

ТИПОВІ ПОМИЛКИ ПРИ ВИГОТОВЛЕННІ ОБМОТОК ДВООБМОТКОВИХ АСИНХРОННИХ МАШИН

Розглянуті електромагнітні процеси в чотириполюсній обмотці, виконаній двома паралельними гілками в кожній фазі, при наявності шестиполусного поля. Видані рекомендації щодо технології виготовлення чотириполюсних обмоток в двообмоткових асинхронних машинах.

Рассмотрены электромагнитные процессы в четырехполюсной обмотке, выполненной двумя параллельными ветвями в каждой фазе, при наличии шестиполусного поля. Выданы рекомендации по технологии изготовления четырехполюсных обмоток в двухобмотковых асинхронных машинах.

Вступ. Питання будови, теорії та роботи обмоток є найважливішими в електричних машинах. Недостатня увага до цієї складної та найбільш уразливої частини електричної машини, яка практично повністю визначає якість машини, здатна привести до аварійних режимів під час роботи

Актуальність проблеми. Останнім часом почастилися випадки аварійної роботи після капітального ремонту обмоток двообмоткових асинхронних машин, у яких одна обмотка – чотириполюсна з двома паралельними гілками у фазах. Це асинхронний вітрогенератор M2CG400XL4/6, у якого шестиполусна обмотка розрахована на 120 кВт корисної потужності, а чотириполюсна обмотка – на 600 кВт, а також асинхронні багатшвидкісні двигуни серії 4A100-250/8/6/4 та серії ВАО і АО2-61-92/8/6/4, які під час експлуатації використовують тільки дві швидкості: чотириполюсну і шестиполусну, тому під час ремонту полюсоперемикальну 8/4-полюсну обмотку замінюють стандартною чотириполюсною обмоткою, виконаною з двома паралельними гілками в кожній фазі. При цьому паралельні гілки утворюють із поряд розміщених котушкових груп, це загальноприйнята практика при виготовленні таких обмоток [1]. Але при такій схемі виготовлення фазних обмоток при наявності шестиполусного поля, створеного шестиполусною обмоткою, в кожній фазі чотириполюсної обмотки виникають зрівняльні струми, які роблять роботу шестиполусної обмотки неможливою. По відношенню до шестиполусної обмотки чотириполюсна обмотка в такому виконанні є трифазною короткозамкненою обмоткою.

Аналіз попередніх досліджень і публікацій. В опублікованих раніше книгах і монографіях про обмотки відсутня повноцінна і достатня інформація з цього питання.

В [2, §3.6] є вказівка, що якщо з'єднати будь-яку обмотку в паралельні гілки, то в обмотці можуть з'явитися зрівняльні струми від магнітного поля іншої полюсності.

В [3, §2-11д] з питання, що нас цікавить, є така вказівка: "В багатшвидкісних двигунах з двома обмотками в статорі при роботі вмикається тільки одна обмотка. Якщо не ввімкнена обмотка з'єднана трикутником або має паралельні гілки, то її коло виявляється замкнутим, і обертове магнітне поле працюючої обмотки може визвати в ній ЕРС і струм, що, звичайно, небажано. В таких випадках непрацюючу обмотку рекомендується розмикати". Така рекомендація призводить до ускладнення комутаційної апаратури та до збільшення капітальних і експлуатаційних витрат і, зрозуміло, не може нас задовольнити.

Мета роботи – дослідити фізику електромагнітних процесів, що виникають в двообмоткових асинхронних машинах, і дати рекомендації щодо правильного виконання обмоток в цих машинах.

Матеріал і результати досліджень. В чотириполюсних обмотках можливі два варіанти виконання двох паралельних гілок в фазах: паралельні гілки утворюють із поряд розміщених котушкових груп

(рис. 1а,б, перший варіант), або котушкові групи фази з'єднують через одну (рис. 1в,г, другий варіант). На рис. 1,а,в показані схеми чотириполюсної зосередженої з діаметральним кроком обмотки, паралельні гілки якої виконані по різному. На рис. 1,б,г, на яких котушкові групи позначені як індуктивні елементи, показані схеми з'єднань цих котушкових груп в паралельні гілки. На рис. 1,д зображено шестиполусне магнітне поле, що утворюється шестиполусною обмоткою. Це поле рухається відносно нерухомої чотириполюсної обмотки в якомусь напрямі і наводить ЕРС в активних провідниках обмотки, що лежать в пазах. Ця ЕРС показана в нижній частині пазів стрілками, напрямки яких визначаються полярністю шестиполусного поля, що в дану мить перетинає провідники. ЕРС показана стрілками і на рис. 1б,г.

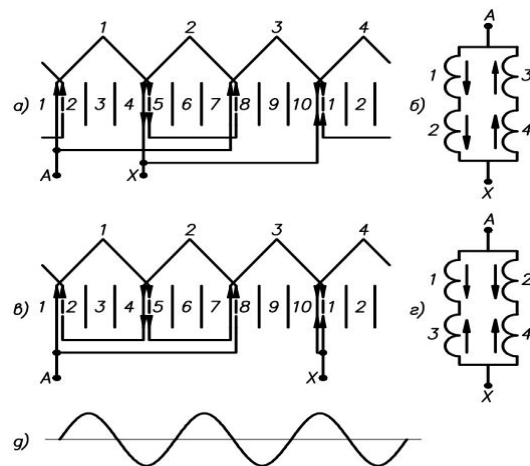


Рис. 1. Фази чотириполюсної обмотки:

- а) паралельні гілки, утворені із поряд розміщених котушкових груп (перший варіант); б) принципова схема першого варіанту; в) паралельні гілки, утворені із котушкових груп, з'єднаних через одну (другий варіант); г) принципова схема другого варіанту; д) шестиполусне магнітне поле

Як видно із рис. 1,б, ЕРС котушкових груп 1 і 2, що складають паралельну гілку, направлені узгоджено. Також узгоджено направлені ЕРС котушкових груп 3 і 4, що складають другу паралельну гілку. Але найприємнішим є той факт, що ЕРС паралельних гілок направлені узгоджено в замкненому контурі, який утворюється двома паралельними гілками. Обмотковий коефіцієнт для цієї ЕРС, утвореної шестиполусним полем,

$$k_{об} = k_p \cdot k_{ск} = 1 \cdot \sin \frac{\gamma}{\tau} 90^\circ = \sin \frac{1,5\tau}{\tau} \cdot 90^\circ = \sin 135^\circ = 0,707.$$

В фазах чотириполюсної обмотки, паралельні гілки якої утворені по першому варіанту, утворюється потужний зрівняльний струм, який можна назвати струмом короткого замикання і який неважко підрахувати в кожному конкретному випадку.

В обмотці, виконаній по другому варіанту, ЕРС котушкових груп 1 і 3, що складають одну паралельну гілку,

і ЕРС котушкових груп 2 і 4, що складають другу паралельну гілку, направлені зустрічно (рис. 1,в,г) і зрівняльний струм в чотириполюсній обмотці буде відсутній.

Такий спосіб знаходження ЕРС в фазах розподіленої, виконаної зі скороченим кроком обмотки від поля іншої полюсності є недостатній, потрібні числові методи розрахунків високої точності і достовірності. Таку можливість надає універсальна методика розрахунку обмоткових коефіцієнтів, в якій геометричну суму ЕРС одержують з допомогою комплексних чисел [4].

Відповідно до нашої задачі геометричну суму ЕРС $2p_1$ -полюсної обмотки від дії $2p_2$ -полюсного поля визначають так:

$$\begin{aligned} \dot{E} = & \sum_{n=1,2,\dots,n} (\cos n\alpha_2 + j \sin n\alpha_2) - \\ & - \sum_{k=1+y_1, 2+y_2+\dots, n+y_n} (\cos k\alpha_2 + j \sin k\alpha_2), \end{aligned} \quad (1)$$

де n – позитивні значення ЕРС активних сторін, які при обході обмотки направлені знизу вгору; k – від’ємні значення ЕРС активних сторін, які при обході направлені зверху вниз, α_2 – кут в електричних градусах для $2p_2$ -полюсного поля між поряд розміщеними пазами:

$$\alpha_2 = (360^\circ \cdot p_2) / z, \quad (2)$$

де p_2 – число пар полюсів $2p_2$ -полюсної обмотки; z – число пазів, в яких розміщена $2p_1$ -полюсна обмотка.

Ілюструємо користування формулами (1) і (2) на прикладі фази розподіленої чотириполюсної обмотки, $q = 2$, $y = 5 \cdot \tau / 6 = 5$, виконаної двома паралельними гілками різними способами (рис. 2, 3).

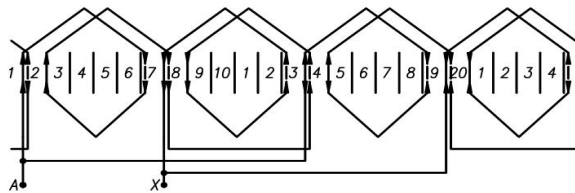


Рис. 2. Фаза чотириполюсної обмотки з паралельними гілками, утвореними із поряд розміщених котушкових груп

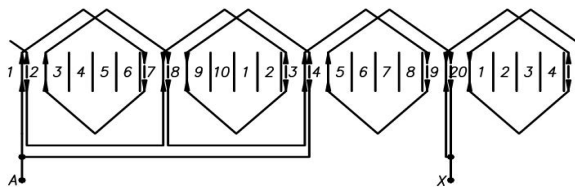


Рис. 3. Фаза чотириполюсної обмотки з паралельними гілками, утвореними із котушкових груп, з'єднаних через одну

У верхній частині обмоток стрілками показаний напрям струму I_1 , що створює чотириполюсне поле ($2p_1=4$). Оскільки нас цікавить ЕРС, що утворюється в замкнутому колі, утвореному двома паралельними гілками від $2p_2$ -полюсного поля ($2p_2=6$), то при обході обмотки в першій гілці ми йдемо за струмом, а в другій гілці – проти струму. Цей напрям обходу показаний стрілками в нижній частині пазів. У відповідності до цих стрілок для обмотки на рис. 2:

$$n = 1, 2, 12, 13, 18, 19, 20; k = 1, 6, 7, 7, 8, 13, 14, 24;$$

$$\alpha = \frac{360^\circ \cdot 3}{24} = 45^\circ.$$

Підставляючи n , k і α в формулу (1), одержимо геометричну суму ЕРС в комплексному вигляді:

$$\dot{E} = -6,828 + j6,828.$$

Обмотковий коефіцієнт вираховуємо як відношення модуля комплексної величини \dot{E} до арифметичної суми активних провідників обмотки [4]. Сума активних провідників:

$$N = \sum n + \sum k = \frac{2z}{m} = \frac{2 \cdot 24}{3} = 16;$$

$$k_{об.} = \frac{E}{N} = \frac{\sqrt{(-6,828)^2 + 6,828^2}}{16} = 0,604.$$

Обмотковий коефіцієнт по чотириполюсному полю для обмотки на рис. 2:

- для першої гілки

$$n = 1, 2, 12, 13; k = 6, 7, 7, 8; \alpha = \frac{360^\circ \cdot 2}{24} = 30^\circ; N = 8;$$

$$\dot{E} = 6,464 + j3,732;$$

$$k_{об.} = \frac{E}{N} = \frac{\sqrt{6,464^2 + 3,732^2}}{8} = 0,933;$$

- для другої гілки

$$n = 13, 14, 24, 1; k = 18, 19, 19, 20; \alpha = \frac{360^\circ \cdot 2}{24} = 30^\circ;$$

$$N = 8; \dot{E} = 6,464 + j3,732; k_{об.} = 0,933.$$

Геометрична сума ЕРС для обмотки на рис. 3 по шестиполюсному полю:

$$n = 1, 2, 13, 14, 19, 20, 7, 8; k = 1, 6, 7, 12, 13, 18, 19, 24;$$

$$\alpha = 45^\circ; \dot{E} = 0; k_{об.} = 0.$$

Як бачимо, в обмотці з паралельними гілками, утвореними із котушкових груп, з'єднаних через одну, ЕРС від шестиполюсного поля відсутня.

Висновки. В двообмоткових асинхронних машинах фази обмотки, виконуваної із паралельних гілок, потрібно перевіряти на відсутність ЕРС від магнітного поля, створеного іншою обмоткою. В разі наявності ЕРС у всіх варіантах, можливих для виконання паралельних гілок, потрібно виготовляти обмотку без паралельних гілок.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Андриєнко В.М., Кувєда В.П. Електричні машини: Навч. посіб. – К.: НУХТ, 2010. – 366 с.: іл.
2. Жерве Г.К. Обмотки електричних машин. – Л.: Энергоатомиздат. Ленингр. отд. 1989. – 400 с.: іл.
3. Обмотки електрических машин / В.И. Зимин и др. Л.: Энергия, 1975.
4. Лушчик В.Д. Універсальна методика розрахунку обмоткових коефіцієнтів // Електротехніка і електромеханіка. – 2011. – № 1. – С. 28-31.

Bibliography (transliterated): 1. Andrienko V.M., Kuevda V.P. Elektrichni mashini: Navch. posib. - K.: NUHT, 2010. - 366 s.: il. 2. Zherve G.K. Obmotki `elektricheskikh mashin. - L.: `Energoatomizdat. Leningr. otd. 1989. - 400 s.: il. 3. Obmotki `elektricheskikh mashin / V.I. Zimin i dr. L.: `Energiya, 1975. 4. Lushchik V.D. Universal'na metodika rozrahunku obmotkovih koefitsientiv // Elektrotehnika i elektromehanika. - 2011. - № 1. - S. 28-31.

Надійшла 27.01.2012

Лушчик В'ячеслав Данилович, д.т.н., проф.
Донбаський державний технічний університет
кафедра електричних машин та апаратів,
94204, Алчевськ, пр. Леніна, 16,
тел.: (06442) 2-31-23, e-mail: v.d.luschik@yandex.ua

Береда Ігор Миколайович,
ТОВ ВО "Індустріал-Сервіс"
Нікополь, пр. Трубників, 56
тел.: (05662) 25073, e-mail: bereda.i.n@mail.ru

Lushchik V.D., Bereda I.N.

Common mistakes at dual-winding asynchronous machine winding manufacturing.

Electromagnetic calculations in a 4-pole winding made with two parallel branches in each phase are considered in the presence of a 6-pole field. Recommendations for 4-pole windings manufacturing techniques in dual-winding asynchronous machines are given.

Key words – asynchronous machines, windings, stator, parallel branches, equalizing currents.