

ВИБІР ТИПУ ЕЛЕКТРОПРИВОДУ ДЛЯ МЕХАНІЗМУ ІЗ СИСТЕМАТИЧНИМ НЕДОВАНТАЖЕННЯМ

Дмитро Гречин, к. т. н., Іван Дробот, Маркіян Гошко, к. т. н., Роман Левус
Львівський національний університет природокористування
вул. Володимира Великого, 1, м. Дубляни, Львівський р-н, Львівська обл., Україна,
e-mail: hrechynd@ukr.net, dim39.2017@gmail.com, m121314@ukr.net

<https://doi.org/10.32718/agroengineering2025.29.117-121>

Гречин Д., Дробот І., Гошко М., Левус Р. Вибір типу електроприводу для механізму із систематичним недовантаженням

У статті розкрито питання побудови та роботи подрібнювача кормів, схеми керування системи автоматизованого електроприводу. За сучасних умов роботи подрібнювача, враховуючи перебої з електропостачанням, багато підприємств використовує резервні джерела живлення, які мають обмежену потужність. Тваринницька галузь постійно потребує наявності кормів, а тому інколи необхідно здійснювати подрібнення при живленні від резервних джерел живлення. Для полегшення роботи резервного джерела живлення можна зменшити рівень навантаження подрібнювача. Проаналізовано інші типи подрібнювачів, будову та роботу схем керування системами автоматизованого електроприводу. Запропоновано провести модернізацію електроприводу завдяки заміні регулювання ввімкнення-вимкнення асинхронного двигуна введенням плавного регулювання навантаження за допомогою частотного керування швидкості обертання асинхронного двигуна механізму навантаження. А також для забезпечення роботи подрібнювача за умови живлення від джерела резервного живлення обмеженої потужності забезпечити ввімкнення основного двигуна подрібнювача на пониженому напругу за допомогою перемикачів обмоток на схему «зірка».

Побудовано модель запропонованої системи автоматизованого електроприводу подрібнювача з автоматизованою подачею продукції на подрібнення на базі частотного перетворювача. Проведено дослідження його роботи в номінальному режимі, а також при живленні за пониженої напруги живлення за схемою «зірка» та зменшеному сигналі завдання. Отримані графічні залежності перехідних процесів при зміні навантаження показали високу швидкодію системи автоматизованого електроприводу, що забезпечує можливість роботи системи електроприводу з високою продуктивністю.

Технологічний ефект від збільшення продуктивності подрібнювача при роботі в номінальному режимі – за рахунок високої швидкодії можна навантажувати електропривід до номінального навантаження, оскільки перевантаження дуже швидко відпрацьовуються системою автоматичного керування, а також забезпечення роботи подрібнювача за сучасних проблем з електропостачанням, а саме робота від джерела обмеженої потужності.

Ключові слова: електропривід, подрібнювач, перетворювач частоти, модель, графічна залежність.

Hrechyn D., Drobot I., Hoshko M., Levus R. Selecting the type of electric drive for a mechanism with systematic underloading

The paper discusses the design and operation of a feed grinder and the control scheme of an automated electric drive system. In modern operational conditions, many enterprises face power outages and utilize backup power sources with limited capacity. Given the livestock industry's constant need for feed availability, it sometimes becomes necessary to perform grinding operations while relying on these backup power sources. To facilitate the operation of the backup power source, it is possible to reduce the load on the grinder. The paper also analyzes other types of grinders, along with their structures and control schemes for automated electric drive systems. A proposal is made to upgrade the electric drive by replacing the on-off control of the asynchronous motor with smooth load control, achieved through frequency control of the motor's rotation speed. Additionally, to ensure the grinder operates effectively with a backup power source, it is recommended to connect the main motor to a reduced voltage by configuring the windings in a "star" circuit.

The work describes a developed model of the proposed automated electric drive system for a grinder, which includes an automated feeding mechanism based on a frequency converter. Research was conducted to evaluate its performance in both nominal operating mode and when supplied with reduced voltage according to the "star" configuration and a lower task signal. The graphical representations of transient processes during load changes demonstrated a high response speed of the automated electric drive system, which enables efficient performance.

The technological benefits of increased grinder productivity in nominal mode are attributed to this rapid response, allowing the electric drive to handle its nominal load effectively, as the automatic control system can quickly manage overload situations. Furthermore, the system ensures the grinder operates smoothly despite contemporary power supply challenges, particularly when running off a limited power source.

Keywords: electric drive, grinder, frequency converter, model, graphical dependence.

Постановка проблеми. Подрібнювач має три основні двигуни: головний двигун – це двигун подрібнювального механізму, два допоміжні двигуни – для завантаження та вивантаження. Рівень завантаження регулюється вмиканням та вимиканням двигуна механізму завантаження. Таким чином, регулювання є стрибкоподібним, і тому в дробарці завжди виникають ситуації перевантаження і недовантаження, що призводить до перегріву двигуна подрібнювача й перевантаження мережі через реактивний струм. Двигуни механізму завантаження часто піддаються прямому запуску, що також може прискорити поломки. Здебільшого двигун механізму розвантаження працює безперервно за невеликих навантажень.

Окрім того, за сучасних умов роботи подрібнювача, враховуючи перебої з електропостачанням, багато підприємств використовує резервні джерела живлення, які мають обмежену потужність. Тваринницька галузь постійно потребує наявності кормів, а тому інколи необхідно здійснювати подрібнення при живленні від резервних джерел живлення. Для полегшення роботи резервного джерела живлення можна зменшити рівень завантаження подрібнювача. При цьому основний двигун великої потужності працює неефективно з низькими коефіцієнтом корисної дії та коефіцієнтом потужності. Для забезпечення вищих значень техніко-економічних показників доцільно двигун перемкнути в режим «зірка».

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Електроприводи є одними з основних енергоспоживаючих пристроїв. Одним з найбільш енергоємних процесів у сільськогосподарському виробництві є виробництво кормів [1; 4; 7]. У цьому процесі використовується двигун потужністю близько 30 кВт. Для раціонального використання електроенергії та забезпечення належної якості продукції двигун має демонструвати високі техніко-економічні показники. Для цього повинні бути побудовані схеми й системи електроприводу, які забезпечують ці умови [1; 5]. Електродвигуни для навантажувальних механізмів часто будують за схемами увімкнення-вимкнення з використанням системи прямого пуску асинхронних двигунів. Цей спосіб має низку недоліків [2; 3; 6; 8; 9]: прямий пуск асинхронних двигунів з короткозамкненими роторами; частий прямий пуск іноді призводить до встановлення двигунів з більшою потужністю, ніж це необхідно під навантаженням; низькі ККД і коефіцієнт потужності двигуна навантаження, оскільки малопотужні двигуни швидко виходять з ладу.

Основний двигун подрібнювача часто працює з низьким навантаженням через відсутність регулювання навантаження, що означає нераціональне використання встановленої потужності, низький ККД і низький коефіцієнт потужності [1; 5]. Усі ці недоліки вимагають модернізації таких систем керування. Наявні системи електроприводу мають низькі техніко-економічні показники, знижену надійність подрібнювачів та електроприводів, високі витрати на ремонт електрообладнання, підвищені втрати електроенергії та нераціональне використання встановленої потужності. Для того щоб знайти оптимальний режим роботи, тобто навантаження на номінальну потужність головного двигуна подрібнювача, необхідне автоматизоване і плавне регулювання навантаження. Для управління рівнем навантаження необхідно контролювати рівень навантаження на головний двигун. Залежно від значення регулюється швидкість подачі матеріалу в подрібнювач. Для якісної модернізації необхідно знати більше про способи завантаження, типи та електроприводи подрібнювачів і дробарок. Рівень використання електродвигунів визначає навантаження на мережу через реактивні струми. У сільському господарстві частка некерованих електроприводів перевищує 70 %. Для уникнення перевантажень по струму, потужність нерегульованих електроприводів часто завищують. Як наслідок, двигуни часто є недовантаженими і працюють з низьким ККД і низьким коефіцієнтом потужності.

Здебільшого в електроприводах сільськогосподарської техніки застосовують асинхронні двигуни. Для регулювання швидкості обертання електродвигунів використовуються частотні перетворювачі.

Постановка завдання. Наше дослідження присвячене обґрунтуванню схеми електроприводу. Необхідно проаналізувати побудову та особливості роботи аналогічних механізмів, запропонувати тип схеми автоматизованого електроприводу подрібнювача, побудувати модель запропонованого автоматизованого електроприводу й провести моделювання його роботи.

Виклад основного матеріалу. Ми проаналізували існуючі схеми регулювання завантаження подрібнювачів та дробарок. На нашу думку, доцільніше було б завантаження регулювати плавно залежно від споживаного струму. Для цього необхідно регулювати швидкість обертання двигуна завантажувального транспортера. Ми вирішили, що доцільно використати систему електроприводу перетворювач частоти – асинхронний двигун.

Для здійснення регулювання швидкості обертання асинхронного двигуна використаємо перетворювач частоти, на який заведемо сигнал від'ємного зворотного зв'язку за струмом двигуна

подрібнювача. При збільшенні навантаження система автоматичного керування забезпечить зменшення подачі сировини, а при зменшенні споживаного струму, навпаки, збільшить.

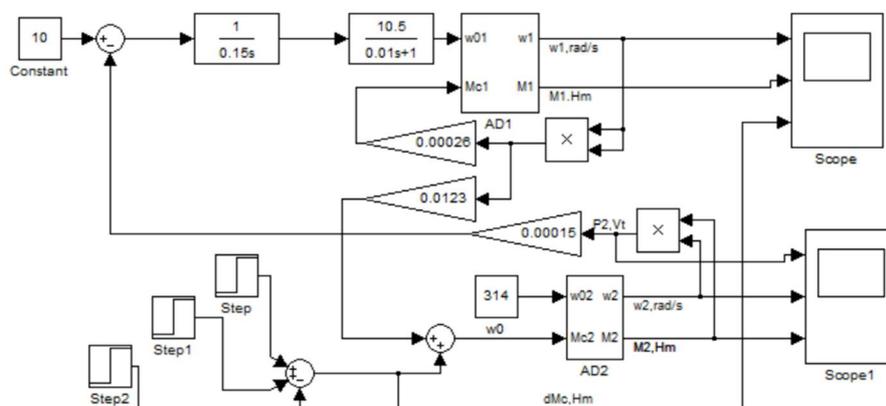


Рис. 1. Модель запропонованої системи автоматизованого електроприводу подрібнювача кормів
Fig. 1. Model of the proposed system of automated electric drive of the feed grinder

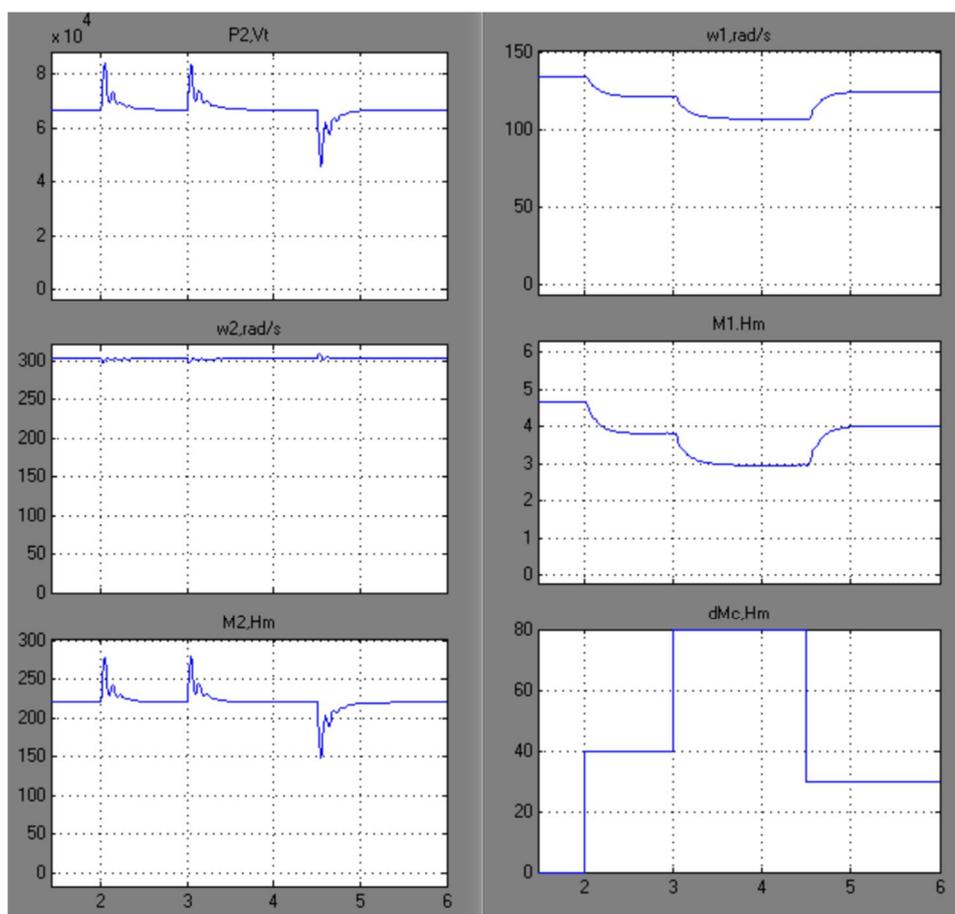


Рис. 2. Графічні залежності перехідних процесів при роботі у режимі, близькому номінального: потужність, кутова швидкість та момент АД2, кутова швидкість та момент АД1, моделювання зміни навантаження
Fig. 2. Graphical dependences of transient processes when operating in a mode close to nominal: power, angular velocity and torque AD2, angular velocity and torque AD1, modeling of load changes

Процес подрібнення кормів дуже енергоємний. Основним споживачем електроенергії є двигун подрібнювача. Ми пропонуємо для забезпечення його роботи в умовах обмеженої потужності джерела живлення обмежити рівень завантаження зменшенням сигналу завдання на електропривод механізму завантаження. Проте це призведе до зниження техніко-економічних показників основного двигуна великої потужності. Ми пропонуємо для такого механізму, який може систематично недовантажуватись, застосувати схему ввімкнення «зірка». У такому разі ми отримаємо зниження напруги живлення двигуна, що дозволить забезпечити вищі техніко-економічні показники.

Для цього в схемі електроприводу нам необхідно, крім зменшення сигналу завдання на завантажувальний двигуні, допрацювати схему

для перемикання у схему «зірка», яка зазвичай використовується як пускова для обмеження пускових струмів. Звичайно, таке рішення суттєво зменшить продуктивність установки, через це тривалість роботи механізму необхідно буде збільшити, проте процес виробництва не буде зупинений.

Для аналізу роботи запропонованої системи автоматизованого електроприводу ми побудували його структурно-математичну модель у математичному середовищі Matlab/Simulink (рис. 1).

Провели дослідження його роботи в режимі, близькому до номінального (рис. 2), а також при живленні за пониженої напруги живлення за схемою «зірка» та зменшеному сигналі завдання (рис. 3). Отримані графічні залежності перехідних процесів при зміні навантаження показали високу швидкодію системи автоматизованого електроприводу, що дає змогу роботі системи електроприводу з високою продуктивністю.

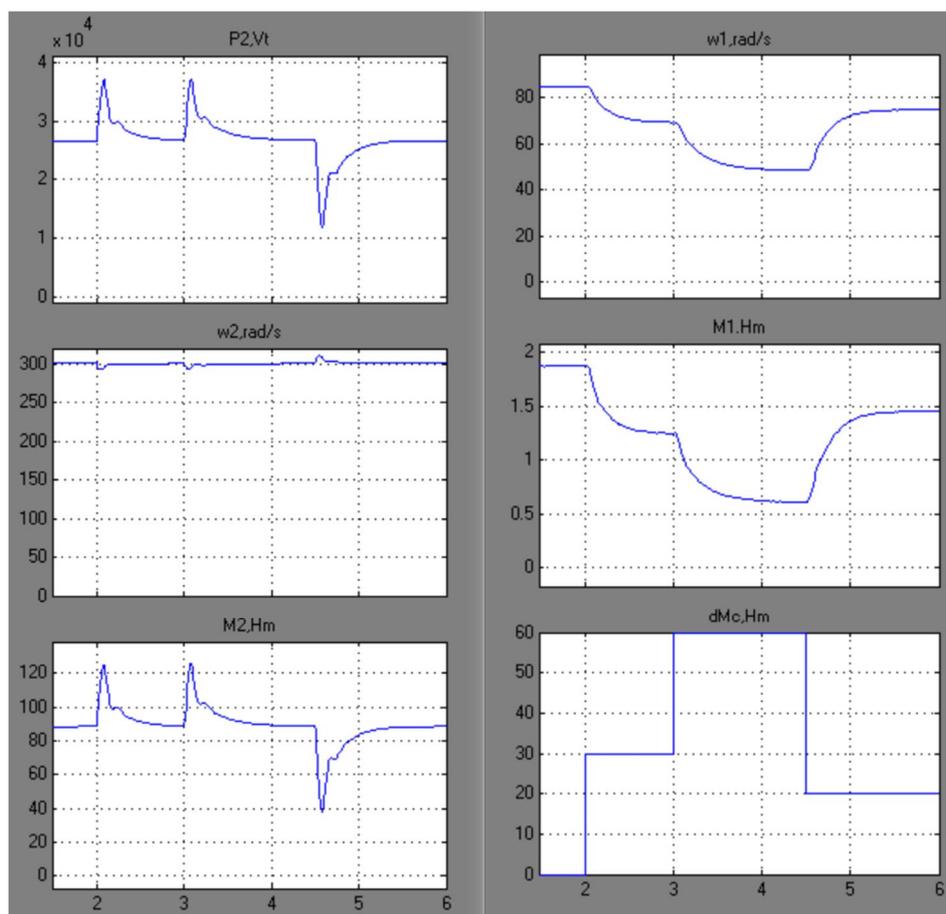


Рис. 3. Графічні залежності перехідних процесів при роботі у режимі при пониженій напрузі живлення: потужність, кутова швидкість та момент АД2, кутова швидкість та момент АД1, моделювання зміни навантаження

Fig. 3. Graphical dependences of transient processes when operating in the mode with reduced supply voltage: power, angular velocity and torque AD2, angular velocity and torque AD1, modeling of load changes

Висновки

1. У праці розкрито питання побудови й роботи подрібнювача кормів, схеми керування системи автоматизованого електроприводу. Проаналізовано інші типи подрібнювачів, будову та роботу схем керування системами автоматизованого електроприводу. До основних недоліків слід віднести регулювання рівня завантаження за допомогою ввімкнення-вимкнення двигуна завантажувального механізму.

2. Запропоновано провести модернізацію електроприводу способом заміни регулювання ввімкнення-вимкнення асинхронного двигуна введенням плавного регулювання завантаження за допомогою частотного керування швидкості обертання асинхронного двигуна механізму завантаження, що усуне зазначені недоліки існуючих схем електроприводів аналогічних механізмів.

3. Запропоновано для забезпечення роботи подрібнювача за умови живлення від джерела резервного живлення обмеженої потужності забезпечити ввімкнення основного двигуна подрібнювача на понижену напругу за допомогою перемикачів обмоток на схему «зірка», що дасть змогу працювати механізму в умовах систематичних перебоїв в електропостачанні.

4. Побудовано модель запропонованої системи автоматизованого електроприводу подрібнювача з автоматизованою подачею продукції на подрібнення на базі частотного перетворювача у математичному середовищі Matlab/Simulink.

5. Проведено дослідження роботи автоматизованого електроприводу на побудованій моделі в номінальному режимі, а також при живленні за пониженої напруги живлення за схемою «зірка» та зменшеному сигналі завдання. Отримані графічні залежності перехідних процесів при зміні навантаження показали високу швидкість системи автоматизованого електроприводу, що дає можливість роботи системи електроприводу з високою продуктивністю. Технологічний ефект від збільшення продуктивності подрібнювача при роботі в

номінальному режимі – за рахунок високої швидкодії можна завантажувати електропривід до номінального навантаження, оскільки перевантаження дуже швидко відпрацьовуються системою автоматичного керування, а також забезпечення роботи подрібнювача за сучасних проблем з електропостачанням, а саме робота від джерела обмеженої потужності.

6. Аналогічно можна використовувати запропоноване рішення регулювання завантаження, що виконують ввімкненням-вимкненням двигуна механізму подачі, а також застосування методу ввімкнення на понижену напругу за схемою «зірка» при живленні від джерела невеликої потужності інших механізмів.

Бібліографічний список

1. Браславський І. Я., Ішматов З. Ш. Реалізація енергоощадних технологій на основі регульованих асинхронних електроприводів. Київ: Електроінформ, 2003. 15 с.
2. Видмиш А. А., Бабій С. М., Петрусь В. В. Теорія електропривода. Курсове та дипломне проектування. Самостійна та індивідуальна робота студентів: навч. посіб. Вінниця: ВНТУ, 2012. 96 с.
3. Видмиш А. А., Трошин О. А. Теорія електропривода: лабораторний практикум: навч. посіб. Вінниця: ВДТУ, 2003. 135 с.
4. Електропривод сільськогосподарських машин, агрегатів та потокових ліній / Є. Л. Жулай, Б. В. Зайцев, Ю. М. Лаврінченко, О. С. Марченко, Д. Г. Войтюк. Київ: Вища освіта, 2001. 288 с.
5. Закладний О. М., Праховник А. В., Соловей О. І. Енергозбереження засобами промислового електропривода. Київ: Кондор, 2005. 408 с.
6. Колб А. А. Теорія електроприводу: навч. посіб. Донецьк: Нац. гірнич. ун-т, 2006. 511 с.
7. Матвійчук В. А., Стаднік М. І., Рубаненко О. О. Електропривод виробничих машин і механізмів: навч. посіб. з виконання курс. роботи. Вінниця: ВНАУ, 2016. 320 с.
8. Попович М. Г., Лозинський О. Ю., Клепиков В. Б. Електромеханічні системи автоматичного керування та електроприводи: навч. посіб. Київ: Либідь, 2005. 680 с.
9. Ярошенко Л. В. Лабораторний практикум з електропривода та електрообладнання: навч. посіб. Вінниця: РВВ ВНАУ, 2010. 192 с.

Стаття надійшла 05.02.2025