

ВПЛИВ НЕСИМЕТРІЇ НАПРУГИ НА ЕНЕРГЕТИЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ МОЛОЧНИХ СЕПАРАТОРІВ

О. Ю. Синявський, кандидат технічних наук, доцент

В. В. Савченко, кандидат технічних наук, доцент

І.М. Урман, С. В. Любінський, студенти магістратури

Національний університет біоресурсів і природокористування України

E-mail: sinyavsky2008@ukr.net

Анотація. Як показують проведені дослідження, найбільший вплив на електроприводи виробничих машин і механізмів мають відхилення та несиметрія наруги.

Несиметрія наруги призводить до збитків, які мають електромагнітну і технологічну складову.

Дослідження із впливу несиметрії наруги на технологічні характеристики робочих машин і механізмів показали, що при несиметрії наруги зменшується їх продуктивність. Проте відсутні дослідження з впливу несиметрії наруги на енергетичні характеристики робочих машин.

Мета дослідження – встановлення впливу несиметрії наруги на енергетичні характеристики молочних сепараторів.

При несиметрії наруги змінюються постійні і змінні втрати в асинхронному електродвигуні.

Запропоновано проводити енергетичну оцінку молочного сепаратора за питомою витратою електроенергії.

Проведено дослідження впливу несиметрії наруги на енергетичні характеристики молочних сепараторів. Отримана залежність питомої витрати електроенергії від зміни жорсткості механічної характеристики електродвигуна, яка обумовлена несиметрією наруги. Встановлено, що при несиметрії наруги зростають ковзання та втрати потужності. Внаслідок цього зростають питомі втрати електроенергії в молочних сепараторах.

Ключові слова: *молочний сепаратор, несиметрія наруги, потужність, продуктивність молочного сепаратора, питома витрата електроенергії*

Актуальність. Найбільший вплив на електроприводи виробничих машин і механізмів мають відхилення та несиметрія наруги. У ході обробки даних понад 170 експериментів встановлено, що показниками якості електроенергії, які найбільш часто виходять за встановлені межі, є відхилення наруги (68 %) та коефіцієнт несиметрії за нульовою послідовністю (38 %) [1].

Несиметрія напруги призводить до збитків, які мають електромагнітну і технологічну складову. Електромагнітна складова визначається втратою активної потужності і зміною терміну служби ізоляції електрообладнання. Технологічна складова збитків обумовлена впливом несиметрії напруги на продуктивність технологічних установок та собівартість продукції, що випускається [2].

Внаслідок несиметрії напруги змінюються енергетичні характеристик робочих машин.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Несиметрія напруги призводить до зменшення моменту асинхронного двигуна та зростання втрат енергії [3]. Струм зворотної послідовності спричиняє додаткове нагрівання ротора і статора, що призводить до швидкого старіння ізоляції і зменшення потужності двигуна [4, 5].

Нині отримані аналітичні залежності моменту асинхронного електродвигуна від несиметрії напруги та втрат енергії в усталених режимах роботи при номінальних параметрах живлячої мережі [6].

Проводилися дослідження із впливу несиметрії напруги на технологічні характеристики робочих машин і механізмів. Встановлено, що несиметрія напруги призводить до зменшення їх продуктивності [7].

Проте не проводилися дослідження з впливу несиметрії напруги на енергетичні характеристики робочих машин, зокрема, молочних сепараторів.

Мета дослідження – встановлення впливу несиметрії напруги на енергетичні характеристики молочних сепараторів.

Матеріали і методи дослідження. Аналіз зміни кутової швидкості електропривода при несиметрії напруги проведений з використанням положень теорії електропривода, які стосуються електромеханічних властивостей асинхронних електродвигунів, приводних характеристик вентиляторів та застосуванням математичного моделювання.

При експериментальних дослідженнях із впливу несиметрії напруги на механічну характеристику асинхронного електродвигуна знімали залежності частоти обертання двигуна від електромагнітного моменту при вмиканні в одну із

фаз статора реостата. Залежності частоти обертання двигуна від моменту досліджували при різних значеннях опору реостата в фазі статора.

Результати досліджень та їх обговорення. Механічна характеристика електродвигуна на робочій ділянці при несиметрії напруги описується залежністю [8]:

$$M_{\partial} = \beta_{\partial a} (\omega_0 - \omega), \quad (1)$$

де M_{∂} – момент двигуна, Н·м; $\beta_{\partial a}$ – жорсткість механічної характеристики електродвигуна при несиметрії напруги, Н·м·с; ω_0 – синхронна кутова швидкість, с⁻¹; ω – задана кутова швидкість, с⁻¹.

У відносних одиницях жорсткість механічної характеристики двигуна:

$$\beta_{\partial a^*} = \frac{\beta_{\partial a}}{\beta_{\partial}}, \quad (2)$$

де β_{∂} – жорсткість механічної характеристики електродвигуна при номінальній симетричній напрузі, Н·м·с.

Як показали проведені експериментальні дослідження, при несиметрії напруги зменшується жорсткість механічної характеристики електродвигуна (рисунок), а ковзання зростає.

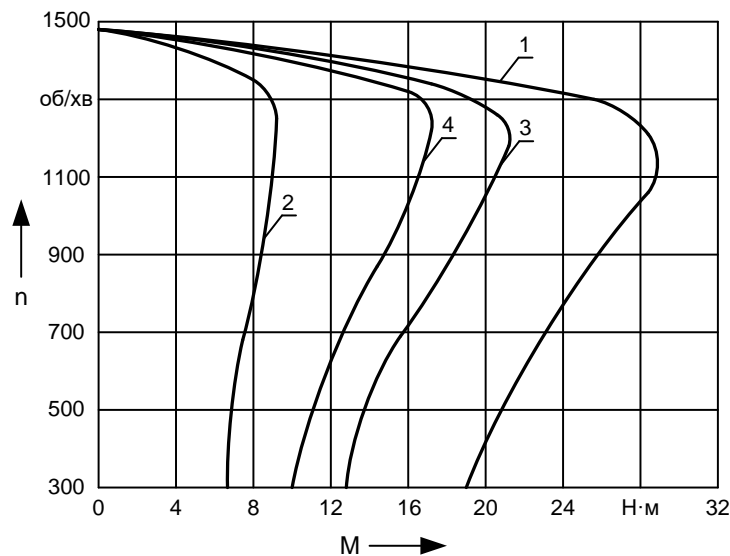


Рис. Механічні характеристики трифазного асинхронного електродвигуна:

1 – природна; 2 – при зниженій напрузі в $\sqrt{3}$ раз; 3 – при коефіцієнті несиметрії напруги 0,86; 4 – при коефіцієнті несиметрії напруги 0,8

Механічна характеристика молочного сепаратора має вигляд [8]:

$$M_c = M_0 + b \left(\frac{\omega}{\omega_n} \right)^2, \quad (3)$$

де M_c – момент статичних опорів вентилятора, Н·м, при заданій кутовій швидкості; M_0 – початковий момент, Н·м; b – коефіцієнт, Н·м; ω і ω_n – задане і номінальне значення кутової швидкості, с⁻¹.

Тоді в усталеному режимі роботи

$$\beta_o \beta_{oa^*} (\omega_0 - \omega) = M_0 + b \left(\frac{\omega}{\omega_n} \right)^2, \quad (4)$$

або

$$\beta_o \beta_{oa^*} (\omega_0 - \omega_n \omega_*) = M_0 + b \omega_*^2, \quad (5)$$

де $\omega_* = \omega / \omega_n$ – кутова швидкість у відносних одиницях.

Питома витрата електроенергії вентиляційної установки, кВт·год/м³, яка визначається за формулою:

$$q = P_l / Q, \quad (6)$$

де P_l – потужність, споживана двигуном з мережі, кВт.

При відхиленні напруги змінюються постійні і змінні втрати потужності в електродвигуні вентилятора.

Змінні втрати потужності асинхронного електродвигуна визначаються за формулою [8]:

$$\Delta P_v = \Delta P_{v2} + \Delta P_{v1} = \left(1 + \frac{R_1}{R_2'} \right) M_\delta \omega_0 s, \quad (7)$$

де ΔP_{v2} , ΔP_{v1} – змінні втрати потужності в колах ротора і статора, Вт; R_1 – активний опір обмотки ротора, Ом; R_2' – опір обмотки ротора, зведений до обмотки статора, Ом; s – ковзання двигуна.

У молочних сепараторів початковим моментом можна знехтувати. Оскільки

$$M_{cn} = K_3 M_{\delta n}, \quad (8)$$

де K_3 – коефіцієнт завантаження двигуна,

то вираз (5) можна записати так:

$$\beta_o \beta_{oa^*} (\omega_0 - \omega) = b \omega_*^2 = K_3 \beta_o (\omega_0 - \omega_n) \omega_*^2, \quad (9)$$

де ω_n – номінальна кутова швидкість двигуна, с^{-1} .

З виразу (9) отримаємо залежність ковзання двигуна від напруги:

$$s = \frac{K_3 s_n \omega_*^2}{\beta_{\alpha a^*}}. \quad (10)$$

При несиметрії напруги відносна жорсткість механічної характеристики двигуна зменшується, тому зростає ковзання і, відповідно втрати в двигуні.

Тоді змінні втрати потужності можна записати у вигляді:

$$\Delta P_v = \left(1 + \frac{R_1}{R_2}\right) \beta_{\alpha} \beta_{\alpha^*} \omega_0^2 s^2 = \left(1 + \frac{R_1}{R_2}\right) \frac{\beta_{\alpha} \omega_0^2 K_3^2 s_n^2 \omega_*^4}{\beta_{\alpha a^*}}, \quad (11)$$

або

$$\Delta P_v = \Delta P_{vh} \omega_*^4 / \beta_{\alpha a^*}, \quad (12)$$

де ΔP_{vh} – змінні втрати потужності при номінальній симетричній напрузі.

У відносних одиницях вираз (6) запишеться у вигляді:

$$q_* = \frac{P_2 + \Delta P_c + \Delta P_v}{P_{2n} + \Delta P_{ch} + \Delta P_{vh}} \cdot \frac{Q_n}{Q} = \frac{P_2 + \Delta P_{vh} (\alpha + \Delta P_v / \Delta P_{vh})}{P_{2n} + \Delta P_{vh} (\alpha + 1)} \cdot \frac{Q_n}{Q}, \quad (13)$$

де P_{2n} і P_2 – відповідно потужність на валу двигуна при номінальній симетричній напрузі і несиметрії напруги, Вт; ΔP_{ch} і ΔP_c – постійні втрати, Вт; ΔP_{vh} і ΔP_v – змінні втрати, Вт; α – коефіцієнт втрат.

У молочного сепаратора продуктивність прямо пропорційна квадрату кутової швидкості

$$Q = Q_n \omega_*^2, \quad (14)$$

а потужність пропорційна кубу кутової швидкості:

$$P_2 = P_{2n} \omega_*^3. \quad (15)$$

Номінальні змінні втрати потужності можна визначити через ККД електродвигуна:

$$\Delta P_{vh} = \frac{\Delta P}{(\alpha + 1)} = \frac{P_{2n} (1 - \eta_n)}{\eta_n (\alpha + 1)}. \quad (16)$$

Підставивши вирази (14) – (16) у вираз (13), після перетворень отримаємо:

$$q_* = \eta_n Q_*^{3/2} + \frac{1 - \eta_n}{(\alpha + 1)} \cdot \frac{(\alpha_a + Q_*^2 / \beta_{\alpha a^*})}{Q_*}. \quad (17)$$

Якщо знехтувати постійними втратами в електродвигуні, то вираз (17) набуде вигляду:

$$q_* = \eta_n Q_*^{3/2} + \frac{(1 - \eta_n) Q_*}{\beta_{da*}}. \quad (18)$$

Із залежностей (17) та (18) випливає, що несиметрія напруги викликає зростання питомої витрати електроенергії у молочних сепараторів.

Висновки і перспективи.

При несиметрії напруги зменшується жорсткість механічної характеристики електродвигуна. При цьому зростає ковзання та втрати потужності. Внаслідок цього зростають питомі втрати електроенергії в молочних сепараторах.

Список використаних джерел

1. Дед А. В., Сикорский С. П., Смирнов П. С. Результаты измерений показателей качества электроэнергии в системах электроснабжения предприятий и организаций. Омский научный вестник. 2018. №2 (158). С. 60 – 63.
2. Аванесов В. М., Садков Е. В. Анализ структуры потерь электрической энергии в электроустановках при отклонении напряжения от оптимального значения. Энергобезопасность в документах и фактах. 2005. №4. С. 19–21.
3. Адамова С. Аналіз впливу якості електроенергії на роботу струмоприймачів. Науковий вісник Таврійського державного агротехнологічного університету. 2018. Вип. 8, т. 2. С. 1-10.
4. Pakkawe Nuyamin, Chaiyapon Thongchaisuratkrul. Effects of Induction Motor Using Unbalance Voltage. International Journal of the Computer, the Internet and Management. 2018, Vol. 26, No. 3, pp. 98-103.
5. Patil R. U., Chaudhari H. B. Behavior of Induction Motor at Voltage Unbalanced. International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT). 2015. Vol. 4. Issue 05, pp. 1344 – 1348.
6. Синявський О. Ю., Горобець В. Г. Вплив якості електроенергії на енергетику електроприводів в усталеному режимі. Науковий вісник НУБіП України. 2010. Вип. 153. С. 133 – 138.
7. Sinyavsky O., Savchenko V., Solomko N., Kisten V., Zalozny R. Influence of electricity quality on technological characteristics of agricultural machines | Wpływ jakości energii elektrycznej na charakterystyki technologiczne maszyn rolniczych. Przegląd Elektrotechniczny. 2021. Vol. 97(8). P. 84–87.
8. Синявський О. Ю., Савченко В. В., Козирський В. В. та ін. Електропривод і автоматизація. К.: ФОП Ямчинський О. В., 2019. 619 с.

References

1. Ded, A. V., Sikorskiy, S. P., Smirnov P. S. (2018). Rezul'taty izmereniy pokazateley kachestva elektroenergii v sistemakh elektrosnabzheniya predpriyatiy i

organizatsiy [Results of measurements of power quality indicators in power supply systems of enterprises and organizations]. Omskiy nauchnyy vestnik, 2 (158), 60 – 63.

2. Avanesov, V. M., Sadkov, E. V. (2005). Analiz struktury poter' elektricheskoy energii v elektroustanovkakh pri otklonenii napryazheniya ot optimal'nogo znacheniya [Analysis of the structure of electrical energy losses in electrical installations when the voltage deviates from the optimal value]. Energobezopasnost' v dokumentakh i faktakh, 4, 19–21.

3. Adamova, S. (2018). Analiz vplyvu yakosti elektroenerhii na robotu strumopryimachiv [Analysis of the impact of electricity quality on the operation of current collectors]. Naukovyi visnyk Tavriiskoho derzhavnogo ahrotekhnolohichnoho universytetu, 8 (2), 1-10.

4. Pakkawee, Hayamin, Chaiyapon, Thongchaisuratkrul (2018). Effects of Induction Motor Using Unbalance Voltage. International Journal of the Computer, the Internet and Management, 26 (3), 98-103.

5. Patil, R. U., Chaudhari, H. B. (2015). Behavior of Induction Motor at Voltage Unbalanced. International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT), 4 (5), 1344 – 1348.

6. Sinyavsky A. Yu., Horobets V. H. (2010). Vplyv yakosti elektroenerhii na enerhetyku elektropryvodiv v ustalenomu rezhymi [The influence of electricity quality on the energy of electric drives in the steady state]. Naukovyi visnyk NUBiP Ukrainy, 153, 133 – 138.

7. Sinyavsky, O., Savchenko, V., Solomko, N., Kisten, V., Zalozny, R. (2021). Influence of electricity quality on technological characteristics of agricultural machines. Przegląd Elektrotechniczny, 97(8), 84–87.

8. Sinyavsky, A. Yu., Savchenko, V. V., Kozyrskyi V. V. (2019). Elektropryvod i avtomatyzatsiia [Electric drive and automation]. Kyiv: FOP Yamchynskyi O. V., 619.

INFLUENCE OF VOLTAGE ASYMMETRY ON ENERGY CHARACTERISTICS OF VENTILATION INSTALLATIONS

O. Sinyavsky, V. Savchenko, I. Uhman, S. Lyubinsky

Abstract. *As the conducted studies show, deviations and asymmetry of the outside have the greatest impact on the electric drives of production machines and mechanisms.*

Voltage asymmetry leads to losses that have an electromagnetic and technological component.

Studies on the effect of voltage asymmetry on the technological characteristics of working machines and mechanisms have shown that their productivity decreases with voltage asymmetry. However, there are no studies on the influence of spring asymmetry on the energy characteristics of working machines.

The purpose of the research is to determine the influence of voltage asymmetry on the energy characteristics of milk separators.

With voltage asymmetry, constant and variable losses in an asynchronous electric motor change.

It is proposed to carry out an energy assessment of the milk separator based on the specific power consumption.

The influence of voltage asymmetry on the energy characteristics of milk separators was studied. The dependence of the specific power consumption on the change in stiffness of the mechanical characteristics of the electric motor, which is caused by voltage asymmetry, is obtained. It was established that slippage and power losses increase with voltage asymmetry. As a result, specific power losses in milk separators increase.

Key words: *milk separator, voltage asymmetry, power, performance of the milk separator, specific power consumption*