

## КОМПЕНСАЦІЯ ПАРАМЕТРИЧНОЇ НЕСИМЕТРИЇ АСИНХРОННОГО ДВИГУНА ПРИ ЙОГО ЖИВЛЕННІ ВІД ЧАСТОТНО-РЕГУЛЬОВАНОГО ЕЛЕКТРОПРИВОДА

А.В.Чумачова, А.П.Калінов, канд.техн.наук,  
Кременчуцький національний університет ім. М. Остроградського,  
вул. Першотравнева, 20, Кременчук, 36900, Україна.

У роботі обґрунтовано вирази для визначення коригуючої напруги для компенсації змінних складових активної потужності та електромагнітного моменту асинхронного двигуна, що викликані несиметрією фаз статора. Бібл. 1, рис. 1, табл. 1.

**Ключові слова:** параметрична несиметрія, миттєва потужність, складові потужності, компенсація.

**Вступ.** Відомо, що параметрична несиметрія асинхронного двигуна (АД) викликає істотне збільшення змінної складової електромагнітного моменту, яка призводить до підвищення вібрації двигуна, що, в свою чергу, істотно знижує термін експлуатації АД. Для компенсації змінних та неактивних складових миттєвої трифазної потужності  $p(t)$  електричної мережі використовуються компенсатори, побудовані на базі теорій миттєвої потужності [1]. Але для електропривода (ЕП) змінного струму з частотним регулюванням перетворювач частоти може виступати джерелом живлення і компенсатором одночасно.

**Мета.** Підвищення ефективності роботи частотно-регульованого електропривода шляхом компенсації змінної складової електромагнітного моменту, що викликана несиметрією параметрів асинхронного двигуна.

**Результати досліджень.** На базі проведеного авторами аналізу теорій миттєвої потужності для компенсації несиметрії параметрів АД за базову було вибрано методику розрахунку сигналів завдань в крос-векторній теорії [1], яка передбачає використання реальних, без проміжного перетворення, сигналів струму та напруги, що значно спрощує математичні розрахунки у системі керування. Згідно з нею струми завдання на компенсатор визначаються як

$$i_{cs}^* = \frac{\tilde{p}_c \cdot u_s}{u \cdot u} + \frac{q_c \times u_s}{u \cdot u}, \quad (1)$$

де  $\tilde{p}_c$  – змінна складова активної потужності,  $u$  – вектор напруг статора АД,  $u_s$  – напруга відповідної фази.

Якщо об'єктом компенсації виступає АД, питання компенсації реактивної потужності не ставиться взагалі, принаймні для перших гармонік напруг та струмів. Першочерговою задачею є усунення змінної складової активної потужності та електромагнітного моменту, однак дослідження показують, що урахування реактивної складової дозволить стабілізувати момент АД при компенсації. Для вирішення цієї задачі засобами частотно-регульованого ЕП (ЧРЕП) потрібно розрахувати специфічні форми кривих трифазної напруги. Причому, варто зауважити, що формування сигналів завдань на компенсатор буде відрізнятися в залежності від того, що компенсується: змінна складова моменту чи активної потужності.

Скориставшись виразом (1), можна аналогічно записати формулу для розрахунку коригуючої напруги для випадку, коли повинна бути зкомпенсована змінна складова активної потужності АД, що викликана несиметрією його параметрів:

$$u_{cs}^* = \frac{\tilde{p}_c}{i} \cdot \frac{i_s}{i} + \frac{q_c \times i_s}{i \cdot i}, \quad (2)$$

де складові  $\tilde{p}_c/i$  і  $q_c/i$  визначають бажані амплітудні значення гармонік коригуючої напруги, а складова  $i_s/i$  є нормованим струмом фази статора, що визначає частоту та фазу коригуючої напруги відповідно до фаз АД.

Додавання коригуючих напруг, які розраховані за виразом (2), до системи базових трифазних симетричних напруг номінальної амплітуди та частоти дозволяє отримати таку напругу на обмотках фаз статора, яка призведе до формування активної потужності АД без тих змінних складових, поява яких була викликана несиметрією струмів у фазах статора. Причому система керування (СК) компенсатором може працювати у режимі компенсації змінної складової електромагнітного моменту. У цьому випадку вхідними сигналами СК є не струми і напруги, а струми і потокозчеплення фаз статора. Для перевірки запропонованого підходу проводилося моделювання роботи АД у трифазній системі координат при номінальному навантаженні для різних ступенів несиметрії фаз статора (1, 2, 5 і 10%). При моделюванні несиметричних режимів враховувалась зміна активного, індуктивного опорів обмотки і зміна індуктивності контуру намагнічування. В таблиці наведено оцінку якості компенсації: відносні середньоквадратичні значення змінної складової споживаної потужності ( $\tilde{p}_{c,rms}/P_n$ ) та електричного моменту ( $\tilde{m}_{ms}/M_n$ ), електричних втрат ( $\Delta P_{m1s}/\Delta P_{m1n}$ ) до і після включення компенсатора.

Отримані результати показують (рис. 1), що після ввімкнення компенсаторів суттєво зменшується середньоквадратичне значення змінної складової моменту (до 7% від початкового значення). Однак, варто зауважити, що при дослідженні роботи системи компенсації необхідно контролювати не тільки змінну складову потужності і моменту АД, але і гріючі втрати за фазами, оскільки несиметрія параметрів може призвести до суттєвого перегріву окремої обмотки навіть за умови незначного збільшення сумарних втрат.

Ступінь несиметрії	1%	2%	5%	10%
Критерій оцінки				
$\tilde{p}_{rms} / P_n, \%$	2,42→0,55	4,2→1,35	9,7→3,3	19,4→10,7
$\tilde{m}_{rms} / M_n, \%$	2,5→0,3	4,1→0,5	10→0,7	21→5
$\Delta P_{M1A} / \Delta P_{M1н}, \%$	-6,4→-3,2	-9,7→-3,2	-22,6→-13	-43,5→-11,3
$\Delta P_{M1B} / \Delta P_{M1н}, \%$	0,6→-4	1,6→-4,8	11,3→1,6	32,3→-8
$\Delta P_{M1C} / \Delta P_{M1н}, \%$	0,8→0	3,2→1,6	11,3→9,7	25,8→22,6

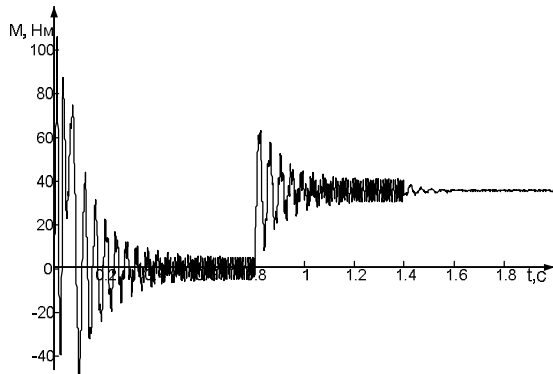


Рис. 1

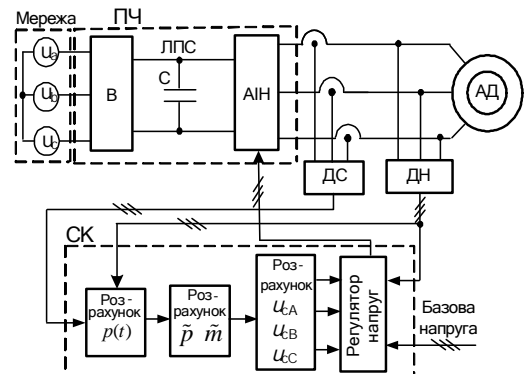


Рис. 2

Як видно з таблиці, після включення компенсатора змінюється перерозподіл втрат за фазами АД, як наслідок зменшується теплове перевантаження окремих обмоток.

Для реалізації запропонованого методу пропонується блок-схема системи компенсації змінних складових електромагнітного моменту АД у складі ЧРЕП (рис. 2), де блоками позначено: ПЧ – перетворювач частоти, В – трифазний випрямляч, ЛПС – ланка постійного струму, АІН – автономний інвертор напруги, ДН і ДС – датчики напруги і струму, СК – система керування,  $u_{cA}, u_{cB}, u_{cC}$  – компенсуючі напруги.

**Висновки.** Обґрунтовано метод компенсації змінної складової електромагнітного моменту АД засобами ЧРЕП на основі крос-векторної теорії. Математичне моделювання показало ефективність запропонованого підходу, оскільки після включення компенсатора майже на порядок зменшується небажана змінна складова моменту. Застосування запропонованої системи компенсації призводить до зменшення теплового перевантаження окремих фаз, що, в свою чергу, збільшує термін експлуатації двигуна.

1. Peng Z., Ott G.W., Adams D.J. Harmonics and reactive power compensation based on the generalized instantaneous reactive power theory for three-phase four-wire systems // IEEE Trans. Power Electronics. – 1998. – Vol.13. – №6. – Pp. 1174–1181.

**КОМПЕНСАЦИЯ ПАРАМЕТРИЧЕСКОЙ НЕСИММЕТРИИ АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ СРЕДСТВАМИ ЧАСТОТНО-РЕГУЛИРУЕМОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА**

А.В.Чумачёва, А.П.Калинов, канд.техн.наук,

Кременчугский национальный университет им. М. Остроградского,  
ул. Первомайская, 20, Кременчуг, 36900, Украина.

В работе обоснованы выражения для определения корректирующего напряжения для компенсации переменных составляющих активной мощности и электромагнитного момента асинхронного двигателя, которые вызваны несимметрией фаз статора. Библ. 1, табл. 1, рис. 2.

**Ключевые слова:** параметрическая несимметрия, мгновенная мощность, составляющие мощности, компенсация.

**COMPENSATION OF THE INDUCTION MOTOR PARAMETRIC ASYMMETRY BY MEANS OF THE FREQUENCY-CONTROLLED ELECTRIC DRIVE**

A.V.Chumachova, A.P.Kalinov,

Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyi National University,  
Pershotravneva str., 20, Kremenchuk, 39600, Ukraine.

The paper justifies the expressions to identify the corrective voltage for compensation of the variable components of the induction motor active power and electromagnetic torque, which caused by stator phases asymmetry. References 1, table 1, figures 2.

**Key words:** parametric asymmetry, instantaneous power, power components, compensation.

1. Peng Z., Ott G.W., Adams D.J. Harmonics and reactive power compensation based on the generalized instantaneous reactive power theory for three-phase four-wire systems // IEEE Trans. Power Electronics. – 1998. – Vol.13. – №6. – Pp. 1174–1181.

Надійшла 05.01.2012  
Received 05.01.2012