

ОДЕСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ

На правах рукопису

ШАХІН АБДАЛЛА ТАРЕК
[ІОРДАНІЯ]

ТРЬОХШВИДКІСНІ АСИНХРОННІ ЕЛЕКТРОДВИГУНИ

05.09.01 – електричні машини.

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

ОДЕСА – 1997.



Робота виконана
політехнічному університеті

Науковий керівник - доктор технічних наук,
професор Захаров М. К.

Об'єкційні опоненти - доктор технічних наук,
професор Войтек А. А.

кандидат технічних наук,
доцент Радімов І. М.

Провідне підприємство - мале колективне підприємство
"Екотон" м. Київ.

Захист відбудеться "29" Травень 1997 р. в 15⁰⁰ год.
на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 05.06.03.

у ОДПУ, м. Одеса, пр. Т.Г.Шевченка 1, корп. 2, ауд. 115 у.

З дисертацією можна ознайомитися в бібліотеці ОДПУ.

Автореферат розісланий "25" Квітень 1997 р.

Вчений секретар
спеціалізованої
вченої ради,
кандидат технічних наук,
доцент

Андріющенко О. А.

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ.

Актуальність. Асинхронні електродвигуни (АД), найбільш широко використовувані перетворювачі електричної енергії в механічну, складають основу електропривода більшості механізмів в усіх галузях промислового виробництва і в сільському господарстві. Для покращення технологічних і експлуатаційних властивостей багатьох електромеханічних систем, використовуваних в них одношвидкісні АД доцільно замінити на багатошвидкісні. Найбільший ефект при цьому досягається при використанні в АД багатошвидкісних полюсоперемікаємих обмоток (ППО). Заміна в багатошвидкісних двигунах розділених обмоток сполученими полюсоперемікаємих дає можливість підвищити використання площі пазів, знизити питому витрату активних матеріалів, спростити технологію виготовлення і підвищити експлуатаційну надійність. Одним з пріоритетних методів, що дозволяють найбільш просто отримати схеми, які відповідають існуючим вимогам, є метод фазової модуляції (ФМ). Реалізація даного методу може здійснюватися графо-аналітичним та векторно-табличним засобами (ВТЗ).

На теперішній час в патентній літературі наявна велика кількість схем ППО. Але докладних досліджень схем даних обмоток, аналізу їх електромагнітних властивостей та техніко-економічної ефективності використання в трьохшвидкісних АД до цих пір не проводилося. Крім того, в наявних роботах відсутній опис методик формування схем ППО. Тому робота по всебічному дослідженню трьохшвидкісних АД з промисловими та запатентованими схемами обмоток, а також створення і дослідження нових схем високоефективних ППО, є актуальною.

Ціль роботи є дослідження існуючих трьохшвидкісних АД і розробка нових конструкцій високоефективних електродвигунів шляхом використання в них оригінальних трьохшвидкісних полюсоперемікаємих обмоток.

Основні завдання дисертаційної роботи:

- Створення нових схем трьохшвидкісних ППО з різними співвідношеннями чисел пар полюсів (при різних числах пазів статора і різних схемах комутації) на основі існуючих ме-

Ін-т ім. В. Степанька
Ан України

тодів і способів формування багатошвидкісних ППО.

- Аналіз електромагнітних властивостей отриманих схем трьохшвидкісних ППО.

- Розробка алгоритма і програми автоматизованого проектування полюсоперемикаємих трьохшвидкісних обмоток на задані технічні умови.

- Проектні дослідження трьохшвидкісних АД з існуючими і новими схемами ППО, а також порівняння їх техніко-економічних показників.

- Експериментальні дослідження трьохшвидкісних АД з полюсоперемикаємих обмотками.

Методи дослідження:

Методологічні основи роботи базуються на теоретичних положеннях: метода фазової модуляції, теорії несинусоїдальних функцій, векторного аналізу, метода симетричних складових та інших розділів теорії електричних машин.

Експериментальні дослідження проводились на макетних зразках трьохфазних трьохшвидкісних АД.

Наукова новизна роботи:

- Розроблені методики формування трьохшвидкісних ППО з різними співвідношеннями чисел пар полюсів, при використанні різних схем зовнішньої комутації, на основі використання графо-аналітичного і векторно-табличного засобів метода фазової модуляції.

- Запропонований ряд оригінальних, високоефективних схем ППО з різними числами пар полюсів (7:5:2, 5:4:1, 4:2:1, 4:3:2 і 3:2:1) при різних числах пазів статора (36, 48, 54, 72) та з різними схемами зовнішньої комутації.

- Обґрунтована методика формування трьохшвидкісних ППО з Т-подібною схемою зовнішньої комутації і отримані аналітичні вирази для розрахунків МДС несиметричних обмоток в тому числі і при Т-подібному сполученні фаз.

- Проведені дослідження електромагнітних, електромагнітних і експлуатаційних властивостей трьохшвидкісних АД з різними схемами статорних обмоток і виконано порівняння їх техніко-економічних показників.

- Розроблений алгоритм автоматизованого проектування симетричних трьохфазних ППО для різних співвідношень чисел пар полюсів і схем зовнішньої комутації регламентованих за рівнем коефіцієнтів розподілення для робочої гармоніки, а також створена програма для автоматизованого проектування трьохшвидкісних ППО.

Практичну цінність роботи складають:

- Розроблені оригінальні схеми трьохшвидкісних ПП при різних співвідношеннях чисел полюсів, чисел парів і схем комутації.

- Результати проектних досліджень трьохшвидкісних АД з різними схемами статорних обмоток.

- Методика побудовання схем Т-подібних обмоток і аналізу їх електромагнітних властивостей.

- Алгоритм і програма автоматизованого проектування симетричних трьохшвидкісних ППО.

Результати впровадження: методики та матеріали дисертаційної роботи використовуються в науково-дослідницьких роботах кафедри електричних машин ОДПУ, а також в учбовому процесі на даній кафедрі при курсовому і дипломному проектуванні.

Апробація роботи: основні положення і результати дисертаційної роботи доповідались і обговорювались на 28, 29 і 30-ій науково-технічних конференціях студентів і молодих дослідників кафедри ЕМ ФАЕП ОДПУ, на науковому семінарі АН України по проблемі наукових основ електроенергетики (Київ - 1994), а також на науковій конференції по електромеханіці (Львів - 1996).

Публікації: по матеріалах дисертації опубліковані 5 друкованих робіт.

Структура і об'єм роботи: дисертація складається з вступу, п'яти глав тексту, висновку, списку літератури, що містить 82 найменування, додатків. Робота загальним об'ємом 220 сторінок, містить 100 стор. основного тексту, 63 те тиц., 67 малюнків і 2 додатки.

ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обґрунтована актуальність теми дисертації, викладені основні наукові і практичні результати роботи, що виносяться до захисту.

В першій главі: здійснені огляд і аналіз літературних джерел (враховуючи патентну літературу) по темі дисертації. На основі порівняння технічних даних і характеристик промислових зразків трьохшвидкісних асинхронних електродвигунів, показані можливості покращення їх техніко-економічних властивостей. Проаналізовані схеми зовнішньої комутації ППО і технічні дані трьохшвидкісних обмоток. Розглянуті основні положення теорії і принципів формування двохшвидкісних, фазовомодульованих ППО, призначених для використання в трьохшвидкісних АД. Визначені ціль і основні завдання дисертаційної роботи.

Друга глава присвячена розробці і формуванню полюсоперемиканих обмоток трьохшвидкісних асинхронних електродвигунів.

Показано, що побудування графоаналітичним способом по методу фазової модуляції симетричних трьохшвидкісних ППО зі схемами зовнішньої комутації $\Delta(Y)/Y/Y/YYY$ и $\Delta(Y)/Y/Y/YY$ при 12 і 15 вивідних кінцях, можливо для ППО, числа пар полюсів яких зв'язані між собою залежністю $P_1 = P_2 \times P_3$, при некратності їх числу фаз. Отримані за допомогою даного способу оригінальні схеми трьохшвидкісних ППО з перемиканням чисел пар полюсів у відношенні 7:5:2 і 5:4:1 при різних значеннях чисел пазів статора, що мають високі значення обмоточних коефіцієнтів по робочим гармонікам на всіх полюсностях.

Показано, що побудова симетричних трьохшвидкісних ППО з різними значеннями коефіцієнтів перемикання, в тому числі і при кратності одного з чисел полюсів числу фаз, здійснено на основі векторно - табличного заособу (ВТЗ).

Запропоновано новий підхід до побудови табличних моделей розподілень активних котушечних сторін (АКС) фаз обмоток без побудови їх векторних діаграм пазових ЕДС. Це спрощує процес формування ППО і дозволяє здійснювати їх автома-

тизоване проектування.

Просторове розподілення фаз будь-якої трифазної обмотки зображується табличною модел'ю (M_{ij}):

$$M_{ij} = \begin{vmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} & \dots & a_{1j} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} & \dots & a_{2j} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{ij} & a_{i2} & a_{i3} & \dots & a_{ij} \end{vmatrix}$$

Кожен елемент таблиці M_{ij} відповідає номеру однієї з рівномірно розподілених уподовж повітряного зазору АКС. Випадкова i -та строка уявляє собою сполучення з (q) котушечних сторін, змішених в масштабі першої просторової гармоніки відносно одна одної на кут $\alpha = 360 \cdot p / Z_1$. Кожний j -й стовбчик є сполученням з $(2p)$ котушечних сторін співпадаючих по фазі, або здвинутих на 180° відносно початкових АКС. Алгоритм нумерації елементів таблиць M_{ij} фаз А, В, С 120° фазових зон для різних чисел пар полюсів можна скласти на основі наступних виразів.

$$M_{Aij} = j + (i - 1) \cdot \tau_p,$$

$$M_{Bij} = j + (i - 1) \cdot \tau_p + q = M_{Aij} + q,$$

$$M_{Cij} = j + (i - 1) \cdot \tau_p + 2q = M_{Aij} + 2q,$$

де: $q(k) = Z_1 / 3p(k)$ - число пазів на полюс і 120° фазу для k - го числа пар полюсів ($k = 1, 2, 3$);

$\tau_p = Z_1 / 2p(k)$ - полюсне розподілення по робочим гармонікам;

$p(k)$ - число пар полюсів - p_1, p_2, p_3 ;

i - порядковий номер рядка, що змінюється від 1 до $p(k)$ (при побудові таблиць для періоду $Z_1/2$);

j - порядковий номер стовбця, що змінюється від 1 до $q(k)$;

Якщо i - парне число, то необхідно присвоїти елементам таблиці даного рядка від'ємні значення.

Якщо в результаті розрахунків елемент таблиці $a_{ij} > Z_1/2$, то в таблиці необхідно записати нове значення елемента

$$(a_{ij})' = |a_{ij}| - Z_1/2.$$

При парних числах $p(k)$ необхідно присвоїти новому значенню елемента $(a_{ij})'$ початковий знак рядка, а при непарних числах $p(k)$ - протилежний знак.

Маючи табличний запис номерів котушечних сторін для відповідних чисел пар полюсів та знаючи закон перемикання ППО, визначений схемою зовнішньої комутації, можливо формулювати різні варіанти розподілень фаз ППО.

Розроблені методики формування симетричних трьохшвидкісних ППО з перемиканням чисел полюсів в відношенні 8:4:2, 8:6:4 1 6:4:2 при використанні різних схем зовнішньої комутації [$\Delta(Y)/YY/YY$, $\Delta(Y)/YY/YYY$, $\Delta(Y)/YY/\Delta$, $\Delta(Y)/\Delta(Y)/YY$, $\Delta(Y) (Y)/\Delta(Y)$].

Отримані різні варіанти розподілень симетричних трьохшвидкісних ППО з вказаними значеннями коефіцієнтів перемикання при різних значеннях чисел парів статора і схемах зовнішньої комутації.

В таблиці 1 приведено номери АКС фаз трьохшвидкісних ППО з $2p=8:4:2$, розміщеної в 36 пазах статора (запис здійснений для половини пазів статора).

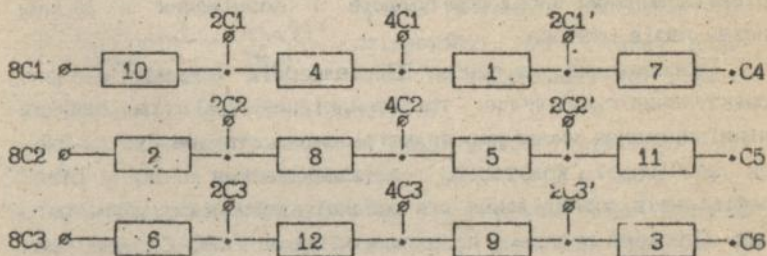
Таблиця 1.

фаза	$2p=8$	$2p=4$	$2p=2$
А	1 2 3	1 2 3 4 5 6	1 2 3 4 5 6
	-5 -6 -7	-10 -11 -12 -13 -14 -15	7 8 9 10 11 12
	10 11 12		
	-14 -15 -16		
В	4 5 6	13 14 15 16 17 18	13 14 15 16 17 18
	-8 -9 -10	-4 -5 -6 -7 -8 -9	-1 -2 -3 -4 -5 -6
	13 14 15		
	-17 -18 -1		
С	7 8 9	7 8 9 10 11 12	-7 -8 -9 -10 -11 -12
	-2 -3 -4	-16 -17 -18 -1 -2 -3	-13 -14 -15 -16 -17 -18
	16 17 18		
	-11 -12 -13		

Для отримання симетричної обмотки в кожній фазі табл.1 виділяється по $Z_1/6$ елементів, котрі займають однакове положення відносно вертикальних і горизонтальних вісей таблиці (границі фазових зон). В даному випадку має місце рівняння коефіцієнтів розподілення по робочим гармонікам і кутів

здвигу між всіяма фаз ППО. Виділені номери АКС в фазах ППО підкреслені. Ці номери дозволяють отримати числовий ряд ППО і здійснювати розподілення котушок по фазам і по гілкам перемикання трьохшвидкісної обмотки (мал.1).

3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	Ч.Р.
1-3	4-6	7-9	10-12	13-15	16-18	19-21	22-24	25-27	28-30	31-33	34-36	N пазів
0	2	4	0	2	4	0	2	4	0	2	4	p1=4
0	5	4	3	2	1	0	5	4	3	2	1	p2=2
0	5	1	0	2	1	3	2	4	3	5	4	p3=1
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	N к. гр.



Мал.1.

З табл.1 видно, що при перемиканні трьохшвидкісної обмотки змінюється тільки знак перед окремими номерами АКС. Це говорить про необхідність зміни напрямку струму в них при перемиканні обмотки. Для зовнішньої комутації подібних ППО можуть бути застосовані схеми $\Delta(Y)/YY/YY$, $\Delta(Y)/YY/YYYY$. Побудова симетричних трьохшвидкісних ППО, з числом пар полюсів кратним трьом при використанні подібних схем комутації, викликало розширення фазових зон при даній полюсності (до 180°). Це викликає зменшення обмоточного коефіцієнта при даній частоті обертання. Створенню симетричних трьохшвидкісних ППО, що мають високі значення обмоточних коефіцієнтів по робочим гармонікам на всіх числах пар полюсів, в тому числі і при $p=3$, сприяло застосування схем комутації з послідовним з'єднанням котушок фаз на двох чи трьох полюсності.

тях [схеми $\alpha(Y)/\alpha(Y)/YY$, $\alpha(Y)/\alpha(Y)/\alpha(Y)$]. В даних схемах перемикання полюсів відбувається не тільки за рахунок зміни напрямку струму в окремих котушках, але і шляхом перерозподілення котушок в фазах трьохшвидкісної ППО. Це викликає деяке підвищення числа вивідних кінців ППО (від 15 до 18). Показано, що в трьохшвидкісних ППО, з'єднаних за схемою $\alpha(Y)/\alpha(Y)/\alpha(Y)$ і маючих в залежності від схеми сполучення фаз (15 - 18) виводів, можливо зменшити число виводів до 12, якщо обмотку, при $p=3$ з'єднати в Y з трьома паралельними гілками, при незмінному розподіленні АКС в фазах ППО.

Проведений гармонічний аналіз електромагнітних властивостей всіх розроблених схем трьохшвидкісних ППО з різними співвідношеннями чисел пар полюсів і розміщених в різних числах пазів статора. \circ

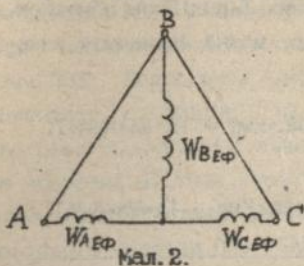
Розроблений, на основі ВТС, алгоритм автоматизованого проектування симетричних трьохшвидкісних ППО при заданих співвідношеннях чисел пар полюсів, пазів статора Z_1 і схемах зовнішньої комутації, регламентованих по рівню коефіцієнтів розподілення для робочої гармоніки магнітного поля. Створена програма на алгоритмічному мові СІ, для автоматизації проектування трьохшвидкісних ППО з схемами $\alpha(Y)/YY/YY$, $\alpha(Y)/YY/YYYY$, $Y/YY/\alpha$. Дана програма дозволяє визначити, при заданій фазовій зоні всі варіанти розподілень АКС в фазах трьохшвидкісних ППО, для заданих співвідношень чисел пар полюсів і різних значень чисел пазів статора.

В третій главі розглядаються трьохшвидкісні ППО з використанням Т-подібних схем зовнішньої комутації.

З метою зменшення числа вивідних кінців від обмотки і отримання високих значень обмоточних коефіцієнтів в трьохшвидкісних ППО при числі пар полюсів, кратному трьом, фази обмотки можна вмикати по Т-подібній схемі (мал.2). При такому вмиканні обмотка може розглядатися як трифазна, несиметрична або як двофазна, штучно приведена до трьохфазної. Для отримання в цій схемі симетричної системи лінійних ЕРС (або МРС) при живленні від трифазної мережі

необхідно щоб: $K_{WA} \cdot W_A = K_{WC} \cdot W_C = (K_{WB} \cdot W_B) / \sqrt{3}$.

Тоді Т-подібну обмотку можна назвати правильною або зовнішньосиметричною. В кращому випадку при зовнішній (лінійній) симетрії дані обмотки несиметричні внутріфазно і в складі їх МРС (в магнітному полі) виникають складові нульової послідовності, в деякому ступені вони погіршують електромагнітні властивості машини. Якщо ж геометрична



структура Т-подібної обмотки несиметрична (лінійна асиметрія), то крім нульової послідовності в МРС і магнітному полі, створеному такою обмоткою, будуть існувати і протилежні послідовності, що істотно впливають на електромагнітні і елек-

тромеханічні властивості двигунів.

Запропоновані, методика проектування трьохшвидкісних ППО с Т-подібною схемою зовнішньої комутації, а також засоби їх симетрування. Показано, що застосування ВТС побудови розподілення АКС обмоток, дозволяє формувати симетричні трьохшвидкісні ППО з 9-ма вивідними кінцями, що мають високі значення обмоточних коефіцієнтів по робочим гармонікам на всіх числах пар полюсів, при одношаровому та двошаровому виконанні обмоток.

Викладена методика аналізу електромагнітних властивостей несиметричних обмоток і отримані аналітичні вирази для розрахунків МРС Т-подібних обмоток. При аналізі електромагнітних властивостей Т-подібних обмоток використовуються теорія несинусоїдальних функцій, векторний аналіз та метод симетричних складових. МРС фаз обмоток розкладаються в ряди Фур'є, знаходяться амплітуди $F_{\nu 1}$ і просторові кути $\psi_{\nu 1}$ окремих гармонік відносно системи ортогональних координат і по сумам проєкції векторів на вісях X і Y визначаються амплітуди і фазові кути гармонійних складових МРС фаз, по яким визначаються симетричні складові (прямо- і протилежнообертасмі) і нульові послідовності МРС обмоток.

У вірник Т-подібних обмотках нульові складові МРС і магнітного поля практично не впливають на значення електромагнітних моментів двигунів, так як не створюють результуючого магнітного потоку, але викликають перерозподілення магнітного поля в статорі і внаслідок цього погіршують магнітні властивості машини.

Амплітуди складових МРС, створених Т-подібною обмоткою, що живиться трифазним струмом при $\nu = p$, можна визначити використовуючи вираз 4:

$$F_{np}(v = p) = \frac{\sqrt{2}}{\pi p} [I_b \cdot W_b \cdot K_{wb} + \frac{\sqrt{3}}{2} (I_c \cdot W_c \cdot K_{wc} + I_a \cdot W_a \cdot K_{wa})],$$

$$F_{ob}(v = p) = \frac{\sqrt{2}}{\pi p} [I_b \cdot W_b \cdot K_{wb} - \frac{\sqrt{3}}{2} (I_c \cdot W_c \cdot K_{wc} + I_a \cdot W_a \cdot K_{wa})],$$

$$F_{\Sigma}(v = p) = \frac{\sqrt{2}}{\pi p} \sqrt{[(I_b \cdot W_b \cdot K_{wb})^2 + (I_c \cdot W_c \cdot K_{wc} + I_a \cdot W_a \cdot K_{wa})^2]}.$$

Якщо в Т-подібній обмотці $W_b \cdot K_{wb} = \sqrt{3} \cdot W_a \cdot K_{wa} = \sqrt{3} \cdot W_c \cdot K_{wc}$, а струми в фазах однакові ($I_a = I_b = I_c$) і змінені в часі на кути $2\pi/3$, амплітуда прямообертасмої робочої гармоніки МРС буде дорівнювати:

$$F_{np}(v = p) = \frac{2\sqrt{2}}{\pi p} \cdot I_b \cdot K_{wb} \cdot W_b = \frac{9 \cdot I_b \cdot K_{wb} \cdot W_b}{p}$$

Протилежна складова $F_{op}(v = p) = 0$.

$$\text{Нульова складова } F_{\Sigma}(v = p) = \frac{\sqrt{2}}{\pi p} I_b \cdot W_b \cdot K_{wb} = \frac{1}{2} F_{np}(v = p).$$

Прийнявши в еквівалентній симетричній схемі обмотки

$$W_c \cdot K_{wc} + W_a \cdot K_{wa} + W_b \cdot K_{wb} = W_b \cdot K_{wb} (1 + \frac{2}{\sqrt{3}}) = 3 \cdot W_1 \cdot K_{w1},$$

при $F_{np}(Y) = \frac{1.35 \cdot W_1 \cdot K_{w1}}{p} \cdot I_1$. Співвідношення між амплітудами робочих гармонік МРС, при з'єднанні фаз обмотки в симетричну зірку і при Т-подібній схемі, буде дорівнювати

$$\frac{F_{np}(Y)}{F_{np}(Y)} = \frac{0.9 \cdot 3}{(1 + 2/\sqrt{3}) \cdot 1.35} = 0.92.$$

Отже, при однакових числах ефективних витків, в Т-подібній і симетричній трифазній обмотці, амплітуда робочої гармоніки МРС в симетричній обмотці на 8% більше, ніж у

вірній Т-подібній.

На основі розробленої методики аналізу МРС несиметричних обмоток була скорегована програма розрахунків трифазних АД, по якій здійснений аналіз електромагнітних властивостей ряду трьохшвидкісних ППО з Т-подібною схемою з'єднання фаз.

Четверта глава присвячена проектним дослідженням трьохшвидкісних АД з різними схемами статорних обмоток (промисловими, запатентованими, розробленими в даній дисертації схемами ППО). Розрахунки електродвигунів з ППО проводились за допомогою розробленої на кафедрі електричних машин ОДТУ програми розрахунків асинхронних к.з. електродвигунів. Данна програма містить у собі ряд підпрограм, самостійно реалізуючих окремі етапи розрахунку двигуна. Підпрограма гармонійного аналізу ППО (GARM) містить розрахунки порядкового складу, коефіцієнтів розподілення, обмоточних коефіцієнтів і амплітудних значень складових МРС прямого та протилежного напрямків обертання. Окрема підпрограма здійснює розрахунок магнітного кола двигуна при різних ЕРС, а також розрахунок основних і додаткових втрат в статорі при холостому ході для $U = \varphi$. Підпрограма розрахунку параметрів машин в різних режимах і розрахунку їх робочих та пускових характеристик передбачає визначення параметрів в заданому режимі з урахуванням витіснення струму в стержнях ротора і насичення по шляхам розсіяння магнітного поля. Здійснюється також визначення додаткових асинхронних моментів і втрат, створених вищими гармоніками МРС.

Проведені дослідження промислових трьохшвидкісних АД дозволили оцінити ефективність застосованих в даних машинах різних обмоток. Показано, що на деяких висотах вісей обертання ці двигуни мають підвищені питомі витрати активних матеріалів і знижені енергетичні показники, що говорить про недовикористання активного об'єму в цих машинах.

Показано, що застосування в трьохшвидкісних АД роздільних обмоток з малими коефіцієнтами перемикання в двохшвидкісній ППО сприяє зниженню питомих витрат активних матеріалів до 14% і підвищенню використання машин (Кз) до 3%

порівняно з промисловими зразками. Використання в цих же двигунах трьохшвидкісних ППО замість двох роздільних обмоток дозволяє значно зменшити їх питомі витрати активних матеріалів (до 30%) і підвищити енергетичні коефіцієнти даних машин (до 10%).

В результаті проведених досліджень встановлений рівень значень обмоточних даних схем ППО, що дозволяє створювати трьохшвидкісні двигуни з раціональними величинами електромагнітних навантажень. Обґрунтовані рекомендації по використанню конкретних схем ППО в трьохшвидкісних електродвигунах.

В п'ятій главі приведені результати експериментальних досліджень та випробувань трьохшвидкісних АД. Як об'єкти досліджень використовувались трьохшвидкісні АД типу АМУ 13254 з розробленою ППО при $2p=8:6:4$ в 36 пазах зі схемою зовнішньої комутації $\sigma/Y/Y/YYYY$, а також трьохфазний АД типу А41-6:4 з обмоткою, що перемикається по Т-подібній схемі. Дослідження трьохфазного АД АМУ 13254 з трьохшвидкісною ППО проводилось на Новокаховському ВО Южелектромаш і показало добрі експлуатаційні якості машини. В таблиці 2 представлені порівняння розрахованих і експериментальних значень номінальних параметрів електродвигуна. Результати випробувань і розрахунків підтвердили обґрунтованість використовуваних програм розрахунків к.з. АД.

Дослідження трьохфазного двигуна А41-6:4 з Т-подібною схемою проводились на кафедрі ЕМ ОДТУ на спеціальному макеті. Метою досліджень була перевірка теоретичних положень, що містяться в запропонованій роботі.

В силу того, що Т-подібні обмотки несиметричні, в процесі дослідження їхніх властивостей вимірювся струм, напруга та потужність в кожній фазі. Зіставлення відносних значень амплітуд гармонічних складових МРС Т-подібної обмотки, розрахованих по результатам іспиту холостого ходу і по скоригованій програмі гармонічного аналізу МРС трьохфазних обмоток підтвердили теоретичні положення проведеного аналізу.

Таблиця 2.

Величина	Размір-ність	Експеримент			Розрахунок		
		3	6	4	8	6	4
2р	-	3	6	4	8	6	4
Un	B	380	220	220	380	220	220
P2N	кВт	1,4	1,8	4,5	1,4	1,8	4,5
cosφ	о. е.	0.692	0.74	0.808	0.710	0.73	0.82
ККД	%	71.5	76.9	84.4	73.0	78.5	86.0
I1	A	2.48	4.84	10.0	2.3	4.65	9.50
Sn	%	6.4	4.4	4.5	5.4	3.7	3.6
СЗК	-	о	УУ	УУУУ	о	УУ	УУУУ
Рез. роб.	-	S1	S1	S1	S1	S1	S1
K1	о. е.	3.05	3.85	6.24	3.4	4.0	6.75
Kп	о. е.	1.10	1.10	2.43	1.0	1.0	2.3
Km'n	о. е.	1.08	1.1	2.24	1.0	1.0	2.15
Kmax	о. е.	1.75	2.05	3.14	1.7	1.9	3.0

В додатках до дисертаційної роботи містяться текст програми для автоматизованого проектування симетричних трьохшвидкісних ППО і протоколи випробувань трьохшвидкісних АД с ППО.

ОСНОВНІ РЕЗУЛЬТАТИ РОБОТИ.

1. Розроблені методики формування трьохшвидкісних ППО з різними співвідношеннями чисел пар полюсів, при використанні різних схем зовнішньої комутації, на основі використання графо-аналітичного та векторно-табличного засобів метода фазової модуляції.
2. Сформований, на основі метода ФМ, ряд нових високоефективних схем трьохшвидкісних ППО з числами пар полюсів 7:5:2 і 5:4:1 при різних значеннях чисел пар полюсів статора.
3. Отримані, з основі використання ВТЗ, оригінальні симетричні ППО с числами пар полюсів 4:2:1, 4:3:2 і 3:2:1 при різних значеннях чисел пар полюсів статора, і схемах зовнішньої комутації.
4. Розроблений алгоритм автоматизованого проектування трьохшвидкісних ППО при різних співвідношеннях чисел пар по-

люсів і пазів статора, зі схемами зовнішньої комутації $\Delta/Y/Y/Y/Y$, $Y/Y/Y/Y$, $Y/Y/Y/\Delta$. Створена програма автоматизованого проектування симетричних трьохшвидкісних ППО, на задані числа полюсів і числа пазів статора.

5. Запропонована методика формування трьохшвидкісних ППО з використанням Т-подібних схем зовнішньої комутації при числах полюсів кратних числу фаз, а також методика симетрування подібних схем обмоток.

6. Отримані узагальнені вирази для розрахунків МДС неси-метричних обмоток, враховуючи Т-подібні.

7. Проведені проектні дослідження електромагнітних, електро-механічних і експлуатаційних властивостей трьохшвидкісних АД промислових зразків, а також двигунів з запатентованими раніш і розробленими в даній дисертації схемами ППО.

8. Показано, що використання однообмоточних ППО замість дво-обмоточних дозволяє значно зменшити питомі витрати активних матеріалів, підвищити енергетичні і техніко-економічні показники двигунів.

9. В результаті проектних досліджень обґрунтовані рекомендації по використанню конкретних схем ППО в трьохшвидкісних асинхронних електродвигунах.

10. Результати експериментальних досліджень двигунів з ППО підтвердили основні теоретичні положення і розраховані співвідношення, що містяться в роботі.

Основний зміст дисертації відображено в наступних публікаціях:

1. Шахин А.Т., Уэрдани Ж. Эффективность двухскоростного асинхронного двигателя с полюсупереключаемыми обмотками // Электромашиностроение и электрооборудование: Респ. межвед. научн.-техн. сб. - 1985. - вып. 47. - с. 90-94.

2. Захаров М.К., Шахин А.Т. Трехскоростные полюсупереключаемые обмотки с 1-образными схемами внешней коммутации // Электромашиностроение и электрооборудование: Респ. межвед. научн.-техн. сб. - 1985. - вып. 47. - с. 101-107.

3. Шахин А.Т. О технико-экономической эффективности использования в трехскоростных асинхронных электродвигателях

ППО//Электромашиностроение и электрооборудование: Респ. межвед. научн.-техн. сб. - 1996. - вып. 48. - с. 74-77.

4. Шахин А. Т. Трехскоростные асинхронные электродвигатели с полюспереключаемыми отдельными и с Т-образными обмотками// Электромашиностроение и электрооборудование: Респ. межвед. научн.-техн. сб. - 1996. - вып. 48. - с. 70-73.

5. Захаров М. К., Беликова Л. Я., Шахин А. Т. Автоматизированное проектирование трехфазных симметричных многоскоростных ППО, сформированных векторно-табличным способом// Электромеханика теория і практика. - Тез. докл. науково-техн. конф. - Львів-Славськ, 25-29 вересня 1996. с. 84-86.

Аннотация

Шахин Абдалла Тарек. Трехскоростные асинхронные двигатели. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.09.01 - "Электрические машины". Одесский Государственный Политехнический университет. Одесса 1997 г.

Целью диссертационной работы является исследование существующих трехскоростных асинхронных двигателей и создание новых конструкций высокоэффективных электродвигателей путем использования в них оригинальных трехскоростных полюспереключаемых обмоток.

Abstract

Shahin Abdallah Tareq. Three-speed induction electric motors. Ph.D. Dissertation in speciality 05.09.01 - Electrical machines. Odessa state politechnical university. Odessa, 1997.

The aim of dissertation is to research the industrial three speed induction motors and to design anew constructions of high-effictiv electric motors by using in it anew three speed pole-switching windings.

Ключові слова

асинхронні електродвигуни, полюсперемикаємі обмотки, активні катушечні сторони, кількість пар полюсів, схема зовнішньої комутації, техніко-економічні показники.

№ 37491
Ав 37.491

Підписано до друку 24.08.97. Формат 60x84/16. Папір газетний.
Друк офсетний. 0,93 ум.друк.арк. 1,00 обл.-вид.арк. Тираж
100 прим. Замовлення № 94

Одеський державний політехнічний університет.
270044, Одеса, пр. Шевченка, 1.