

ВПЛИВ ЧАСТОТИ СТРУМУ НА ТЕХНОЛОГІЧНІ ТА ЕНЕРГЕТИЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЗМІШУВАЧІВ КОРМІВ

*О. Ю. Синявський, В. В. Савченко,
кандидати технічних наук
e-mail vit1986@ua.fm*

Анотація. Проведено дослідження впливу частоти струму на кутову швидкість, технологічні та енергетичні характеристики змішувачів кормів. Встановлено залежності нерівномірності змішування змішувача та питомої витрати електроенергії від частоти струму.

Ключові слова: електропривод, кутова швидкість, частота струму, змішувач кормів, нерівномірність змішування, питома витрата електроенергії.

Відхилення показників якості електроенергії від нормованих значень в асинхронних електроприводах спричинює порушення нормального ходу технологічних процесів, випуск неякісної продукції та скорочення строку служби електродвигунів [1].

При відхиленні частоти струму змінюється кутова швидкість двигуна, яка, у свою чергу, зумовлює зміну технологічних та енергетичних характеристик робочих машин.

Мета досліджень – встановлення впливу відхилення частоти струму на технологічні та енергетичні характеристики змішувачів кормів.

Матеріали та методика досліджень. Аналіз зміни кутової швидкості асинхронних електроприводів при відхиленні частоти струму проведено з використанням положень теорії електропривода, які стосуються електромеханічних властивостей електродвигунів, приводних характеристик робочих машин і механізмів, енергетики усталених режимів електроприводів та застосування математичного моделювання.

Під час експериментальних досліджень частоту струму змінювали за допомогою перетворювача частоти фірми «Mitsubishi» і вимірювали тахометром кутову швидкість змішувача кормів С-12. При цьому визначали нерівномірність змішування та питому витрату електроенергії.

Результати досліджень. При зміні частоти струму механічна характеристика асинхронного електродвигуна на робочій ділянці описується рівнянням [2]:

$$M_{\partial} = \beta_{\partial} \left(\frac{2\pi f}{p} - \omega \right), \quad (1)$$

де M_{∂} – момент двигуна, Н·м;

β_{∂} – жорсткість механічної характеристики електродвигуна, Н·м·с;

f – частота струму, Гц;

p – число пар полюсів;

ω – задана кутова швидкість, с⁻¹.

Механічна характеристика змішувача кормів С-12 описується рівнянням [3]:

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

де M_c – момент статичних опорів робочої машини при заданій кутовій швидкості, Н·м;

M_0 – початковий момент, Н·м;

$M_{сн}$ – момент статичних опорів при номінальній кутовій швидкості, Н·м;

ω і ω_n – задане і номінальне значення кутової швидкості, с⁻¹.

В усталеному режимі роботи

$$\beta_\delta \left(\frac{2\pi f}{p} - \omega \right) = M_0 + (M_{сн} - M_0) \left(\frac{\omega_n}{\omega} \right), \quad (3)$$

або

$$\beta_\delta \left(\frac{2\pi f}{p} - \omega_n \omega_* \right) = M_0 + \frac{M_{сн} - M_0}{\omega_*}. \quad (4)$$

Синхронна кутова швидкість електродвигуна при номінальній частоті струму f_H :

$$\omega_{0H} = \frac{2\pi f_H}{p}. \quad (5)$$

Тоді рівняння (4) запишеться у вигляді:

$$\beta_\delta (\omega_{0H} f_* - \omega_n \omega_*) = M_0 + \frac{M_{сн} - M_0}{\omega_*}, \quad (6)$$

звідки отримаємо

$$f_* = \frac{M_0 + (M_{сн} - M_0) / \omega_* + \beta_\delta \omega_n \omega_*}{\beta_\delta \omega_{0H}}. \quad (7)$$

Якщо знехтувати початковим моментом $M_0=0$, отримаємо:

$$f_* = \frac{M_{сн} / \omega_* + \beta_\delta \omega_n \omega_*}{\beta_\delta \omega_{0H}}. \quad (8)$$

Оскільки

$$M_{сн} = K_3 M_{\delta H}, \quad (9)$$

де K_3 – коефіцієнт завантаження двигуна,

$$\beta_\delta = \frac{M_{\delta H}}{\omega_0 - \omega_n} = \frac{M_{\delta H}}{\omega_0 s_H}, \quad (10)$$

де s_H – номінальне ковзання двигуна, то

$$f_* = \frac{K_3 s_H}{\omega_*} + \frac{\omega_n}{\omega_{0H}} \omega_*. \quad (11)$$

Для двигунів із жорсткою механічною характеристикою номінальне ковзання невелике і $\omega_n \approx \omega_{0H}$, тому першим доданком у виразі (11) можна знехтувати. Тоді отримаємо:

$$f_* \approx \omega_*. \quad (12)$$

Було проведено експериментальні дослідження зміни нерівномірності змішування кормів при зміні частоти струму двигуна (рис. 1). Вони показали, що ця залежність є нелінійною. Найменша нерівномірність змішування забезпечується при номінальній частоті струму двигуна. При більшій або меншій частоті струму нерівномірність змішування зростає.

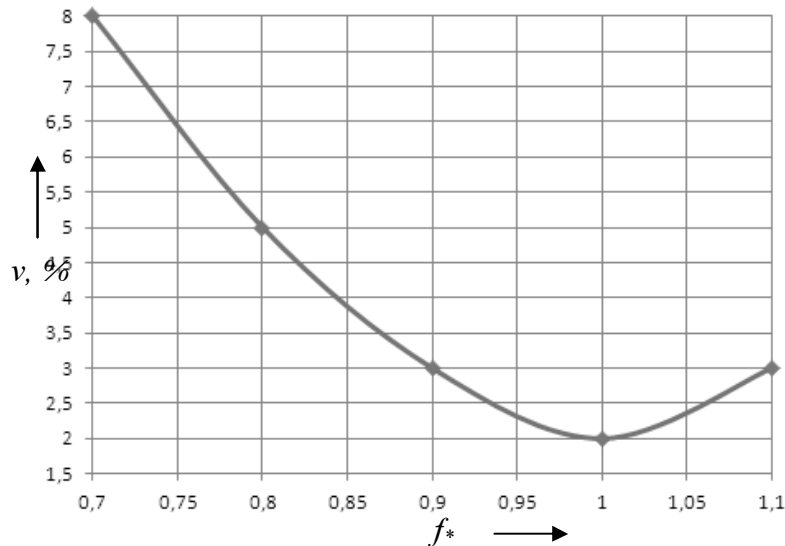


Рис. 1. Залежність нерівномірності змішування змішувачем кормів С-12 від частоти струму

Відхилення частоти струму в асинхронних електроприводах впливає на втрати потужності.

Якщо знехтувати механічними втратами і втратами потужності в роторі, то постійні втрати асинхронного двигуна при зміні частоти струму визначатимуться за формулою [2]:

$$\Delta P_{cm} = \Delta P_{cm1} \approx \Delta P_{cm1n} \left(\frac{U}{U_n} \right)^2 \left(\frac{f_1}{f_{1n}} \right)^{1,3}, \quad (13)$$

де ΔP_{cm1n} – втрати в сталі статора при номінальних значеннях частоти і напруги живлення, Вт.

Тоді втрати в сталі двигуна при номінальній напрузі

$$\Delta P_{cm} \approx \Delta P_{cm1n} f_*^{1,3}. \quad (14)$$

Змінні втрати потужності визначаються за формулою [2]:

$$\Delta P_v = M_c \omega_0 s \left(1 + \frac{R_1}{R_2'} \right), \quad (15)$$

де R_1 – активний опір обмотки статора, Ом;

R_2' – опір обмотки ротора, зведений до обмотки статора, Ом.

Оскільки у разі зміни частоти струму ковзання практично не змінюється, то перепад швидкості буде:

$$\Delta \omega = \omega_0 s \approx \omega_0 s_{ном}. \quad (16)$$

Тоді змінні втрати потужності при відхиленні частоти струму визначатимуться виразом:

$$\Delta P_v \approx M_c \omega_0 s_n \left(1 + \frac{R_1}{R_2'} \right) = M_c \frac{2\pi f_* f_n}{p} s_n \left(1 + \frac{R_1}{R_2'} \right). \quad (17)$$

Для змішувачів кормів

$$M_c \approx \frac{M_{сн}}{f_*}. \quad (18)$$

Тоді змінні втрати потужності:

$$\Delta P_v \approx \Delta P_{вн}. \quad (19)$$

Питома витрата електроенергії змішувача кормів у відносних одиницях, кВт·год/кг, визначається так:

$$q_* = \frac{P_2 + \Delta P_c + \Delta P_v}{P_{2н} + \Delta P_{сн} + \Delta P_{вн}} \cdot \frac{Q_n}{Q} = \frac{P_2 + \Delta P_{вн} (\alpha f_*^{1.3} + \Delta P_v / \Delta P_{вн})}{P_{2н} + \Delta P_{вн} (\alpha + 1)} \cdot \frac{Q_n}{Q}, \quad (20)$$

де $P_{2н}$ і P_2 – відповідно потужність на валу двигуна при номінальній і відмінній від номінальної напрузі, Вт;

$\Delta P_{сн}$ і ΔP_c – постійні втрати, Вт;

$\Delta P_{вн}$ і ΔP_v – змінні втрати, Вт;

α – коефіцієнт втрат.

Оскільки $P_2 / P_{2н} = 1$, а

$$\Delta P_n = P_{2н} \frac{1 - \eta_n}{\eta_n} = \Delta P_{вн} (\alpha + 1), \quad (21)$$

де η_n – ККД двигуна при номінальній частоті струму, отримаємо

$$q_* = \frac{1 + \frac{1 - \eta_n}{\eta_n} (\alpha f_*^{1.3} + f_*^3)}{Q_* \left(1 + \frac{1 - \eta_n}{\eta_n} \right)} = \eta_n + \frac{1 - \eta_n}{\alpha + 1} (\alpha f_*^{1.3} + 1). \quad (22)$$

Таким чином, зниження частоти струму від номінального значення спричинює зменшення питомої витрати електроенергії у змішувачів кормів, а її підвищення – збільшення (рис. 2).

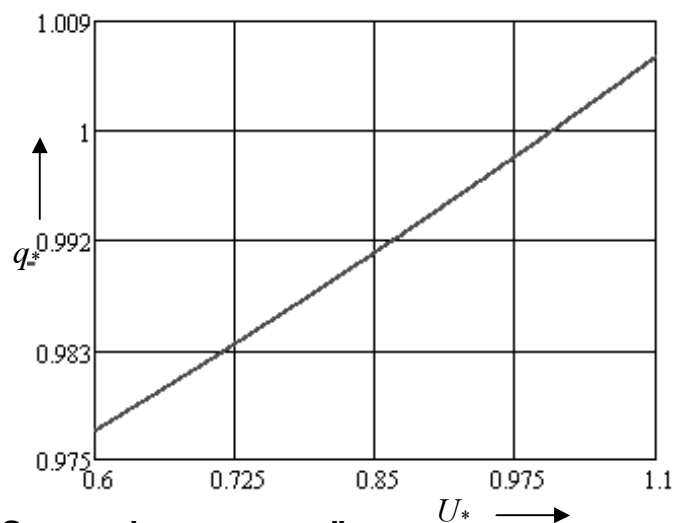


Рис. 2. Залежність питомої витрати електроенергії змішувача кормів С-12 від частоти струму

Висновки

При відхиленні частоти струму нерівномірність змішування кормів зростає. У цьому разі, зміна питомої витрати електроенергії не перевищує 4 %.

Список літератури

1. Вплив якості електроенергії на функціонування споживачів у сільському господарстві / Д. Г. Войтюк, В. П. Лисенко, І. І. Мартиненко [та ін.] // Електрифікація та автоматизація сільського господарства. – 2004. – № 1 (6). – С. 3–12.
2. Електропривод / [Лавріненко Ю. М., Марченко О. С., Савченко П. І. та ін.] ; за ред. Ю. М. Лавріненка. – К. : Ліра-К, 2009. – 504 с.
3. Електропривод сільськогосподарських машин, агрегатів та поточкових ліній / [Жулай Є. Л., Зайцев Б. В., Лавріненко Ю. М. та ін.] ; за ред. Є. Л. Жулая. – К. : Вища освіта, 2001. – 288 с.

ВЛИЯНИЕ ЧАСТОТЫ ТОКА НА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ И ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ СМЕСИТЕЛЕЙ КОРМОВ

А. Ю. Синявский, В. В. Савченко

Аннотация. Проведено исследование влияния частоты тока на угловую скорость, технологические и энергетические характеристики смесителей кормов. Установлены зависимости неравномерности смешивания смесителя и удельного расхода электроэнергии от частоты тока.

Ключевые слова: электропривод, угловая скорость, частота тока, смеситель кормов, неравномерность смешивания, удельный расход электроэнергии.

INFLUENCE OF FREQUENCIES ON TECHNOLOGICAL AND ENERGY CHARACTERISTICS OF FEED MILL

A. Sinyavsky, V. Savchenko

Annotation. The effect of current frequency on angular speed, technological and energy characteristics of the feed mixer are conducted. The dependences of the uneven mixing of the mixer and the specific energy consumption from the current frequency are established .

Key words: electric drive, angular speed, current frequency, feed mixer, mixing uneven, specific energy consumption.