

ДОСЛІДЖЕННЯ ЕЛЕКТРОМАГНІТНОЇ СУМІСНОСТІ КОМПЕНСОВАНОГО АСИНХРОННОГО ДВИГУНА ІЗ МЕРЕЖЕЮ ЖИВЛЕННЯ

*Р.М. Чуєнко, кандидат технічних наук**

Досліджено електромагнітну сумісність асинхронного двигуна із внутрішньою ємнісною компенсацією реактивної потужності з мережею живлення.

Компенсований асинхронний двигун, електромагнітна сумісність, мережа живлення, гармоніка, реактивна потужність

Трифазний асинхронний двигун (АД), який складає основу електропривода робочих машин у сільському господарстві, характеризується високими номінальними енергетичними показниками. Проте внаслідок технологічних похибок при виготовленні АД, недовантаження та важких умов експлуатації його реальні енергетичні показники погіршуються, що призводить до зниження енергоефективності споживачів. Для покращання енергетичних характеристик АД пропонується застосовувати внутрішню ємнісну компенсацію реактивної потужності (ВЄКРП) [2].

Мета досліджень – аналіз електромагнітної сумісності компенсованого асинхронного двигуна (КАД) з ВЄКРП із мережею живлення.

Матеріали та методика досліджень. Реалізація ВЄКРП в АД може бути здійснена різними способами залежно від прийнятої схеми та кількості паралельних віток обмотки статора базової машини [3]. Перший спосіб ВЄКРП в АД полягає у тому, що при послідовному з'єднанні напівобмоток статора одна із них шунтується конденсатором електричної ємності (рис. 1, а). При цьому зашунтована напівобмотка обмінюється реактивною потужністю не з мережею живлення, а з конденсатором. Внаслідок цього незашунтована напівобмотка фази обмотки статора звільняється від передачі реактивної потужності зашунтованій напівобмотці, а струм незашунтованої напівобмотки зменшується.

Результати досліджень. Характерною рисою цього способу ВЄКРП в АД є зменшення струму та втрат потужності не лише у мережі живлення, як це відбувається при підключенні конденсаторів паралельно споживачу, але і у самому двигуні за рахунок зменшення струму статора [2].

При цьому ємнісні струми конденсаторів, з'єднаних трикутником, випереджають свої відповідні напруги на 90° (рис. 2, а) та до середніх точок фазних обмоток статора *a*, *b*, *c* підходять сумарні ємнісні струми, що випереджають фазні напруги зашунтованих напівобмоток на 90° ,

наприклад для фази А-а цей струм дорівнює $\dot{I}_a^c = \dot{I}_{ba} - \dot{I}_{ac}$, він випереджає напругу U'_{1A} зашунтованої напівобмотки на 90° , що компенсує її реактивний струм, а загальний струм іншої напівобмотки $\dot{I}_{1A} = \dot{I}'_{1A} + \dot{I}_a^c$ зменшується і зміщується за фазою відносно струму зашунтованої напівобмотки на кут α . За рахунок використання ВЕКРП струм холостого ходу КАД зменшується на 30–40 %, а у режимі номінального навантаження на валу струм, споживаний із мережі живлення, зменшується на 12–15 %, коефіцієнт потужності зростає на 12–15 % та на 2–3 % збільшується коефіцієнт корисної дії двигуна, а при недовантаженні коефіцієнт корисної дії двигуна зростає на 5–6 % (рис. 2, б). Внаслідок зниження загальної споживаної потужності та струму КАД на 25-40% зменшуються транспортні втрати активної електроенергії в усіх елементах електричної системи [3].

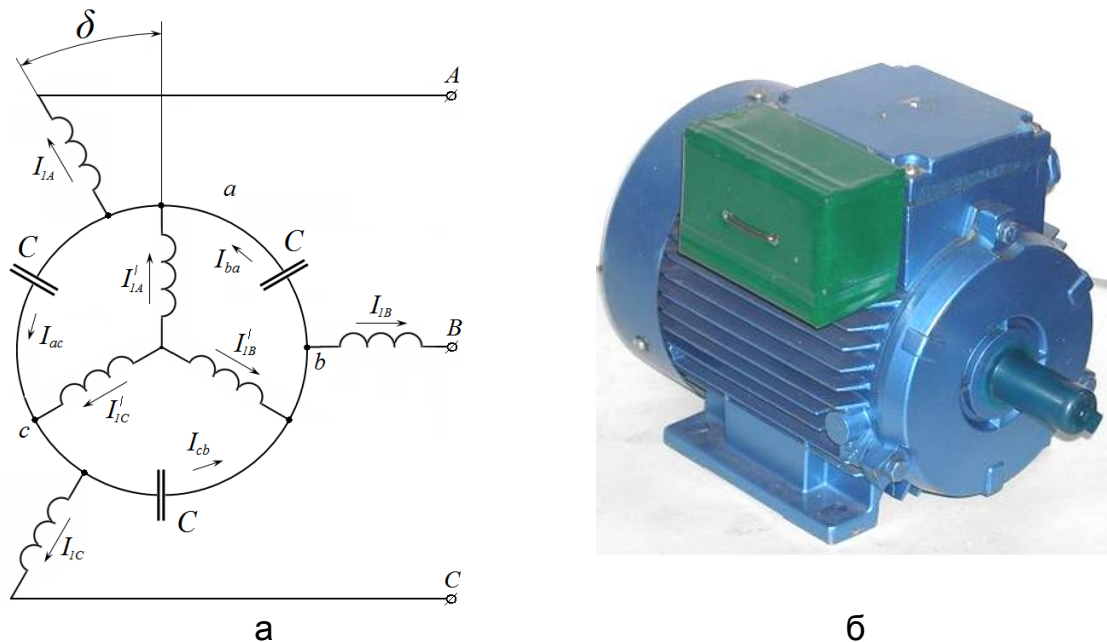


Рис. 1. Схема обмоток статора (а) та зовнішній вигляд (б) компенсованого асинхронного двигуна

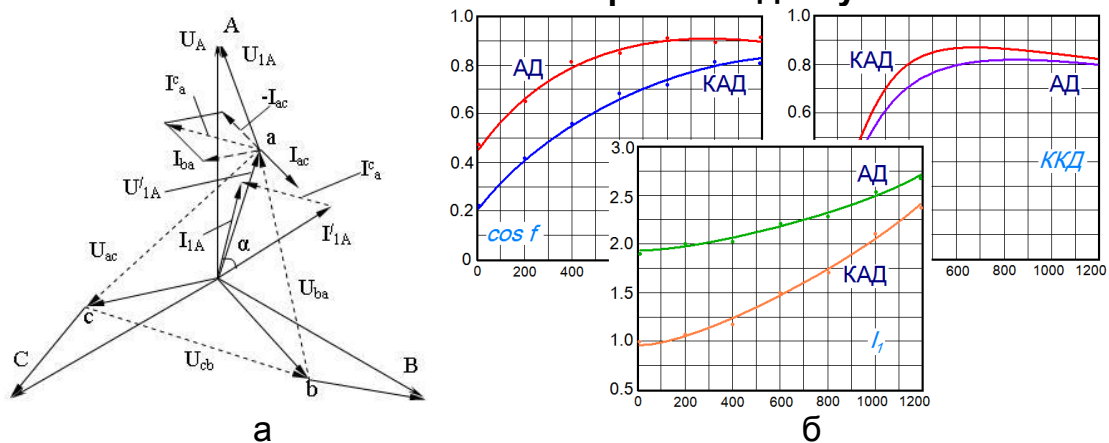


Рис. 2. Спрощена векторна діаграма (а) та робочі характеристики (б) КАД

Зміщення за фазою струмів напівобмоток $\dot{I}'_{1A}$ і $\dot{I}_{1A}$ просторово зміщує одну відносно іншої обертові хвилі їхніх магніторушійних сил (МРС), що призводить до деякого збільшення струмів намагнічування, необхідних для створення заданих МРС і магнітного потоку. Для компенсації цього явища напівобмотки повинні бути просторово зміщені одна відносно іншої на деякий кут δ .

Дійсно, якщо виразити МРС зовнішніх напівобмоток на їхніх осях як

$$F_{1A} = F_{m1} \cos \omega t, \quad F_{1B} = F_{m1} \cos(\omega t - \rho), \quad F_{1C} = F_{m1} \cos(\omega t + \rho), \quad (1)$$

а внутрішніх

$$F'_{1A} = F'_{m1} \cos(\omega t - \alpha), \quad F'_{1B} = F'_{m1} \cos(\omega t - \rho - \alpha), \quad F'_{1C} = F'_{m1} \cos(\omega t + \rho - \alpha), \quad (2)$$

то їхня сумарна дія з урахуванням просторового зсуву фаз на кут $\rho=120^\circ$ і між собою у фазах на кут δ визначає величини МРС зовнішніх напівобмоток:

$$F_1 = F_{1A} + F_{1B}e^{j\rho} + F_{1C}e^{-j\rho} = \frac{3}{2}F_{m1}e^{j\omega t}, \quad (3)$$

а внутрішніх, зашунтованих ємністю, напівобмоток:

$$F'_1 = F'_{1A}e^{j\delta} + F'_{1B}e^{j(\delta+\rho)} + F'_{1C}e^{j(\delta-\rho)} = \frac{3}{2}F'_{m1}e^{j(\omega t+\delta-\alpha)}, \quad (4)$$

де $F_{m1} = \frac{2\sqrt{2}}{\pi} \cdot \frac{I_1 w_1}{p} k_{o1}$, $F'_{m1} = \frac{2\sqrt{2}}{\pi} \cdot \frac{I'_1 w'_1}{p} k_{o1}$ – амплітуди МРС на осі напівобмоток фаз, відповідно зовнішніх F_{m1} і внутрішніх F'_{m1} ; I_1 і I'_1 – струми напівобмоток; w_1 і w'_1 – кількість витків напівобмоток (зазвичай $w_1 = w'_1 = \frac{w}{2}$); k_{o1} – обмотувальний коефіцієнт; p – кількість пар полюсів машини.

Вирази (3), (4) своїми поворотними множниками $e^{j\omega t}$ і $e^{j(\omega t+\delta-\alpha)}$ вказують на обертовий характер хвиль МРС напівобмоток, що просторово зміщені одна відносно одної на кут $(\delta-\alpha)$. Сумарна МРС обмоток статора буде максимальною за умови збігу осей МРС напівобмоток, тобто при $\delta-\alpha=0$, коли струми у відповідних напівобмотках фаз зміщені просторово і в часі на рівні і протилежні кути, наприклад, у фазі А струм i'_{1A} зашунтованої напівобмотки відстає в часі від струму зовнішньої напівобмотки на кут α , а просторово випереджає його на кут δ , причому $\delta-\alpha=0$. З іншого боку, для забезпечення заданих МРС і магнітного потоку магнітного кола машини за умови $\delta-\alpha=0$ вимагаються мінімальні значення струму намагнічування [2].

Для двигунів малої потужності (до 11 кВт) з номінальним коефіцієнтом потужності $\cos \varphi_H=0,8-0,87$ ($\varphi_H=29-35^\circ$, за повної компенсації $\varphi_H \approx \alpha \approx 30^\circ$) для забезпечення умови $\delta-\alpha=0$ кут просторового зсуву напівобмоток одна відносно одної зручно прийняти $\delta=30^\circ$, який досягається розподілом фазної зони 60° обмотки статора на дві рівні частини.

Зазвичай трифазна ($m=3$) система струмів АД своїми прямими і зворотними струмами котушок фази обмотки статора створює $2m=6$ фазних зон по 60° кожна. При розділенні такої фазної зони на дві рівні

частини по 30° кожна зі струмами, зміщеними у часі в напівобмотках на 30° , наприклад за рахунок ємнісної компенсації струму в одній із напівобмоток, відбувається подвоєння кількості фазних зон обмотки статора до $2m'=12$, що еквівалентно подвоєнню кількості фаз обмотки статора до $m'=2m$.

Подвоєння кількості фазних зон обмотки статора виключає з гармонійного складу магнітного поля АД найнебезпечніші паразитні гармоніки – зворотну $v_{зв}=5$ та пряму $v_{пр}=7$, просторове зміщення яких у напівхвилях МРС становить $v\delta-\alpha=\pm 180^\circ$, тобто вони знаходяться у протифазі.

Для експериментального дослідження електромагнітної сумісності КАД із мережею живлення за рівнем вищих просторових гармонік було використано цифровий осцилограф Metrix-3252 із відповідним програмним забезпеченням та модуль гальванічної розв'язки SDI-AIU-4U (рис. 3).

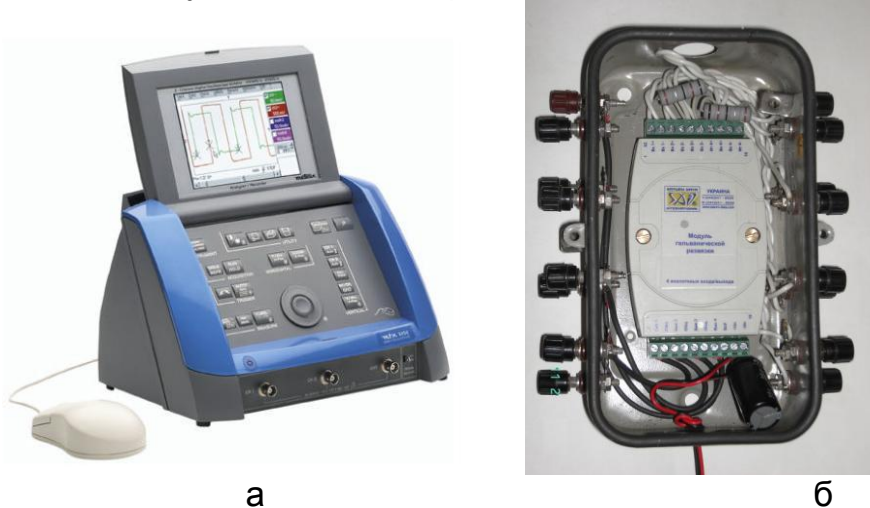


Рис. 3. Цифровий осцилограф (а) та модуль гальванічної розв'язки (б)

При цьому знімалися осцилограми напруги на фазній обмотці статора та струму, що споживається КАД з мережі живлення для двох випадків: за холостого ходу та номінального навантаження. На рис. 4 наведено осцилограми базового АД, а на рис. 5 – КАД.

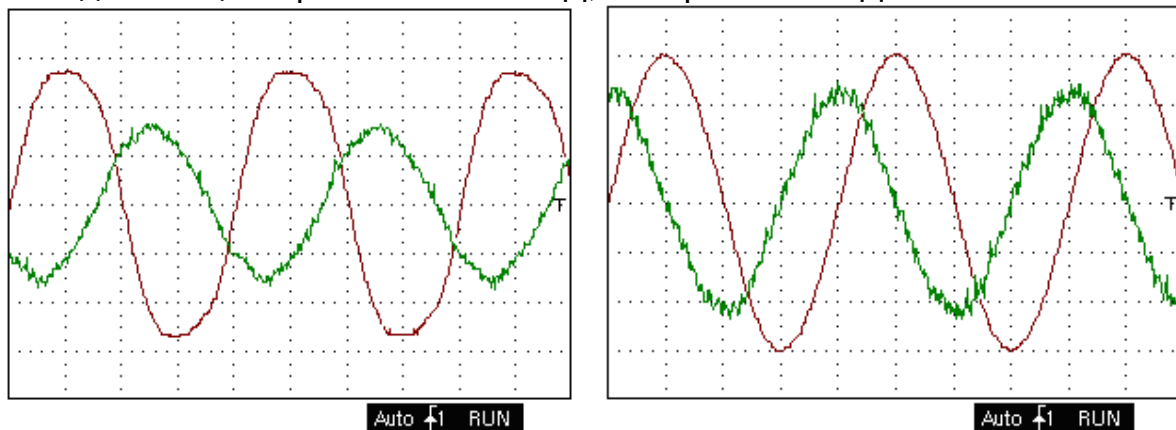


Рис. 4. Осцилограми напруги та струму базового АД на холостому ходу (а) та за номінального навантаження на валу (б)

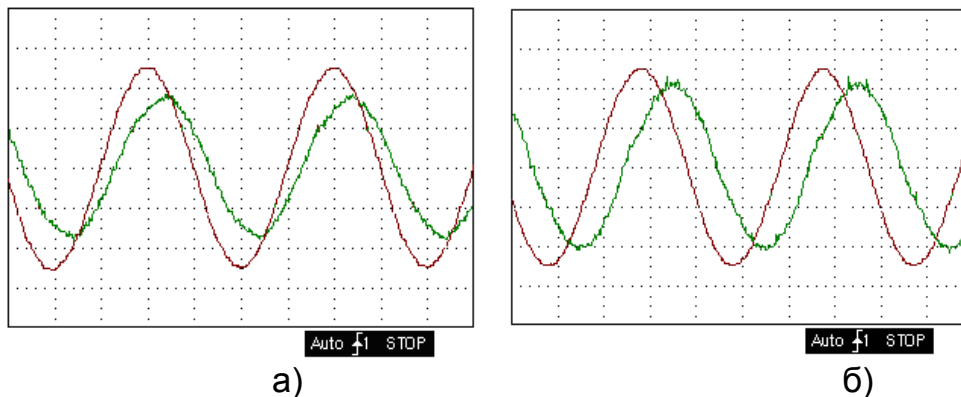


Рис. 5. Осцилограми напруги та струму КАД на холостому ході (а) та за номінального навантаження на валу (б)

Також на рис. 6 наведено гармонійний склад струму, споживаного двигуном із мережі живлення, який був отриманий за допомогою функції *fft* (Fast Fourier Transformation) для базового АД та КАД. Очевидно, що за рахунок використання внутрішньої ємнісної компенсації реактивної потужності за умови $\delta - \alpha = 0$ спостерігається зменшення рівня 5-ї та 7-ї гармонік.

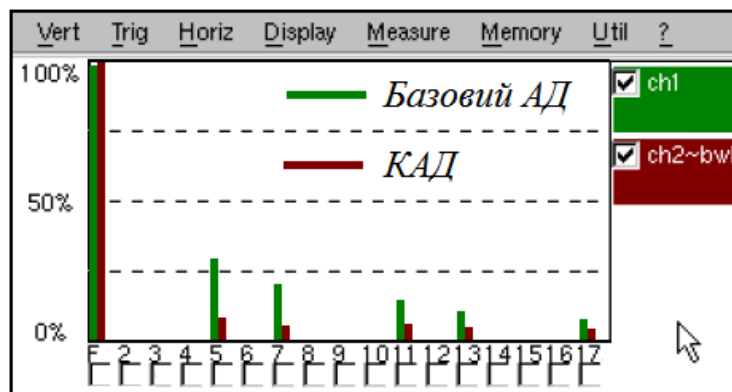


Рис. 6. Спектральний склад струму споживаного КАД із мережі живлення

Цей спосіб ВСКРП є простим, дешевим і надійним. Питома ємність конденсаторів становить 8 мкФ на фазу на 1 кВт номінальної потужності двигуна.

Висновки

Використання внутрішньої ємнісної компенсації реактивної потужності покращує електромагнітну сумісність КАД порівняно із базовим АД за величиною реактивної потужності та рівнем вищих гармонік.

Фундаментальною умовою оптимальної компенсації, яку необхідно дотримуватися при створенні КАД, є умова $\delta - \alpha = 0$, де δ – кут просторового зсуву осей напівобмотки статора, α – кут фазового зсуву між струмами напівобмоток.

Список літератури

1. Мишин В.И. Эффект внутренней ёмкостной компенсации реактивной мощности в асинхронном электродвигателе / В.И. Мишин, Р.Н. Чуенко, В.В. Гаврилюк // Электротехника. – М., 2009. – №8. – С. 30–36.

2. Пат. №51814 України H02K 17/34, Асинхронний електродвигун / Мішин В.І., Чуєнко М.О., Чуєнко Р.М., Лісовий С.С.; заявл. 05.04.2000; опубл. 16.12.2002, Бюл. №12.

3. Чуєнко Р.М. Енергозбереження у підготовці кормів до згодовування при використанні асинхронних електродвигунів з внутрішньою ємнісною компенсацією реактивної потужності: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук: спец. 05.09.16 / Р.М. Чуєнко. – К. НАУ, 2002. – 20 с.

Исследована электромагнитная совместимость компенсированного асинхронного двигателя с питающей сетью.

Компенсированный асинхронный двигатель, электромагнитная совместимость, питающая сеть, гармоника, реактивная мощность.

There was researched the compensated induction motor electromagnetic compatibility with a power line.

The compensated induction motor, electromagnetic compatibility, power line, harmonic, reactive power.

УДК 621.311

ВРАХУВАННЯ КОЕФІЦІЄНТІВ ТРАНСФОРМАЦІЇ В ЕЛЕМЕНТАХ МАТРИЦІ ПРОВІДНОСТЕЙ ПРИ МОДЕЛЮВАННІ РЕЖИМІВ ЕЛЕКТРИЧНИХ МЕРЕЖ ЕНЕРГОСИСТЕМИ

***А.М. Скрипник, А.В. Петренко, кандидати технічних наук
Д.П. Кожан, інженер***

Запропоновано математичне вирішення включення коефіцієнтів трансформації трансформаторів і автотрансформаторів в елементі матриці провідностей в процесі її формування при моделюванні режимів електричних мереж енергосистем та їх оптимізації.

Поздовжні провідності, матриця провідностей, власні та взаємні елементи матриці, дійсні та комплексні коефіцієнти трансформації.

При моделюванні режимів електричних мереж та їх оптимізації можуть використовуватися як метод контурних струмів, так і метод вузлових напруг. Нині найчастіше застосовують різні модифікації методу вузлових напруг, в яких кожен вузол електричної мережі описується комплексним рівнянням у вигляді: