

ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ ЗА РАХУНОК КОМПЕНСАЦІЇ РЕАКТИВНОЇ ПОТУЖНОСТІ

Summary. Offered eccentric approaches to the improvement of work of asynchronous engines due to internal indemnification of reactive power, that decides the question of increase of efficiency of processes of electro-consumption and energy saving. The analysis of power parameters during realization of this method is conducted.

Анотація. Запропоновано неординарні підходи до удосконалення роботи асинхронних двигунів за рахунок внутрішньої компенсації реактивної потужності, що вирішує питання підвищення ефективності процесів електроспоживання та енергозбереження. Проведено аналіз енергетичних параметрів при реалізації даного методу.

Key words: winding, asynchronous engine, reactive power, indemnification

Ключові слова: обмотка, асинхронний двигун, реактивна потужність, компенсація

Постановка проблеми. В зв'язку із безперервним зростанням тарифів на електроенергію особлива увага приділяється питанню підвищення енергетичних показників асинхронних двигунів.

Економічність роботи електропривода у будь-якому режимі характеризується ККД [1]. Номінальний ККД відповідає номінальній потужності на валу двигуна і визначає номінальні втрати його потужності.

Також важливою енергетичною характеристикою електродвигуна являється коефіцієнт потужності. При підвищенні цих показників можна зменшити втрати потужності, що приведе до енергоощадності, а відповідно до зменшення витрат коштів, що являється не мало важливим в сільськогосподарському виробництві. Тобто оптимізація ефективності використання асинхронного двигуна може забезпечити суттєву реальну економію вартості робочого циклу на протязі всього терміну експлуатації двигуна.

Тому сьогодні вимагає нові підходи до оцінки та розробки вдосконалення роботи електродвигунів, що дозволяє підвищити енергоефективність, оскільки саме у цій сфері закладені найбільші резерви енергозбереження.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Над проблемою створення енергозберігаючих асинхронних електродвигунів працюють багато науковців, що обумовило появу сучасних енергоефективних електродвигунів та різноманітного спеціального обладнання. Але для реалізації цього різноманіття на сьогоднішній день сільськогосподарським підприємствам не вистачає коштів.

Для вирішення цієї проблеми можна підійти з іншої сторони, тобто підвищити енергетичні показники асинхронного двигуна, які призведуть до збільшення енергоефективності за рахунок удосконалення існуючих двигунів під час ремонту.

Мета дослідження - підвищення енергоефективності шляхом внутрішньої компенсації реактивної потужності асинхронних двигунів.

Виклад основного матеріалу. Відомі різні підходи вирішення проблеми підвищення енергоефективності, а саме [2]:

- використання модернізованих електродвигунів з підвищеними енергетичними показниками;

- покращання енергетичних характеристик асинхронного електродвигуна із застосування зовнішніх відносно самого двигуна пристроїв таких як інвертори, при чому економія досягається за рахунок регулювання частоти обертання при малих навантаженнях на будь-якій частоті обертання;

- використання «плавного регулювання», яке виконується за рахунок використання тиристорних пристроїв, які дозволяють регулювати напругу на затискачах двигуна, і, відповідно, контролювати пуск і зупинку приводу, а також забезпечувати енергозбереження шляхом зменшення напруги на недовантаженому двигуні;

- використання обмотки статора спеціальної конструкції.

Але всі ці методи приводять до витрати коштів, що на сьогоднішній день так не вистачає сільськогосподарським підприємствам.

Як відомо, асинхронний двигун являється споживачем двох видів енергії: активної, яка перетворюється в механічну на валу двигуна та у теплові втрати, і реактивної, необхідної для створення обертового магнітного поля. [3]. При цьому реактивна енергія не перетворюється в інші види, а лише циркулює увесь час між джерелом струму і приймачем, що завантажує обмотку статора двигуна, мережу живлення та джерело електричної енергії реактивним струмом, що призводить до збільшення загального струму двигуна і додаткових втрат активної енергії в усіх елементах електричної системи.

Тому найкласичнішим і маловитратнішим способом підвищення енергоефективності являється компенсація реактивної потужності.

Відомий спосіб компенсації реактивної потужності, який заснований на вмиканні конденсаторів електричної ємності паралельно споживачу, що призводить до обміну реактивною енергією між конденсаторами і споживачем та часткового або повного звільнення мережі живлення від реактивного струму і зменшення втрат енергії у ній, але залишає незмінними робочі характеристики і техніко-економічні показники самого споживача. Тому цей спосіб малоефективний.

Пропонується застосування внутрішньої ємнісної компенсації реактивної потужності.

В період запланованого капітального ремонту асинхронних електродвигунів з метою підвищення їх техніко-економічних показників можна здійснити модернізацію обмотки статора двигуна. При цьому обмотка статора кожної фази розділюється на дві рівні послідовно з'єднані частини з виводами на клемний щиток початків C_1 , C_2 , C_3 обмоток, для підключення до мережі живлення, та середніх точок C'_1 , C'_2 , C'_3 , для підключення електричних конденсаторів. При цьому технологія виготовлення обмотки, її укладання в пази осердя статора максимально наближена до існуючої, тобто для обмоток базових двигунів, які підлягають ремонту. Весь технологічний процес ремонту обмоток статора при використанні внутрішньої ємнісної компенсації виконується відповідно до технічних вимог на капітальний ремонт базових серійних асинхронних двигунів [1, 4]. Зберігаються основні обмоткові дані базового двигуна (марка, діаметр проводу, кількість витків у котушці, кількість ефективних провідників у пазу).

При застосуванні внутрішньої ємнісної компенсації реактивної потужності в асинхронному двигуні одну з послідовних напівобмоток фази обмотки статора шунтується конденсатором електричної ємності, з яким вона частково або цілком обмінюється реактивною енергією, звільняючи від передачі цієї енергії іншу

напівобмотку (рис.1). При цьому ємнісні струми конденсаторів, з'єднаних трикутником, випереджають свої відповідні напруги на 90° 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 A - a цей струм дорівнює $I_a^c = I_{ba} - I_{ca}$, він випереджає напругу U'_{1A} зашунтованої напівобмотки на 90° , що компенсує її реактивний струм, а загальний струм іншої напівобмотки $I_{1A} = I'_{1A} + I_a^c$ зменшується і зміщується за фазою відносно струму зашунтованої напівобмотки на кут α .

При повній компенсації реактивного струму зашунтованих напівобмоток струм інших напівобмоток, а, отже, і загальний струм двигуна буде мінімальним, що зменшує втрати потужності в самому двигуні і мережі живлення.

У варіанті звичайного трифазного асинхронного двигуна (рис.2 а, б, в) напівобмотки фази з'єднані між собою послідовно, по них протікає однаковий струм і МРС $F_1 = F_2$ напівобмоток просторово зміщені одна відносно іншої на кут 30° , створюючи загальну МРС

$$\bar{F} = \bar{F}_1 + \bar{F}'_1 \quad \text{або}$$

$$F = 2F_1 \cos \frac{30^\circ}{2} = 2F'_1 \cos \frac{30^\circ}{2} \quad (1)$$

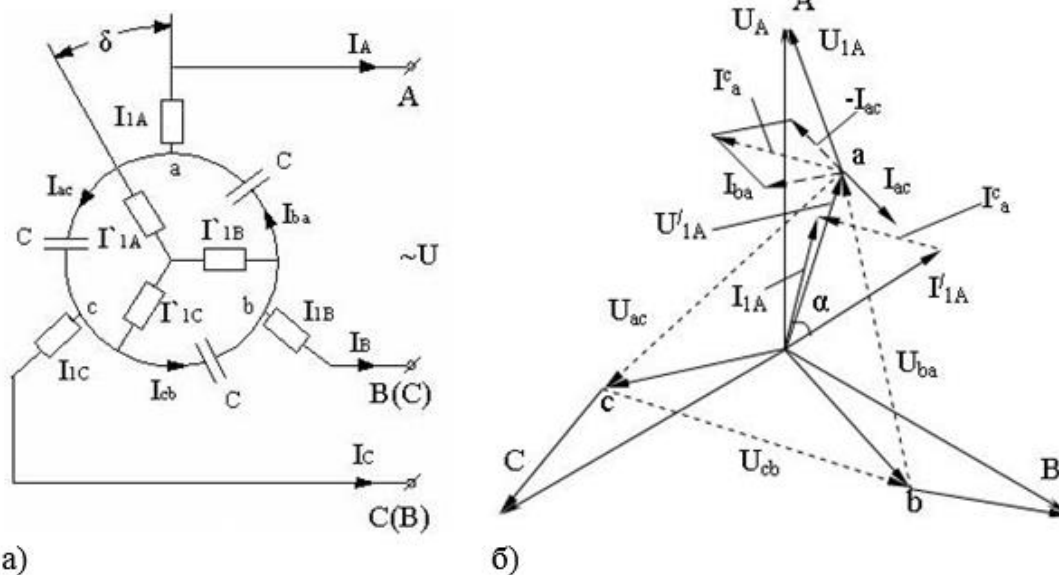


Рис. 1 – Внутрішня ємнісна компенсація реактивної потужності асинхронного двигуна шунтуванням конденсаторами внутрішніх напівобмоток статора: а – принципова електрична схема кола статора; б – спрощена векторна діаграма.

При шунтуванні однієї з напівобмоток ємністю струм її відстає від струму іншої напівобмотки на кут α , який залежить від величини ємності

конденсаторів, тобто, від величини ємнісного струму (рис. 2 б).

Нехай МРС незашунтованих зовнішніх напівобмоток фаз (рис. 2 в) на їх осі змінюються у вигляді [4]:

$$F_{1A} = F_{m1} \cos \omega t, F_{1B} = F_{m1} \cos(\omega t - \rho), F_{1C} = F_{m1} \cos(\omega t + \rho), \quad (2)$$

де $\rho = 120^\circ$, $F_{m1} = \frac{2\sqrt{2}}{\pi} \cdot \frac{I_1 w}{p} k_{o1}$ - амплітуда магніторушійної сили фазної напівобмотки із

струмом I_1 ; k_{o1} - обмотковий коефіцієнт напівобмотки з кількістю витків w ; p - число пар полюсів обмотки (напівобмотки).

Сумарна МРС напівобмоток F_1 з урахуванням просторового зміщення фаз однієї відносно іншої на кут $\rho = 120^\circ$ буде складати

$$F_1 = F_{1A} + F_{1B} e^{j\rho} + F_{1C} e^{-j\rho} = \frac{3}{2} F_{m1} e^{j\omega t}, \quad (4)$$

де поворотний множник $e^{j\omega t}$ визначає обертання постійного за модулем вектора МРС $\frac{3}{2} F_{m1} = \frac{3\sqrt{2}}{\pi} \cdot \frac{I_1 w}{p} k_{o1}$.

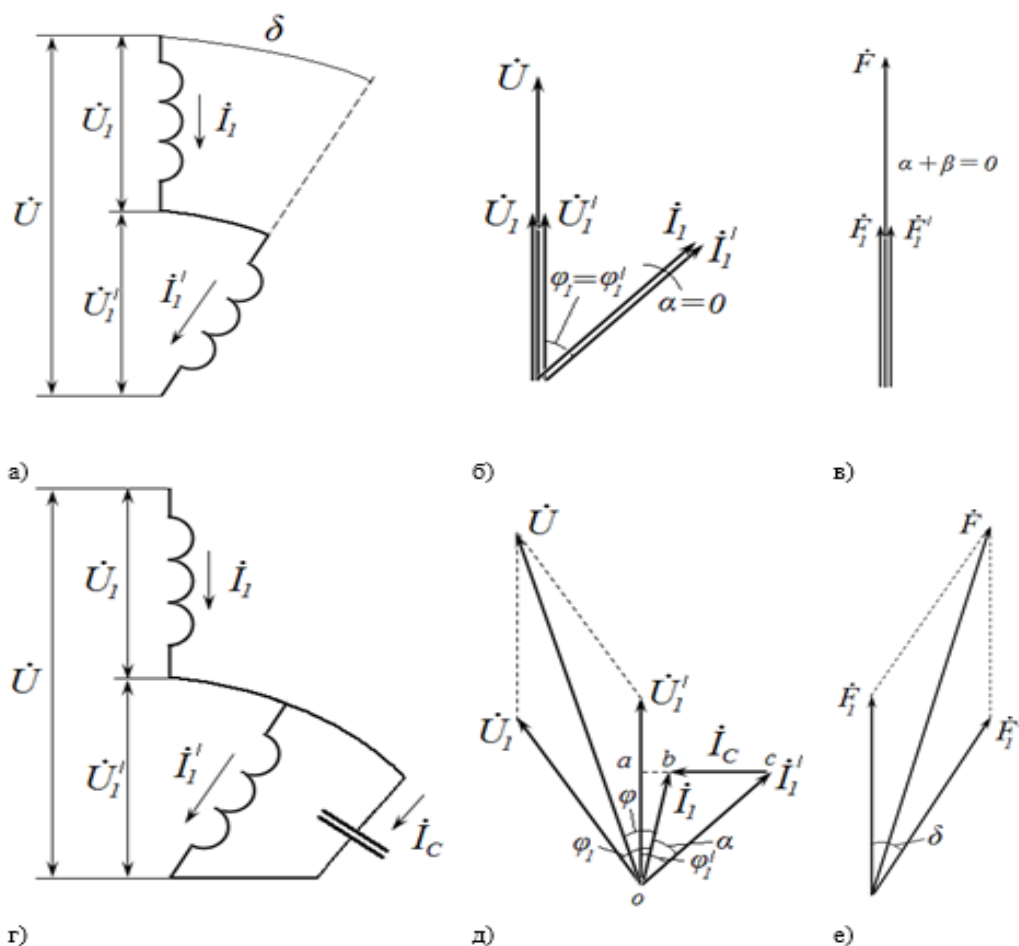


Рис. 2 – Схеми з'єднання напівобмоток, векторні діаграми струмів і напруг та векторні діаграми МРС фази обмотки статора асинхронного двигуна: без компенсації реактивної потужності (а, б, в) та з використанням компенсації (г, д, е).

МРС зашунтованих ємністю внутрішніх напівобмоток в окремих фазах описуються залежностями

$$\begin{aligned} F'_{1A} &= F'_{m1} \cos(\omega t - \alpha), \\ F'_{1B} &= F'_{m1} \cos(\omega t - \alpha - \rho), \\ F'_{1C} &= F'_{m1} \cos(\omega t - \alpha + \rho), \end{aligned} \quad (3.5)$$

а їх сумарне значення F_1' з урахуванням просторового зміщення на кут δ від іншої напівобмотки фази буде

$$F_1' = F_{1A}' e^{j\delta} + F_{1B}' e^{j(\delta-\rho)} + F_{1C}' e^{j(\delta-\rho)} = \frac{3}{2} F_{m1}' e^{j(\alpha+\alpha+\delta)}, \quad (5)$$

де $F_{m1}' = \frac{2\sqrt{2}}{\pi} \cdot \frac{I_2 w}{p} k_{o1}'$ – амплітуда МРС фазної напівобмотки, що зашунтована ємністю.

При однакових напівобмотках $k_{o1} = k_{o1}'$, а струми I_1 та I_1' в загальному випадку різні та зсунуті у напівфазах фази на кут α .

Подвоєння кількості фазних зон обмотки статора при розділенні її звичайної фазної зони на дві частини та компенсації реактивної потужності в одній з напівобмоток обумовлює наступні додаткові ефекти у асинхронному двигуні із внутрішньою ємнісною компенсацією реактивної потужності [5]:

– удвічі зменшується кількість пазів обмотки на полюс і фази $q' = \frac{Z}{2pm'}$, що веде до росту

обмотувального коефіцієнта по першій гармоніці k_{o1} , зменшенню МРС і магнітного потоку, необхідних для створення заданої ЕРС. З урахуванням зниження коефіцієнта насичення магнітного кола k_μ струм, намагнічування

$$I_0 \equiv \frac{k_\mu}{k_{o1}^2}$$

зменшується на 15-20% у порівнянні з базовою серійною машиною;

– з гармонійного складу магнітного поля машини $\nu = 2m'k \pm 1$ при $2m' = 12$ виключаються найбільш небезпечні паразитні гармоніки зворотна $\nu_{ze}=5$ і пряма $\nu_{np}=7$, просторове зміщення яких у напівхвилях МРС складає $\nu\delta - \alpha = \pm 180^\circ$, тобто вони знаходяться у протифазі. При цьому відпадає необхідність боротьби із п'ятою і сьомою просторовими гармоніками поля

розподілом обмотки та вкороченням її кроку. Обмотка може бути простою одношаровою.

Не дивлячись на деяке відхилення від умови $\delta - \alpha = 0$ нерівність струмів у напівобмотках в цілому $\delta - \alpha \rightarrow 0$, позитивно впливаючи як на робочий, так і на пусковий режими компенсованого асинхронного двигуна. Зміна напрямку обертання двигуна приводить до зміни знаку кута δ і $\delta - \alpha \neq 0$, що знижує ефективність асинхронного двигуна із внутрішньою ємнісною компенсацією реактивної потужності.

За рахунок використання внутрішньої ємнісної компенсації струм статора, при номінальному навантаженні, на валу зменшується від 2,6 А до 2,29 А (на 11,9%). В загальному, внаслідок зменшення струму намагнічування двигуна за рахунок подвоєння числа фазних зон, зменшення струму незашунтованих напівобмоток та внаслідок впливу внутрішньої ємнісної компенсації, зменшуються втрати в міді обмотки статора чим зумовлюється деяке збільшення (на 2-3%) коефіцієнта корисної дії двигуна (рис. 3). При використанні внутрішньої ємнісної компенсації суттєво зростає енергетичний коефіцієнт корисної дії двигуна η_e і значно зменшується споживана двигуном загальна потужність S . Так в режимі номінального навантаження двигуна його енергетичний коефіцієнт корисної дії зростає від 0,64 до 0,74 (на 16%), а загальна споживана з мережі потужність зменшується від 1711 ВА до 1507 ВА (на 12%) (рис.3).

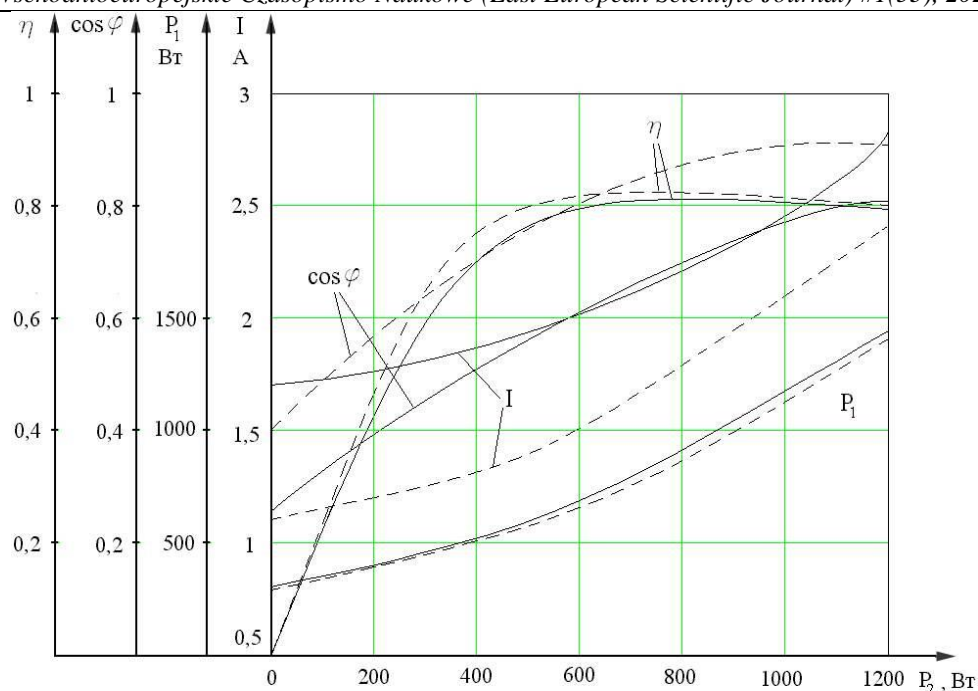


Рис. 3 – Робочі характеристики асинхронного двигуна:

— базового; - - - з використанням внутрішньої ємнісної компенсації

Висновки і пропозиції

Запропонований спосіб внутрішньої ємнісної компенсації реактивної потужності асинхронних двигунів є простим, дешевим і надійним, а також він дає можливість в компенсованому асинхронному двигуні відносно серійного збільшити ККД на 10-30%, а $\cos \varphi$ на 7-20% при зниженні робочого номінального струму на 10-12% при деякому збільшенні пускового моменту в залежності від навантаження. Такі результати забезпечуються при використанні конденсаторів ємністю 8-12 мкФ на фазу на 1 кВт номінальної потужності двигуна.

Список літератури:

1. Лут М.Т., Синявський О.Ю. Зниження втрат енергії в асинхронних електроприводах. Енергетика і автоматика. – 2013. - №3. – С.144-149.
2. Гайдукевич С.В., Антонів О.С. Підвищення енергоефективності асинхронних електродвигунів // Вісник ХНТУСГ. Випуск 203 "Проблеми енергозабезпечення та енергозбереження в АПК України". – Харків: ХНТУСГ, 2019. – С. 117-119.
3. Акимов Н.И., Ильин В.Г. Прогрессивные способы ремонта с.х. техники. – М: Колос, 1984 г., - 380 с.
4. Большов М.М., и др. Охрана труда в с.х. – М.: Колос, 1984 г., - 624 с.
5. Пястолов А.А., Ерошенко Г.П. Эксплуатация электрооборудования. – М.: Агропромиздат, 1990 г., - 287 с.

УДК 624.1
ГРНТИ 67.13.5

Gubashova V.E.

Lead engineer of the design department of
Department of Special and Hydrotechnical
works, LCC JV Osnova-Solsif, Kiev, Ukraine
ORDIS 0000-0003-4235-4440

EXPERIENCE OF PERFORMANCE OF THE HORIZONTAL ANTI-FILTRATION SCREEN WITH THE APPLICATION OF DOUBLE FLUID JET GROUTING

Summary. The technology of jet grouting is based on the high-speed injection of one or more liquids (solution, air, water) into the ground. Fluids are injected through small-diameter nozzles located on a hydraulic monitor, which, in normal use, first drills a well to the bottom of the future soil-cement element, and then rises to the surface of the soil, performing continuous processing [1].

The type and physical and mechanical properties of the soils in which the jet-grouted element is performed will be one of the main factors that affect the geometric size of the elements and the strength characteristics of the soil-cement material.