

УДК 621.3. 314.572

Б.Т. Кононов, Н.М. Куравська

Харківський національний університет Повітряних Сил імені І. Кожедуба, Харків

ВПЛИВ ВИЩИХ ГАРМОНІК НА РОБОТУ ДУГОСТАТОРНОГО АСИНХРОННОГО ДВИГУНА З КОРОТКОЗАМКНЕНИМ РОТОРОМ

З'ясовується вплив вищих гармонік на надійність частотно-регулюємого електроприводу, визначаються втрати потужності від вищих гармонік, приводяться співвідношення для обчислення струмів, додаткового нагрівання ізоляції та визначення терміну її служби.

Ключові слова: вищі гармоніки, частотно-регулюємий електропривід, асинхронний двигун.

Вступ

Дугостаторний асинхронний електричний двигун з короткозамкненим ротором, що працює в якості електроприводу системи обертання антени радіолокаційної станції, при його використанні з безпосереднім перетворювачем частоти на базі трифазного випрямляча і автономного інвертора з тиристорами забезпечує частотне регулювання кутової частоти обертання валу антени. Випрямляч перетворювача частоти частотно-регулюємого електропривода є джерелом вищих гармонік напруги, якою живиться електричний двигун, миттєве значення цієї напруги, зазвичай, представляється рядом Фур'є

$$u(t) = U_0 + \sum_{v=1}^n U_{vm} \sin(v\omega t + \psi_{v0}), \quad (1)$$

де U_0 – постійна складова; $U_{vm} \sin(v\omega t + \psi_{v0})$ – гармонічні складові v -го порядку з амплітудою U_{vm} і початковою фазою ψ_{v0} (вищі гармоніки); n – порядок (номер) останньої з враховуваних вищих гармонік.

Амплітуди та початкові фази вищих гармонік звичайно знаходяться через ортогональні проекції U_{va} та U_{vp}

$$U_v = \sqrt{U_{va}^2 + U_{vp}^2}, \quad (2)$$

$$\text{де } U_{va} = \frac{1}{\pi} \int_0^{2\pi} u(t) \cos v\omega t \, d\omega t; \quad \psi_{v0} = \arctg \frac{U_{vp}}{U_{va}};$$

$$U_{vp} = \frac{1}{\pi} \int_0^{2\pi} u(t) \sin v\omega t \, d\omega t.$$

Під впливом вищих гармонік напруга, що подається на дугостаторний асинхронний двигун стає несинусоїдальною, що негативно впливає на роботу двигуна, збільшуються втрати, погіршуються енергетичні показники, а саме коефіцієнт корисної дії та коефіцієнт потужності, знижується надійність роботи приводу та зменшується термін його служби.

Аналіз літератури. Вплив вищих гармонік на роботу енергетичного обладнання енергетичних систем детально розглянутий в [1]. Основну увагу автор [1] приділяє з'ясуванню того, як несинусоїдальні режими діють на силове обладнання та на системи релейного захисту, автоматики, телемеханіки й зв'язку та які економічні втрати обумовлені проявою вищих гармонік. На жаль, значно меншу увагу в [1] приділено питанням, пов'язаним з вивченням впливу вищих гармонік на надійність електротехнічного обладнання.

Метою статті є з'ясування впливу вищих гармонік на надійність роботи електроприводу, що представляється більш актуальним, виходячи з того, що в військових системах електропостачання економічні чинники хоча й мають велике значення, але визначальними не являються.

Основний матеріал

При роботі дугостаторного асинхронного двигуна в умовах його живлення несинусоїдальною напругою мають місце додаткові втрати, обумовлені вищими гармоніками струму в обмотках статора та ротора.

Крім того, мають місце додаткові втрати від вищих гармонік в сталі статора й ротора, але ці втрати, у порівнянні з втратами у міді, незначні і ними, звичайно, нехтують.

Додаткові втрати потужності в дугостаторному асинхронному двигуні, обумовлені струмом v -ої гармоніки можна знайти з виразу.

$$\Delta P_{mv} = 3I_v^2 (R_{ctv} + R_{porv}^r), \quad (3)$$

де R_{ctv} та R_{porv}^r – активний опір статорної обмотки та приведений активний опір ротора на частоті v -ої гармоніки.

Зазвичай, при роботі асинхронного двигуна для визначення втрат потужності необхідно знайти відповідне значення струму v -ої гармоніки.

Виходячи з того, що для регулювання частоти живлячої напруги у дугостаторного асинхронного

двигуна в кожному напівперіоді змінюють кут управління тиристорами випрямляча α , що задається системою імпульсно-фазового управління, й змінюють кут комутації тиристорів інвертора γ , значення якого знаходять з виразу:

$$\gamma = \arccos(\cos \alpha - I_d^I x_k^I), \quad (4)$$

де I_d^I – відносне (по відношенню до номінального) значення випрямленого струму, x_k^I – відносне (по відношенню до потужності трансформатора перетворювача) значення індуктивного опору контуру комутації інвертора.

Номери вищих гармонік визначаються таким чином [2]:

$$\nu = kp \pm 1, \quad (5)$$

де p – кількість пульсацій випрямляча $k = 1, 2, 3 \dots$

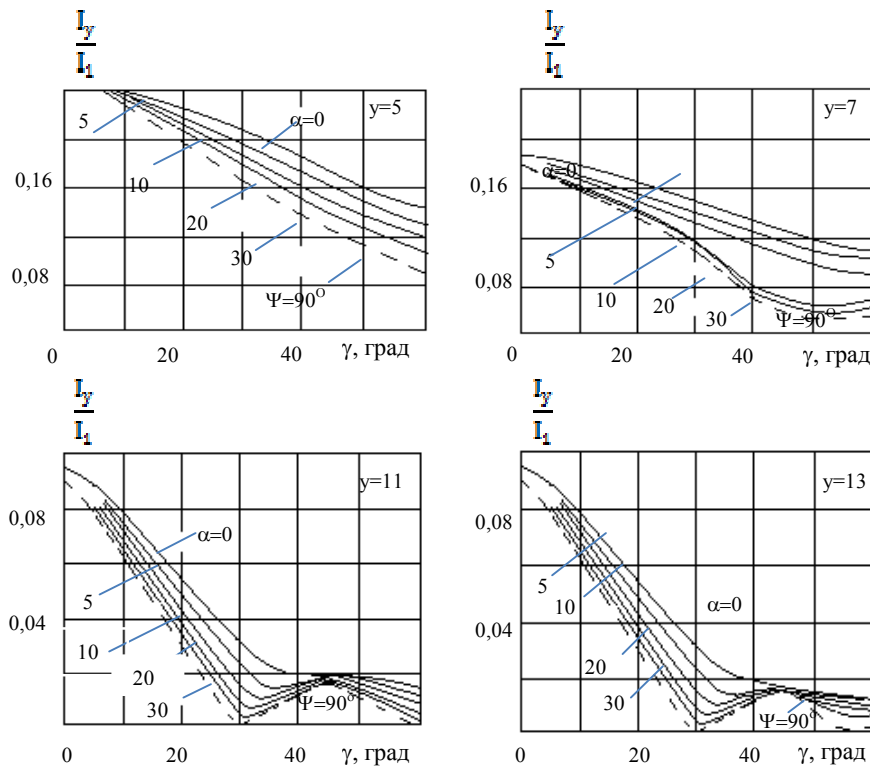


Рис. 1. Діючі значення струмів гармонік для різних значень кутів α та γ

Додаткові втрати потужності в дугостаторному асинхронному електричному двигуні прискорюють старіння ізоляції. Відносне скорочення терміну служби ізоляції Δt викликане дією несинусоїдальної напруги визначається з виразу:

$$\frac{\Delta t}{t_c} = 1 - 2^{-\frac{\Delta \tau}{\theta}}; \quad (7)$$

$$\Delta t = t_c - t_{nc} \text{ та } \Delta \tau = \tau_c - \tau_{na},$$

де t_c, t_{nc} – тривалість справного стану ізоляції в тривалому режимі роботи при синусоїдальній і несинусоїдальній напрузі; τ_c, τ_{nc} – температура ізо-

Амплітудні значення активної I_{va} та реактивної I_{vp} складової основної гармоніки в [1] пропонують знаходити з виразів:

$$I_{va} = \left(2\sqrt{3}I_d/\pi\right) \cdot \cos(\gamma/2) \cos \varphi; \quad (6)$$

$$I_{vp} = \frac{\sqrt{3}I_d}{2\pi \sin(\gamma/2) \sin \varphi} (\gamma - \sin \gamma \cos 2\gamma);$$

$$\varphi = \alpha + \gamma/2,$$

де φ – кут зсуву між першою гармонікою напруги та першою гармонікою струму; I_d – струм на виході випрямляча.

Діючі значення струмів 5, 7, 11 та 13 гармонік для різних значень кутів α та γ пропонується обчислювати за допомогою розрахункових кривих, отриманих за даними, наведеними в [1], та показаними на рис. 1.

ляції в тривалому режимі роботи при синусоїдальній та несинусоїдальній напрузі; θ – температура сталі, що дорівнює прирощенню температури, при якій термін служби ізоляції скорочується вдвічі.

З (7) можливо отримати спрощений вираз для визначення відносного скорочення терміну служби ізоляції

$$\frac{\Delta t}{t_c} = 0,69 \frac{\Delta \tau}{\theta}, \quad (8)$$

При $\theta = 8^\circ \text{C}$

$$\frac{\Delta t}{t_c} = 0,086 \Delta \tau.$$

Значення температур τ_c та τ_{nc} можливо знайти з виразів

$$\begin{aligned}\tau_c &= a \cdot \Delta P_M; \\ \tau_{nc} &= a \cdot (\Delta P_M + \Delta P_{MV}),\end{aligned}\quad (9)$$

де ΔP_M – втрати потужності в міді, при синусоїдальній напрузі,

ΔP_ϕ – втрати потужності в міді обумовлені вищими гармоніками,

a – постійний коефіцієнт, враховуючий конструкцію двигуна.

При визначенні ΔP_{MV} можливо користуватися таким співвідношенням:

$$\Delta P_{MV} = \Delta P_M \cdot \sum_{v=2}^n I_v^2 / I_1^2 = \sum_{v=2}^n k_{Iv}^2 \cdot \Delta P_M, \quad (10)$$

де I_1, I_v – струми першої та v -ої гармонік.

По даним, наведеним в [3], підвищення температури нагрівання ізоляції електричних машин від 105°C до 120 °C скорочує термін служби ізоляції вдвічі з 20 років до 10 років, а підвищення температури до 140°C скорочує термін служби ізоляції в 10 разів. При коефіцієнті несинусоїдальності $K_{nc} = 5\%$ додаткове перегрівання обмоток асинхронного двигуна може становити 8 °C, що при тривалій роботі скоротиться вдвічі термін служби ізоляції.

Відносна величина дійсного значення вищих гармонік струму K_{nc1} , які створюються 6-ти імпульсним випрямлячем

$$K_{nc1} = \sqrt{\frac{1}{5^2} + \frac{1}{7^2} + \frac{1}{11^2} + \frac{1}{13^2} + \dots} \approx 0,312.$$

Таким чином, додаткові втрати потужності, обумовлені дією несинусоїдальної напруги можуть бути достатньо суттєвими, що вимагає використання, фільтрокомпенсаційних пристроїв на вході інвертора для зменшення впливу вищих гармонік та роботи електропривода.

Висновки

1. Роботи частотно-регулюємого електропривода на базі дугостаторного асинхронного двигуна з короткозамкненим ротором, отримуючого живлячу напругу від перетворювача частоти у складі трифазного випрямляч і інвертора, супроводжується появою вищих гармонік, що викликають додаткові витрати потужності, перегрівання обмоток двигуна й скорочення терміну служби ізоляції обмоток.

2. Для уникнення явища передчасного старіння ізоляції обмоток дугостаторного електричного двигуна у склад безпосереднього перетворювача частоти необхідно ввести фільтрокомпенсаційний пристрій, який повинен бути включений на вхід інвертора (вихід випрямляча) і який повинен забезпечувати зменшення коефіцієнта несинусоїдальності живлячої напруги до значень, які нормуються стандартами з якості електричної енергії.

Список літератури

1. Жежеленко Н.В. *Высшие гармоники в системах электроснабжения промышленных предприятий* / Н.В. Жежеленко. – М.: Энергоатомиздат, 2000. – 329 с.
2. Руденко А.С. Сенько В.И., Чаженко И.М. *Основы преобразовательной техники*. – М.: Высшая школа, 1980. – 423 с.
3. Петров Г.Н. *Электрические машины. Часть 1* / Г.Н. Петров. – М.: Энергия, 1974/ – 240 с.

Надійшла до редколегії 25.10.2016

Рецензент: д-р техн. наук, проф. В.М. Більчук, Харківський національний університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, Харків.

ВЛИЯНИЕ ВЫСШИХ ГАРМОНИК НА РАБОТУ ДУГОСТАТОРНОГО АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ С КОРОТКОЗАМКНУТЫМ РОТОРОМ

Б.Т. Кононов, Н.М. Куравская

В статье выясняется влияние высших гармоник на надежность частотно-регулируемого электропривода, определяются потери мощности от высших гармоник, приводятся соотношения для вычисления токов, дополнительного нагрева изоляции и определения срока ее службы.

Ключевые слова: высшие гармоники, частотно-регулируемый электропривод, асинхронный двигатель.

PROTECTION OF FREQUENCY-REGULATIONS ELECTRIC ACTUATOR BASED ON INDUCTION ENGINE WITH THE SQUIRREL-CAGE ROTOR

B.T. Kononov, N.M. Kuravska

In the article the system of defense of power channel electro mechanic is examined on the base of asynchronous engine with the squirrel-cage rotor.

Keywords: harmonics, frequency Adjustable electric, asynchronous motor.