри можуть відхилятися від паспортних внаслідок різноманітних пошкоджень [2]. Основними причинами виникнення таких несправностей є вібрації двигуна, його перегрів та механічні впливи [3]. Зазначені чинники призводять до появи електричної та магнітної несиметрії двигуна. Порушення симетрії АД може бути викликано різноманітними пошкодженнями обмоток і осердя статора та ротора, виникнення ексцентриситету ротора. Несиметрія обмоток статора може з'являтися в результаті таких пошкоджень як обриви в паралельних гілках та елементарних провідниках фазних обмоток. Найчастіше такі пошкодження є наслідком пробів ізоляції та виникнення виткових замикань. Ці замикання викликають локальний перегрів, що в результаті може призвести до обриву фази, паралельної секції або до фазного чи міжфазного короткого замикання. Ступінь несиметрії, спричиненої такими пошкодженнями, залежить від кількості паралельних гілок у фазі та елементарних провідників в пазу. Аналіз схем конструктивної реалізації обмоток АД показав, що АД невеликої потужності ($\leq 15\text{--}20\text{кВт}$) зазвичай мають

невелику кількість паралельних гілок (2, 3), і обрив однієї з них призведе до суттєвої несиметрії, яка може бути швидко діагностована. У потужних ($\geq 100\text{кВт}$) багатополосних ($2p \geq 4$) АД обмотки зазвичай виконуються із значною кількістю паралельних гілок та додатковим розподілом ефективного провідника на декілька елементарних, з'єднаних паралельно. У АД великої потужності обмотки найчастіше виконуються із прямокутного проводу із можливою кількістю елементарних провідників в ефективному провідникові, рівної двом, чотирьом або шести. Через це, при пошкодженні одного провідника або паралельної гілки такі двигуни можуть працювати в несиметричному режимі досить довго без спрацьовування систем струмового захисту. Але це призводить до несиметрії струмового завантаження фаз статора та суттєвого підвищення гріючих втрат в окремих фазах АД при невеликій зміні в значенні сумарних втрат.

Таким чином, унаслідок роботи систем ЕП з пошкодженими АД, спостерігаються значна втрата якості керування, знижуються показники енергетичної ефективності процесу електромеханічного перетворення енергії, суттєво збільшуються втрати та з'являються змінні складові електромагнітного моменту та споживаної активної потужності.

На даний час відомі методи, які в тій чи іншій мірі дозволяють вирішити питання зменшення впливу зміни параметрів АД на якість керування систем ЕП в робочому режимі [4]. Однак у більшості з розроблених підходів не враховується зміна параметрів АД за фазами. Тобто такі методи не дозволяють в повній мірі використовувати переваги систем векторного керування двигунами з несиметричними обмотками статора. Для можливості керування пошкодженими АД, можуть бути використані методи запропоновані в роботах [5–6]. Однак останні забезпечують лише безаварійну зупинку АД при обриві однієї з фаз статора, при цьому питання роботи системи

ЕП з АД, що має несиметрію обмоток взагалі не розглядається.

Задача керування АД з пошкодженнями обмоток статора може бути вирішена при використанні запропонованої в роботі [7] системи роздільного векторного керування. Принципова можливість корекції енергетичних показників асинхронних двигунів з пошкодженнями статора, показана в аналітичному вигляді на основі алгоритму дискретної згортки двох рядів [8] шляхом зміни вхідних векторів ортогональних складових струмів і потокозчеплень двигуна. При цьому корекція режимів роботи досягається шляхом зменшення потокозчеплення несиметричної фази АД. Представлена система керування дозволяє ефективно компенсувати вплив несиметрії обмоток статора на характеристики системи ЕП [9]. Однак вона відрізняється складністю своєї технічної реалізації за рахунок формування сигналів керування за кожною фазою двигуна.

При вирішенні задач компенсації нелінійності та несиметрії навантаження в електричних мережах застосовуються напівпровідникові силові активні фільтри (САФ). Алгоритми роботи САФ базуються на використанні різноманітних теорій потужностей [10], що дозволяють вирішити наступні задачі: усунення вищих гармонік струму, компенсація реактивної складової основної гармоніки струму мережі живлення, симетрування струмів в фазах трифазного навантаження, придушення струмів нульової послідовності, компенсація змінних складових активної та реактивної потужності. Однак такі системи та методи не розглядають можливість керування АД з несиметрією та пошкодженими обмотками статора.

Можливість застосування в якості компенсатора безпосередньо перетворювача частоти в системі частотно-керованого електропривода зі скалярним керуванням показано в роботі [11]. У запропонованій системі окрім основних сигналів керування перетворювачем вводяться додаткові компенсуючі сигнали, розраховані на основі миттєвих значень струму та напруги. Виявляючи змінні складові потужності та електромагнітного моменту, які необхідно усунути, компенсатор формує відповідні сигнали керування автономним інвертором напруги. Однак запропонований метод не було розвинуто для застосування у системах ЕП з векторним керуванням.

МЕТА

Розробка методів компенсації впливу несиметрії обмоток статора АД на динамічні та енергетичні характеристики систем ЕП з векторним керуванням, які б відрізнялися ефективністю та простотою реалізації.

МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Дослідження динамічних та енергетичних режимів роботи АД з несиметричними обмотками статора у складі системи ЕП з векторним керуванням проводилися із використанням математичних моделей АД у трифазній системі координат. Зміна електромагнітних пара-

метрів двигуна за наявності несиметрії обмоток фаз статора, враховується за допомогою коефіцієнта несиметрії ε_w , що визначається наступним чином:

$$\varepsilon_w = w_d / w_h, \quad (1)$$

де w_d – число витків в пошкодженій фазі; w_h – число витків в непошкодженій фазі.

Відповідно електромагнітні параметри несиметричної фази статора двигуна будуть визначатися наступним чином:

$$r_s = \varepsilon_w R_s; \quad l_{s\sigma} = \varepsilon_w^2 L_{s\sigma}; \quad l_\mu = \varepsilon_w L_\mu, \quad (2)$$

де R_s , $L_{s\sigma}$, L_μ – активний опір, індуктивність розсіювання та індуктивність контуру намагнічування непошкодженої фази статора; r_s , $l_{s\sigma}$, l_μ – активний опір, індуктивність розсіювання та індуктивність контуру намагнічування несиметричної фази статора.

Система векторного керування побудована в ортогональній системі координат при орієнтації за вектором потокозчеплення ротора. Вимірювання потокозчеплення визначається непрямим методом, а вимірювання швидкості забезпечується встановленим на вал двигуна датчиком швидкості.

Математичне моделювання систем електропривода було проведено для АД серії 4A112M4Y3: $P_n = 5,5$ кВт; $n_n = 1445$ об/хв; $\cos\varphi = 0,85$; $h = 85,5\%$; $R_s = 1,036$ Ом; $R_r = 0,787$ Ом; $L_{ss} = 4,75 \cdot 10^{-3}$ Гн; $L_{rs} = 7,94 \cdot 10^{-3}$ Гн; $L_m = 0,171$ Гн. Аналіз якості керування проводився на основі наступних параметрів: втрати в міді статора двигуна (ΔP_{Cu1}) в кожній фазі окремо та відносні значення змінних складових електромагнітного моменту (\tilde{M} / M_n) та споживаної активної потужності (\tilde{P} / P_n).

Дослідження режимів роботи системи електропривода з векторним керуванням було проведено для наступних випадків: несиметрія в фазі А складає 5 % ($\varepsilon_{wd} = 0,95$) (режим № 1); несиметрія в фазі А складає 10 % ($\varepsilon_{wd} = 0,9$) (режим № 2); несиметрія в фазі А складає 5 %, в фазі С – 3 % ($\varepsilon_{wd} = 0,95$, $\varepsilon_{wc} = 0,97$) (режим № 2); несиметрія в фазі А складає 10 %, в фазі С – 7 % ($\varepsilon_{wd} = 0,9$, $\varepsilon_{wc} = 0,93$) (режим № 4).

КОМПЕНСАЦІЯ ЗМІННОЇ СКЛАДОВОЇ ЕЛЕКТРОМАГНІТНОГО МОМЕНТУ АД

При роботі АД з несиметричними обмотками статора електромагнітний момент двигуна може бути представлений сумою постійної та змінної складових:

$M = M_0 + \tilde{M}$. Відповідно до чого, для зменшення впливу несиметрії обмоток статора АД на характеристики системи ЕП, запропоновано метод, що дозволяє проводити компенсацію змінну складової електромагнітного моменту.

Згідно із запропонованим методом, в системі керування виділяється значення змінної складової електромагнітного моменту АД на основі виразу:

$$\tilde{M} = M - \frac{1}{T} \int_0^T M dt, \quad (3)$$

де M – електромагнітний момент двигуна; T – період сигналу змінної складової електромагнітного моменту, який визначається при частоті мережі живлення ($T=1/f$).

Отриманий сигнал змінної складової електромагнітного моменту \tilde{M} заводиться на вхід регулятора моментоутворюючої складової струму статора I_{sq} в каналі регулювання швидкості. Відповідно сигнал задання струму статора АД за віссю q буде визначатися як:

$$I'_{sq(ref)} = I_{sq(ref)} - k_i \tilde{M}, \quad (4)$$

де k_i – коефіцієнт приведення ($k_i = I_n / M_n$)

Враховуючи, що електромагнітний момент АД важко піддається безпосередньому вимірюванню, його визначення може бути забезпечено непрямым методом на основі відомих значень моментоутворюючої складової вектора струму статора та модуля потокозчеплення ротора відповідно до виразу [12]:

$$M = \frac{3}{2} p_n \frac{L_\mu}{L_{r\sigma} + L_\mu} |\Psi_r| I_{sq}, \quad (5)$$

де p_n – кількість пар полюсів асинхронного двигуна; $|\Psi_r|$ – модуль потокозчеплення ротора двигуна; I_{sq} – проекція вектора струму статора на вісь q нерухомої системи координат.

В свою чергу, потокозчеплення ротора може бути розраховано на основі виразу:

$$\Psi_r = \frac{L_\mu}{T_r p + 1} I_{sd}, \quad (6)$$

де I_{sd} – проекція вектора струму статора на вісь d нерухомої системи координат; T_r – постійна часу роторного кола ($T_r = L_r / R_r$).

Функціональна система запропонованої системи векторного керування з функцією компенсації змінної складової електромагнітного моменту АД зображена на рис. 1.

На основі розробленої системи векторного керування були проведені дослідження режимів роботи АД для зазначених випадків несиметрії обмоток статора. Так графіки перехідних процесів за швидкістю, моментом та споживаною активною потужністю АД наведено на рис. 2. Пуск АД здійснюється при симетричному статорі, в момент часу t_1 до валу двигуна прикладається номінальне навантаження. В момент часу t_2 моделюється пошкодження фази А, що викликає її несиметрію на 10% відносно інших (режим № 2). В момент часу t_3 вмикається система компенсації змінної складової електромагнітного моменту двигуна. На рис. 2 момент АД представлено в масштабі 2:1, а споживана активна потужність – 1:50.

Порівняння середньоквадратичних значень змінних складових електромагнітного моменту та споживаної активної потужності, для зазначених випадків несиметрії обмоток статора наведено на рис. 3.

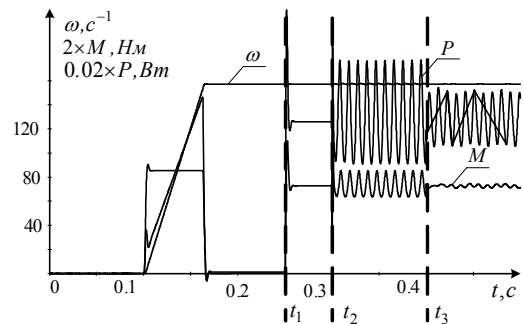


Рисунок 2 – Динамічні характеристики ЕП з ситемою векторного керування з функцією компенсації змінної складової електромагнітного моменту АД

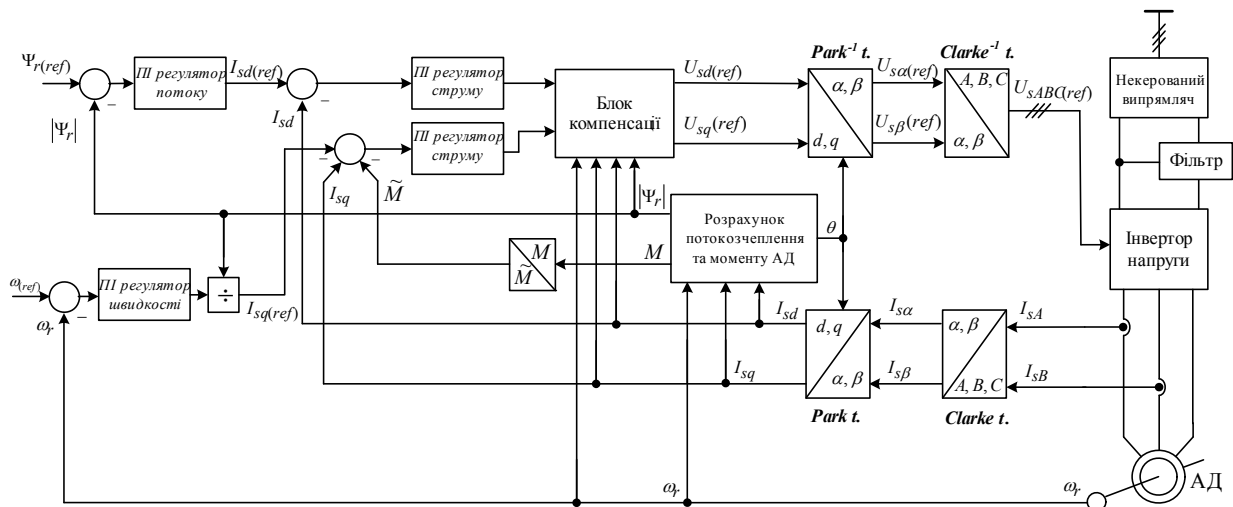


Рисунок 1 – Функціональна схема системи векторного керування асинхронним двигуном з функцією компенсації змінної складової електромагнітного моменту

На рисунках 3, 4, 7 та 8 прийнято наступні позначення досліджуваних параметрів: ■ – до компенсації; ■ – після компенсації.

Проведені дослідження показали, що використання запропонованого методу компенсації впливу несиметрії обмоток АД на характеристики системи ЕП з векторним керуванням дозволяє зменшити змінну складову електромагнітного моменту на 87 %, а змінну складову споживаної потужності на 41 %.

Як показують дослідження [13], несиметрія обмоток статора АД може призвести до суттєвого перегріву окремої обмотки навіть за умови незначного збільшення сумарних втрат. Тому, при дослідженні режимів роботи ситеми компенсації, необхідно контролювати не тільки змінні складові електромагнітного моменту, чи споживаної потужності, але і грюючі втрати в фазах. Відповідно до чого, перерозподіл втрат в міді статора за фазами АД з зазначеними випадками несиметрії обмоток до і після компенсації наведено на рис. 4.

Проведений аналіз втрат в міді статора за фазами АД показав, що при використанні запропонованого методу компенсації, величину відхилення втрат в міді статора у найбільш навантаженої фазі можливо зменшити всередньому на 30% при несиметрії в одній фазі, та на 25% при несиметрії в двох фазах.

Таким чином запропонований метод компенсації впливу несиметрії обмоток АД дозволяє зменшити змінну складову електромагнітного моменту до допустимого рівня, однак змінна складова споживаної потужності та втрати в міді статора двигуна залишаються майже не змінними.

КОМПЕНСАЦІЯ ЗМІННОЇ СКЛАДОВОЇ СПОЖИВАНОЇ ПОТУЖНОСТІ АД

Оскільки система векторного керування передбачає зворотній зв'язок за проекціями струму статора на осі

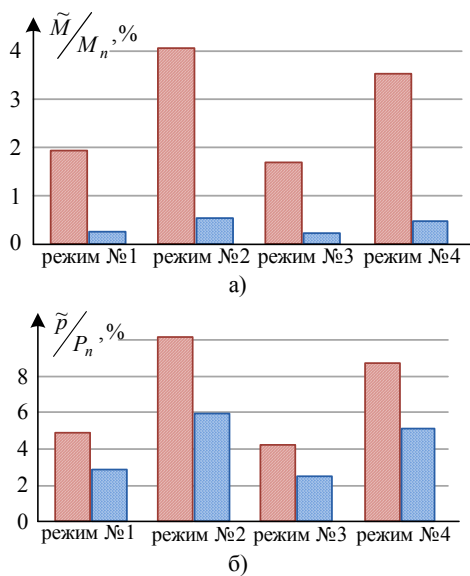


Рисунок 3 – Змінні складові електромагнітного моменту (а) та споживаної потужності (б) АД

обертової системи координат $d-q$, тому для задачі компенсації впливу несиметрії обмоток двигуна на енергетичні показники системи електропривода може бути використана одна з відомих теорій потужностей. Так в роботі [14] запропоновано модифікований метод $p-q$ теорії потужності, який ґрунтується на використанні перетворень Парка та Кларка, та який дістав назву i_d-i_q метода. Відповідно до даного методу, перехід від сигналів фазних струмів та напруг в нерухомій системі координат до обертової відбувається на основі співвідношень:

$$\begin{bmatrix} I_{sd} \\ I_{sq} \end{bmatrix} = \frac{1}{\sqrt{U_{s\alpha}^2 + U_{s\beta}^2}} \begin{bmatrix} U_{s\alpha} & U_{s\beta} \\ -U_{s\beta} & U_{s\alpha} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_{s\alpha} \\ I_{s\beta} \end{bmatrix}, \quad (7)$$

де $U_{s\alpha}, U_{s\beta}$ та $I_{s\alpha}, I_{s\beta}$ – проекції вектора напруги та струму в нерухомій системі координат; I_{sd}, I_{sq} – проекції вектора струму в обертовій системі координат.

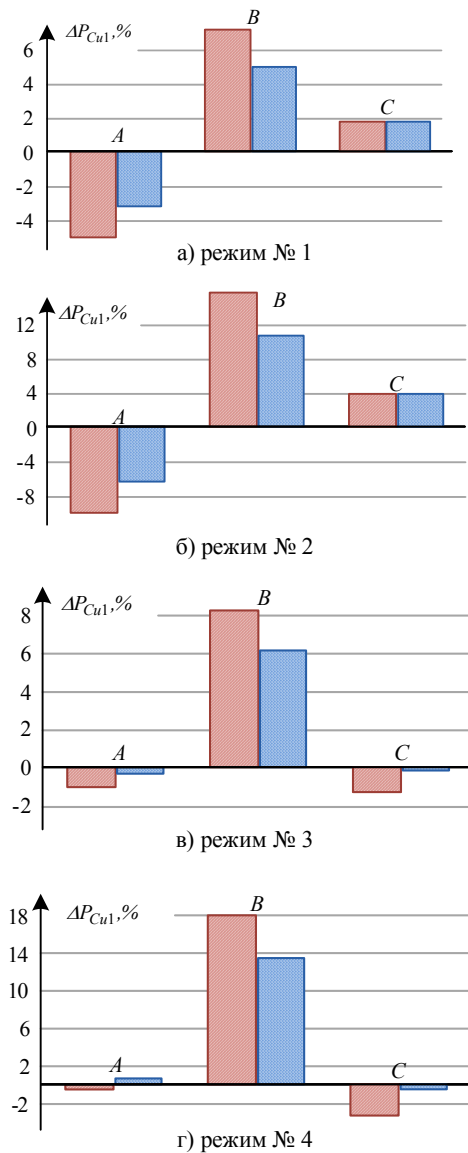


Рисунок 4 – Відхилення втрат в обмотках статора від їх номінального значення до і після компенсації при різних зазначеннях несиметрії

Отримані сигнали потокоутворюючої та моментоутворюючої складових струму статора в нерухомій системі координат можуть бути представлені сумою постійної та змінної складових:

$$\begin{cases} I_{sd} = I_{sd0} + \tilde{i}_d; \\ I_{sq} = I_{sq0} + \tilde{i}_q. \end{cases} \quad (8)$$

Для випадку компенсації змінних складових за проєкціями струму, завдання на компенсацію в нерухомій системі координат буде визначатися наступним чином:

$$\begin{bmatrix} I_{ca} \\ I_{cb} \end{bmatrix} = \frac{1}{\sqrt{U_{s\alpha}^2 + U_{s\beta}^2}} \begin{bmatrix} U_{s\alpha} & -U_{s\beta} \\ U_{s\beta} & U_{s\alpha} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} -\tilde{i}_d \\ -\tilde{i}_q \end{bmatrix}. \quad (9)$$

Отримані сигнали струму компенсації за допомогою прямих перетворень Кларка перетворюються в обертову систему координат (I_{cd}, I_{cq}) та заводяться на входи відповідних регуляторів струму в системі керування. Сигнали задання потокоутворюючої та моментоутворюючої складових струму будуть визначатися наступним чином:

$$\begin{cases} I'_{sd(ref)} = I_{sd(ref)} + I_{cq}, \\ I'_{sq(ref)} = I_{sq(ref)} - I_{cd}. \end{cases} \quad (10)$$

Функціональна система запропонованої системи векторного керування з функцією компенсації змінної складової споживаної потужності зображена на рис. 5.

Графіки перехідних процесів за швидкістю, моментом та споживаною активною потужністю АД в представлений системі векторного керування з функцією компенсації споживаної потужності наведено на рис. 6. Результати досліджень представлені для несиметрії в фазі А рівної 10% (режим № 2).

Порівняння середньоквадратичних значень змінних складових електромагнітного моменту та споживаної активної потужності асинхронного двигуна у складі запропонованої системи векторного керування для зазначених випадків несиметрії обмоток статора наведено на рис. 7.

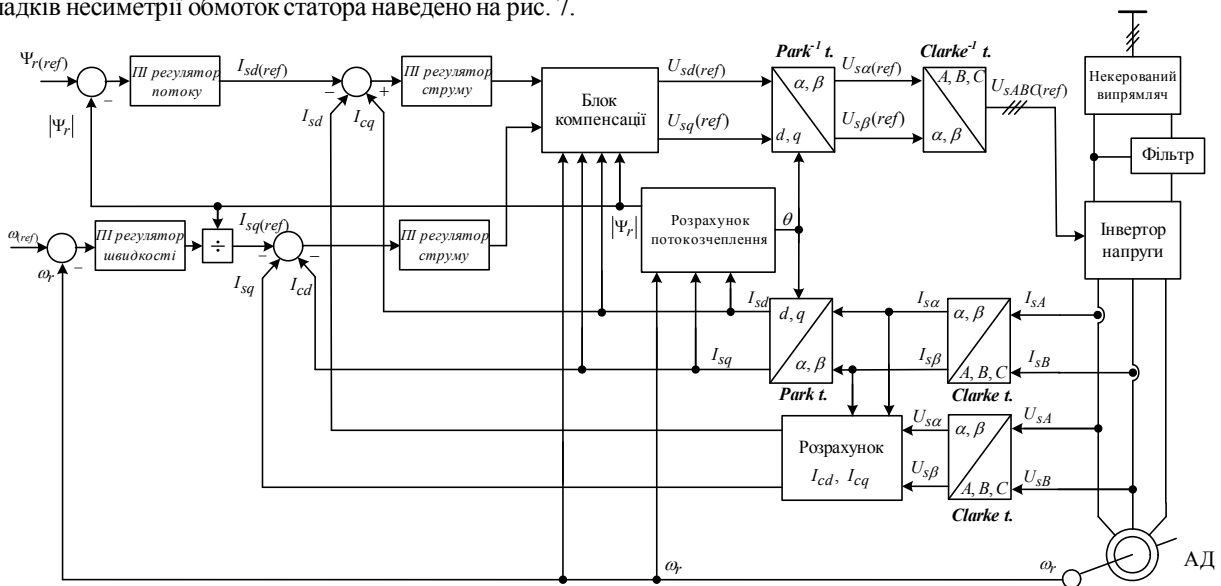


Рисунок 5 – Структурна схема системи векторного керування з функцією компенсації змінної складової споживаної потужності

Результати проведених досліджень показують, що використання запропонованої методики компенсації впливу несиметрії обмоток АД на характеристики системи ЕП, дозволяє зменшити на 90% змінну складову споживаної потужності. Однак змінна складова електромагнітного моменту, в даному випадку, не компенсується, а дещо збільшується.

Таким чином запропонований метод компенсації впливу несиметрії обмоток двигуна дозволяє зменшити змінну складову споживаної потужності до допустимого рівня. Перерозподіл втрат в міді статора за фазами АД до і після компенсації наведено на рис. 8.

Аналіз енергетичних процесів за фазами АД показав, що при використанні запропонованого методу компенсації, величину відхилення втрат в міді статора у найбільш навантаженій фазі можливо зменшити в середньому на 59% при несиметрії як в одній фазі АД, так і при несиметрії в двох фазах.

Проведені дослідження показують, що для зменшення теплового первантаження окремих фаз АД кращі результати показує робота системи ЕП із налаштуванням системи векторного керування на компенсацію змінної

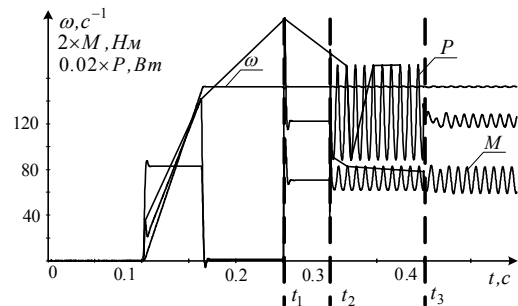


Рисунок 6 – Динамічні характеристики ЕП з ситемою векторного керування з функцією компенсації змінної складової споживаної потужності АД

складової трифазної активної потужності. Однак при цьому спостерігається незначне збільшення змінної складової електромагнітного моменту АД. Зважаючи на це, стратегію компенсації потрібно обирати з погляду на вимоги до роботи конкретних систем ЕП робочих механізмів.

ВИСНОВОК

Розроблені методи компенсації впливу несиметрії обмоток статора асинхронного двигуна на характеристики систем електропривода з векторним керуванням, які базуються на внесенні додаткових сигналів компенсації в замкнені контури регулювання струму статора двигуна, в залежності від обраного параметру, дозволяють компенсувати змінну складову електромагнітного моменту на 87%, чи змінну складову споживаної потужності на 90%. При цьому застосування системи компенсації змінної складової споживаної активної потужності дозволяє зменшити теплове перевантаження окремих фаз в середньому на 59%, що збільшує термін експлуатації ізоляції обмоток статора асинхронного двигуна.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Costa Branco P. J. Influence of constant values and motor parameters deviations on the performance of the adaptive sliding-mode observer in a sensorless induction motor drive/ P. J. Costa Branco and J. Ferraz // Progress in Electromagnetics Research B, 2011. – Vol. 34. – PP. 225–245.
2. Zagirnyak M. Comparison of induction motor diagnostic methods based on spectra analysis of current and instantaneous power signals / M. Zagirnyak, D. Mamchur and A. Kalinov // Przegląd Elektrotechniczny ISSN 0033-2097. – Issue 12b/2012. – PP. 221–224.

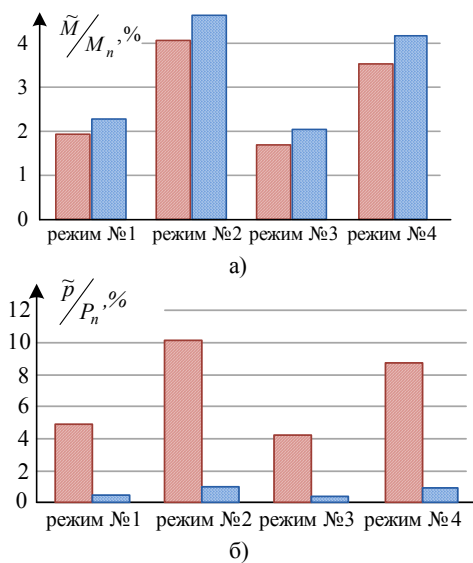


Рисунок 7 – Змінні складові електромагнітного моменту (а) та споживаної потужності (б) АД

3. Siddique Arfat A review of stator fault monitoring techniques of induction motors / Arfat Siddique, S. Yadava Bhim Singh // IEEE Transactions on energy conversion, 2005. – Vol. 20. – No. 1. – PP. 106–114.
4. Peresada S. Speed sensorless control of induction motors based on a reducedorder adaptive observer / S. Peresada, M. Montanari, C. Rossi and A. Tilli // IEEE Trans. Control Systems Techn., 2007. – Vol. 15. – No. 5. – PP. 1049–1064.
5. Jannati M. Speed sensorless fault-tolerant drive system of induction motor using switching extended Kalman filter / M. Jannati, N.R.N. Idris and M.J.A. Aziz// Telkomnika Indonesian journal of electrical engineering, 2014. – Vol. 12. – No.11. – PP.7640–7649.
6. Jannati M. Modeling and Vector Control of Unbalanced induction motors (faulty three phase or single phase

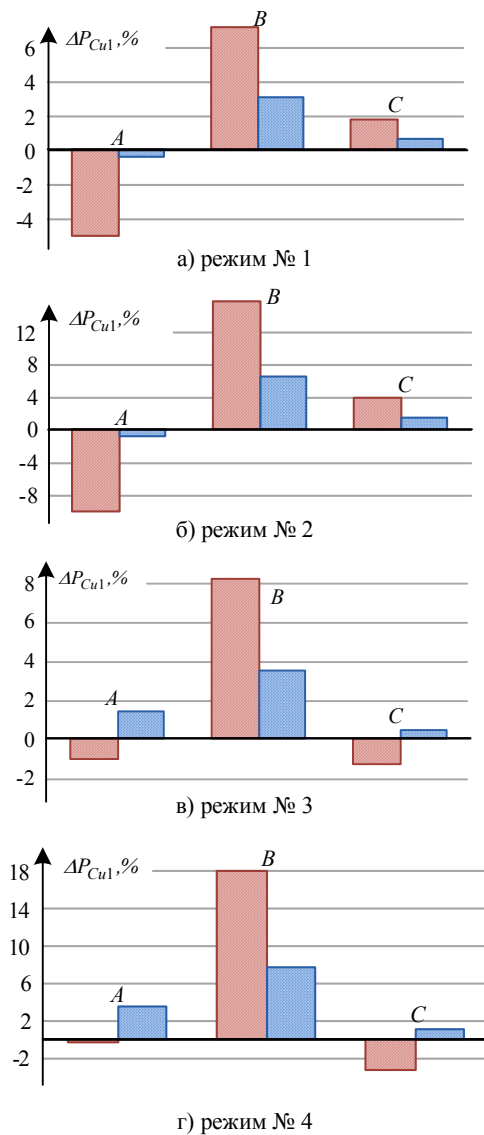


Рисунок 8 – Відхилення втрат в обмотках статора від їх номінального значення до і після компенсації при різних зазначених несиметрії

- induction motors) / M. Jannati, E. Fallah // 1st. Conference on Power Electronic & Drive Systems & Technologies (PEDSTC), May 2010. – PP. 208–211.
7. Zagirnyak M. Sensorless vector control systems with the correction of stator windings asymmetry in induction motor / M. Zagirnyak, A. Kalinov, V. Melnykov // Przegląd elektrotechniczny, 2013. – R. 89 NR 12/2013. – PP. 340–343.
 8. Zagirnyak M. V. An algorithm for electric circuits calculation based on instantaneous power component balance / M. V. Zagirnyak, A. P. Kalinov, M. S. Maliakova // Przegląd elektrotechniczny, 2011. – R. 87 NR 12b/2011. – PP. 212–215.
 9. Мельников В. О. Поліпшення енергетичних характеристик електроприводів з векторним керуванням шляхом компенсації параметричної несиметрії асинхронних двигунів / В. О. Мельников, А. П. Калінов // Технічна електродинаміка, 2012. – № 3. – С. 85–86.
 10. Домнин И. Ф. Современные теории мощности и их использование в преобразовательных системах силовой электроники / И. Ф. Домнин, Г. Г. Жемеров, Д. С. Крылов, Е. И. Сокол // Технічна електродинаміка. – Ч. 1, 2004. – С. 80–91.
 11. Zagirnyak M. Correction of operating condition of a variable-frequency electric drive with a non-linear and asymmetric induction motor / M. Zagirnyak, A. Kalinov, A. Chumachova // IEEE Conference publications. EUROCON 2013. – 1–4 July 2013, Croatia. – ISBN: 978-1-4673-2230-0. – PP. 1033–1037.
 12. Виноградов А. Б. Векторное управление электроприводами переменного тока / А. Б. Виноградов. – Иваново, 2008. – 298 с.
 13. Чумачова А. В. Компенсація параметричної несиметрії асинхронного двигуна засобами частотно-регульованого електропривода / А. В. Чумачова, А. П. Калінов // Технічна електродинаміка, 2012. – № 3. – С. 87–88.
 14. Vasco Soares An instantaneous active and reactive current component method for active filters / Vasco Soares and Pedro Verdelho // IEEE Transactions on power electronics. – 2000. – Vol. 15. – No. 4. – PP. 660–669.

Стаття надійшла до редакції 29.04.2015
Після доробки 3.06.2015

Мельников В. О.¹, Калінов А. П.², Кочуров І. М.³

^{1,2}Канд. техн. наук, доцент, Кременчугский национальный университет им. Михаила Остроградского, Украина

³Магистрант, Кременчугский национальный университет им. Михаила Остроградского, Украина

КОМПЕНСАЦІЯ ВЛИЯНИЯ НЕСИМЕТРИИ ОБМОТКОВ СТАТОРА АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ В СИСТЕМАХ ВЕКТОРНОГО УПРАВЛЕНИЯ

Представлены методы компенсации влияния несимметрии обмоток статора асинхронного двигателя на характеристики систем электропривода с векторным управлением. Показано, что применение предложенных систем управления, за счет внесения дополнительных сигналов компенсации в замкнутые контуры регулирования тока статора двигателя, позволяют компенсировать переменную составляющую электромагнитного момента, или переменную составляющую потребляемой мощности. При этом применение системы компенсации переменной составляющей электромагнитного момента двигателя позволяет уменьшить вибрации двигателя, а применение системы компенсации переменной составляющей потребляемой активной мощности позволяет уменьшить тепловые перегрузки отдельных фаз, что увеличивает срок эксплуатации изоляции обмоток статора асинхронного двигателя.

Ключевые слова: асинхронный двигатель, векторное управление, несимметрия статора, компенсация.

Melnykov V.¹, Kalinov A.², Kochurov I.³

^{1,2}Candidate of Science, Associate Professor, Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskiy National University, Ukraine

³Master student, Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskiy National University, Ukraine

THE COMPENSATION OF THE INFLUENCE OF INDUCTION MOTOR STATOR WINDINGS ASYMMETRY IN THE VECTOR-CONTROL SYSTEMS

It is presented the methods for compensation the influence of induction motor stator windings asymmetry on the characteristics of vector-controlled electric drive system. It is shown that the use of proposed control systems at the expense of introduction of additional compensation signals in closed control loops of the motor stator current allows to compensate the variable component of the electromagnetic torque or the variable component of the power consumption. Along with this, the use of the system for compensation of the variable component of the motor electromagnetic torque allows to decrease motor vibrations and the use of the system for compensation of the variable component of active power allows to decrease the heat overloads of the single motor phases, which increases the insulation life of the induction motor stator phases.

Keywords: induction motor, vector control, stator asymmetry, compensation.

REFERENCES

1. Costa Branco P. J., Ferraz J. «Influence of constant values and motor parameters deviations on the performance of the adaptive sliding-mode observer in a sensorless induction motor drive», *Progress in Electromagnetics Research B*, 2011, Vol. 34, PP. 225–245.
2. Zagirnyak M., Mamchur D., Kalinov A. «Comparison of induction motor diagnostic methods based on spectra analysis of current and instantaneous power signals», *Przeglad Elektrotechniczny 2012, ISSN 0033-2097, Issue 12b/2012*, PP. 221–224.
3. Arfat Siddique, G.S. Yadava, Bhim Singh. «A review of stator fault monitoring techniques of induction motors», *IEEE Transactions on energy conversion*, 2012, Vol. 20, No.1, PP. 106–114.
4. Peresada S., Mon-tanari M., Rossi C. and Tilli A. «Speed sensorless control of induction motors based on a reduced order adaptive observer», *IEEE Trans. Control Systems Techn.*, 2007, Vol. 15, No. 5, PP. 1049–1064.
5. Jannati M., Idris N.R.N. and Aziz M.J.A. «Speed sensorless fault-tolerant drive system of induction motor using switch-ing extended Kalman filter», *Telkomnika Indonesian journal of electrical indineering*, 2014, Vol. 12, No. 11, PP.7640–7649.
6. Jannati M., Fallah E. «Modeling and Vector Control of Unbalanced induction motors (faulty three phase or single phase induction mo-tors)», *Ist. Confer-ence on Power Electronic & Drive Sys-tems & Technologies (PEDSTC)*, 2010, PP. 208–211.
7. Zagirnyak M., Kalinov A., Melnykov V. «Sensorless vector control systems with the correction of stator windings asymmetry in induction motor», *Przegld elektrotechniczny, 2010, R 89 NR 12/2013*, PP. 340–343.
8. Zagirnyak M. V., Kalinov A. P., Maliakova M. S. «An algorithm for electric circuits calculation based on instantaneous power component balance», *Przegld elektrotechniczny (Electrical Review)*, 2011, R. 87 NR 12b/2011. – PP. 212–215.
9. Melnykov V., Kalinov A. «The increasing of energy characteristics of vector controlled electric drives by means of compensation for the induction motor parametrical asymmetry», *Tehnichna elektro-dinamika, 2012, No. 3*, pp. 85–86. (in Ukrainian)
10. Dominin I., Gemerov G., Krulov D., Sokol I. «Modern theories of power and their use of power electronics converter systems», *Tehnichna elektro-dinamika*, 2011, No. 1, pp. 80–91. (In Russian)
11. Zagirnyak M., Kalinov A., Chumachova A. «Correction of operating condition of a variable-frequency electric drive with a non-linear and asymmetric induction motor», *IEEE Conference publications. EUROCON 2013. – 1–4 July 2013, Croatia, ISBN: 978-1-4673-2230-0*, PP. 1033–1037.
12. Vinogradov A. *Vectornoe ypravlenie electroprivodami peremennogo toka* [Vector control electric AC drives], Ivanovo, 2008, Russia.
13. Chumachova A. and Kalinov A. «Compensation of the induction motor parametric asymmetry by means of the frequency-controlled electric drive,» *Tehnichna elektro-dinamika, 2012, No. 3*, pp. 87–88, 2012. (in Ukrainian)
14. Vasco Soares, Pedro Verdelho. «An instantaneous active and reactive current component method for active filters», *IEEE Transactions on power electronics*, 2012, Vol. 15, No.4, PP. 660–669.