**V. ЕНЕРГОТЕХНОЛОГІЇ ТА АЛЬТЕРНАТИВНІ ДЖЕРЕЛА ЕНЕРГІЇ**

УДК 621.313

DOI: 10.37128/2520-6168-2019-1-11

**СИНХРОНІЗОВАНІ АСИНХРОННІ ДВИГУНИ З ФАЗНИМ РОТОРОМ ДЛЯ ЕНЕРГОЗБЕРІГАЮЧИХ ТЕХНОЛОГІЙ В АГРОПРОМИСЛОВОМУ КОМПЛЕКСІ****Видмиш Андрій Андрійович**, к.т.н., доцент  
Вінницький національний аграрний університет**A. Vydmysh, PhD, Associate Professor**  
**Vinnitsia National Agrarian University**

*В статті запропоновано та обґрунтовано використання синхронізованих асинхронних двигунів з фазним ротором (САДФР) для ефективних енергозберігаючих електроприводів основних технологічних об'єктів в агропромисловому комплексі. Результати базуються на основі проведення наукових та практичних досліджень. Запропоновано заміну асинхронних двигунів з короткозамкненим ротором (АДКР) на більш економічні САДФР.*

*Ключові слова: синхронізований асинхронний двигун, обмотка збудження, автоматичного регулювання збудження, компаундування.*

**Рис.2. Літ.14.****1. Постановка проблеми**

Енергетичний аудит діючих електроприводів є важливим і все більш перспективним напрямом дослідження енергоефективності аграрних підприємств. Невелике обстеження діючого електрообладнання а особливо електроприводів Уладово-Люлинецької дослідно-селекційної станції виявили низьку ефективність АДКР. Слід зазначити, що використання АДКР в якості електропривода для загальнопромислових та агропромислових механізмів є домінуючою тезою електромеханіки. В роботах [1, 2] ця думка неодноразово підкреслюється.

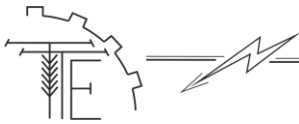
Проблема впровадження синхронних двигунів (СД) на заміну АДКР обговорюється вже не одне десятиріччя [3], але раніше слабо вирішувалось через формальне ставлення до питань економії електроенергії. В сучасних ринкових умовах економічний фактор стає одним із найважливіших рівнів технічної політики. Зважаючи на масовий характер застосування вказаних альтернативних варіантів зазначимо, що на терені України СД на малі та середні потужності не випускаються, що створює серйозні перешкоди до впровадження СД.

**2. Аналіз останніх досліджень та публікацій.**

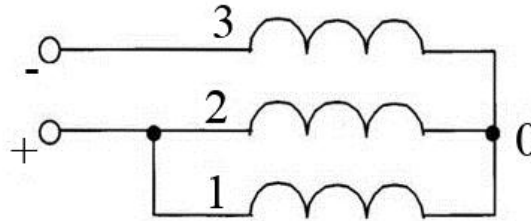
Використання в агропромисловому комплексі в якості електроприводів асинхронних двигунів з короткозамкненим ротором (АДКР) малої та середньої потужності має достатньо детальне обґрунтування як з технічної та економічної точки зору. Їх переваги в процесі проектування, виробництва та експлуатації загальновідомі та наведені в роботах [4 – 7]. Однак, невпинне, а часто не завжди вмотивоване зростання цін на енергоносії (тільки у 2018 році тарифи збільшаться на 16 – 20% [8, 9]), а отже зростання вартості витрат і втрат електроенергії в асинхронних електроприводах ставить перед проектувальниками нових серій АДКР задачу створення двигунів з підвищеним коефіцієнтом корисної дії (ККД) або заміну їх СД, які мають вищий ККД, але більшу масу і розміри а також вартість.

Поряд з СД замість АДКР може застосовуватись САДФР, що має збудження від напівпровідникового збудника. За наявності трьох контактних кілець на роторі раціональна схема збудження має вигляд рис. 1. Доцільність такої схеми доведена в роботі [10].

Перевага цієї схеми – ефективне використання обмотки ротора (2) та наявність демпферного контуру (1-2-0 на рис. 1). При живленні від некерованого випрямляча схеми рис. 1 та використанні в режимі СД на номінальну потужність ця машина має низьку перевантажувальну здатність (близько 1.1), тому вона й розглядалася як резервний варіант у порівнянні з класичним СД та СД на основі синхронного генератора, що достатньо детально розглянуто в роботах [11, 12]. Вказана особливість зумовлена порівняно малим зазором (в 2 – 4 рази меншим, ніж в СД). Але в сучасних умовах за



наявності надійних регульованих збудників, що забезпечують автоматичне компаундування (збільшення струму збудження) при зростанні струму статора, переважувальна здатність може бути підвищена короткочасно до 2, тобто до рівня, близького до АДКР. Разом з тим порівняно малий зазор САДФР забезпечує краще використання матеріалів та економію маси порівняно з СД на однакову номінальну потужність.



*Рис. 1. Схема вмикання фаз ротора в обмотку збудження:  
1, 2, 3 – контактні кільця*

### 3. Мета дослідження

Пропонується визначити і проаналізувати можливість заміни АДКР, що використовуються в якості основних електроприводів в агропромисловому комплексі на більш економічні САДФР. Це дасть змогу збільшити робочу швидкість технологічних процесів, забезпечити помітне збільшення продуктивності виробництва або додаткову економію енергоспоживання при заданому обсязі виробництва та зменшити втрати у порівнянні з АДКР.

### 4. Основні результати дослідження

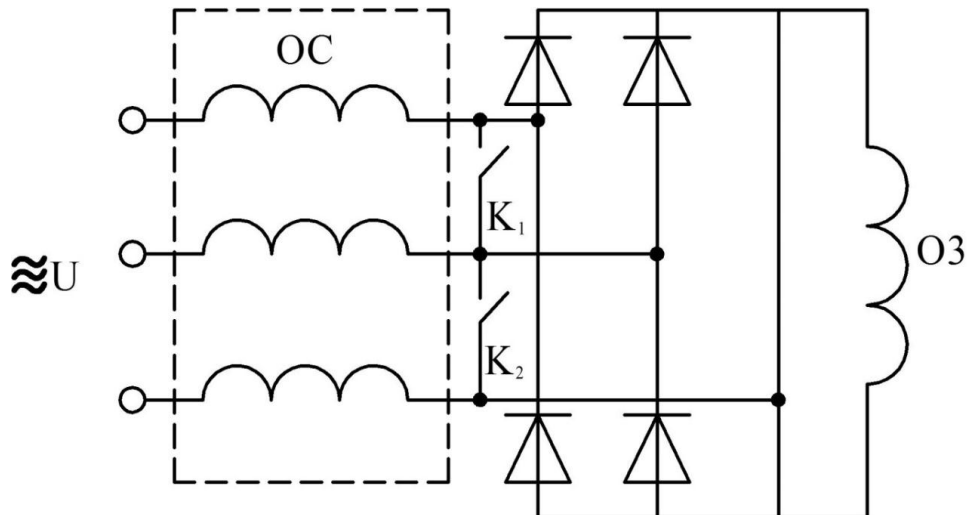
Отже застосування автоматичного регулювання збудження (АРЗ) дозволяє використовувати САДФР на його номінальну потужність в режимі АДФР. Перевага САДФР – у вищому на 4 – 5 % ККД (швидкість двигуна зростає до синхронної швидкості), якщо реалізується АРЗ для підтримання  $\cos \varphi = 1$  при необхідних навантаженнях.

Основна проблема, що при цьому виникає, це міра вартості, складності та надійності системи АРЗ, яка будується на тиристорах. При потужностях двигуна 5 – 100 кВт вартість системи АРЗ менша вартості самого двигуна, а використання складних схем керування тиристорами приводить до зниження надійності і зростання витрат на обслуговування. Що ж до двигунів потужностей 100 – 200 кВт, то застосування АРЗ на тиристорах є економічно виправданим, оскільки вартість системи АРЗ не перевищує 40% вартості двигуна [13].

Для всього діапазону потужностей САДФР 5 – 200 кВт пропонуються спрощені схеми живлення обмотки збудження безпосередньо від обмотки статора через некеровані вентиля (3, 4) з використанням неповнофазних випрямлячів. Ці САДФР є аналогами відомих схем змішаного збудження, що використовуються для двигунів постійного струму. Компаундування забезпечується (рис. 2) вмиканням обмотки збудження в коло обмотки статора, а отже, при зростанні навантаження зростає струм статора, частина якого, замикаючись через вентиля, протікає також через обмотку збудження. При низьковольтному живленні статора ( $U = 380$  В) рівень ізоляції обмоток статора і ротора однаковий (нижче 100 В), отже електричне з'єднання цих обмоток є допустимим для всіх вказаних потужностей САДФР [14].

Звернемо увагу, що схема рис. 2 не є схемою відомого простого компаундування, коли потужність в ОЗ надходить від стороннього джерела живлення. В схемі рис. 2 здійснюється органічне природне компаундування, при якому струм збудження формується як внутрішній навантажувальний параметр в системі саморегулювання. Система при даному навантаженні встановлює такий струм збудження, при якому її внутрішня енергія (сумарні втрати) є мінімальною. Експеримент показує, що система підтримує  $\cos \varphi$ , але дещо відстаючий, при якому ККД найбільший з можливих при даному навантаженні, тобто в цій схемі САДФР здійснюється автоматична мінімізація втрат без застосування керованих вентилів.

Для двигунів потужністю 100 – 200 кВт може виявитись доцільною робота з випереджаючим  $\cos \varphi$  (для підтримання номінального рівня напруги в мережі). В цьому випадку схема живлення ОЗ може бути повнофазною, а один з вентилів замінюється на тиристор – для реалізації обмеженого діапазону керування струму збудження. При цьому схема керування одним тиристором є спрощеною.



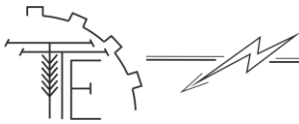
**Рис. 2. Схема синхронізованого асинхронного двигуна з фазним ротором:**  
*OC* - обмотка статора; *OZ* - обмотка збудження;  $K_1, K_2$  – контакти пускового контактора

## 5. Висновок

Застосування запропонованих САДФР є частиною загальної стратегії щодо альтернативної заміни АДКР більш економічними високонадійними двигунами. Робота САДФР у багатьох випадках для технологічних процесів при швидкості, що на 5 – 6% перевищує робочу швидкість АДКР, забезпечує помітне збільшення продуктивності виробництва або додаткову економію енергоспоживання при заданому обсязі виробництва (коли час вмикання двигуна зменшується на 5 – 6% у порівнянні з АДКР) і як наслідок зменшення втрат.

## Список використаних джерел

1. Попович М. Г. Теорія електропривода. Підручник / М. Г. Попович. – К: Вища школа, 1993. – 494 с.
2. Синявський О. Ю. Електропривод: Навчальний посібник / О. Ю. Синявський, П. І. Савченко, В. В. Савченко, Ю. М. Лавріненко, В. В. Козирський, Ю. М. Хондола, І. П. Ільчов. – К.: Аграр Медіа Груп, 2013. – 586 с.
3. Логинов С. И. Всесоюзное совещание по регулированию возбуждения синхронных двигателей / С. И. Логинов // Электричество, 1964. - №7. – С. 21 – 28.
4. Вольдек А. И. Электрические машины : учебник для вузов / А. И. Вольдек. – Л. : Энергия, 1978. - 832 с.
5. Копилов И. П. Справочник по электрическим машинам. В двух томах / И. П. Копилов, В. К. Клоков. – Том 1. – М.: Энергоатомиздат, 1988. – 456 с.
6. Копилов И. П. Справочник по электрическим машинам. В двух томах / И. П. Копилов, В. К. Клоков. – Том 2. – М.: Энергоатомиздат, 1989. – 688 с.
7. Домбровский В. В. Основы проектирования электрических машин переменного тока / В. В. Домбровский, Г. М. Хуторецкий. – Л.: Энергия, 1974 — 504 с.
8. Офіційно: Нацкомісія з тарифів підвищила ціну на електроенергію [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.epravda.com.ua/news/2017/12/28/632623/>.
9. Тарифи обленерго зростуть з 1 квітня [Електронний ресурс] Режим доступу: <https://www.pravda.com.ua/news/2018/01/30/7170014/>.
10. Безверхий С. О. Энергопоказники фазных роторных обмоток асинхронных двигунів при живленні постійним струмом / С. О. Безверхий, А. А. Видмиш, В. В. Каленська // Сб. научных трудов Кременчугского ГПИ “Проблемы создания новых машин и технологий”. Кременчуг, 1998. - №1. – С. 47 – 50.
11. Безверхий С. О. Энергозберігаючі альтернативні варіанти загальнопромислового електроприводу змінного струму / С. О. Безверхий, А. А. Видмиш // Проблемы автоматизированного электропривода. Теория и практика. Вестник ХГПУ, 2000. – №113. – С. 311 – 313.
12. Безверхий С. О. Энергозберігаючі синхронні двигуни для гірничої промисловості / С. О.



Безверхий, А. А. Видмиш, О. А. Жуков // Вісник Національного технічного університету "Харківський політехнічний інститут". Збірка наукових праць. Тематичний випуск. – Харків: НТУ ХПІ, 2005. – №43. – С. 244 – 247.

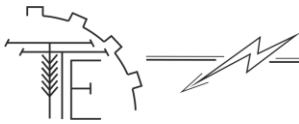
13. Стаднік М. І. Аналіз надійності роботи агрегатів малої ГЕС та розробка рекомендацій до її підвищення / М. І. Стаднік, В. А. Васильківський // Техніка, енергетика, транспорт АПК, 2018. – №2. – С. 73 – 80.
14. Стаднік М. І. Проектування систем автоматизації з мінімальною надлишковістю / М. І. Стаднік // Техніка, енергетика, транспорт АПК, 2017. – №2. – С. 167–172.

### References

- [1] Popovich, M. (1993) *Teoriya elektropryvoda [Theory of electric drive]* Kyiv: Vyshcha shkola (in Ukrainian).
- [2] Sinyavsky, O., Savchenko, P., Savchenko, V. (2013) *Elektropryvod [Electric drive]* Kyiv: Ahrar Media Hrup (in Ukrainian).
- [3] Loginov, S. (1964) *Vsesoyuznoye soveshchaniye po regulirovaniyu vzbuzhdeniya sinkhronnykh dvigateley [All-Union Conference on the Regulation of Excitation of Synchronous Engines]*, 7, 21 – 28, *Elektrichestvo* (in Russian).
- [4] Voldek, A. (1978) *Elektricheskkiye mashiny [Electric Machines]* Leningrad: Energiya (in Russian).
- [5] Kopylov, I., Klokov, V. (1988) *Spravochnik po elektricheskim mashinam [Handbook of electric machines]*, 1, (in Russian).
- [6] Kopylov, I., Klokov, V. (1989) *Spravochnik po elektricheskim mashinam [Handbook of electric machines]*, 2, (in Russian).
- [7] Dombrovsky, V., Khutoretskii, G. (1974) *Osnovy proyektirovaniya elektricheskikh mashin peremennogo toka [Fundamentals of designing electric alternating current machines]* Leningrad: Energiya (in Russian).
- [8] *Ofitsiyno: Natskomisiya z taryfiv pidvyshchyla tsinu na elektroenerhiyu [The National Commission on Tariffs has raised the price for electricity]* (2018) Retrieved from: <https://www.epravda.com.ua/news/2017/12/28/632623/> (in Ukrainian).
- [9] *Taryfy oblenerho zrostut' z 1 kvitnya [Oblenergo tariffs will increase from April 1]* (2018) Retrieved from: <https://www.pravda.com.ua/news/2018/01/30/7170014/> (in Ukrainian).
- [10] Bezverkhyi, S., Vidmysh, A., Kalenska, V. (1998) *Enerhopokaznyky faznykh rotornykh obmotok asynkronnykh dvyhuniv pry zhyvlenni postynym strumom [Power indices of phase rotary windings of asynchronous motors with DC supply]*, 1, 47 – 50, *Sb. scientific works of Kremenchug GPI "Problems of creation of new machines and technologies"* (in Ukrainian).
- [11] Bezverkhyi, S., Vidmysh, A. (2000) *Enerhozberihayuchi al'ternatyvni varianty zahal'nopromyslovoho elektropryvodu zminnoho strumu [Energy-saving alternatives to a general-purpose electric AC]*, 113, 311 – 313, *Problems of the automated electric drive. Theory and practice. Bulletin of KhGPU* (in Ukrainian).
- [12] Bezverkhyi, S., Vidmysh, A., Zhukov, A. (2005) *Enerhozberihayuchi synkhronni dvyhuny dlya hirnychoyi promyslovosti [Energy-saving synchronous engines for mining industry]*, 43, 244 – 247, *The Bulletin of the National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute". Collection of scientific works. Thematic issue* (in Ukrainian).
- [13] Stadnik, M., Vasilkovsky, V. (2018) *Analiz nadiynosti roboty ahrehativ maloyi HES ta rozrobka rekomendatsiy do yiyi pidvyshchennya [The analysis of the reliability of the work of the small hydraulics aggregates and the development of recommendations to its growth]*, 2, 73 – 80, *Engineering, power engineering, transport of agroindustrial complexes* (in Ukrainian).
- [14] Stadnik, M. (2017) *Proektuvannya system avtomatyatsiyi z minimal'noyu nadlyshkovistyuu [Projecting systems of automation with minimum perfectly]*, 2, 167 – 172 *Engineering, power engineering, transport of agroindustrial complexes* (in Ukrainian).

### СИНХРОНИЗИРОВАННЫХ АСИНХРОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ С ФАЗНЫМ РОТОРОМ ДЛЯ ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИХ ТЕХНОЛОГИЙ В АГРОПРОМЫШЛЕННОМ КОМПЛЕКСЕ

В статье предложено и обосновано использование синхронизированных асинхронных двигателей с фазным ротором (САДФР) для эффективных энергосберегающих электроприводов основных технологических объектов в агропромышленном комплексе. Результаты основаны на



основе проведения научных и практических исследований. Предложено замену асинхронных двигателей с короткозамкнутым ротором (АДКР) на более экономичные САДФР.

*Ключевые слова:* синхронизирован асинхронный двигатель, обмотка возбуждения, автоматического регулирования возбуждения, компаундирования.

Рис. 2. Лит. 14.

#### SYNCHRONIZED ASYNCHRONOUS MOTORS WITH A PHASE ROTOR FOR ENERGY-SAVING TECHNOLOGIES IN THE AGRO INDUSTRIAL COMPLEX

*The article proposes and justifies the use of synchronized asynchronous motors with a phase-rotor (SADFR) for efficient energy-saving electric drives of the main technological objects in the agro-industrial complex. The results are based on scientific and practical research. Proposed replacement of asynchronous motors with a squirrel cage rotor (ADRC) with more economical SADFR.*

*Key words:* synchronous asynchronous motor, excitation winding, automatic control of excitation, compounding.

Fig. 2. Ref. 14.

#### ВІДОМОСТІ ПРО АВТОРА

**Видмиш Андрій Андрійович** – кандидат технічних наук, доцент кафедри «Електроенергетики, електротехніки та електромеханіки» Вінницького національного аграрного університету (вул. Сонячна, 3, м. Вінниця, 21008, Україна, email: andrijvydmysh1966@gmail.com).

**Выдмыш Андрей Андреевич** – кандидат технических наук, доцент кафедры «Электроэнергетики, электротехники и электромеханики» Винницкого национального аграрного университета (ул. Солнечная, 3, г. Винница, 21008, Украина, email: andrijvydmysh1966@gmail.com).

**Vidmysh Andriy** – PhD, Associate Professor of the Department "Power Engineering, Electrical Engineering and Electromechanics" of the Vinnytsia National Agrarian University (3, Solnyschna St., Vinnytsia, 21008, Ukraine, email: andrijvydmysh1966@gmail.com).