

*д.т.н. Лущик В.Д.,
Полезін С.Ю.
(ДонДТУ, Алчевськ, Україна),
Антипко Г.С.
(ПАТ СЗТВ, Стаханов, Україна)*

ДОСЛІДЖЕННЯ ПЕРЕДЧАСНОГО ВИХОДУ З ЛАДУ ОБМОТОК ДВОПОЛЮСНИХ АСИНХРОННИХ ДВИГУНІВ СЕРЕДНЬОЇ ПОТУЖНОСТІ

Встановлені причини передчасного згорання обмоток двополюсних асинхронних двигунів середньої потужності після першого ремонту обмоток. Надані рекомендації по підвищенню їх надійності.

***Ключові слова:** асинхронний двополюсний двигун, обмотка, ремонт, надійність.*

Определены причины преждевременного выхода из строя обмоток двухполюсных асинхронных двигателей средней мощности после первого ремонта обмоток. Даны рекомендации по повышению их надежности.

***Ключевые слова:** асинхронный двухполюсный двигатель, обмотка, ремонт, надежность.*

Вступ. Асинхронні двигуни загального призначення середньої потужності напругою до 1000 В становлять по кількості 90% всіх електродвигунів, що знаходяться в експлуатації. Середній строк служби асинхронних двигунів складає 5 років (20000 год.). Згідно статистики, на долю обмоток припадає 90% відмов, решта 10% – на підшипники. Надійність обмоток у вирішальній мірі визначається ізоляцією обмоток. Руйнація ізоляції виникає в основному в результаті нагрівання.

Актуальність проблеми. Спостереження показують, що двополюсні двигуни АО2-42 – АО2-92 потужністю 7,5 – 100 кВт, А2-71 – А2-92 потужністю 30 – 125 кВт, двигуни ВАО 81, 82 потужністю 40 – 55 кВт, а також двигуни серії 4А180 – 4А250 потужністю 22 – 90 кВт, фази статорних обмоток яких виконують із двох паралельних гілок, після першого ремонту в подальшому мають набагато більшу частоту інтенсивності раптових відмов. У майже всіх випадках вихід із ладу двигунів був спричинений міжвитковими замиканнями в котушках, що знаходяться по вертикалі внизу або вгорі статора.

Мета роботи – встановити причину збільшення інтенсивності відмов двигунів після першого ремонту обмоток і дати рекомендації щодо підвищення надійності роботи асинхронних двигунів.

Матеріал і результати досліджень. Досліджувався двигун Ново-Каховського заводу АИММ250L потужністю 90 кВт, який є аналогом двигуна єдиної серії 4А250М2У3. Двигун АИММ250L має внутрішній діаметр статора $D_{il}=232$ мм, довжину пакета статора $l_{\delta}=272$ мм, $\eta=92\%$, $\cos\varphi_I=0,9$; напругу $U=380/660$ В, фазний струм $I_{\phi}=95,34$ А. Обмотка двошарова петльова рівносекційна, провід $d_{zol}=1,6$ мм в 5 паралельних проводів, число витків котушки $w_k=7$, крок котушок $y=13$, число паралельних гілок $a=2$, число витків фази $w_{\phi}=2pq\frac{w_k}{a}=2\cdot 8\cdot\frac{7}{2}=56$.

До цього двигуна була прикута увага, тому що після першого ремонту обмотки статора менш як за місяць двигун вийшов з ладу, після повторного ремонту двигуна знову (ще за більш короткий строк) згоріла обмотка, незважаючи на те, що режим роботи був під контролем, вимірювались лінійні струми, які споживав двигун, ці струми були симетричні і не перевищували номінальні значення. Була висунута гіпотеза, що нагрівання котушок, що лежать у вертикальній площині статора, пов'язане з можливим ексцентриситетом ротора відносно статора, який завжди виникає у двигунів, в більшій чи меншій мірі, після тривалого періоду роботи.

На рисунку 1 показано розміщення в статорі однієї фази, позначеної АХ, що складається з двох котушкових груп, кожна з яких є паралельною гілкою. Котушкові групи заради простоти зображення показані у вигляді двох котушок і розміщені в горизонтальній площині, щоб максимальний потік, який буде їх пронизувати, був вертикально направлений. При можливому виникненні ексцентриситету повітряний зазор між статором і ротором зменшується в нижній частині.

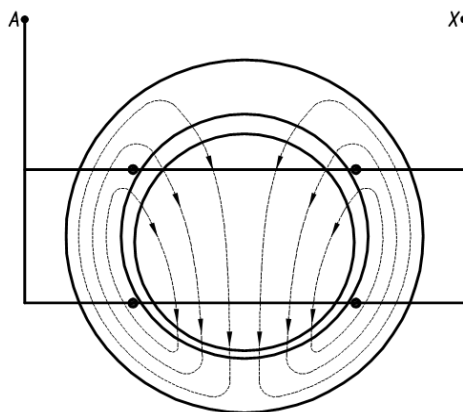


Рисунок 1 – Розміщення котушкових груп фази в статорі

Рекомендація розробників єдиної серії асинхронних двигунів 4А відносно кроку обмотки звучить так: "В двошарових обмотках двополюсних двигунів при великих значеннях числа пазів на полюс і фазу ($q > 5$) із технологічних міркувань крок приймається рівним приблизно $\frac{2}{3}$ діаметрального кроку." [1], тобто скорочення повинно дорівнювати $\beta = \frac{y}{\tau} = \frac{16}{24} = 0,666$, де y – крок обмотки, τ – полюсне ділення досліджуваного двигуна, у якого число пазів статора $z_1 = 48$.

Насправді крок обмотки досліджуваного двигуна $y = 13$ і $\beta = \frac{13}{24} = 0,54$. При такому значному скороченні котушкові групи фази знаходяться на значній відстані одна від одної. Як можна бачити із рисунка 1, котушкові групи, що знаходяться в нижній частині статора, пронизуються більшим потоком, ніж котушкові групи, що знаходяться у верхній частині статора, ця різниця залежить від величини ексцентриситету і від величини скорочення кроку котушок. Прийmemo, що магнітний потік, який пронизує нижню котушкову групу, на 2% більший. В замкненому контурі, який утворюють паралельні гілки фази, виникає різниця ЕРС величиною 2% від фазної ЕРС, яка дорівнює 380 В. Ці 2% складають $\Delta E = 7,6$ В. Під дією різницевої ЕРС виникає зрівняльний струм $I_{зр.}$. На рисунку 2 показані дві котушкові групи із двох котушок в кожній, з'єднані паралельно. На рисунку 3 показаний контур, утворений двома котушковими групами. На обох рисунках стрілками показаний струм I_1 , що споживає двигун із мережі, і зрівняльний струм $I_{зр.}$, який утворюється під дією ΔE .

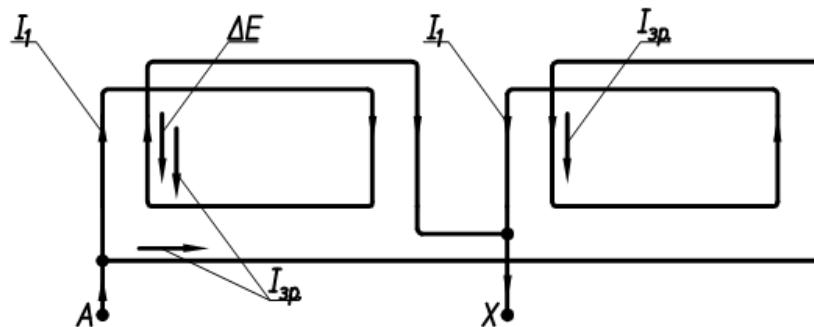


Рисунок 2 – Котушкові групи фази, з'єднані паралельно

Активний опір однієї паралельної гілки при 75°C $r_{75^\circ} = 0,1482$ Ом.

Активний опір контура, утвореного двома паралельними гілками (рисунок 3) $r_{\text{конт.}} = 2r_{75^\circ} = 0,2964$ Ом.

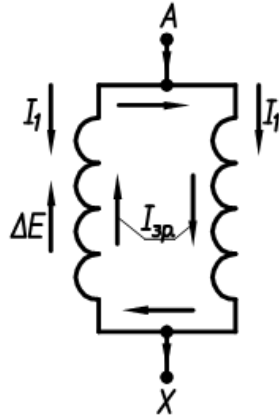


Рисунок 3 – Контур, утворений двома котушковими групами

Індуктивний опір фазної обмотки, розрахований по методиці, приведений в [2], $x_{1\phi} = 0,13 \text{ Ом}$.

Індуктивний опір паралельної гілки має таке ж значення. Індуктивний опір контура, утворюваного двома гілками $x_{\text{конт}} = 2x_{1\phi} = 0,26 \text{ Ом}$.

Загальний опір контура $z = 0,3943 \text{ Ом}$.

Зрівняльний струм, що протікає в фазній обмотці при $\Delta E = 7,6 \text{ В}$

$$I_{зр.} = \frac{\Delta E}{z} = \frac{7,6}{0,3943} = 19,27 \text{ А.}$$

На рисунку 4 зображена спрощена векторна діаграма асинхронного двигуна, на якій показаний струм $I_{зр.}$.

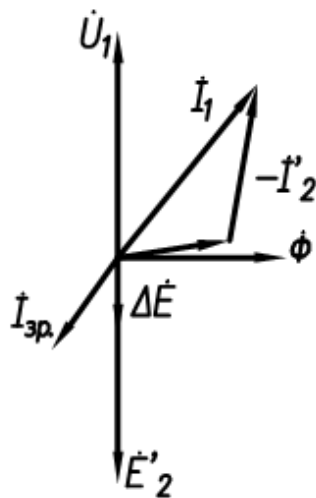


Рисунок 4 – Векторна діаграма

Із діаграми видно, що зрівняльний струм $I_{зр.}$ протікає в протифазі зі струмом I_l в гілці, в якій наводиться $+\Delta E$. Оскільки фазний струм двигуна I_l в гілках фази роздвоюється і становить $I_{\text{гілки}} = I_l / 2 = 47,67 \text{ А}$, то в котушковій групі фазної обмотки, що знаходиться в нижній частині статора, струм становитиме

$$I'_{\text{гілки}} = 47,67 - 19,27 = 28,4 \text{ А},$$

а у верхній котушковій групі струм дорівнюватиме

$$I''_{\text{гілки}} = 47,67 + 19,27 = 66,94 \text{ А},$$

що на 40% перевищує номінальне значення струму.

При ремонті обмоток бажано збільшувати крок обмоток до скорочення кроку $\beta=0,66$, незважаючи на ускладнення технології укладання котушок в пази. Так, при збільшенні з $\beta=0,54$ ($\gamma=13$, $\tau=24$) до $\beta=0,66$ ($\gamma=16$, $\tau=24$) збільшується обмотковий коефіцієнт в 1,15 рази. У стільки ж зменшується число витків котушок, і відповідно у стільки ж можна збільшити поперечний переріз мідного проводу, зменшивши тим самим втрати в обмотці статора і збільшивши ККД двигуна. Негативний вплив ексцентриситету при збільшенні β зменшується.

В єдиній серії 4А аж до 4А225 ($P_2=55 \text{ кВт}$) число ефективних провідників (паралельних провідників) в паралельній гілці фази $n=1,2,3$, тому нема сенсу виконувати фазну обмотку двома паралельними гілками, з'єднуючи паралельно котушкові групи фази. При $n=1,2,3$ і навіть, можливо, при $n=4$ варто з'єднувати котушкові групи послідовно. Число витків котушок в два рази зменшується, але в два рази збільшується число паралельних провідників. При цьому негативний вплив ексцентриситету буде зовсім відсутній.

При виготовленні обмотки слід першу фазу розміщувати в горизонтальній площині (вісь фази горизонтальна), тоді вісі двох інших фаз відносно вертикальної осі будуть розміщені під кутом 30° . Це зменшить негативний вплив ексцентриситету.

Варто у лобовій частині верхньої котушки по вертикальній лінії встановлювати температурний датчик. При зростанні температури в процесі експлуатації слід відправити двигун в ремонт для ліквідації ексцентриситету.

Висновки.

1. Встановлена причина зменшення надійності роботи асинхронних двигунів середньої потужності після першого ремонту обмоток.

2. При числі ефективних провідників обмотки $n < 4$ фазну обмотку слід виконувати одною паралельною гілкою, $a=1$.

3. При двох паралельних гілках в фазі обмотку слід виконувати зі скороченням кроку $\beta=0,66$.

4. При виготовленні обмотки першу фазу слід розміщувати в горизонтальній площині (вісь фази горизонтальна).

5. У лобовій частині верхньої котушки по вертикальній лінії слід встановлювати температурний датчик.

Бібліографічний список

1. *Асинхронные двигатели общего назначения / [Бойко Е.П., Гаинцев Ю.В., Ковалев Ю.М., и др.]; под ред. В.М. Петрова и А.Э. Кравчика. – М.: Энергия, 1980. – 488 с.*

2. *Копылов И.П. Проектирование электрических машин / И.П. Копылов. – М.: Энергия, 1980. — 495 с.*

Рекомендовано до друку д.т.н, проф. Заблудським М.М.