

УДК 62 - 83 : 621. 313. 333

ВАРІАНТИ СПОСОБІВ ВНУТРІШНЬОЇ ЄМНІСНОЇ КОМПЕНСАЦІЇ
РЕАКТИВНОЇ ПОТУЖНОСТІ АСИНХРОННИХ ДВИГУНІВ

Р. М. Чуєнко, кандидат технічних наук

e-mail: roman_chuenko@ukr.net

Анотація. Проаналізовано способи покращання енергофоективності асинхронних двигунів шляхом застосування внутрішньої ємнісної компенсації реактивної потужності.

Ключові слова: *компенсований асинхронний двигун, енергоефективність, реактивна потужність, обмотка статора, автотрансформатор*

Асинхронний електродвигун (АД) з короткозамкненим ротором є найпоширенішим засобом перетворення електричної енергії у механічну в електроприводі сільськогосподарських робочих машин.

З літератури відомі різні підходи до вирішення проблеми підвищення енергоефективності асинхронних електродвигунів. Зокрема, створюються асинхронні електродвигуни, енергетичні показники яких підвищуються за рахунок збільшення масо-габаритних параметрів та покращання якості активних матеріалів [2]. Заслугує на увагу досвід підвищення енергетичних характеристик асинхронних двигунів за рахунок використання обмотки статора спеціальної конструкції з підключенням конденсаторів електричної ємності [1]. Проте для цих двигунів характерними є відносно велика витрата активних матеріалів на одиницю корисної потужності та знижені техніко-економічні показники. Крім того, за рахунок ускладнення технологічного процесу виготовлення обмоток цих двигунів суттєво збільшується їхня вартість.

Мета досліджень – обґрунтування способів підвищення енергоефективності асинхронних електродвигунів зі збереженням їх простоти та надійності.

Матеріали та методика досліджень. Реалізація внутрішньої ємнісної компенсації реактивної потужності (ВЄКРП) в асинхронних двигунах може бути здійснена різними способами залежно від прийнятої схеми та кількості паралельних віток обмотки статора базової машини. При цьому враховується, що обмотку статора із парною кількістю полюсів завжди можна розділити на дві однакові послідовно або паралельно з'єднані частини (напівобмотки). Проте для малих машин (потужністю до 11 кВт) ефективнішим є послідовне з'єднання напівобмоток статора, а для більш потужних машин обмотка виконується з декількох (найчастіше двох) паралельних віток.

Перший спосіб внутрішньої ємнісної компенсації реактивної потужності в асинхронному двигуні полягає у тому, що при послідовному з'єднанні напівобмоток статора одна з них шунтується конденсатором електричної ємності (рис. 1). При цьому зашунтована напівобмотка обмінюється реактивною потужністю не з мережею живлення, а з конденсатором. Внаслідок чого незашунтована напівобмотка фази обмотки статора компенсованого асинхронного двигуна (КАД) частково або повністю звільняється від передачі реактивної потужності зашунтованій напівобмотці, а струм незашунтованої напівобмотки зменшується.

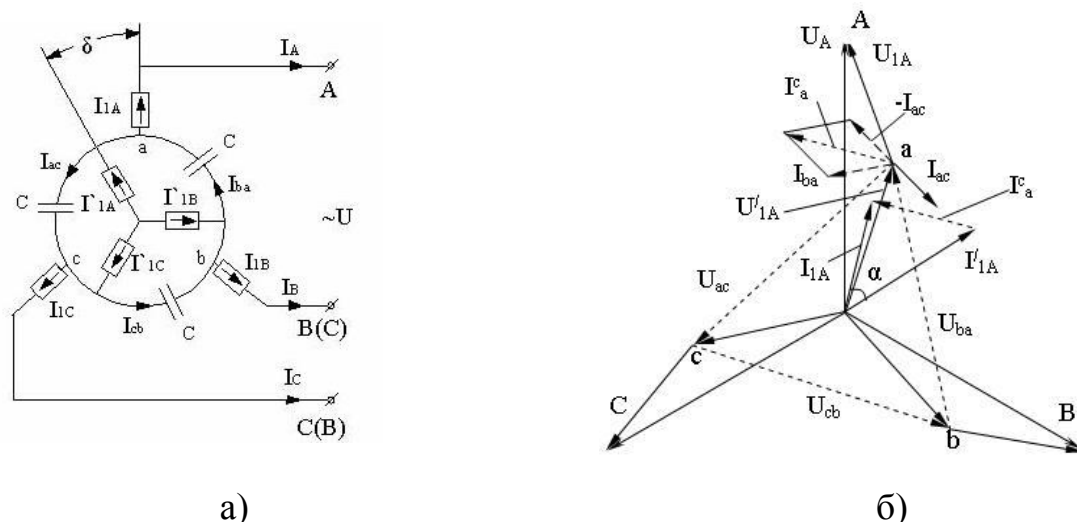


Рис. 1. Принципова електрична схема кіл статора КАД із послідовним з'єднанням напівобмоток (а) та спрощена векторна діаграма (б)

Характерною рисою способу внутрішньої ємнісної компенсації реактивної потужності в асинхронному двигуні 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 в одній із напівобмоток статора.

Цей спосіб (рис. 1.1 а) є простим, дешевим і надійним, він дає можливість знизити струм холостого ходу двигуна на 40-50 %, робочий номінальний струм на 10-12 %, пусковий струм на 8-10 % при деякому збільшенні пускового моменту. Такі результати забезпечуються при використанні конденсаторів ємністю 8-12 мкФ на фазу на 1 кВт номінальної потужності двигуна [1].

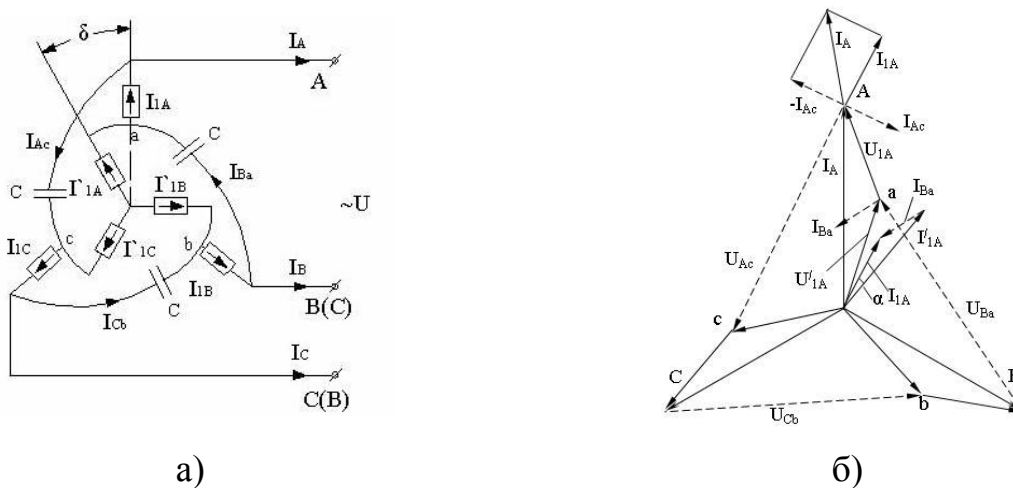


Рис. 2. Принципова електрична схема кіл статора КАД із асиметричним включенням ємностей (а) та спрощена векторна діаграма (б)

Проте при цьому низькою є ступінь використання конденсаторів, що за схемою Y включаються лише на половину фазної напруги мережі, а за схемою Δ на половину лінійної напруги мережі живлення. Для підвищення ступеня використання конденсаторів за реактивною потужністю запропоновано включати їх на підвищену напругу між середньою точкою фази і початковою точкою наступної за порядком чергування фази (рис. 2). При цьому [3] відбувається поєднання внутрішньої і зовнішньої компенсації реактивної потужності. Але таке асиметричне включення конденсаторів у схему обмотки

статора призводить до перерозподілу як реактивних, так і активних струмів у напівобмотках (рис. 2, б). При зміні порядку чергування фаз або знаку кута δ струм I_{1A} буде зростати, а струм I'_{1A} зменшуватися. В обох випадках ефект ємнісної компенсації реактивної потужності знижується.

До використання пропонується спосіб внутрішньої ємнісної компенсації реактивної потужності, за якого кожна фазна обмотка статора КАД складається з основної обмотки, підключеної до мережі живлення, та додаткової, зміщеної у пазах осердя статора 30° та включеної за схемою поворотного автотрансформатора (АТ) на електричну ємність (рис. 3). При цьому обмотки статора КАД є функціонально суміщеними, як робочі обмотки двигуна за активною потужністю та компенсувальні за реактивною потужністю.

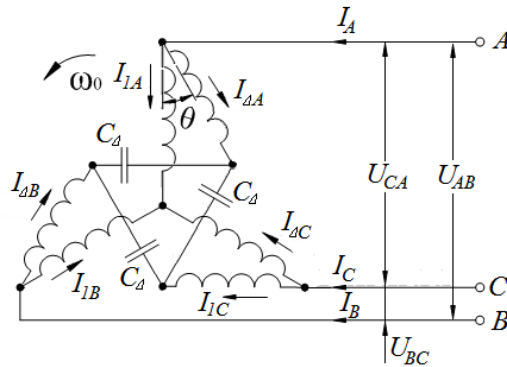


Рис. 3. Принципова електрична схема кіл статора КАД

При цьому КАД зберігає головну перевагу асинхронного двигуна – простоту конструкції. Він виконується на базі серійного АД із незначними змінами схеми обмотки статора для включення конденсаторів ВСКРП. Увімкнення електричної ємності за автотрансформаторною схемою обмотки статора КАД призводить до перерозподілу всіх його струмів та залежних від них величин, і може бути використано для підвищення енергоефективності АД.

На відміну від базового АД обмотка статора КАД має дві робочі вітки, струм I_1 однієї з яких (основної) зберігає активно-індуктивний характер, а струм I_Δ додаткової (компенсувальної обмотки) за ємнісного навантаження АТ є ємнісно-активним. Так, ємнісний за суттю струм додаткової обмотки за його просторового зміщення відносно до ЕРС додаткової обмотки став мати як

реактивну, так і активну складову, тобто додаткова фазна обмотка взяла на себе частину активної потужності і може поєднувати функції робочої та компенсувальної обмотки КАД.

Таким чином, в КАД діють два взаємозалежні трифазні кола первинних і вторинних обмоток поворотного АТ, струми яких I_1 та I_Δ зміщенні між собою у просторі на кут θ та у часі на кут α . Відповідно зсунутими у просторі та часі будуть магніторушійні сили (МРС), які створюються трифазними колами основних та додаткових фазних обмоток статора:

$$\dot{F}_1 = \frac{m\sqrt{2}}{\pi} \frac{I_1 w k_{o1}}{p} - \text{МРС основних обмоток фаз статора КАД}, \quad (1)$$

$$\dot{F}_\Delta = \frac{m\sqrt{2}}{\pi} \frac{I_\Delta e^{-j\theta} w k_{o\Delta}}{p} - \text{МРС додаткових обмоток фаз статора КАД}. \quad (2)$$

Змінюючи величину ємності конденсаторів, можна досягти такого режиму роботи, коли сума просторового та часового зсуву струмів та МРС основної та додаткової обмоток дорівнює нулю. У такому випадку **відбувається** подвоєння кількості фаз і фазних зон обмотки статора. Система стає шестифазною із відповідними перевагами над 3-фазною системою [3].

Таким чином фундаментальною умовою, якої слід дотримуватись під час застосування ВЕКРП АД, є забезпечення такого просторово-часового зсуву струмів основних і додаткових обмоток статора, щоб відбулося подвоєння кількості фаз за незмінної трифазної напруги живлення.

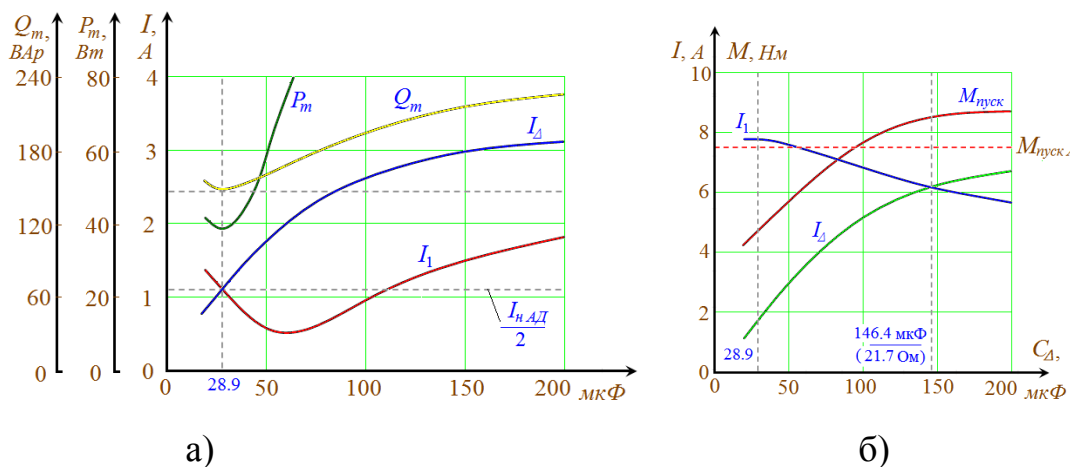


Рис. 4. Характеристики пускового ($s=1$) (а) і номінального ($M_n=\text{const}$) (б) режимів КАД при зміні ємнісного збудження ($C_A=\text{var}$)

Як свідчать результати чисельних досліджень, пусковий та робочий режими КАД за обраного кута зсуву напівобмоток фаз статора θ значною мірою залежать від величини ємності C_{Δ} ($x_{C\Delta}$) на виході поворотного АТ (рис. 4).

Проте величина ємності, необхідної для виконання фундаментальної умови компенсації за номінального навантаження, відрізняється від величини ємності під час пуску у 4 – 5 рази.

При цьому КАД слід запуснути за однієї величини ємності, а після розгону до ковзання $s = 0,1 \dots 0,2$ перемкнути ємність (рис. 5), що забезпечує роботу КАД в номінальному режимі. Можливе також перемикання ємності з Δ під час пуску на Y за номінального навантаження. У випадку ж, коли робоча машина не потребує підвищеного пускового моменту, то пуск і роботу КАД можна провести за постійної ємності номінального робочого режиму.

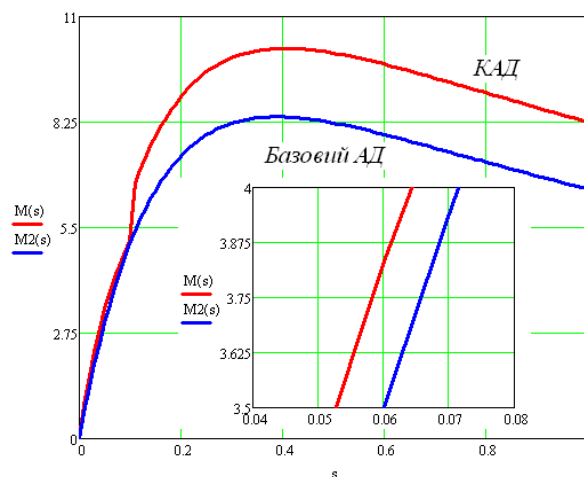


Рис. 5. Механічна характеристика КАД з перемиканням пускової ємності на номінальну при досягненні ковзання $s = 0,1$

Висновки

КАД є керованим за величиною споживаної реактивної потужності та характером енергетичних перетворень, що протікають в ньому. Енергетичні, механічні та техніко-економічні показники КАД залежать від кута просторового зсуву між осями основної та компенсаційної обмоток статора, величини та схеми з'єднання компенсуювальних ємностей.

Найсприятливіший режим роботи КАД спостерігається за кутів просторового зміщення напівобмоток статора $\pm 30^\circ$. Фундаментальною умовою ВСКРП є забезпечення такого просторово-часового зсуву струмів основних і додаткових обмоток статора, щоб відбулося подвоєння кількості фаз за незмінної трифазної напруги живлення.

Список літератури

1. Мішин В.І. Компенсовані асинхронні двигуни: монографія / В.І. Мішин, Р.М. Чуенко. – Ніжин: П.П. Лисенко М.М., 2013. – 225 с.
2. Корчемний М.О. Енергозбереження в агропромисловому комплексі / М.О. Корчемний, В.С. Федорейко, В.В. Щербань – Тернопіль: Підручники і посібники, 2001. – 984 с.
3. Мишин В. И. Эффект внутренней ёмкостной компенсации реактивной мощности в асинхронных двигателях / В. И. Мишин, Р. Н. Чуенко, В. В. Гаврилюк // Электротехника. – 2009. – №8 – С. 30–36.

ВАРИАНТЫ СПОСОБОВ ВНУТРЕННЕЙ ЕМКОСТНОЙ КОМПЕНСАЦИИ РЕАКТИВНОЙ МОЩНОСТИ АСИНХРОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

Р. Н. Чуенко

Аннотация. *Проанализированы способы улучшения энергоэффективности асинхронных двигателей за счет использования внутренней емкостной компенсации реактивной мощности*

Ключевые слова: *компенсированный асинхронный двигатель, энергоэффективность, реактивная мощность, обмотка статора, автотрансформатор*

VARIATIONS OF INDUCTION MOTOR'S REACTIVE POWER INTERNAL CAPACITANCE COMPENSATION

R. Chuenko

Annotation. *Ways of induction motors power efficiency improvement using internal capacitance compensation are analysed.*

Key words: *compensated induction motor, power efficiency, reactive power, stator winding, autotransformer*