

ПЕРЕДЧАСНИЙ ВИХІД 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.

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

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 годин). 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 ВАО81, ВАО82 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 вгорі статора. Міжвиткові замикання виникають через надмірне нагрівання відповідних котушок. Надмірне нагрівання вертикально розміщених котушок пов'язане з ексцентриситетом ротора, який з'являється в асинхронних двигунах після деякого часу роботи в результаті зносу підшипників в процесі експлуатації.

На теперішній час відомі та досліджені способи контролю і вимірювання відносного ексцентриситету ротора асинхронного двигуна [1-4], розроблена методика розрахунку втрат в асинхронному двигуні при ексцентриситеті ротора і описаний пристрій, який запобігає задіванню ротора за статор [5]. Описані 18 авторських свідоцтв способів діагностики ексцентриситету ротора асинхронного двигуна по його електромеханічним параметрам [6]. Відмічено, що діагностика ексцентриситету можлива тільки на заводі або в лабораторних умовах і зазвичай непридатна для використання на виробництві під час експлуатації двигуна. Крім того, всі способи, як правило, мають недостатню чутливість до ексцентриситету ротора.

Проблеми, пов'язані з ексцентриситетом в багатополюсних двигунах, розглядає в своїй відомій книзі Гемке Р.Г. [7]. Він відмічає появу шуму та вібрацій і рекомендує збільшувати повітряний зазор на 10-20 % за допомогою проточки ротора, що, звичайно, погіршує енергетичні показники двигуна. Констатує факт збільшення споживання струму паралельною гілкою, що знаходиться в зоні більшого повітряного зазору, але двополюсні двигуни, ексцентриситет в яких призводить до набагато гірших наслідків, Гемке Р.Г. не розглядає.

Мета роботи – встановити причину збільшення інтенсивності відмов двополюсних 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 $D_{i1}=232$ мм, довжину пакета статора $l_s=272$ мм, $\eta=92$ %, $\cos\phi_1=0,9$; напругу $U=380/660$ В, фазний струм $I_\phi=95,34$ А. Обмотка двошарова петльова рівносекційна, провід $d_{\text{гол}}=1,6$ мм в 5 паралельних проводів, число витків котушки $w_k=7$, крок котушок $y=13$, число паралельних гілок $a=2$, число витків фази $w_\phi=56$.

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 рис. 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.

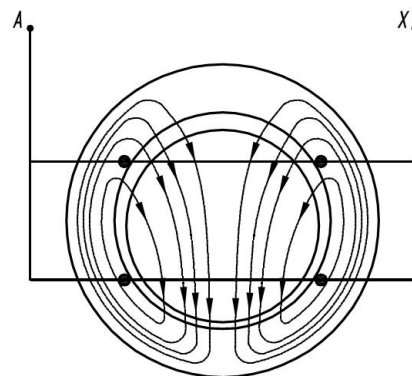


Рис. 1. Розміщення котушкових груп фази в статорі

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 фази ($q > 5$) із технологічних міркувань крок приймається рівним приблизно $2/3$ діаметрального кроку" [8], тобто скорочення повинно дорівнювати:

$$\beta = \frac{y}{\tau} = \frac{16}{24} = 0,666, \quad (1)$$

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 $\beta=13/24=0,54$. При такому значному скороченні котушкові групи фази знаходяться на великій відстані одна від одної. Як можна бачити на рис. 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 та від величини скорочення кроку котушок. Прийнемо, 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 $E_1=k_e \cdot U_1=0,985 \cdot 380=374$ В. Ці 2 % складають $\Delta E=7,486$ В. Під дією різницевої ЕРС виникає зрівняльний струм $I_{зр}$. На рис. 2 показані дві котушкові групи із двох котушок в кожній, з'єднані паралельно. На рис. 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 .

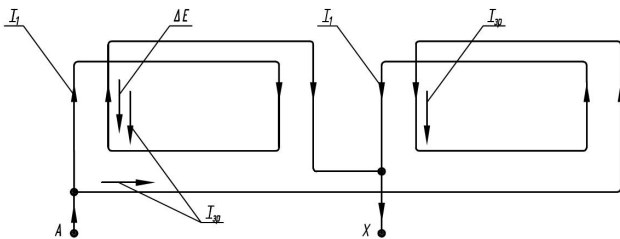


Рис. 2. Котушкові групи фази, з'єднані паралельно

Активний опір однієї паралельної гілки при 75°C $r_{75}=0,1464$ Ом.

Активний опір контуру, утвореного двома паралельними гілками (рис. 3) $r_{\text{конт}}=2 \cdot r_{75}=0,2928$ Ом.

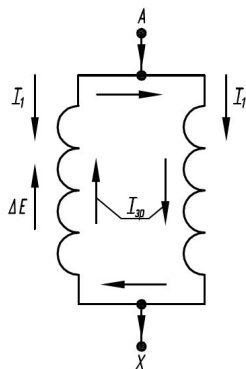


Рис. 3. Контур, утворений двома котушковими групами

Індуктивний опір фазної обмотки, розрахований по методиці, приведеній в [9], $x_{1\phi}=0,078$ Ом.

Оскільки число пазів на полюс і фази однієї паралельної гілки в два рази менше числа q_1 , яке знаходиться в знаменнику формули індуктивного опору фазної обмотки

$$x_{1\phi} = \frac{1,58 f_1 l_1 w_1^2}{p q_1 \cdot 10^8} \cdot \lambda_1, \quad (2)$$

то індуктивний опір однієї паралельної гілки має в два рази більше значення. Індуктивний опір контуру, утвореного двома гілками $x_{\text{конт}}=4 \cdot x_{1\phi}=0,312$ Ом.

Загальний опір контуру:

$$Z = \sqrt{r_{\text{конт}}^2 + x_{\text{конт}}^2} = \sqrt{0,2928^2 + 0,312^2} = 0,4279 \text{ Ом}. \quad (3)$$

Зрівняльний струм, що протікає в фазній обмотці при $\Delta E=7,486$ В:

$$I_{зр} = \frac{\Delta E}{Z} = \frac{7,486}{0,4279} = 17,495 \text{ А}. \quad (4)$$

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

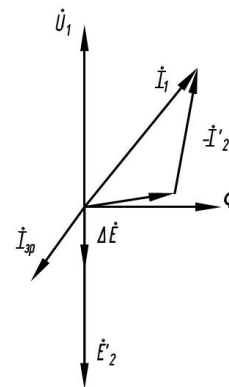


Рис. 4. Векторна діаграма

Із діаграми видно, що зрівняльний струм $I_{зр}$ протікає в протифазі зі струмом I_1 в гілці, в якій наводиться $+\Delta E$. Оскільки фазний струм двигуна I_1 в гілках фази роздвоюється і становить $I_{\text{гілки}}=I_1/2=47,67$ А, то в котушковій групі фазної обмотки, що знаходиться в нижній частині статора, струм становитиме

$$I'_{\text{гілки}} = 47,67 - 17,495 = 30,175 \text{ А}, \quad (5)$$

а у верхній котушковій групі струм дорівнюватиме

$$I''_{\text{гілки}} = 47,67 + 17,495 = 60,165 \text{ А}, \quad (6)$$

що на 37 % 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 $\beta=0,54$ ($y=13$, $\tau=24$) до $\beta=0,66$ ($y=16$, $\tau=24$) 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 ($P_2=55$ кВт) число ефективних провідників (паралельних провідників) в паралельній гілці фази $n=1,2,3$, тому нема сенсу вико-

нувати 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 вертикальній 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 до зверх допустимої слід відправити двигун в ремонт для ліквідації ексцентриситету.

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

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

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

3. При виготовленні обмотки першу фазу слід розміщувати в вертикальній площині (вісь фази горизонтальна).

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

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Никиян Н.Г. Способ измерения эксцентриситета ротора в многоскоростных асинхронных машинах / Н.Г. Никиян // Электротехника. – 1989. – № 6. – С. 52-54.
2. Никиян Н.Г. Определение эксцентриситета ротора асинхронных машин по величине ЭДС высших гармоник / Н.Г. Никиян, М.Е. Йондем // Известия вузов. Электромеханика. – 1991. – № 11.
3. Мирзоева С.М. Исследование неравномерности воздушного зазора в электрических машинах для получения диагностической информации / С.М. Мирзоева, М.А. Гашимов // Электротехника. – 2001. – № 8. – С.33-37.
4. Гашимов М.А. Диагностика эксцентриситета электрических машин в условиях эксплуатации / М.А. Гашимов, С.М. Мирзоева, Н.К. Рамазанов // Электричество. – 2005. – № 6. – С. 41-45.
5. Клецель М.Я. Защита асинхронного двигателя от эксцентриситета ротора / М.Я. Клецель, А.В. Мануковский, А.Н. Новожилов // Электричество. – 2006. – № 7. – С. 63-67.
6. Новожилов А.Н. Способы диагностики эксцентриситета ротора асинхронного двигателя по его электромеханическим параметрам / А.Н. Новожилов, Н.А. Исупова // Вестник ПГУ. Серия энергетическая. – 2011. – № 1. – С. 37-44.

7. Гемке Р.Г. Неисправности электрических машин / Р.Г. Гемке; под. ред. Р.Б. Уманцева. – 9-е изд., перераб. и доп. – Л.: Энергоатомиздат, 1989. – 336 с.: ил.

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

9. Гурин Я.С. Проектирование серий электрических машин / Я.С. Гурин, Б.И. Кузнецов. – М.: Энергия, 1978. – 479 с.: ил.

Bibliography (transliterated): 1. Nikiyan N.G. Sposob izmereniya `ekscentrisiteta rotora v mnogokorostnyh asinhronnyh mashinah / N.G. Nikiyan // `Elektrotehnika. - 1989. - № 6. - S. 52-54. 2. Nikiyan N.G. Opredelenie `ekscentrisiteta rotora asinhronnyh mashin po velichine `EDS vysshih garmonik / N.G. Nikiyan, M.E. Jondem // Izvestiya vuzov. `Elektromehaniika. - 1991. - № 11. 3. Mirzoeva S.M. Issledovanie neravnomernosti vozduzhnogo zavora v `elektricheskikh mashinah dlya polucheniya diagnostiruyushej informacii / S.M. Mirzoeva, M.A. Gashimov // `Elektrotehnika. - 2001. - № 8. - S.33-37. 4. Gashimov M.A. Diagnostika `ekscentrisiteta `elektricheskikh mashin v usloviyah `ekspluatatsii / M.A. Gashimov, S.M. Mirzoeva, N.K. Ramazanov // `Elektrichestvo. - 2005. - № 6. - S. 41-45. 5. Klecel' M.Ya. Zashchita asinhronnogo dvigatelya ot `ekscentrisiteta rotora / M.Ya. Klecel', A.V. Manukovskij, A.N. Novozhilov // `Elektrichestvo. - 2006. - № 7. - S. 63-67. 6. Novozhilov A.N. Sposoby diagnostiki `ekscentrisiteta rotora asinhronnogo dvigatelya po ego `elektromehaniicheskim parametram / A.N. Novozhilov, N.A. Isupova // Vestnik PGU. Seriya `energeticheskaya. - 2011. - № 1. - S. 37-44. 7. Gemke R.G. Neispravnosti `elektricheskikh mashin / R.G. Gemke; pod. red. R.B. Umanceva. - 9-e izd., pererab. i dop. - L.: `Energoatomizdat, 1989. - 336 s.: il. 8. Asinhronnye dvigatelyi obshchego naznacheniya / [E.P. Bojko, Yu.V. Gaincev, Yu.M. Kovalev i dr.]; pod red. V.M. Petrova i A.`E. Kravchika. - M.: `Energiya, 1980. - 488 s. 9. Gurin Ya.S. Proektirovanie serij `elektricheskikh mashin / Ya.S. Gurin, B.I. Kuznecov. - M.: `Energiya, 1978. - 479 s.: il.

Надійшла (received) 15.06.2013

Лущик В'ячеслав Данилович¹, д.т.н., проф.,

Полєзін Сергій Юрійович¹,

Антипко Геннадій Самуїлович², головний енергетик

¹Донбаський державний технічний університет,

кафедра електричних машин та апаратів,

94204, Луганська обл., Алчевськ, пр. Леніна, 16,

тел/phone: +38 099 7654495, e-mail: v.d.luschik@yandex.ua

²ПАТ "Стахановський завод технічного вуглецю",

94005, Луганська обл., Стаханов, вул. Чайковського, 21,

тел/phone: +38 050 1710156, e-mail: oge@carbonblack.biz.ua

Lushchik V.D.¹, Polezin S.Yu.¹, Antipko G.S.²

¹Donbass State Technical University

16, Lenin Avenue, Alchevsk, Lugansk region, 94204, Ukraine

²Public Joint Stock Company "Stakhanov Carbon Black Plant"

21, Tchaykovsky Str., Stakhanov, Lugansk region, 94005, Ukraine

Premature failure of medium-power two-pole induction motor windings.

Causes of premature failure of medium-power two-pole induction motor windings after the windings first repair are revealed. Recommendations for the medium-power two-pole induction motor winding reliability improvement are given.

Key words – induction motor, winding, premature failure, reliability, repair.