

УДК 621.31.83.52

О. М. Нечай, канд. техн. наук

ДОСЛІДЖЕННЯ ПУСКОВИХ ТА ГАЛЬМІВНИХ РЕЖИМІВ РОБОТИ АСИНХРОННИХ ЕЛЕКТРОПРИВОДІВ НАСОСІВ

Анотація. Розроблено математичну модель нерегульованого асинхронного електроприводу насоса з використанням різних способів реалізації плавного запуску асинхронного двигуна та проведено з її допомогою дослідження пускових та гальмівних режимів роботи асинхронного двигуна та їх аналіз.

Ключові слова: насос, асинхронний електропривод, пристрій плавного пуску, перемикання обмоток, зірка, трикутник

О. Nechay, PhD.

RESEARCH OF STARTING AND BRAKING MODES OF ASYNCHRONOUS ELECTRIC DRIVES OF PUMPS

Abstract. Article presents research of starting and braking modes unregulated asynchronous electric drive of pump with different ways to implement a smooth run induction motor by using the method of mathematical modeling.

Keywords: pump, asynchronous electric drive, soft starter, coils switching from star to delta

О. М. Нечай, канд. техн. наук

ИССЛЕДОВАНИЯ ПУСКОВЫХ И ТОРМОЗНЫХ РЕЖИМОВ РАБОТЫ АСИНХРОННЫХ ЭЛЕКТРОПРИВОДОВ НАСОСОВ

Аннотация. Разработана математическая модель нерегулируемого асинхронного электропривода насоса с использованием различных способов реализации плавного запуска асинхронного двигателя, проведено с её помощью исследование и анализ пусковых и тормозных режимов работы асинхронного двигателя.

Ключевые слова: насос, асинхронный электропривод, устройство плавного пуска, переключение обмоток, звезд, треугольник

Вступ. Нерегульовані асинхронні електроприводи використовуються у глибинних насосах, насосних станціях, де стоїть задача керування за рівнем. У цьому випадку особлива увага приділяється режимам запуску та зупинки насоса. Ліва частина насосного обладнання, яке використовується у водопостачанні та водовідведенні населених пунктів України, морально та фізично застаріла, оскільки базується на використанні релейно-контакторних схем. Основним недоліком їх є прямий запуск та зупинка асинхронного двигуна (АД) насоса [1,3,6]. Це призводить до коливань моменту АД, які є причиною гідравлічних ударів [4]. Зростання пускового струму АД негативно впливає на ізоляцію обмоток статора. Особливо гостро стоїть проблема при використанні насосних установок великої потужності. Відомі різні способи реалізації м'якого запуску та зупинки АД, основні з яких: спосіб перемикання обмоток статора з зірки в трикутник, спосіб з використанням пристроїв плавного пуску [2, 7 – 10].

Завдання дослідження – аналіз пускових та гальмівних режимів роботи нерегульованого асинхронного електроприводу насоса при використанні різних способів плавного запуску АД насоса.

Виклад матеріалу. Для дослідження режимів пускових та гальмівних режимів роботи нерегульованого асинхронного електроприводу насоса була розроблена математична модель на базі теорії електромашинно-вентильних систем [5]. У математич-

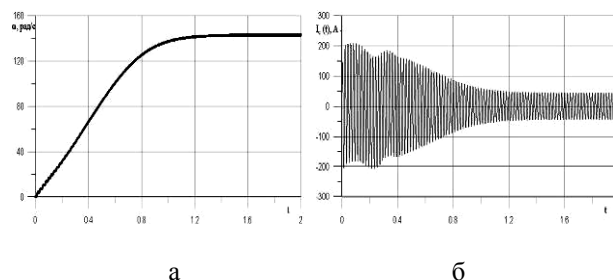
ній моделі пристрій плавного пуску представлено ідеалізованим джерелом змінної напруги, амплітуда якої регулюється під час запуску та зупинки АД за лінійним законом. Параметри АД, що використовуються у математичній моделі, такі: діюче значення лінійної напруги $U_{\text{л}} = 220$ В, потужність 18,5 кВт, діюче значення фазного струму статора АД $I_{\text{с}} = 32$ А, частота обертання $n = 1467$ об/хв.

У математичній моделі статичний момент АД насоса представлений виразом:

$$M_{\text{с}} = 11,7 + 106\nu^2, \quad (1)$$

де ν – відносна частота обертання АД.

Під час прямого запуску АД насоса, який триває більше 1,5 с (рис. 1, а) має місце зростання струму статора АД, зокрема максимальне амплітудне значення струму становить 200 А (рис.1, б), при цьому максимальне значення амплітуди коливання моменту досягає 380 Н·м (рис. 1, в).



© Нечай О.М., 2014

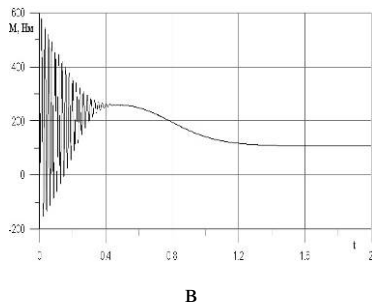


Рис. 1. Кутова швидкість (а), струм статора(б) та момент (в) АД у випадку прямого запуску насоса

Одним із способів компенсації негативних наслідків прямого запуску АД є використання способу перемикання обмоток статора АД з зірки в трикутник під час пуску. У цьому випадку, як видно з часових діаграм, представлених на рис. 2 і 3, амплітуда коливань струму зменшується в $\sqrt{3}$ разів у випадку коли обмотки статора АД з'єднані в зірку. Коливання моменту під час пуску присутні (рис. 2, б), проте максимальне значення амплітуди коливань становить 175 Н·м (рис. 2, в).

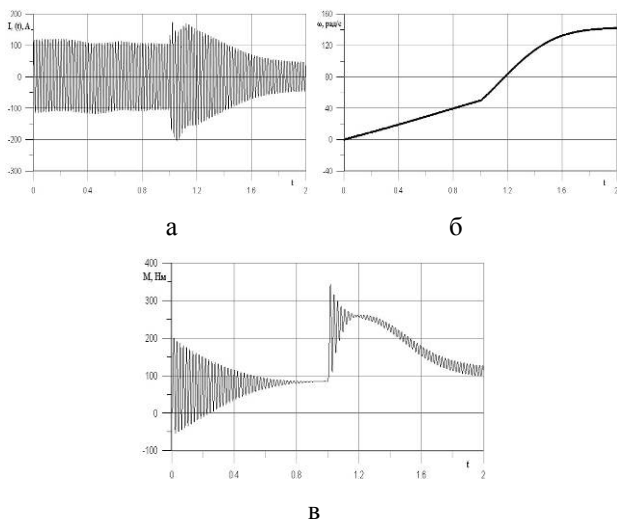


Рис. 2. Кутова швидкість (а), струм статора(б) та момент (в) АД у випадку перемикання обмоток статора з зірки в трикутник

У випадку застосування пристрою плавного пуску (ППП) для реалізації м'якого запуску АД з використанням лінійного закону зміни напруги статора АД (рис. 3, г) запуск АД триває 6 с (рис. 3, б). При цьому пусковий струм не перевищує двократний номінальний струм АД (рис. 3, а), а коливання моменту АД під час запуску відсутні (рис. 3, в).

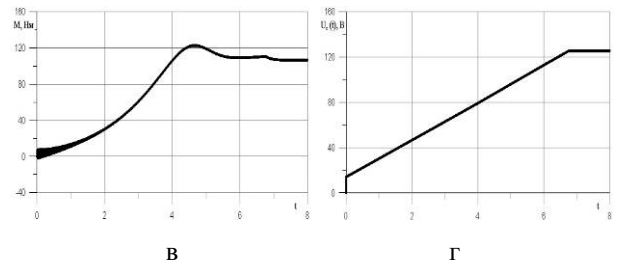
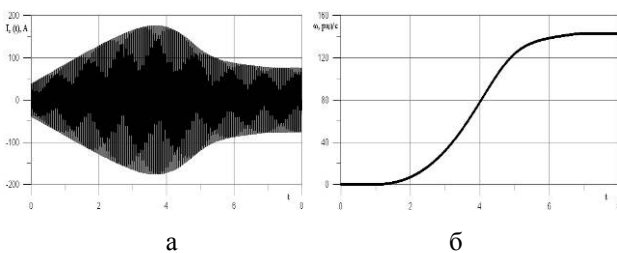


Рис. 3. Струм статора (а), кутова швидкість (б), момент (в) та діюче значення фазної напруги (г) АД у випадку використання пристрою плавного пуску

Слід зауважити, що негативні наслідки використання релейно-контакторної апаратури, окрім прямого запуску АД насоса, пов'язані також і з зупинкою насоса. Як видно з рис. 4, у випадку зупинки АД мають місце зростання струму (рис.4, а) та коливання моменту (рис.4, б) АД, які також спричиняють коливання тиску та супроводжуються гідравлічними ударами.

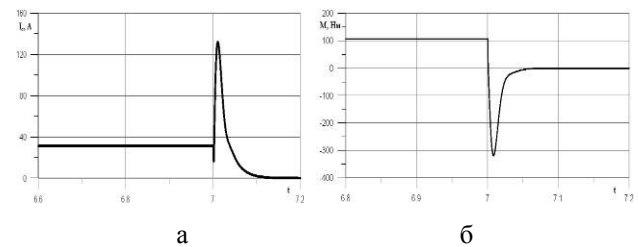


Рис. 4. Діюче значення фазного струму статора (а), момент (б) АД у випадку зупинки насоса

Застосування пристрою плавного пуску для плавної зупинки АД дозволяє усунути коливання електромагнітного моменту (рис. 5, а) та зростання струму статора (рис. 5, б) АД. Зокрема під час плавної зупинки, час якої складає 5 с (рис. 5, в), зростання фазного струму відносно номінального складає 15 % (рис. 5, а), електромагнітний момент АД плавно зменшується без коливань, що забезпечує відсутність коливань тиску та усуває гідроудари в мережі.

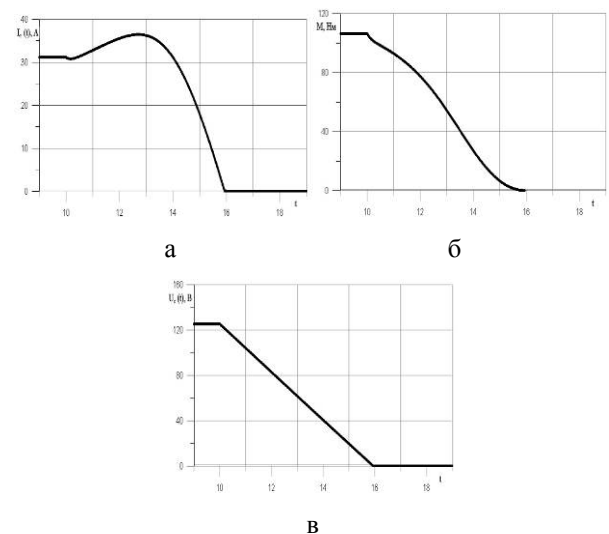


Рис. 5. Діюче значення фазного струму статора (а), момент (б) та діюче значення фазної напруги статора АД у випадку зупинки насоса з використанням ППП

Висновки

1. Найбільш ефективним способом запуску та зупинки нерегульованого асинхронного електроприводу насоса є спосіб з використанням пристрою плавного пуску, який забезпечує відсутність коливань електромагнітного моменту АД, обмежує значення пускового струму статора АД.

2. Застосування способу з перемиканням обмоток статора АД з зірки в трикутник забезпечує зменшення амплітуди коливань моменту в порівнянні з прямим запуском АД, проте не усуває їх.

3. Застосування пристрою плавного пуску в нерегульованому асинхронному електроприводі насосів забезпечує відсутність гідравлічних ударів, спосіб з перемиканням обмоток статора АД з зірки в трикутник не усуває гідроудари, але лише зменшує їх дію.

Список використаної літератури

1. Васильев Д. С. Исследование электромеханических процессов при прямом пуске и торможении асинхронных двигателей с учетом переменных параметров и сравнение их с плавным пуском и торможением / Д. С. Васильев // Вісник Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського. – 2010. – № 4(60). – Ч.1. – С. 43 – 49.

2. Калинов А. П. Исследование эффективности формирования пусковых режимов асинхронного двигателя / А. П. Калинов, М. Ю. Юхименко, С. В. Исаев // Електромеханічні і енергозберігаючі системи. – 2007. – № 2(2). – С. 15 – 20.

3. Костишин В. С. Моделирование режимов работы электроприводных магистральных насосных агрегатов из запуском автоматизованой системы плавного пуска / В. С. Костишин, П. О. Курляк // Наукові праці Донецького національного технічного університету. – 2013. – № 1 (14). – С. 129 – 134.

4. Курляк П. О. Bond Graph моделювання електромеханічних перехідних процесів під час пуску насосних агрегатів магистральних нафтопроводів на відкриту засувку / П. О. Курляк // Збірник матеріалів X міжнародної науково-технічної конференції молодих учених та спеціалістів «Електромеханічні та енергетичні системи, методи моделювання та оптимізації». – Кременчук : 28–29 березня 2012. – С.132 – 133.

5. Плахтына Е. Г. Математическое моделирование электромашинно-вентильных систем / Е. Г. Плахтына // Вища школа изд. при Львовському ун-те. – Л. : – 1986. – 161 с.

6. Петров Л. П. Управление пуском и торможением асинхронных электродвигателей. – М. : Энергоиздат. – 1981. – 184 с.

7. Tingjian Zhong, Li Zhu, and Minghua Zhou, (2009), Study on the Simulation of the Soft Start of the Asynchronous Motor with Pump Control Function

Based on Thyristor Modern Applied Science, Vol 3, No. 5, pp. 112 – 117.

8. Xu Liaosong, Qian Cunyuan & Xie Weida, (2001), A Soft-Stop Control Method of Asynchronous Motor Soft-starter. Power Electronics, No.35(3), pp. 41 – 44.

9. Zenginobuz G., Cedircil, Ermis, M, and Barlark C., (2000), Soft Starting of Large Induction Motors at Constant Current with Minimized Starting Torque Pulsations, *Conference Re Cordofthe 2000 IEEE*, No. 3(11), pp.1593 – 1604.

10. Zhang Xueping, (2005), Application of Single-chip Microcomputer in Soft Start of AC Motor. *Industry and MineAutomation*, No.4, pp. 19 – 21.

Отримано 04.07.2014

References

1. Vasilyev D.S. Issledovanie elektromekhanicheskikh protsessov pri pryamom puske i tormozhenii asinkhronnykh dvigatelei s uchetom peremennykh parametro [Analysis of Electromechanical Transients for Squirrel-Cage Induction Motor Direct Starting and Braking with Allowance for Variable Parameters and Transients Comparison with soft Starting and Braking Ones], (2010), *Transactions of Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskiy National University Publ.*, No. 4(60), Chast'1, pp. 43 – 49. (In Russian).

2. Kalinov A.P., Yukhimenko M.Y., and Isaev S.V. Issledovanie effektivnosti formirovaniya puskovykh rezhimov asinkhronnogo dvigatelya [Investigation of the Efficiency Formation of the Induction Motor Starting Modes], (2007) *Electromechanical and Energy Systems Publ.*; Vol. 2(2), pp. 15 – 20.

3. Kostishin V.S., and Kurljak P.O. Modeljvannja rezhimiv roboti elektroprivodnih magistral'nih nasosnih agregativ iz zastosuvannjam avtomatizovanoї sistemi plavnogo pusku [Modeling of Modes of Motor-Driven Mainline Pump Units Using Automated System with Soft Starter], (2013), *Naukovi Praci Donec'kogo Nacional'nogo Tehnichnogo Universitetu Publ.*, No. 1 (14), pp. 129 – 134 (In Ukrainian).

4. Kurljak P.O. Bond Graph modeljvannja elektromehanichnih perehidnih procesiv pid chas pusku nasosnih agregativ magistral'nih naftoprovodiv na vidkritu zasuvku [Bond Graph Modeling of Electromechanical Transients During Start Pumping units for oil Pipelines Open Latch], (2012), *Zbirnik Materialiv X Mizhnarodnoi Naukovo-tehnicnoi Konferencii Molodih Uchenih ta Specialistiv "Elektromehanichni ta Energetichni Sistemi, Metodi Modeljvannja ta Optimizacii"* Publ. Kremenchuk Ukraine, pp.132 – 133 (In Ukrainian).

5. Plahtyna E.G. Matematicheskoe modelirovanie elektromashinno-ventil'nykh sistem [Matematicheskoe Modeling Electromachine-valve Systems, (1986) *L'vov. University Publ.*, 161 p. (In Russian).

6. Petrov L.P. Upravlenie puskom i tormozheniem asinkhronnykh elektrodvigately [Control of Start-up and Braking Asynchronous Electric Motor], (1981), *Jenergoizdat Publ*, Moscow, Russian Federation. 184 p. (In Russian).

7. Tingjian Zhong, Li Zhu, and Minghua Zhou, (2009), Study on the Simulation of the Soft Start of the Asynchronous Motor with Pump Control Function Based on Thyristor Modern Applied Science, Vol 3, No. 5, pp. 112 – 117.

8. Xu Liaosong, Qian Cunyuan & Xie Weida, (2001), A Soft-stop Control Method of Asynchronous Motor Soft-starter. *Power Electronics*, No. 35(3), pp. 41 –44.

9. Zenginobuz G., Cedircil, Ermis, M, and Bar-lark C., (2000), Soft Starting of Large Induction Motors at Constant Current with Minimized Starting Torque Pulsations, *Conference Re Cordofthe 2000 IEEE*. No. 3(11), pp.1593 – 1604.

10. Zhang Xueping, (2005), Application of Single-chip Microcomputer in Soft Start of AC Motor. *Industry and MineAutomation*, No.4, pp. 19 – 21.



Нечай
Олег Михайлович, канд.
техн. наук, доц. каф.
електромеханіки та електро-
ніки Академії Сухопутних
військ ім. Гетьмана Петра
Сагайдачного.
Тел. (032) 271-90-55,
моб. 097-620-79-24,
E-mail: netcheye@ukr.net