УДК 62-185.3 DOI 10.31548/energiya2022.01.014

ДОСЛІДЖЕННЯ РОБОТИ АСИНХРОННОГО ДВИГУНА ВІД ПРИСТРОЮ ПЛАВНОГО ПУСКУ В РЕЖИМІ РЕВЕРСУ ЗІ ЗНИЖЕНОЮ ШВИДКІСТЮ

А. В. Торопов, кандидат технічних наук, доцент

Національний технічний університет "КПІ ім. І. Сікорського"

І. М. Голодний, кандидат технічних наук, доцент

Білоцерківський національний аграрний університет

Л. В. Торопова, асистент

Національний технічний університет "КПІ ім. І. Сікорського"

E-mail: toropovtosha@ukr.net

Анотація. *Простота обслуговування та висока надійність асинхронних електроприводів активно популяризує їх використання у виробництві. У той же час такий привод має свої недоліки: високі струми та значний крутний момент при прямому пуску від контакторних систем керування. Цю проблему можна вирішити за рахунок використання так званих "сервісних функцій" пристроїв плавного пуску. Ця робота направлена на відпрацювання вказаних функцій та видачі рекомендацій щодо їх застосування.*

Мета дослідження – визначення можливості використання «сервісних функцій» пристроїв плавного пуску для аварійних та службових режимів роботи сільськогосподарських установок.

Дослідження роботи асинхронного двигуна з пристроєм плавного пуску проводився з використанням положень теорії електричних кіл синусоїдального і несинусоїдального струму та використанням комп'ютерного аналізу.

Дослідження проводились на механізмі подрібнення соломи з використанням пристрою плавного пуску. Підвищення продуктивності такого механізму можлива за рахунок використання функції "реверс" із зниженою швидкістю, що реалізована, наприклад, у пристроях плавного пуску SSW900. Для налаштування пристрою плавного пуску використано програмне забезпечення WEG programming Suite, що окрім функції запису параметрів містить також функцію зчитування параметрів та їх візуалізації у вигляді графіків.

У результаті дослідження встановлено, що інтелектуальне керування тиристорами в пристроях плавного пуску дозволяє розширити їх функціональні можливості, а саме здійснювати реверс асинхронного двигуна без використання додаткового контактора. Реалізація функції реверсу із зниженою швидкістю з відповідними обмеженнями в пристроях плавного пуску дозволяє зменшити вартість використовуваного електротехнічного обладнання для механізмів подрібнення соломи. Завищення відносної величини напруги JOG в пристрої плавного

пуску може призводити до виникнення значних коливань швидкості двигуна і потребує ретельного налаштування.

Ключові слова: ***асинхронний електропривод, пристрій плавного пуску, струм, реверс, крутний момент, тиристорне керування.***

Актуальність. У сучасному сільськогосподарському виробництві найбільш популярними є системи електропривода на базі асинхронних двигунів внаслідок їх простоти обслуговування та високої надійності. Відносним недоліком їх використання є високі струми та значний крутний момент при прямому пуску від контакторних систем керування [1]. Ця проблема зникає при використанні перетворювачів частоти, які дозволяють не тільки змінювати статичну швидкість обертання валу двигуна, а й здійснювати плавний розгін та зупинку механізму. У той самий час такі перетворювачі частоти за вартістю перевищують вартість асинхронного двигуна і їх використання потребує економічного обґрунтування.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Компромісним рішенням щодо вирішення проблеми плавного розгону та сповільнення асинхронних двигунів є використання тиристорних пристроїв плавного пуску [2, 3]. Із збільшенням потужності двигуна їх вартість значно зменшується порівняно із перетворювачами частоти ї робить доцільним їх використання. Крім того, в сучасних пристроях плавного пуску реалізовані допоміжні, або так звані «сервісні функції», що значно розширюють область їх застосування та зменшити загальну вартість обладнання. Проте виробники таких пристроїв не дають рекомендацій щодо налаштувань та області застосування цих функцій і ця задача повністю лягає на персонал із введенням в експлуатацію. Тому дослідження характеристик асинхронного двигуна в режимах відпрацювання «сервісних функцій» та видача рекомендацій щодо їх застосування є актуальною задачею.

Мета дослідження – визначення можливості використання «сервісних функцій» пристроїв плавного пуску для аварійних та службових режимів роботи сільськогосподарських установок.

Матеріали і методи дослідження. Дослідження роботи асинхронного привода з пристроєм плавного пуску проводився з використанням положень теорії

електричних кіл синусоїдального і несинусоїдального струму та використанням комп'ютерного моделювання.

Результати досліджень та їх обговорення. Одним із прикладів застосування пристроїв плавного пуску є механізми подрібнення соломи. У цих механізмах рівень автоматизації електромеханічних систем значно підвищився, що дало змогу збільшити продуктивність обладнання в цілому, зменшити час простоїв. Нині в таких механізмах використовуються основний привод подрібнення та допоміжний привод подачі соломи. Основний привод запускається від пристрою плавного пуску і працює із номінальною швидкістю. Сигнал, пропорційний струму або моменту навантаження, знімається з пристрою плавного пуску і подається на перетворювач частоти приводу подачі, знижуючи його задану швидкістю. Недоліком такої системи керування є те, що при заклинюванні основного приводу подача стає рівною нулеві, але основний привод працює до спрацьовування захисту за перегріванням, оскільки не може прокрутити двигун. Розклинювання двигуна при такій схемі керування здійснюється або вручну, або шляхом контакторного реверсу і подачею послідовності короткочасних імпульсів на запуск основного двигуна в зворотному напрямку. Час подачі сигналу реверсу вибирається емпірично таким чином, щоб двигун не встиг розігнатися до великої швидкості.

Підвищення продуктивності такого механізму можлива за рахунок використання функції "реверс" із зниженою швидкістю, що реалізована, наприклад, у пристроях плавного пуску SSW900 від компанії WEG [4]. При реалізації цього режиму формуються імпульси відпирання тиристорів таким чином, щоб змінювалась послідовність прикладання фазних напруг на клеми асинхронного двигуна [5]. Необхідною умовою реалізації цього режиму є керованість тиристорами у всіх трьох фазах пристрою плавного пуску, тобто силова частина має вигляд, яка представлена на рис. 1.

Особливістю використання цього пристрою саме для механізму подрібнення соломи є те, що обертання в зворотному напрямку для розклинювання двигуна повинно здійснюватися із значним крутним моментом. У той самий час в більшості

пристроїв плавного пуску, що працюють у режимі із зниженою швидкістю, відбувається суттєве падіння крутного моменту [5].

Пристрій плавного пуску для режиму JOG має три параметри налаштування:

- відносна величина напруги С7.3.1;
- допустимий час роботи в режимі JOG С1.3;
- активація реверсу без використання контакторів С7.1.1.

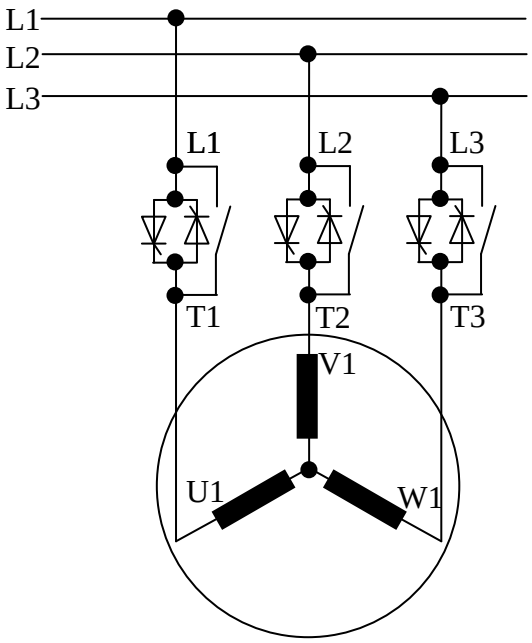


Рис. 1. Схема силової частини пристрою плавного пуску при з'єднанні обмоток двигуна «зіркою»

Для налаштування пристрою плавного пуску доцільно використовувати програмне забезпечення WEG programming Suite, що окрім функції запису параметрів містить також функцію зчитування параметрів та їх візуалізації у вигляді графіків. Вікно налаштувань представлене на рис. 2.

Для дослідження перехідних процесів використовувався асинхронний двигун серії W22 від компанії WEG потужністю 1,5 кВт, номінальною швидкістю 1410 об/хв та номінальним струмом 3,34А. Для формування навантаження до вихідного валу двигуна був підключений черв'ячний редуктор із передаточним числом i=5 із підключеною електромагнітною муфтою на виході редуктора для прямого керування моментом навантаження. Для зчитування поточної швидкості до валу двигуна був підключений інкрементальний енкодер Kuebler серії 5000.

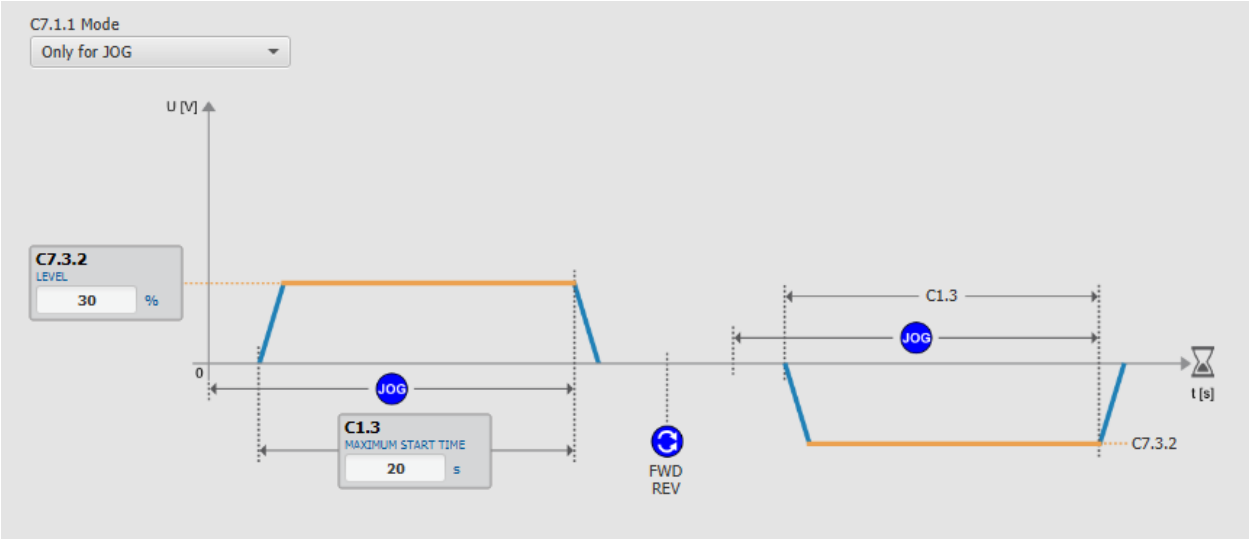
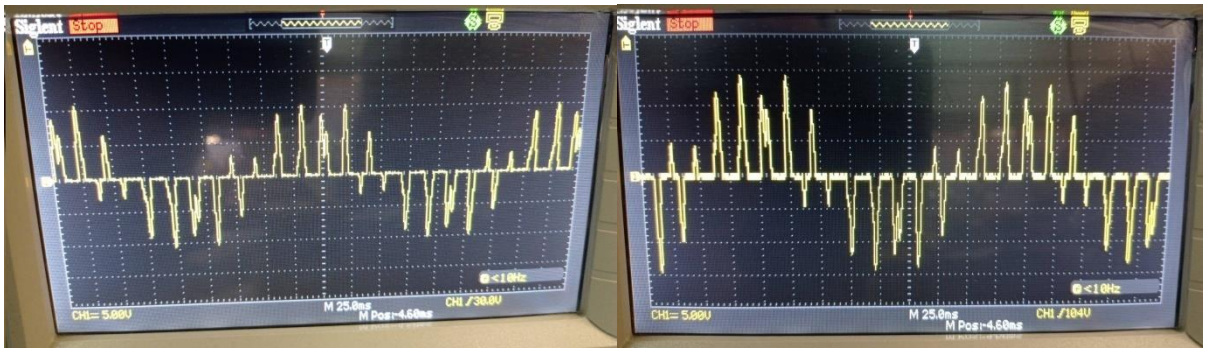


Рис. 2. Вікно налаштувань режиму JOG

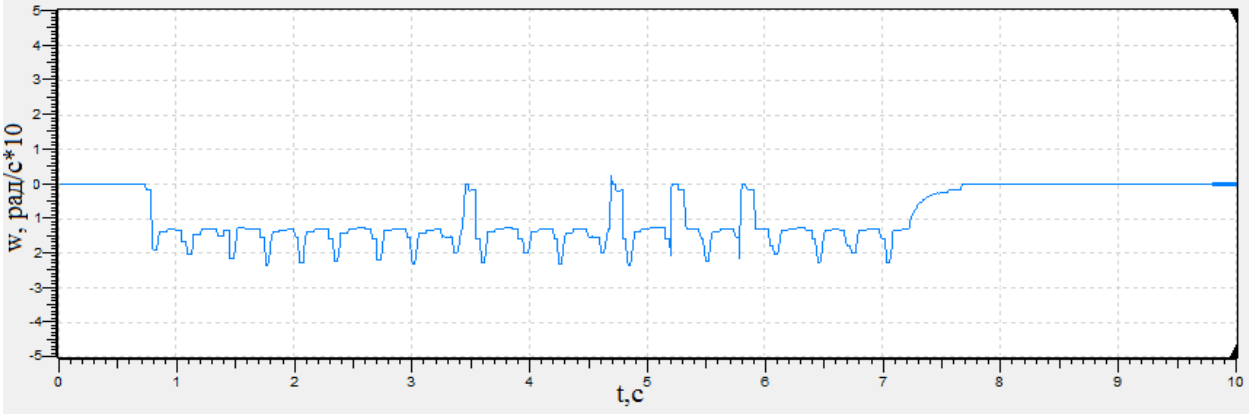
Нижче представлені графіки зміни середнього значення струму для значень рівня JOG C7.3.2=50 % (рис. 3, *а*) та C7.3.2=30 % (рис. 3, *б*). Тестування роботи механізму із C7.3.2=100 %, оскільки коливання струму призводили до резонансних коливань у механізмі і, відповідно, унеможливлювали його використання в реальному обладнанні.

Частота огинаючої кривої струму складає за показами осцилографа 4,54 Гц 1/11 від номінального значення. Середнє значення струму при цьому складало 4,6 А для 30 % і 5,6 А для 50 %, тобто двигун працював із перевантаженням за струмом. Для дослідження зміни швидкості використовуємо пристрій для обробки частотного сигналу з енкодера, що дозволяє зчитувати дані з періодом опитування 1 мс.

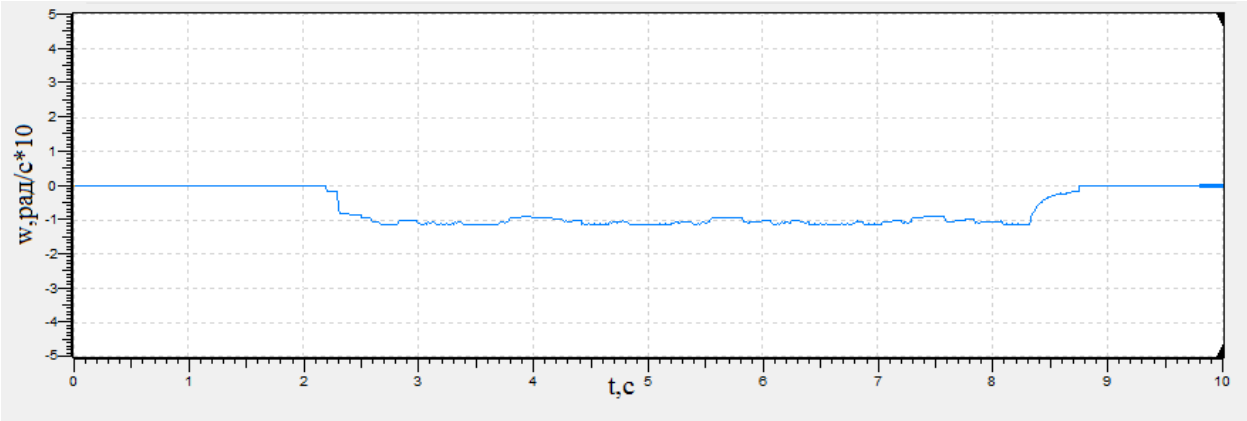


а) *б*)

Рис. 3. Графіки зміни струму у програмному забезпеченні WEG programming Suite при різних значеннях JOG



а



б

Рис. 4. Графіки перехідних процесів за швидкістю при значеннях рівня JOG С7.3.2=50 % (*а*) та С7.3.2=30 % (*б*)

Зміна графіку швидкості та струму при постійному навантаженні та значенні JOG=50 % та більше свідчить про неможливість застосування такого режиму для тривалої роботи соломорізки. Коливання швидкості сягають 15 % від номінальної швидкості із частотою близько 4 Гц, що може привести до механічної поломки обладнання.

Крім того, слід відзначити, що, оскільки струм в обмотках статора має переривчастий характер, то в цьому режими двигун не забезпечує формування номінального моменту, що повинно враховуватись при налаштуванні електромеханічної системи.

Висновки і перспективи. Інтелектуальне керування тиристорами в пристроях плавного пуску дозволяє розширити їх функціональні можливості, а саме

здійснювати реверс асинхронного двигуна без використання додаткового контактора.

1. Реалізація функції реверсу із зниженою швидкістю з відповідними обмеженнями в пристроях плавного пуску дозволяє зменшити вартість використовуваного електротехнічного обладнання для механізмів подрібнення соломи.

2. Завищення відносної величини JOG у пристрої плавного пуску може призводити до виникнення значних коливань швидкості двигуна і потребує ретельного налаштування.

Список використаних джерел

1. Регульований електропривод: за ред. І.М. Голодного. К.: ТОВ "ЦП "Компринт", 2015. 509 с..

2. Голодний І. М., Синявський О. Ю., Санченко О. В. Дослідження електромагнітних процесів трифазного асинхронного електропривода з тиристорним регулятором напруги. Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія: Техніка та енергетика АПК. 2017. Вип. 268. С. 66–74

3. Калинов А. П., Юхименко М. Ю., Исаев С. В. Исследование эффективности формирования пусковых режимов асинхронного двигателя. Електромеханічні і енергозберігаючі системи. Кременчуг: КГПУ им. М. Остроградского. 2007. № 2 (2). С. 15 - 21.

4. Soft-Starters SSW900 Series [Електронний ресурс]. Режим доступу: https://static.weg.net/medias/downloadcenter/h27/h70/WEG-SSW900-us-catalog-en.pdf

5. Торопов А. В., Торопова Л. В. Розумне керування тиристорами в пристроях плавного пуску WEG. Міжнародний електротехнічний журнал «Електрик». 2021. №11. С.22-23.

References

1. Golodnyi, I. M. ed. (2015). Rehulovanyi elektropryvod. [Adjustable Electric drive]. Kyiv: Ltd. "ZP "Komprynt ", 509.

2. Golodnyi, I. M., Sinyavsky, O. Y., Sanchenko, O. V. (2017). DoslIdzhennya elektromagnItnih protsesIv trifaznogo asinhronnogo elektroprivoda z tiristornim regulyatorom naprugi [Investigation of electromagnetic processes of three-phase asynchronous electric drive with thyristor voltage regulator]. Scientific Herald NUBiP Ukraine. A series of "Technology and APC power", 268, 66-74.

3. Kalinov, A. P., Juhimenko, M. Yu., Isaev, S. V. (2007). Issledovanie effektivnosti formirovaniya puskovyih rezhimov asinhronnogo dvigatelya [Research of efficiency of formation of starting modes of the asynchronous engine]. Electromechanical and energy saving systems. Kremenchug: KGPU them. M. Ostrogradsky, 2(2), 15-21.

4. Soft-Starters SSW900 Series – Access mode: https://static.weg.net/medias/downloadcenter/h27/h70/WEG-SSW900-us-catalog-en.pdf

5. Toropov, A. V., Toropova, L. V. (2021). Rozumne keruvannya tiristorami v pristroyah plavnogo pusku WEG [Smart thyristor control in WEG soft starters]. International Electrotechnical Journal "Electrician", 11, 22-23.

ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОТЫ АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ ОТ УСТРОЙСТВА ПЛАВНОГО ПУСКА В РЕЖИМЕ РЕВЕРСА СО СНИЖЕННОЙ БЫСТРОСТЬЮ

А. В. Торопов, И. М. Голодный, Л. В. Торопова

Аннотация. *Простота обслуживания и высокая надежность асинхронных электроприводов активно популяризирует их использование в производстве. В то же время такой привод имеет свои недостатки: высокие токи и значительный крутящий момент при прямом пуске от контакторных систем управления. Эту проблему можно решить за счет использования так называемых "сервисных функций" устройств плавного пуска. Данная работа направлена на отработку указанных функций и выдачу рекомендаций по их использование.*

Цель исследования – определение возможности использования «сервисных функций» устройств плавного пуска для аварийных и служебных режимов работы сельскохозяйственных установок.

Исследование работы асинхронного двигателя с устройством плавного пуска проводилось с использованием положений теории электрических цепей синусоидального и несинусоидального тока и использованием компьютерного анализа.

Исследования производились на механизме измельчения соломы с использованием устройства плавного пуска. Повышение производительности такого механизма возможно за счет использования функции "реверс" с пониженной скоростью, реализуемой, например, в устройствах плавного пуска SSW900. Для настройки устройства плавного пуска использовано программное обеспечение WEG programming Suite, которое кроме функции записи параметров содержит также функцию считывания параметров и их визуализации в виде графиков.

В результате исследования установлено, что интеллектуальное управление тиристорами в устройствах плавного пуска позволяет расширить их функциональные возможности, а именно осуществлять реверс асинхронного двигателя без использования дополнительного контактора. Реализация функции реверса с пониженной скоростью с соответствующими ограничениями в устройствах плавного пуска позволяет снизить стоимость используемого электротехнического оборудования для измельчения соломы. Завышение относительной величины напряжения JOG в устройстве плавного пуска может приводить к возникновению значительных колебаний скорости двигателя и требует тщательной настройки.

Ключевые слова: ***асинхронный электропривод, устройство плавного пуска, ток, реверс, крутящий момент, тиристорное управление***

INVESTIGATION OF INDUCTION MOTOR OPERATION FROM THE SOFT STARTER IN REVERSE MODE WITH REDUCED SPEED

A. Toropov, I. Golodnyi, L. Toropova

Abstract. *Ease of maintenance and high reliability of asynchronous electric drives actively popularize their using in manufacturing. At the same time, such drive has its drawbacks: high currents and significant torque during direct starting from contactor control systems. This problem can be solved using the so-called "service functions" of soft starters. This work at developing these functions and issuing recommendations for their use is aimed.*

The purpose of the investigation is to determine the possibility of using the "service functions" of soft starters for emergency and service modes of agricultural plants.

The investigation of the operation of an induction motor with a soft starter using the provisions of the theory of electrical circuits of sinusoidal and non-sinusoidal currents and using computer analysis was carried out.

Investigation on the mechanism of straw shredders using a soft starter was carried out. Performance increasing of such a mechanism is possible using the "reverse" function with a reduced speed, implemented, for example, in SSW900 soft starters. To configure the soft starter, the WEG programming Suite software was used, which, in addition to the function of writing parameters, also contains the function of reading parameters and visualizing them as trends.

As a result of the investigation, it was found that the intelligent control of thyristors in soft starters allows to expand their functionality, namely, to reverse the induction motor without using an additional contactor. The implementation of the reverse speed function with appropriate restrictions in soft starters allows reducing the cost of the used electrical equipment for straw shredders. Too much JOG relative voltage to the soft starter can cause large fluctuations in motor speed and must be carefully adjusted.

Key words: ***asynchronous electric drive, soft starter, current, reverse, torque, thyristor control***