

ВИЗНАЧЕННЯ ПАЗОВОГО РОЗСПОВАННЯ СТАТОРА АСИНХРОННОГО ДВИГУНА З УРАХУВАННЯМ НАСИЧЕННЯ, ЗІГЗАГ-РОЗСПОВАННЯ, ВЗАЄМНОЇ ІНДУКТИВНОСТІ ФАЗ

Показана можливість врахування зігзаг-розсіювання і взаємної індуктивності фаз по шляхам пазового розсіювання при визначенні пазового розсіювання статора асинхронного двигуна. Проведено дослідження з формуванням залежностей зміни індуктивності пазового розсіювання в функції зміни кута повороту ротора та величини струму в кратності до номінального.

Показана можливість урахування зігзаг-розсіювання і взаємної індуктивності фаз по шляхам пазового розсіювання при визначенні пазового розсіювання статора асинхронного двигуна. Проведено дослідження з формуванням залежностей зміни індуктивності пазового розсіювання в функції зміни кута повороту ротора та величини струму в кратності до номінального.

ВСТУП

Основним засобом електромеханічного перетворення енергії є асинхронний двигун (АД). Ефективність його роботи суттєво впливає на ефективність використання енергоресурсів. Підвищення величини експлуатаційних енергетичних коефіцієнтів АД досягається його проектуванням в складі електромеханічної системи (ЕМС) з урахуванням реальних експлуатаційних режимів роботи і відповідним формуванням цих режимів.

Якість проектування АД значною мірою обумовлюється рівнем адекватності математичної моделі, яка залежить від точності визначення електромагнітних параметрів в досліджуваних режимах роботи, зокрема параметрів розсіювання. Крім визначення величини цих параметрів в номінальних режимах роботи треба знати залежності їх зміни в функції параметрів робочих режимів – струмів, напруг, частоти обертання. Дослідження із сталими параметрами спирається на результуюче розсіювання, де не є суттєвою питома вага окремих складових. Врахування нелінійності електромагнітних параметрів потребує підвищення точності визначення складових розсіювання.

В рамках даної роботи показано можливості уточненого визначення параметрів розсіювання з урахуванням зігзаг-розсіювання та взаємної індуктивності фаз за потоком пазового розсіювання. Зігзаг-розсіювання статора обумовлюється потоком, який перетинає повітряний проміжок, проходить коронками зубців ротора без зчеплення із його обмоткою. Питома вага цього потоку залежить від конфігурації зубцевої зони, її насичення та кута повороту ротора відносно статора. Взаємна індуктивність фаз за шляхами потоку розсіювання залежить від типу обмотки і суттєво впливає на визначення параметрів заступної схеми.

Взаємну індуктивність фаз за шляхами потоків пазового розсіювання оцінимо за результатами чисельного розрахунку магнітного поля АД. Величину індуктивності пазового розсіювання статора можна знайти визначенням магнітного потоку пазового розсіювання. Такий підхід потребує розрахунку величини магнітного потоку через поперечну середню лінію пазу за допомогою наступного виразу [1]:

$$\Phi_{\sigma Y} = l_1 \int_0^{h_n} B_Y dx, \quad (1)$$

де l_1 – активна довжина машини; h_n – висота паза; B_Y – часовий комплекс Y -ої складової магнітної індукції по висоті пазу.

Вираз для визначення індуктивності пазового розсіювання, при нехтуванні взаємною індуктивністю, буде мати вигляд

$$l_{sn} = \sum_{i=1}^{i=n} \Phi_{\sigma Y_{cp}} W / I_{\delta}, \quad (2)$$

де $\sum_{i=1}^{i=n} \Phi_{\sigma Y_{cp}}$ – сумарне, для n -ої кількості пазів на

фазу, середнє значення потоку через поперечну середню лінію пазу фази за кутовим переміщенням ротора відносно статора; W – число витків фази; I_{δ} – діюче значення струму у фазі обмотки статора.

При обмеженні області інтегрування висотою паза статора не враховується частина магнітного потоку розсіювання статора, що проходить коронками зубців ротора (зігзаг розсіювання). Співвідношення цих потоків залежить від конфігурації зубцевої зони та насичення. У зв'язку з чим проведемо порівняння отриманих значень індуктивності пазового розсіювання статора АД 4А80А2 при врахуванні і без врахування магнітного потоку через коронки зубців ротора.

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ

На рис. 1 наведена розрахункова картина розподілу векторного магнітного потенціалу A_z АД у вигляді фонового зафарбовування та сімейства ізоліній. Така картина розподілу A_z отримана за результатами чисельного розрахунку, методом скінчених елементів, активної зони АД 4А80А2 з параметрами $l_1 = 0.078$ м, $h_n = 0.012$ м, $W = 244$, $I_{\delta} = 3.3$ А. У відповідності з отриманою конфігурацією магнітного поля та виразом (2) індуктивність пазового розсіювання становить $l_{sn} = 0.0066$ Гн.

На рис. 2 наведена картина розподілу векторного магнітного потенціалу A_z АД при відсутності взаємної індукції між обмотками статора та стрижнями ротора. При цьому шлях власного потоку обмотки статора лежить через ярмо, паз, зубці та коронки зубців статора. Для отримання такої картини поля введені додаткові умови, які полягали в обмеженні протікання потоку через клітку ротора. Для чого накладались умови маг-

нітної ізоляції по діаметру росточки статора.

При такій конфігурації магнітного поля, що відповідає тільки картині магнітного поля потоку розсіювання, при живленні лише однієї фази, індуктивність пазового розсіювання розраховується за наступним виразом.

$$l_{sn} = \frac{2wl_1}{I_0} \int_0^S A_z ds. \quad (3)$$

де w – число витків в котушці; S – сумарна площа поперечного перетину сторін усіх котушок фази, що мають струми одного напрямку. Згідно з виразом (3) $l_{sn} = 0.0015$ Гн.

На рис. 3 наведена картина розподілу векторного магнітного потенціалу A_z АД, з урахуванням протікання потоку пазового розсіювання коронками зубців ротора також при живленні лише однієї фази. Для отримання такої картини поля, проводилась лінія з умовою магнітної ізоляції, що окреслювала границі коронки зубців ротора. Врахування таким чином можливості протікання потоку розсіювання коронками зубців призводить до значного збільшення індуктивності розсіювання, що згідно з виразом (3) становить $l_{sn} = 0.005$ Гн.

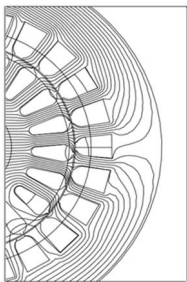


Рис. 1

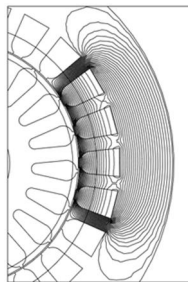


Рис. 2

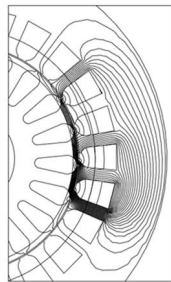


Рис. 3

Таким чином, l_{sn} у випадку врахування протікання потоку розсіювання коронками зубців, перевищуватиме більш ніж у 3 рази l_{sn} порахованого для випадку протікання потоку суто через ділянки статора. Слід зазначити, що отримані результати картин розподілу A_z (рис. 2, 3) дають можливість визначити за виразом (3) l_{sn} та взаємну індуктивність фаз за шляхами пазового розсіювання m_{sn} при відсутності впливу на магнітний стан осердя статора струмів обмоток інших фаз. При одночасному живленні всіх трьох фаз симетричною трифазною системою струмів магнітний стан наближається до номінального, але внаслідок особливостей системи рівнянь симетричної трифазної системи визначити можна лише суму $l_{sn} + |m_{sn}|$, без можливості розподілу її на складові. Порівняння суми величин $l_{sn} + |m_{sn}|$ для однофазної системи з результатом моделювання трифазного симетричного випадку дало їх співпадіння, що дало можливість оцінити адекватність моделі визначення величини параметрів за результатами моделювання несиметричного варіанту. Такий розрахунок звісно не враховуватиме вплив на потік розсіювання основного потоку взаємодії статор-ротор, що дасть дещо наближені результати.

Картина поля на рис. 3 свідчить про залежність розподілу векторного магнітного потенціалу від

взаємного розташування зубців статора та ротора. Через що значення індуктивності пазового розсіювання буде циклічно змінюватись в залежності від кута повороту ротора і залежати від ступені насиченості ділянок магнітопроводу.

Тому на прикладі АД 4А80А2, проведено дослідження з формуванням залежностей зміни індуктивності пазового розсіювання в функції зміни кута повороту ротора та величини струму в кратності до номінального.

На рис. 4 (крива 1) приведена залежність зміни індуктивності власного пазового розсіювання статора в функції кута переміщення ротора відносно статора для випадку двигуна з одношаровою обмоткою з $q = 2$ при її номінальному струмові, що реалізований на базі магнітопроводу АД 4А80А2. Циклічність зміни індуктивності розсіювання за кутовим переміщенням ротора виконується кожні 18° з перепадом її значення в 2.8 рази. На рис. 5 (крива 3) представлена залежність середнього значення власної індуктивності пазового розсіювання статора за кутовим переміщенням ротора відносно статора l_{sn} в функції величини струму в кратності до номінального k_i . Як видно, при переході від пускового, з $k_i = 7$, до номінального режиму середнє значення власної індуктивності пазового розсіювання змінюється у 2 рази.

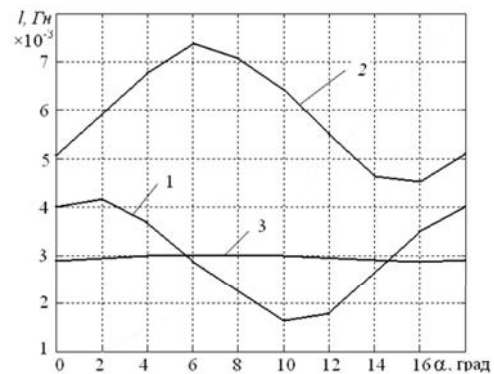


Рис. 4

На рис. 4 (крива 2) та рис. 5 (крива 1) приведені аналогічні залежності для випадку одношарової обмотки з $q = 4$. Значення індуктивності пазового розсіювання при переході з пускового до номінального режиму змінюється більш ніж в 2 рази, повторюваність індуктивності розсіювання по кутовому переміщенню ротора спостерігається також кожні 18° , але з дещо нижчим перепадом її значення.

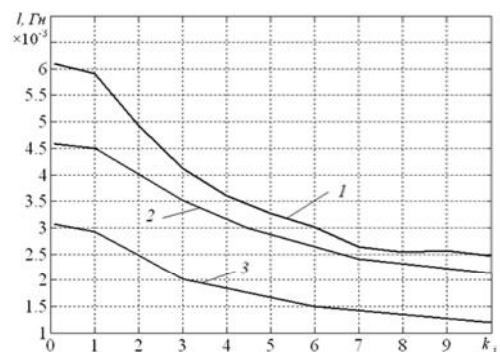


Рис. 5

Значення власної індуктивності пазового розсіювання статора по кутовому переміщенню ротора відносно статора при шестикратному струмові змінюється не значно (рис. 4 крива 3).

На рис. 5 (крива 2) та рис. 6 представлені аналогічні вище приведеним залежності для випадку двошарової обмотки з $q = 4, y = 1-11$. Так, значення індуктивності пазового розсіювання при переході з пускового до номінального режиму змінюється до 2 разів (рис. 5 крива 3), повторюваність індуктивності розсіювання по кутовому переміщенню ротора є не змінною, з перепадом її значення в 1.57 разів (рис. 6 крива 1). При шестикратному струмові значення індуктивності пазового розсіювання майже не змінюється (рис. 6 крива 2). Подібні ж закономірності спостерігаються і для випадку з двошаровою обмоткою з $q = 4, y = 1-10$.

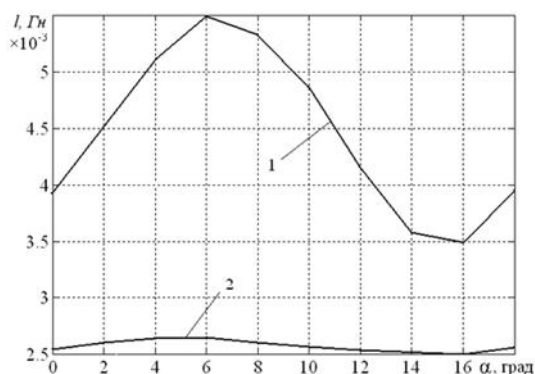


Рис. 6

Так, на рис. 7-8 приведені зворотні залежності зміни відношення власної та взаємної індуктивності фаз статора за шляхами пазового розсіювання k_{lmm}^{-1} [2] в функції кута переміщення ротора відносно статора при номінальному (крива 1) та шестикратному струмах (крива 2) обмотки статора для двошарової обмотки з $q = 4, y = 1-11$ та при номінальному (крива 1) та шестикратному струмах (крива 2) обмотки статора для двошарової обмотки з $q = 4, y = 1-10$ відповідно.

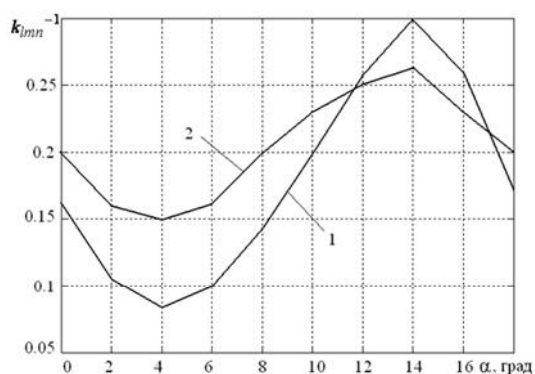


Рис. 7

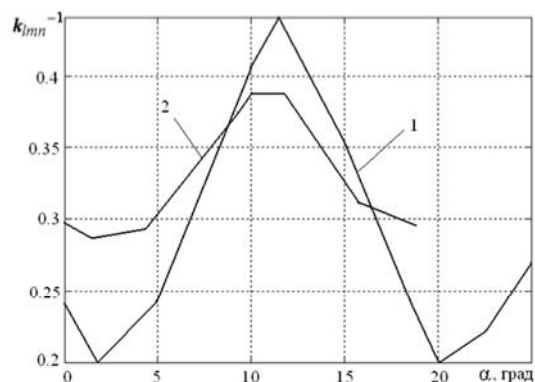


Рис. 8

Як бачимо, відношення взаємної індуктивності фаз статора за шляхами пазового розсіювання до власної індуктивності пазового розсіювання статора k_{lmm}^{-1} в залежності від кута переміщення ротора відносно статора для двошарової обмотки з $q = 4, y = 1-11$ коливається в межах 0.1-0.3, для двошарової обмотки з $q = 4, y = 1-11$ в межах 0.2-0.4.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Васковський Ю.М. Польовий аналіз електричних машин: Навч. посіб. – К.: НТУУ "КПІ", 2007. – 192 с.
2. Попович О.М. Математична модель для дослідження режимів асинхронних машин електромеханотронних систем // Техн. електродинаміка. – 2010. – № 4. – С. 25-32.

Bibliography (transliterated): 1. Vas'kovskij Yu.M. Pol'ovij analiz elektrichnih mashin: Navch. posib. - K.: NTUU "KPI", 2007. - 192 s. 2. Popovich O.M. Matematichna model' dlya doslidzhennya rezhimiv asinhronnih mashin elektromehanotronnih sistem // Tehn. `elektrodinamika. - 2010. - № 4. - S. 25-32.

Надійшла 05.10.2010

Попович Олександр Миколайович, к.т.н., с.н.с.,
Головань Іван Васильович, к.т.н., н.с.
Інститут електродинаміки НАН України
03680, Київ, пр. Перемоги, 56
тел. (044) 454-26-37

Popovich O.M., Golowan I.V.

Determination of an asynchronous motor stator slot dispersion with an allowance for saturation, zigzag dispersion, mutual inductance of phases.

Possibility of an allowance for zigzag dispersion and mutual inductance of phases along the slot dispersion paths when determining slot dispersion in an asynchronous motor stator is shown. Studies with formation of dependences of slot dispersion inductance change versus rotor rotation angle change and versus current magnitude at a ratio to the rated value are carried out.

Key words – asynchronous motor, stator slot dispersion, zigzag dispersion, mutual inductance of phases, studies.