

ВПЛИВ ЗНИЖЕННЯ НАПРУГИ ЖИВЛЯЧОЇ МЕРЕЖІ НА ТЕПЛОВЕ ЗНОШЕННЯ ІЗОЛЯЦІЇ АСИНХРОННОГО ЕЛЕКТРОДВИГУНА

Вовк О. Ю., Квітка С. О., Квітка О. С.

Таврійський державний агротехнологічний університет

Проаналізовано вплив зниження напруги живлячої мережі на швидкість теплового зношення ізоляції асинхронного електродвигуна у функції його коефіцієнту завантаження.

Постановка проблеми. На сьогодні більше 50 % електричної енергії, що виробляється у світі, споживається асинхронними електродвигунами [1]. Таке розповсюдження вони отримали завдяки високій конструкційній надійності та порівняно незначній вартості виготовлення. В той же час експлуатаційна надійність асинхронних електродвигунів у всіх галузях промисловості невисока: щорічно виходять з ладу та ремонтуються близько 30 % зазначених електродвигунів, час напрацювання на відмову становить 0,5...1,5 роки [2]. Головними причинами невисокої експлуатаційної надійності вказаних двигунів є зовнішні впливи на них як з боку живлячої мережі, так і з боку робочих машин. Одним з таких впливів є зниження напруги живлячої мережі на затискачах працюючих асинхронних електродвигунів.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Існуючі методи аналізу впливу зниження напруги на затискачах АД дозволяють визначати або тільки його енергетичні показники роботи, які тільки опосередковано дозволяють робити висновок про стан ізоляції електродвигуна, або швидкість теплового зношення ізоляції без урахування завантаження електродвигуна під час зниження напруги [1-4].

Мета статті. Тому у статті пропонується встановлення математичних залежностей швидкості теплового зношення ізоляції асинхронного електродвигуна у функції коефіцієнту зниження напруги та коефіцієнту завантаження електродвигуна.

Основні матеріали дослідження. Для встановлення вказаних залежностей скористаємось механічними характеристиками асинхронного електродвигуна та робочої машини, які наведено на рис. 1.

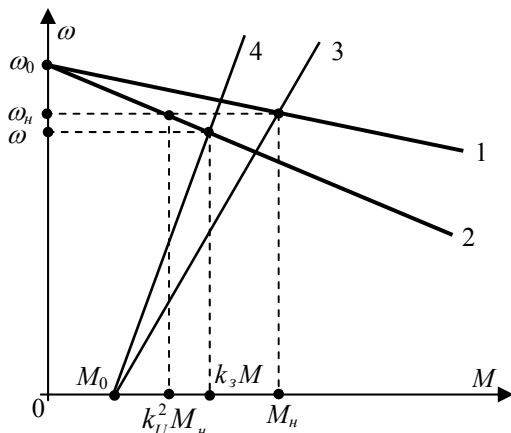


Рисунок 1 – Механічні характеристики асинхронного електродвигуна та робочої машини

На рисунку 1 позначено: 1, 2 – робочі ділянки механічної характеристики асинхронного електродвигуна відповідно при номінальній та зниженій напрузі живлячої мережі; 3, 4 – механічні характеристики робочої машини відповідно при номінальному та зниженому навантаженні; ω_0 , ω_n , ω – відповідно синхронна, номінальна і поточна кутові швидкості асинхронного електродвигуна; M_0 – початковий момент опору робочої машини; M_n , M – відповідно номінальний та поточний моменти на валу асинхронного електродвигуна; k_3 – коефіцієнт завантаження асинхронного електродвигуна; k_U – коефіцієнт, який враховує зниження напруги живлячої мережі (дорівнює відношенню діючого значення поточної напруги до номінальної). Використовуючи рис.1 та признак подібності трикутників можемо записати:

$$\frac{\omega_0 - \omega_n}{\omega_0 - \omega} = \frac{k_3 \cdot M}{k_U^2 \cdot M_n} \quad (1)$$

Звідки знаходимо:

$$M = \frac{\omega_0 - \omega_n}{\omega_0 - \omega} \cdot \frac{k_U^2}{k_3} \cdot M_n, \quad (2)$$

або

$$M = \frac{s}{s_n} \cdot \frac{k_U^2}{k_3} \cdot M_n, \quad (3)$$

де s – поточне ковзання електродвигуна;
 s_n – номінальне ковзання електродвигуна;

Ковзання асинхронного електродвигуна визначає діюче значення сили струму в обмотці статора, від квадрата якого залежить кількість теплоти, що виділяється у цій обмотці при роботі електродвигуна. Тому дослідимо, як буде змінюватись ковзання двигуна в залежності від коефіцієнтів завантаження та зниження напруги з урахуванням виду механічної характеристики робочої машини.

Для цього скористаємось емпіричним рівнянням механічної характеристики робочої машини [5]:

$$M_{on} = M_0 + (M_{on,n} - M_0) \cdot \left(\frac{\omega}{\omega_n} \right)^x, \quad (4)$$

де M_{on} , $M_{on,n}$ – відповідно поточне та номінальне значення моменту опору робочої машини, Н·м;

x – показник ступеня, який характеризує зміну статичного моменту робочої машини при зміні швидкості.

Підставимо (3) в (4) та перепишемо рівняння (4) в наступному вигляді:

$$\frac{s}{s_n} \cdot \frac{k_U^2}{k_3} \cdot M_n = M_0 + (M_n - M_0) \cdot \left(\frac{1-s}{1-s_n} \right)^x \quad (5)$$

Розділимо (5) на M_n та перепишемо у такому вигляді:

$$\frac{s}{s_n} \cdot \frac{k_U^2}{k_3} = M_{0^*} + (1 - M_{0^*}) \cdot \left(\frac{1-s}{1-s_n} \right)^x \quad (6)$$

де $M_{0^*} = M_0 / M_n$.

Використовуючи (6) знайдемо вирази ковзання двигуна в залежності від коефіцієнтів завантаження та зниження напруги з урахуванням виду механічної характеристики робочої машини.

Для робочої машини з незалежною від швидкості механічною характеристикою ($x = 0$) ця залежність буде наступною:

$$s = \frac{k_3}{k_U^2} \cdot s_n \quad (7)$$

Для робочої машини з лінійно-зростаючою механічною характеристикою ($x = 1$) ця залежність буде наступною:

$$s = \frac{M_{0^*} + \frac{1 - M_{0^*}}{1 - s_n}}{\frac{k_U^2}{k_3} \cdot s_n + \frac{1 - M_{0^*}}{1 - s_n}} \quad (8)$$

Для робочої машини з нелінійно-зростаючою (параболічною) механічною характеристикою ($x = 2$) ця залежність буде наступною:

$$s = \frac{-K_2 \pm \sqrt{K_2^2 - 4 \cdot K_1 \cdot K_3}}{2 \cdot K_1} \quad (9)$$

де $K_1 = k_3 \cdot s_n \cdot (1 - M_{0^*})$;

$K_2 = -2 \cdot K_1 - k_U^2 \cdot (1 - s_n)^2$

$K_3 = k_3 \cdot s_n \cdot (1 - M_{0^*} + M_{0^*} (1 - s_n)^2)$.

Для робочої машини з нелінійно-спадаючою (гіперболічною) механічною характеристикою ($x = -1$) ця залежність буде наступною:

$$s = \frac{-K_5 \pm \sqrt{K_5^2 - 4 \cdot K_4 \cdot K_6}}{2 \cdot K_4} \quad (10)$$

де $K_4 = -k_U^2$;

$K_5 = k_U^2 + k_3 \cdot s_n \cdot M_{0^*}$;

$K_6 = -k_3 \cdot s_n \cdot (M_{0^*} + (1 - M_{0^*}) \cdot (1 - s_n))$.

Запишемо вираз квадрат кратності діючого значення сили струму в обмотці статора асинхронного

електродвигуна, використовуючи його Г-подібну схему заміщення [5]:

$$k_i^2 = \frac{(r_1' + r_2''/s_n)^2 + (x_1' + x_2'')^2}{(r_1' + r_2''/s)^2 + (x_1' + x_2'')^2} \quad (11)$$

де k_i^2 – квадрат кратності діючого значення сили струму в обмотці статора електродвигуна;

r_1', r_2'', x_1', x_2'' – параметри Г-подібної схеми заміщення асинхронного електродвигуна.

Якщо розглядати асинхронний електродвигун у тепловому відношенні як систему, що складається з двох тіл, в одному з яких виділяються постійні втрати потужності, а в іншому – змінні, то усталене перевищення температури обмотки статора запишеться у такий спосіб [5]:

$$\tau_y = \tau_n \cdot \frac{a + k_i^2}{a + 1 - \alpha \cdot \tau_n (k_i^2 - 1)} \quad (12)$$

де τ_y, τ_n – відповідно усталене та номінальне перевищення температури обмотки статора, °C;

a – коефіцієнт втрат електродвигуна;

α – температурний коефіцієнт опору матеріалу провідників обмотки статора, 1/°C.

Швидкість теплового зношення ізоляції асинхронного електродвигуна згідно [5] визначається наступним чином:

$$\varepsilon = \varepsilon_n \cdot e^{B \cdot \left(\frac{1}{\Theta_n} - \frac{1}{\Theta_y} \right)} \quad (13)$$

де $\varepsilon, \varepsilon_n$ – відповідно поточна та номінальна швидкості теплового зношення ізоляції електродвигуна, баз.год/год;

B – коефіцієнт, що характеризує клас нагрівостійкості ізоляції електродвигуна, K;

Θ_n, Θ_y – відповідно номінальне та усталене абсолютні значення температур обмотки статора, K.

Усталене абсолютне значення температури обмотки статора згідно [5] дорівнює:

$$\Theta_y = \tau_y + \Theta_{сер} + 273, \quad (14)$$

де $\Theta_{сер}$ – температура навколишнього середовища, °C.

Отже в результаті проведених аналітичних досліджень встановлено математичні залежності швидкості теплового зношення ізоляції асинхронного електродвигуна у функції коефіцієнтів завантаження та відхилення напруги з урахуванням виду механічної характеристики робочої машини.

Проведемо чисельний аналіз швидкості теплового зношення ізоляції асинхронного електродвигуна 4A100S2Y3 при $k_3 = 0,5 \dots 1$, $k_U = 1 \dots 0,8$, якщо він приводить в рух робочі машини (які мають $M_{0^*} = 0,2$) з різними видами механічних характеристик при $\Theta_{сер} = 40$ °C.

Для вказаного електродвигуна: $r_1' = 1,509 \text{ Ом}$; $r_2'' = 1,006 \text{ Ом}$; $x_1' = 1,537 \text{ Ом}$; $x_2'' = 2,767 \text{ Ом}$; $s_n = 0,033$; $\tau_n = 90 \text{ }^\circ\text{C}$; $a = 0,6$; $\alpha = 0,004 \text{ } 1/^\circ\text{C}$; $\varepsilon_n = 1 \text{ баз.год/год}$; $B = 10200 \text{ К}$; $\Theta_n = 403 \text{ К}$ [5].

Для робочої машини з незалежною від швидкості механічною характеристикою ($x = 0$) чисельні результати будуть такими:

Таблиця 1 – Результати розрахунків $\varepsilon = f(k_3)$ при $x = 0$ та $k_U = 0,9$

кз	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1
ен, баз.год/год	0,06	0,13	0,32	0,90	2,86	10,34

Таблиця 2 – Результати розрахунків $\varepsilon = f(k_3)$ при $x = 0$ та $k_U = 0,8$

кз	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1
ен, баз.год/год	0,17	0,58	2,41	12,25	76,04	575,2

Для робочої машини з лінійно-зростаючою механічною характеристикою ($x = 1$) чисельні результати будуть такими:

Таблиця 3 – Результати розрахунків $\varepsilon = f(k_3)$ при $x = 1$ та $k_U = 0,9$

кз	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1
ен, баз.год/год	0,06	0,13	0,33	0,90	2,77	9,52

Таблиця 4 – Результати розрахунків $\varepsilon = f(k_3)$ при $x = 1$ та $k_U = 0,8$

кз	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1
ен, баз.год/год	0,18	0,59	2,35	11,19	63,25	421,7

Для робочої машини з нелінійно-зростаючою (параболічною) механічною характеристикою ($x = 2$) чисельні результати будуть такими:

Таблиця 5 – Результати розрахунків $\varepsilon = f(k_3)$ при $x = 2$ та $k_U = 0,9$

кз	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1
ен, баз.год/год	0,06	0,13	0,32	0,90	2,86	8,81

Таблиця 6 – Результати розрахунків $\varepsilon = f(k_3)$ при $x = 2$ та $k_U = 0,8$

кз	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1
ен, баз.год/год	0,17	0,58	2,41	12,26	76,04	319,5

Для робочої машини з нелінійно-спадаючою (гіперболічною) механічною характеристикою ($x = -1$) чисельні результати будуть такими:

Таблиця 5 – Результати розрахунків $\varepsilon = f(k_3)$ при $x = -1$ та $k_U = 0,9$

кз	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1
ен, баз.год/год	0,06	0,14	0,33	0,90	2,68	11,32

Таблиця 6 – Результати розрахунків $\varepsilon = f(k_3)$ при $x = -1$ та $k_U = 0,8$

кз	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1
ен, баз.год/год	0,18	0,59	2,29	10,29	53,51	816,5

Висновки. В результаті дослідження було встановлено математичні залежності швидкості теплового зношення ізоляції асинхронного електродвигуна у функції коефіцієнтів завантаження та відхилення напруги з урахуванням виду механічної характеристики робочої машини. Застосування отриманих залежностей для аналізу роботи електродвигуна 4A100S2Y3 показало, що при зниженні напруги на його затискачах на 10 % він може працювати без наслідків для ізоляції із завантаженням на 80 %, а при зниженні напруги на 20 % - із завантаженням на 65 %. При більшому завантаженні електродвигун необхідно вимикати через різке збільшення швидкості теплового зношення ізоляції, або вмикати пристрій для збільшення напруги на затискачах електродвигуна (наприклад, вольтододатковий трансформатор).

Список використаних джерел

1. Пинчук О. Г. Энергетические показатели асинхронного двигателя при различных параметрах питающего напряжения / О. Г. Пинчук // Наукові праці ДонНУ – Електротехніка і енергетика – 2008. – Вип.8(140). – С.201–204.
2. Закладной А. Н., Закладной О. А. Методы оценки срока службы асинхронных электродвигателей / А. Н. Закладной // Энергетика та електрифікація. – Київ, 2004. – № 4. – С.63–67.
3. Савченко П. І., Овчаров С. В., Уваров О. В. Графоаналітичний метод визначення механічних координат системи "АД – робоча машина" в перехідних і усталених режимах роботи / П. І. Савченко // Електрифікація та автоматизація сільського господарства. – № 1 (6), 2004. – С.48 – 53.
4. Овчаров В. В. Эксплуатационные режимы работы и непрерывная диагностика электрических машин в сельскохозяйственном производстве / В. В. Овчаров. – К.: УСХА, 1990. – 168с.

Аннотация

ВЛИЯНИЕ СНИЖЕНИЯ НАПРЯЖЕНИЯ ПИТАЮЩЕЙ СЕТИ НА ТЕПЛОВЫЙ ИЗНОС ИЗОЛЯЦИИ АСИНХРОННОГО ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ

Вовк А. Ю., Квитка С. А., Квитка А. С.

Проанализировано влияние напряжения питающей сети на скорость теплового износа изоляции асинхронного электродвигателя в функции его коэффициента загрузки.

Abstract

INFLUENCE OF UNDERVOLTAGE OF THE POWER LINE ON THERMAL WEAR OF ISOLATION OF THE ASYNCHRONOUS ELECTRIC MOTOR

A. Vovk, S. Kvitka, A. Kvitka

Influence of tension of a power line on the speed of thermal wear of isolation of the asynchronous electric motor as its coefficient of loading is analysed.