

ВПЛИВ НЕСИМЕТРІЇ НАПРУГИ НА ЕНЕРГЕТИЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ВЕНТИЛЯЦІЙНИХ УСТАНОВОК

О. Ю. Синявський, кандидат технічних наук, доцент

В. В. Савченко, кандидат технічних наук, доцент

В.І. Троханяк, кандидат технічних наук, доцент

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 вентиляційних установок.

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

Запропоновано проводити енергетичну оцінку вентиляційної установки за питомою витратою електроенергії.

Проведено дослідження впливу несиметрії наруги на енергетичні характеристики вентиляційних установок. 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 вентиляційних установках.

Ключові слова: *вентиляційна установка, несиметрія наруги, потужність, продуктивність вентилятора, 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, вентиляційних установок.

Мета дослідження – встановлення впливу несиметрії напруги на енергетичні характеристики вентиляційних установок.

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). Тому жорсткість механічної характеристики електродвигуна при несиметрії напруги у відносних одиницях менша одиниці.

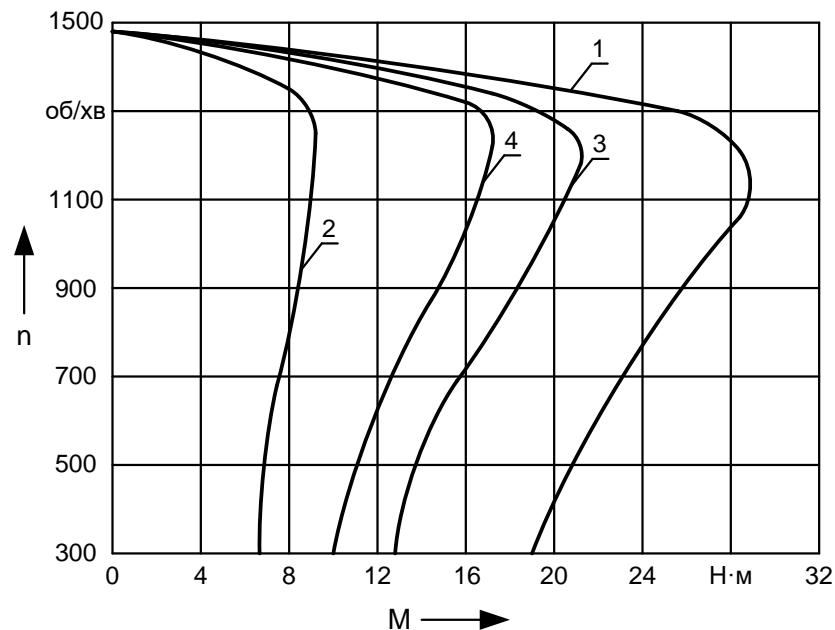


Рис. Механічні характеристики трифазного асинхронного електродвигуна:

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 вентиляторів має вигляд [8]:

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

де M_c – момент статичних опорів вентилятора, Н·м, при заданій кутовій швидкості; M_0 – початковий момент, Н·м; $M_{сн}$ – момент статичних опорів, Н·м, при номінальній кутовій швидкості; ω і ω_n – задане і номінальне значення кутової швидкості, с⁻¹.

Тоді в усталеному режимі роботи

$$\beta_\delta \beta_{\delta a^*} (\omega_0 - \omega) = M_0 + (M_{сн} - M_0) \left(\frac{\omega}{\omega_n} \right)^2, \quad (4)$$

або

$$\beta_\delta \beta_{\delta a^*} (\omega_0 - \omega_n \omega_*) = M_0 + (M_{сн} - M_0) \omega_*^2, \quad (5)$$

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

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

$$q = P_1 / Q, \quad (6)$$

де P_1 – 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 вентиляторів початковий момент невеликий, тому їм можна знехтувати. Оскільки

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

де K_3 – коефіцієнт завантаження двигуна,

то вираз (5) можна записати так:

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

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

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

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

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:

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

або

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

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

У відносних одиницях вираз (6) запишеться у вигляді:

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

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

У вентилятора продуктивність прямо пропорційна кутовій швидкості

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

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:

$$q_* = \eta_n Q_*^2 + \frac{1 - \eta_n}{(\alpha + 1)} \cdot \frac{(\alpha_a + Q_*^4 / \beta_{oa^*})}{Q_*}. \quad (17)$$

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

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

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

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 вентиляційних установках.

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. Pakkaweey Hayamin, 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 odklonenii 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.

ВЛИЯНИЕ НЕСИМЕТРИИ НАПРЯЖЕНИЯ НА ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ВЕНТИЛЯЦИОННЫХ УСТАНОВОК

А. Ю. Синявский, В. В. Савченко, В.И. Троханяк

Аннотация. *Как показывают проведенные исследования, наибольшее влияние на электроприводы производственных машин и механизмов оказывают отклонение и несимметрия напряжения.*

Несимметрия напряжения приводит к ущербу, имеющему электромагнитную и технологическую составляющую.

Исследования по влиянию несимметрии напряжения на технологические характеристики рабочих машин и механизмов показали, что при несимметрии напряжения уменьшается их производительность. Однако отсутствуют исследования по влиянию несимметрии напряжения на энергетические характеристики рабочих машин.

Цель исследования – установление влияния несимметрии напряжения на энергетические характеристики вентиляционных установок.

При несимметрии напряжения изменяются постоянные и переменные потери в асинхронном электродвигателе.

Предложено проводить энергетическую оценку вентиляционной установки по удельному расходу электроэнергии.

Проведены исследования влияния несимметрии напряжения на энергетические характеристики вентиляционных установок. Получена зависимость удельного расхода электроэнергии от изменения жесткости механической характеристики электродвигателя, обусловленной несимметрией напряжения. Установлено, что при несимметрии напряжения возрастают скольжение и потери мощности. В результате этого возрастает удельный расход электроэнергии в вентиляционных установках.

Ключевые слова: *вентиляционная установка, несимметрия напряжения, мощность, производительность вентилятора, удельный расход электроэнергии*

INFLUENCE OF VOLTAGE ASYMMETRY ON ENERGY CHARACTERISTICS OF VENTILATION INSTALLATIONS

O. Sinyavsky, V. Savchenko, V. Trokhaniak

Abstract. *According to research, the greatest impact on the electric drives of production machines and mechanisms have deviations and asymmetry of the voltage.*

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

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

The purpose of the study is to establish the effect of voltage asymmetry on the energy performance of ventilation systems.

The constant and variable losses in the asynchronous electric motor change at voltage asymmetry.

It is proposed to conduct an energy assessment of the ventilation unit for the specific consumption of electricity.

A study of the effect of voltage asymmetry on the energy characteristics of ventilation systems was conducted. The dependence of the specific power consumption on the change in the stiffness of the mechanical characteristics of the motor at voltage asymmetry was obtained. It is established that sliding and power losses increase with voltage asymmetry. As a result, specific losses of electricity in ventilation systems increase.

Key words: *ventilation system, voltage asymmetry, power, fan performance, specific power consumption*